



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



ΦΛΩΡΟΥ ΛΥΔΙΑ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ
ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ, ΤΟΥ
ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΧΑΒΡΙΑ
(ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ, ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017



ΦΛΩΡΟΥ ΛΥΔΙΑ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ
ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ, ΤΟΥ
ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΧΑΒΡΙΑ
(ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ, ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ)

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στο πλαίσιο του
Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών
Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας

Επιβλέπων

Αναπλ. Καθηγητής, Βουδούρης Κωνσταντίνος



«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ
ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ, ΤΟΥ
ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΧΑΒΡΙΑ
(ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ, ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ)»

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.



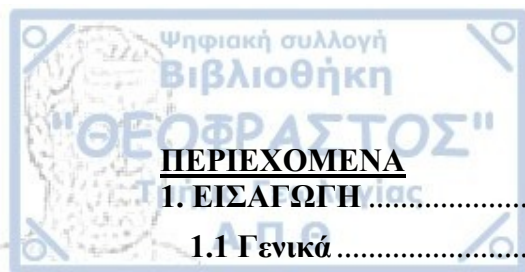
ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Επιβλέπων, της πτυχιακής εργασίας ήταν ο Αναπληρωτής Καθηγητής κ. Βουδούρης Κωνσταντίνος.

Για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Βουδούρη Κωσταντίνο, για την καθοδήγηση του και τις πολύτιμες συμβουλές του σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας, αλλά και για την αμέριστη υποστήριξη του.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ, οφείλω στην Υποψήφια Διδάκτορα Υδρογεωλογίας κ. Βενετσάνου Παναγιώτα, για την αμέριστη και πολύτιμη βοήθεια της, την άψογη συνεργασία της, τις συμβουλές της, τις γνώσεις της, την υπομονή της, αλλά και για την εμπιστοσύνη της, καθώς μου παρείχε στοιχεία της διδακτορικής της διατριβής, καθοριστικά για την ολοκλήρωση της πτυχιακής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Υποψήφια Διδάκτορα Τεχνικής Γεωλογίας κ. Δημητράκη Λαμπρινή για τις συμβουλές της και τις επισημάνσεις της στο κείμενο της πτυχιακής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες, επιθυμώ να εκφράσω στα αδέρφια μου και τα ανίψια μου, για την υποστήριξη τους και την αγάπη τους, αλλά κυρίως στους γονείς μου, για την αμέριστη υποστήριξη τους, για την ανιδιοτελή τους αγάπη, την απεριόριστη υπομονή τους και τη σημαντική συμβολή τους στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ την συμφοιτήτρια, φίλη και συνάδελφο Μακαρατζή Χριστίνα για την άψογη συνεργασία μας κατά την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Γενικά	8
1.2 Αντικείμενο και σκοπός	8
1.3 Εργασίες που πραγματοποιήθηκαν	8
2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	9
2.1 Γεωγραφική θέση	9
2.2 Μορφολογία	9
2.3 Κλίμα	12
2.4 Χρήσεις γης	16
2.5 Παλαιογεωγραφική και τεκτονική θέση της περιοχής έρευνας	17
2.5.1 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής	17
2.5.2 Γεωλογία της περιοχής έρευνας	19
2.6 Τεκτονική	21
3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	22
3.1 Πιεζομετρία	22
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	28
4.1 Δειγματοληψία εδαφικού υλικού ακόρεστης ζώνης	28
4.2 Κοκκομετρική ανάλυση εδαφικού υλικού με κόσκινα	29
4.2.1 Μέθοδος κοσκινίσματος	30
4.3 Ανάλυση ιλύος	32
4.4 Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης	34
4.4.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	34
4.5 Προσδιορισμός συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας	37
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	44
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	45
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	46
7.1 Παράρτημα Ι	46
7.2 Παράρτημα ΙΙ	74



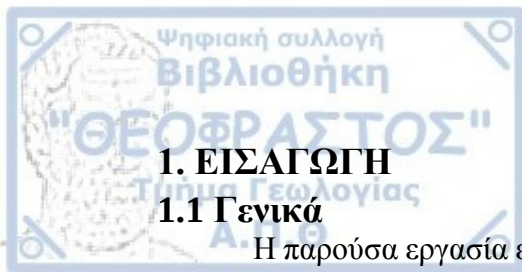
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η υδρογεωλογική έρευνα, καθώς και ο προσδιορισμός του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας. Για την επίτευξη του στόχου, χρησιμοποιήθηκαν κλιματικά, γεωμορφολογικά, υδρογεωλογικά και γεωλογικά δεδομένα, καθώς πραγματοποιήθηκαν και υπαίθριες μετρήσεις. Περιοχή έρευνας, ορίστηκε ο παράκτιος υδροφορέας της λεκάνης του ποταμού Χαβρία, που βρίσκεται μεταξύ των χωριών Ορμύλιας, Ψακουδιών και Βατοπεδίου και ανήκει στο δήμο Πολυγύρου του Νομού Χαλκιδικής. Η περιοχή έρευνας διακρίνεται για την έντονη γεωργική δραστηριότητα και καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από σύνθετα συστήματα καλλιέργειών και από ελαιώνες. Οι υδατικές ανάγκες της περιοχής, καλύπτονται από το υπόγειο νερό. Ο ελεύθερος αβαθής υδροφορέας αναπτύσσεται, κυρίως εντός των Ολοκαινικών αλλουβιακών αποθέσεων και τροφοδοτεί το βόρειο και κεντρικό τμήμα του κάτω ρου του ποταμού Χαβρία. Ο υπολογισμός του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας εκτιμήθηκε με την εφαρμογή των εμπειρικών τύπων του Hazen, Biallas, Seelheim και Harleman. Μεγάλες και μέτριες τιμές υδροπερατότητας εντοπίζονται στο βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας, ενώ στο δυτικό και νότιο τμήμα, οι τιμές του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας είναι μικρές.



ABSTRACT

The aim of this study, is hydrogeological research and to determine the hydraulic conductivity by the granulometric analysis of Quaternary and Neogene deposits. For this purpose climate, geomorphological, hydrogeological and geological data, soil samples, as well as field measures were carried out. The research area was defined as the coastal aquifer of the Havria river, which is located between the villages Ormylia, Psakoudia and Batopedi and belongs to the municipality of Polygyros in the prefecture of Halkidiki. The research area is characterized by intensive agricultural activities and is mostly covered by complex crop systems and olive trees. The water needs of this area are covered by groundwater. The shallow unconfined aquifer is mainly developed in Holocene alluvial deposits, which feeds the northern and central part of the river. The estimation of hydraulic conductivity was estimated by using Hazen, Biallas, Seelheim and Harleman empirical formulas. High and medium water permeability values are located in the northern part of the research area, while in the southern, eastern and western parts, the values of hydraulic conductivity are small.



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

1.2 Αντικείμενο και σκοπός

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών, που επικρατούν στην περιοχή έρευνας και ο προσδιορισμός του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας της ακόρεστης ζώνης, με απώτερο στόχο τον εντοπισμό υδροπερατών περιοχών. Για την επίτευξη του στόχου, υλοποιήθηκαν υπαίθριες παρατηρήσεις, καθώς και εργαστηριακές δοκιμές.

1.3 Εργασίες που πραγματοποιήθηκαν

Για την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες εργασίες:

- Βιβλιογραφική ανασκόπηση
- Απογραφή γεωτρήσεων και πηγαδιών
- Μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού κατά την υγρή και ξηρή περίοδο (Μάιος και Οκτώβριος 2016)
- Ψηφιοποίηση τοπογραφικού και γεωλογικού χάρτη, στο ArcMap σε περιβάλλον GIS
- Δημιουργία πιεζομετρικών χαρτών, τόσο για την ξηρή, όσο και για την υγρή περίοδο και τρισδιάστατων σχημάτων σε περιβάλλον GIS, Surfer
- Συλλογή εδαφικών δειγμάτων από την περιοχή έρευνας
- Κοκκομετρική ανάλυση και ανάλυση ιλύος των δειγμάτων, στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Παρουσίαση αποτελεσμάτων σε πίνακες και κοκκομετρικές καμπύλες
- Δημιουργία χαρτών του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας

Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι μερικά από τα δεδομένα, που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, προέρχονται από τη διδακτορική διατριβή της κ. Βενετσάνου Παναγιώτα με τίτλο «Εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε λεκάνες απορροής του Ελληνικού Χώρου», που βρίσκεται σε εξέλιξη και πραγματοποιείται στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με επιβλέποντα τον κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 Γεωγραφική θέση

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στην Βόρεια Ελλάδα, στην κεντρική Μακεδονία, τοποθετείται διοικητικά στο δήμο Πολυγύρου του Νομού Χαλκιδικής και αφορά τον παράκτιο υδροφορέα της λεκάνης του ποταμού Χαβρία. Η έκταση που καταλαμβάνει είναι περίπου 38 km², ενώ η περίμετρος της είναι περίπου 58 km. Συγκεκριμένα, εντοπίζεται μεταξύ των χωριών Ορμύλιας, Ψακουδιών και Βατοπεδίου (Σχήμα 1). Σύμφωνα με την απογραφή της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, που πραγματοποιήθηκε το 2011, ο πληθυσμός του δήμου της Ορμύλιας ανέρχεται σε 3.682 κατοίκους. Η περιοχή έρευνας ανήκει στο 10^ο υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας (www.geodata.gr).



Σχήμα 1. Με την κόκκινη γραμμή οριοθετείται η περιοχή έρευνας, όπως αυτή φαίνεται από τις εικόνες του Google Earth.

2.2 Μορφολογία

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται ως λοφώδης-ημιορεινή και διασχίζεται από τον ποταμό Χαβρία, με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Οροθετείται, βόρεια, από το όρος Χολομώντα και νότια, από τον κόλπο της Κασσάνδρας. Όπως προαναφέρθηκε, η περιοχή έρευνας εστιάζεται στον παράκτιο υδροφορέα της λεκάνης του ποταμού

Χαβρία, όπου το μέγιστο και ελάχιστο υψόμετρο είναι 235,56 m και 0 m, αντίστοιχα. Η διεύθυνση της λεκάνης είναι ΒΒΔ. Στον Πίνακα 1 παρατίθενται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, όπως υπολογίστηκαν στο ArcMap σε περιβάλλον GIS.

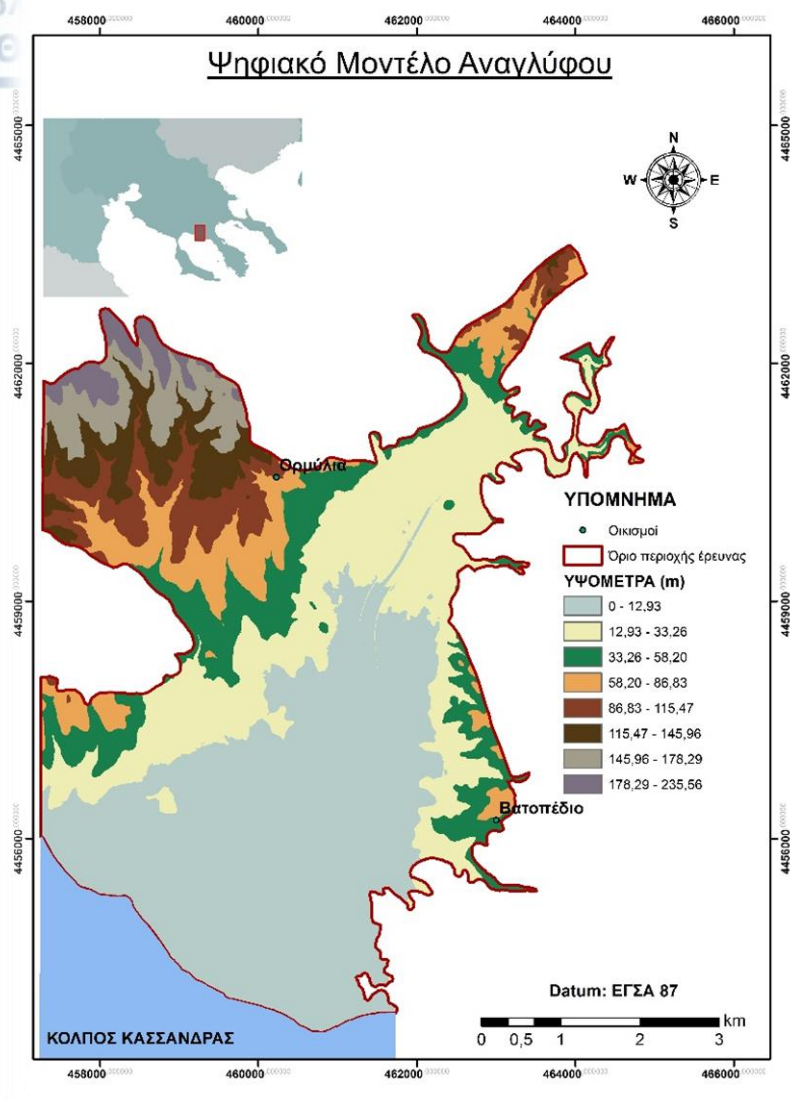
Πίνακας 1. Μορφολογικά χαρακτηριστικά περιοχής έρευνας.

<u>Εμβαδόν (km²)</u>	37.69
<u>Περίμετρος (km)</u>	58.47
<u>Μέγιστο Υψόμετρο (m)</u>	235.56
<u>Ελάχιστο Υψόμετρο (m)</u>	0
<u>Μέσο Υψόμετρο (m)</u>	40.76
<u>Μέση Κλίση (%)</u>	8.57

Σύμφωνα με την ανάλυση στο ArcMap σε περιβάλλον GIS, το 18% της περιοχής έρευνας έχει υψόμετρο από 0 έως και 42 m, το 47% έχει υψόμετρο από 42 έως και 111 m, ενώ μόλις το 35% της περιοχής έρευνας έχει υψόμετρο από 111 έως και 237 m (Πίνακας 2 και Σχήμα 2).

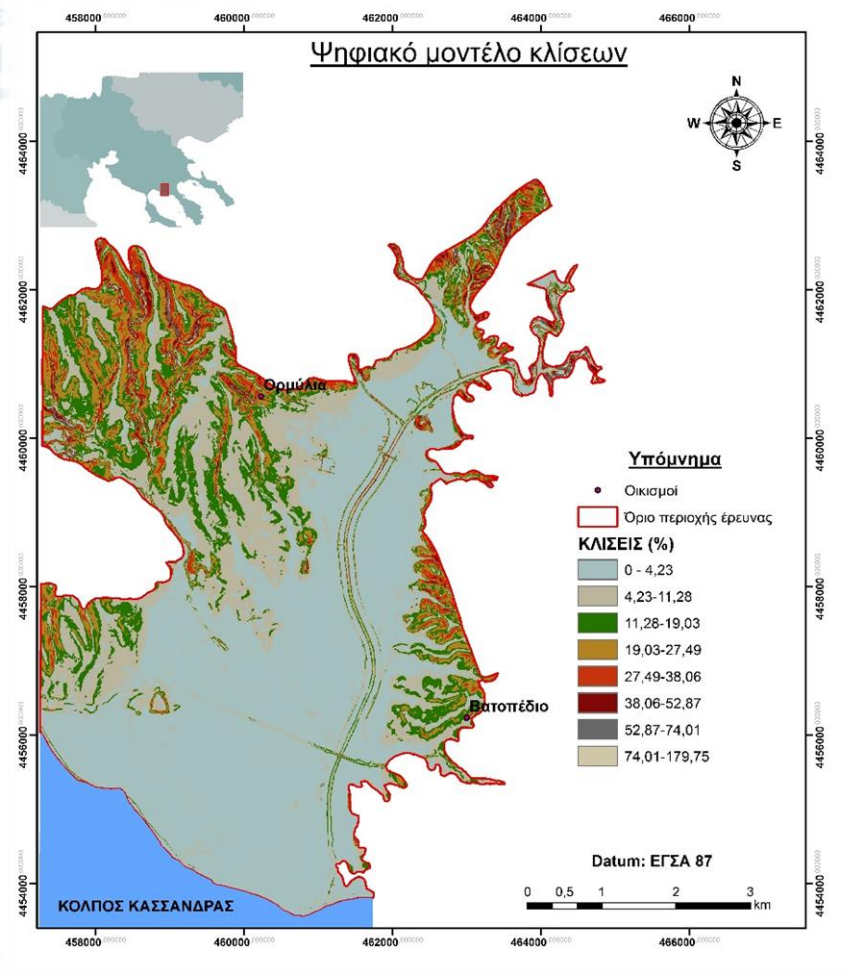
Πίνακας 2. Κατανομή της επιφάνειας της περιοχής έρευνας.

<u>ΙΣΟΥΨΕΙΣ (m)</u>	<u>ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (%)</u>
0 – 13	6
13 – 33	8
33 – 58	11
58 – 87	12
87 – 116	12
116 – 146	13
146 – 178	14
178 – 236	24



Σχήμα 2. Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου περιοχής έρευνας.

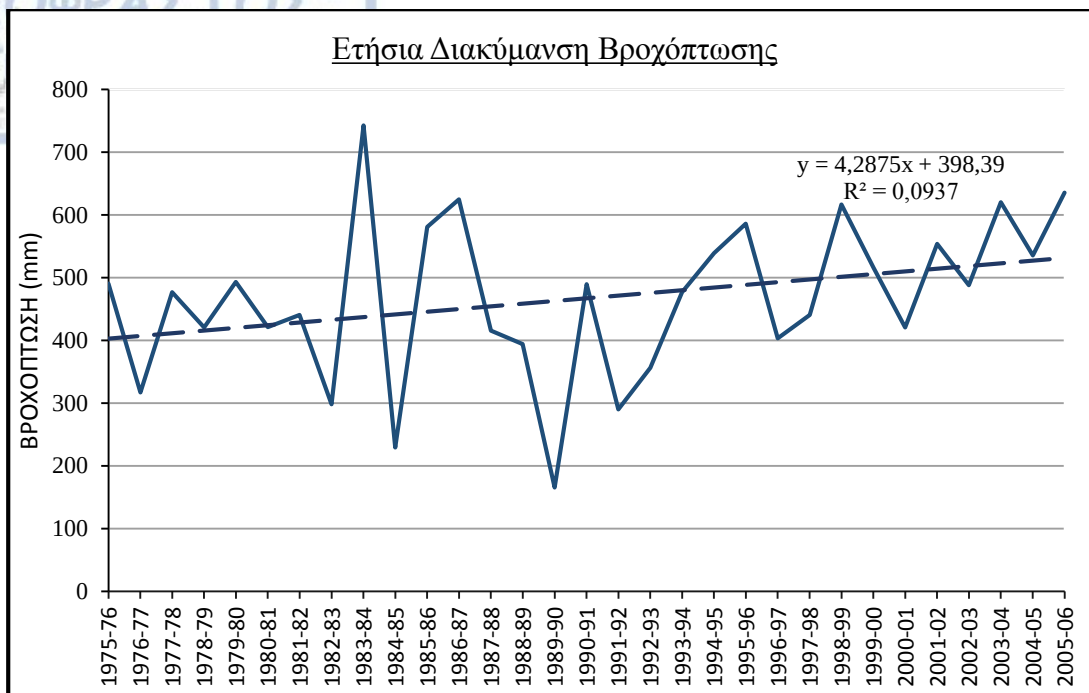
Η μέση κλίση της περιοχής έρευνας, υπολογίστηκε σε περιβάλλον GIS, είναι 8%, με τις μικρότερες κλίσεις να συναντώνται κατά μήκος του κάτω ρου του ποταμού Χαβρία. Οι μεγάλες κλίσεις εντοπίζονται περιμετρικά του ορίου της περιοχής έρευνας, κυρίως, στο βόρειο τμήμα, στην περιοχή του χωριού Ορμύλια (Σχήμα 3).



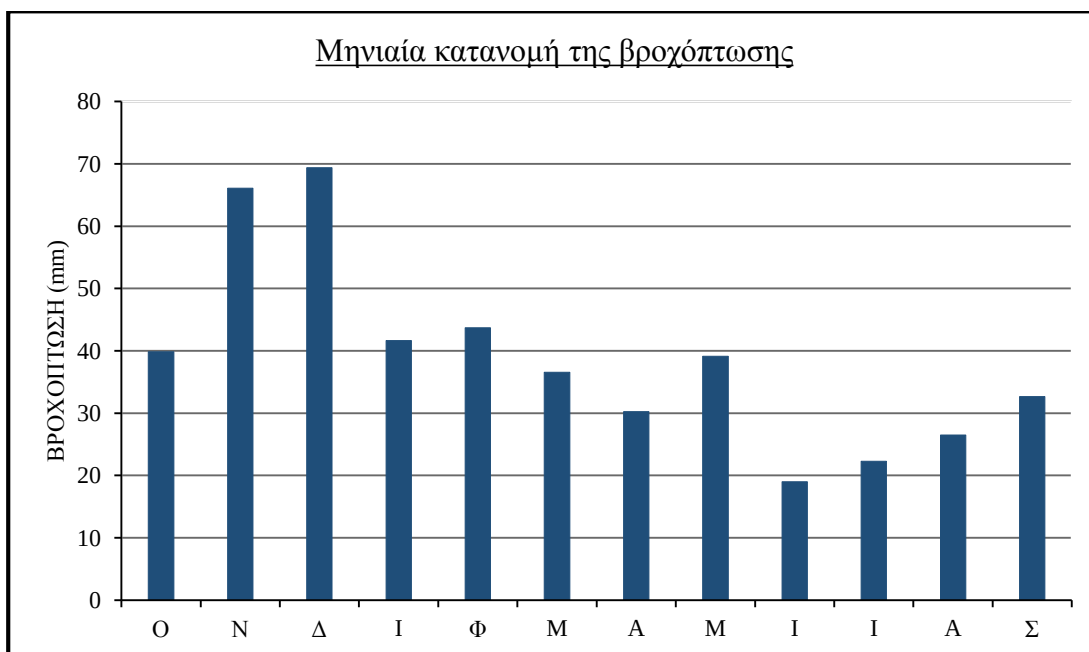
Σχήμα 3. Ψηφιακό μοντέλο κλίσεων της περιοχής έρευνας.

2.3 Κλίμα

Για τη διερεύνηση των κλιματικών συνθηκών της περιοχής έρευνας αξιοποιήθηκαν δεδομένα από το μοναδικό μετεωρολογικό σταθμό, που υπάρχει στην περιοχή της Ορμύλιας. Ο σταθμός της Ορμύλιας είναι εγκατεστημένος σε 40 m υψόμετρο και τα διαθέσιμα δεδομένα του περιλαμβάνουν τις μηνιαίες και ετήσιες τιμές βροχόπτωσης, που αντιστοιχούν στη χρονική περίοδο 1975 – 2006, καθώς μετά το 2006 διεκόπη η λειτουργία του (Σχήμα 4). Το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης για την περίοδο 1975-2006 είναι 440,36 mm. Βροχερότερη περίοδος είναι η περίοδος 1983-1984 με ύψος βροχόπτωσης 742,80 mm, ενώ η πιο ξηρή είναι η περίοδος 1989-1990 με ύψος βροχόπτωσης 165,50 mm. Τέλος, οι βροχερότεροι μήνες είναι ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος, με ύψος βροχόπτωσης 66,1 mm και 69,38 mm, αντίστοιχα (Σχήμα 5).



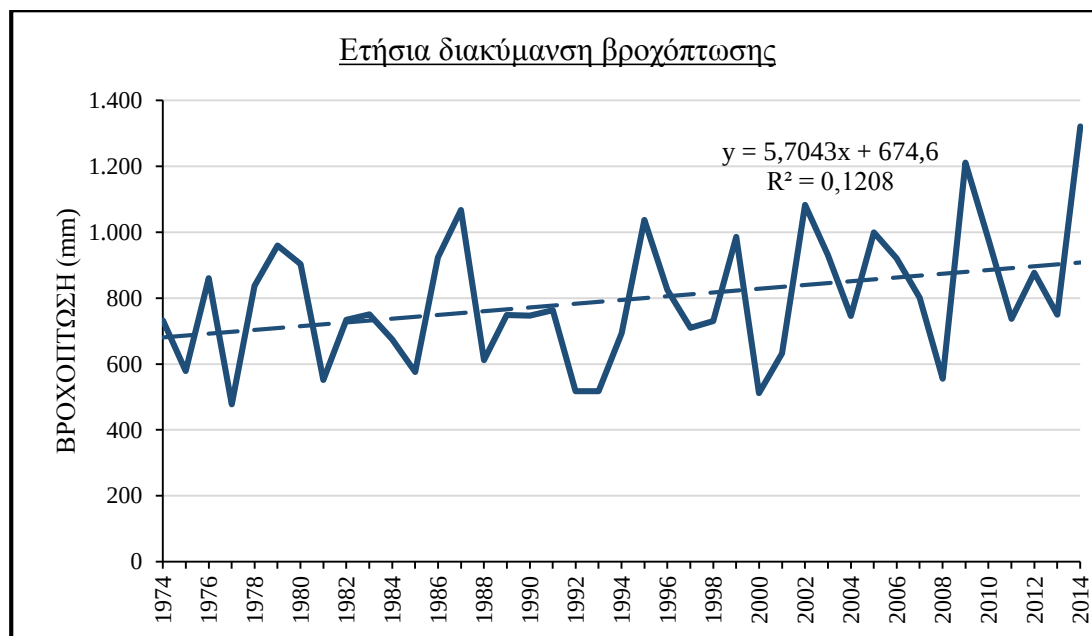
Σχήμα 4. Ετήσια διακύμανση της βροχόπτωσης για την περίοδο 1975 – 2006.



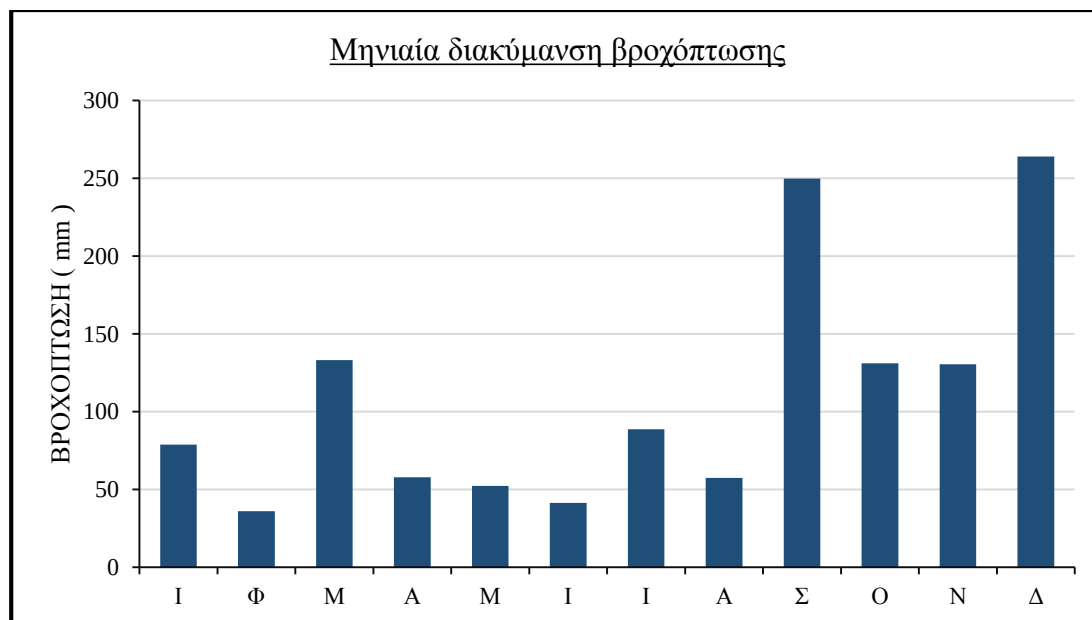
Σχήμα 5. Μηνιαία κατανομή της βροχόπτωσης για την περίοδο 1975 – 2006.

Λόγω έλλειψης δεδομένων θερμοκρασίας του μετεωρολογικού σταθμού της Ορμύλιας εξετάστηκαν και τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού Ταξιάρχη, που είναι εγκατεστημένος σε υψόμετρο 862 m. Τα διαθέσιμα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού Ταξιάρχη περιλαμβάνουν τις μηνιαίες και ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για τα έτη 1974-2014. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι 794,4 mm για την περίοδο 1974-2014 (Σχήμα 6). Το πιο βροχερό

έτος είναι το 2014 με 1320,7 mm ύψους βροχόπτωσης, ενώ λιγότερο βροχερό χαρακτηρίστηκε το έτος 1977 με 477.9 mm ύψους βροχόπτωσης. Βροχερότεροι μήνες είναι ο Σεπτέμβριος και ο Δεκέμβριος, με 249,8 mm και 264 mm ύψους βροχόπτωσης, αντίστοιχα (Σχήμα 7).



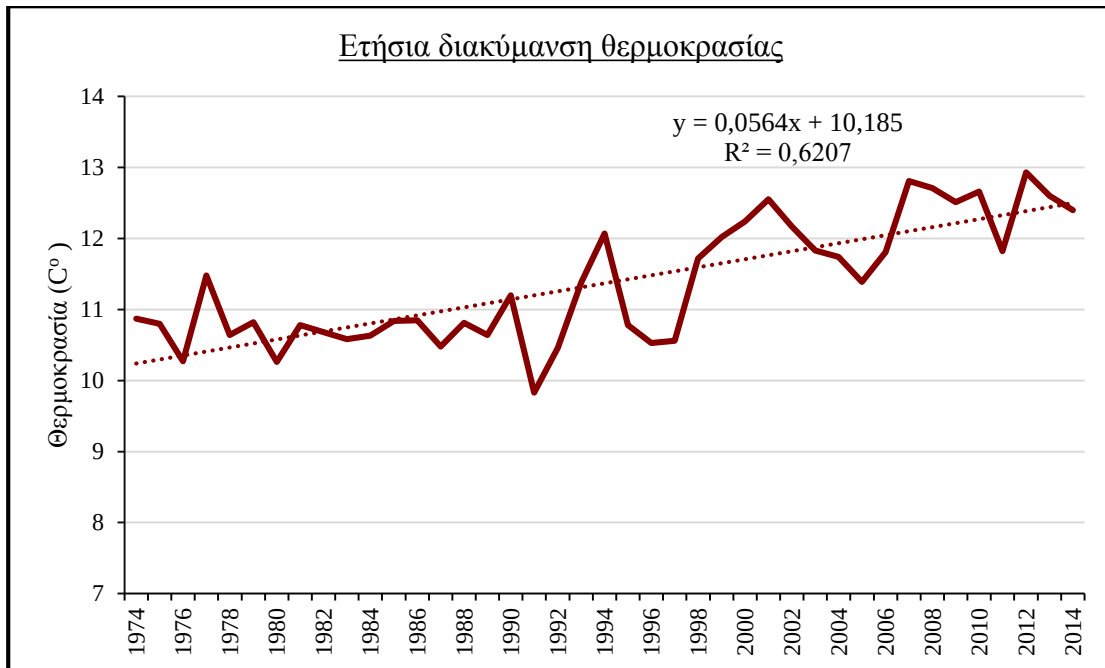
Σχήμα 6. Ετήσια διακύμανση βροχόπτωσης για την περίοδο 1974 - 2014.



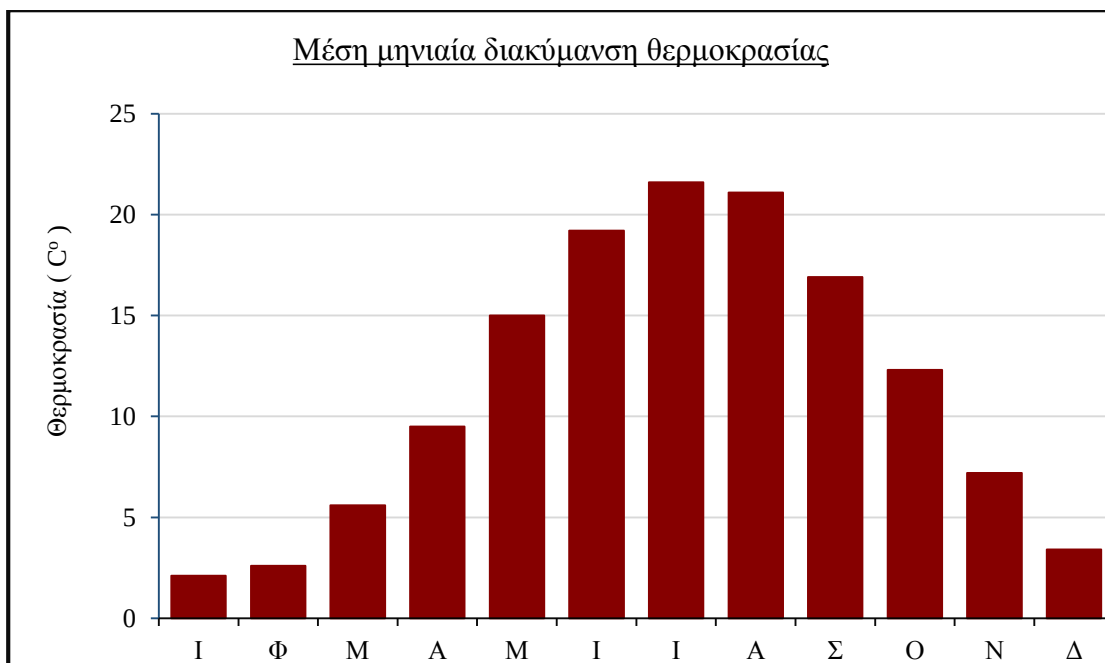
Σχήμα 7. Μηνιαία διακύμανση της βροχόπτωσης για την περίοδο 1974 – 2014.

Από την επεξεργασία των θερμοκρασιακών δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού του Ταξιάρχη, προκύπτει ότι η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 11.4 °C. Θερμότερο έτος αποτελεί το 2012, με μέση θερμοκρασία 12,93 °C και ψυχρότερο έτος

το 1991, με μέση θερμοκρασία 9,93 °C (Σχήμα 8). Σύμφωνα, με το διάγραμμα της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, διαπιστώνεται ότι ο θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος, με μέση θερμοκρασία 21,6 °C και ψυχρότερος μήνας ο Ιανουάριος, με μέση θερμοκρασία 2,1 °C (Σχήμα 9).



Σχήμα 8. Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας για την περίοδο 1974 – 2014.



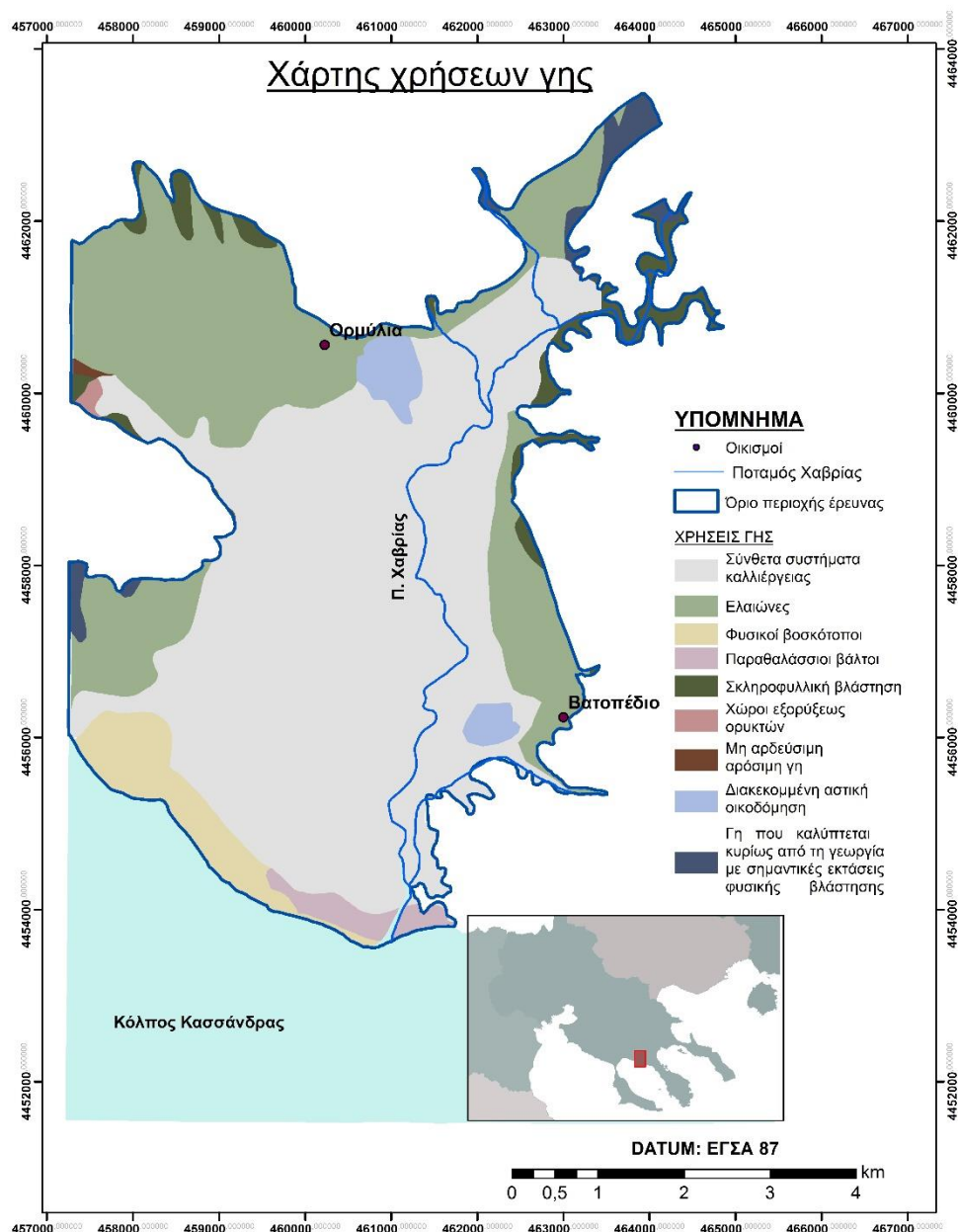
Σχήμα 9. Μέση μηνιαία διακύμανση της θερμοκρασίας για την περίοδο 1974-2014.

2.4 Χρήσεις γης

Οι χρήσεις γης στην περιοχή έρευνας παρουσιάζονται στο Σχήμα 10 και στον Πίνακα 3, όπως προέκυψαν από το Corrine Land Cover 2000 (www.geodata.gr). Το μεγαλύτερο ποσοστό της περιοχής έρευνας, καλύπτεται από τα σύνθετα συστήματα καλλιέργειών με συνολική έκταση 21,58 km² και ακολουθούν οι ελαιώνες, με συνολική έκταση 10,88 km². Στις παράκτιες περιοχές, εντοπίζονται παραθαλάσσιοι βάλτοι και φυσικοί βοσκότοποι με έκταση 0,5 km² και 1,73 km², αντίστοιχα.

Πίνακας 3. Κατανομή των χρήσεων γης στην περιοχή έρευνας.

<u>ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ</u>	<u>ΕΚΤΑΣΗ (km²)</u>	<u>ΠΟΣΟΣΤΟ (%)</u>
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	21,58	57,26
Ελαιώνες	10,88	28,87
Γη που καλύπτεται κυρίως από την γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0,72	1,91
Φυσικοί βοσκότοποι	1,73	4,59
Παραθαλάσσιοι βάλτοι	0,5	1,327
Σκληροφυλλική βλάστηση	1,4	3,715
Χώροι εξορύξεως ορυκτών	0,08	0,212
Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	0,03	0,08
Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	0,77	2,043
Σύνολο	37,69	100

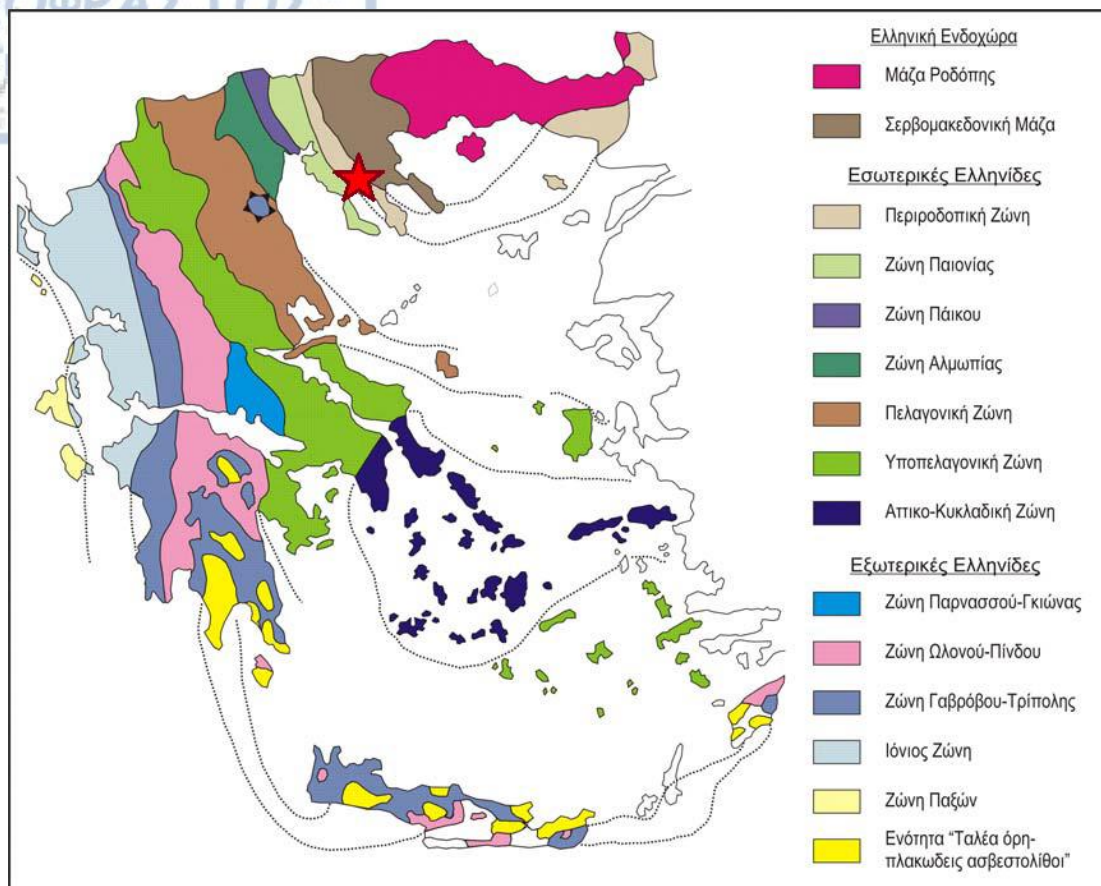


Σχήμα 10. Χάρτης χρήσεων γης της περιοχής έρευνας.

2.5 Παλαιογεωγραφική και τεκτονική θέση της περιοχής έρευνας

2.5.1 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής

Στην ευρύτερη περιοχή έρευνας εντοπίζονται, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 11, οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Σερβομακεδονικής και της Περιοδοπική ζώνης, (Μουντράκης, 2010).



Σχήμα 11. Με το κόκκινο αστεράκι παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, ενώ με μπεζ και καφέ χρώμα οι γεωτεκτονικές ζώνες της Περιοδοπικής και της Σερβομακεδονικής αντίστοιχα (Μουντράκης, 2010).

Η λιθολογία της Σερβομακεδονικής ζώνης διαχωρίζεται σε δύο ενότητες, την κατώτερη, τα Κερδύλλια και την ανώτερη, το Βερτίσκο. Η κατώτερη ενότητα των Κερδυλλίων, αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, όπως είναι οι αμφιβολιτωμένοι εκλογίτες, αλλά και χαμηλότερης, όπως είναι οι αμφιβολίτες, οι γρανατούχοι διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι, οι μιγματιτικοί βιοτικοί γνεύσιοι και τα μάρμαρα. Στην ενότητα του Βερτίσκου, υπάρχει μία ακολουθία μιγματικών, οφθαλμοειδών ορθογνεύσιων, μαρμαρυγικών σχιστολίθων, μεταγάβρων - μεταδιαβάσεων και ορθοαμφιβολιτικών πετρωμάτων.

Η Περιοδοπική ζώνη συγκροτείται από την ενότητα Ντεβέ Κοράν - Δούμπια, την ενότητα Μελισχωρίου - Χολομώντα και την ενότητα Άσπρης Βρύσης- Χορτιάτη. Η ενότητα Ντεβέ Κοράν αποτελείται από μετακλαστικά ιζημάτα, μεταναμμίτες, χαλαζίτες, χαλαζιακούς σχιστόλιθους και μετακροκαλοπαγή. Η ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά, ηλικίας Περμίου- Κάτω Τριαδικού, βρίσκεται πάνω από την σειρά αυτή και αποτελείται από εναλλασσόμενα ημιμεταμορφωμένα ηφαιστειακά

και ιζηματογενή υλικά. Η ενότητα Μελισσοχωρίου, αποτελείται από κάτω προς τα πάνω από μάρμαρα, ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους με παρεμβολές φυλλιτικών και σερίκιτικών σχιστολίθων. Πάνω από τον σχηματισμό αυτό, εντοπίζεται ένας φυλλιτικός σχηματισμός με φυλλίτες, μαύρους γραφίτες και ψαμμίτες, ενώ ο φλύσχης με τις τουρβιδικές εναλλαγές μετά- ιζημάτων, αποτελεί τον ανώτερο σχηματισμό. Στην ενότητα του Χορτιάτη, εντοπίζονται μετακλαστικά, ηφαιστειοκλαστικά και νηριτικά ανθρακικά ιζήματα Περμο-Τριαδικής ηλικίας. Τον ανώτερο ορίζοντα της ενότητας αυτής, συγκροτούν ιζήματα βαθιά θάλασσας, οφειολιθικά σώματα με βασικά και υπερβασικά πετρώματα και μεταμορφωμένα πετρώματα όξινης μαγματική προέλευσης (Μουντράκης, 2010).

2.5.2 Γεωλογία της περιοχής έρευνας

Στην περιοχή έρευνας, συναντώνται οι παρακάτω σχηματισμοί, από τους παλαιότερους προς τους νεότερους και απεικονίζονται στο Σχήμα 12 (ΙΓΜΕ,1978):

Μεσοζωικής ηλικίας:

- Δουνίτες και περιδοτίτες (π.ο): κυρίως βερλίτης, μερικά λερζολιθικός και επουσιώδης μεταπεριδοτίτης.
- Γάββρος (θ1): ολιβινικός, υπερσθενικός, αυγιτικός, κεροστιλβικός γάββρος και μεταγάββρος, που μεταβαίνει σε πυροξενίτη.
- Πρασινοσχιστόλιθοι και αλβιτικοί γνεύσιοι (sch.gn): επιδοτιτικοί-χλωριτικοί σχιστόλιθοι και κεροστιλβικοί – επιδοτιτικοί - αλβιτικοί γνεύσιοι με χαλαζία.

Τριαδικής- Μέσο Ιουρασικής ηλικίας:

- Φυλλίτες (T-Jm.ph): μερικώς γρανατούχοι, γραφιτικοί με ενστρώσεις χαλαζίτη.

Νεογενή- Άνω Μειοκαινικής - Κάτω Πλειοκαινικής ηλικίας:

- Σειρά ερυθρών αργίλων (M4 – Pli.l): ερυθρές έως κεραμόχρωμες άργιλοι με μαρμαρυγία, αμμούχες, με ψηφίδες μικροκροκαλοπαγών και ενστρώσεις ασβεστιτικών ψαμμιτών.

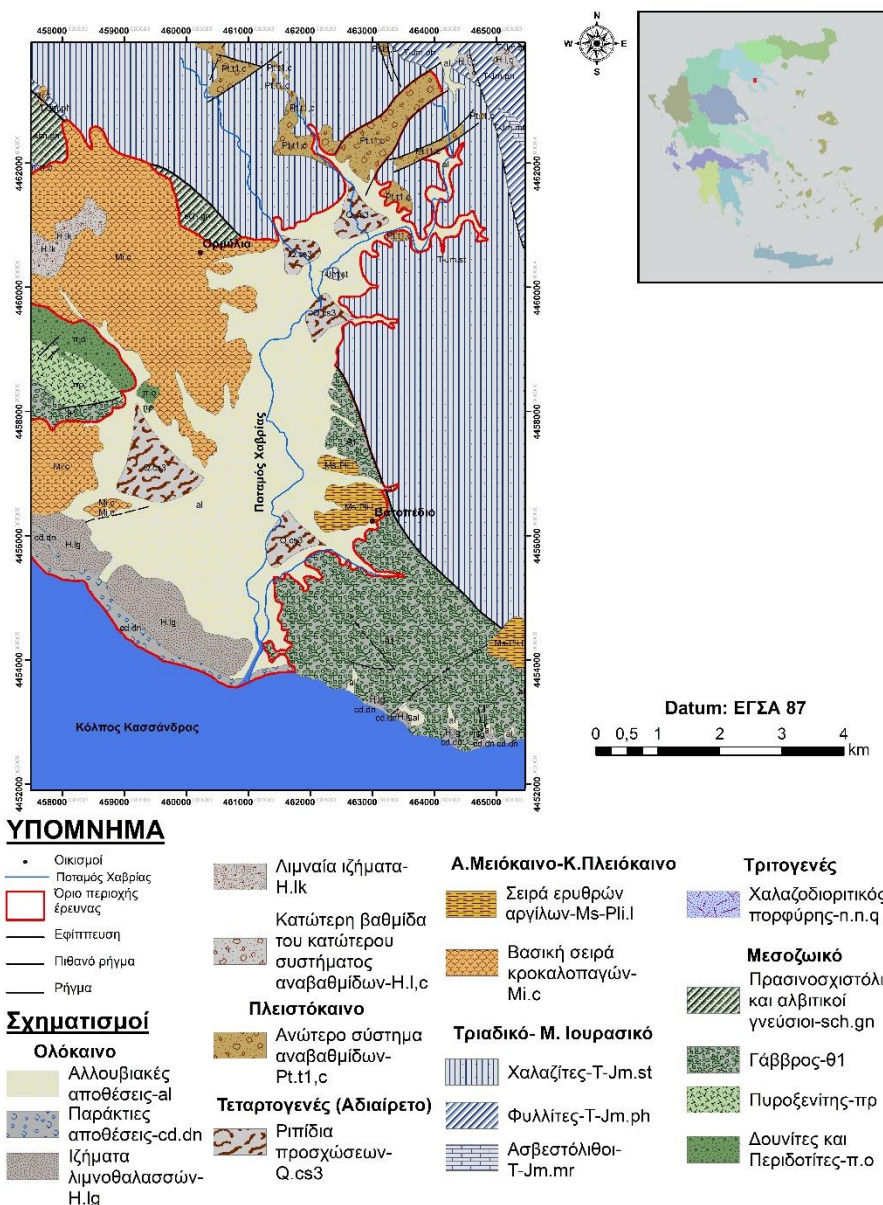
Τεταρτογενής ηλικίας:

- Ριπίδια προσχώσεων (Qc.s2)

Ολοκαινικής ηλικίας:

- Ιζήματα λιμνοθαλασσών (H.lg): άμμοι και αμμούχες άργιλοι
- Παράκτιες αποθέσεις (cd.dn): άμμοι και θίνες
- Αλλουβιακές αποθέσεις (al): αμμούχες άργιλοι, άμμοι και ψηφίδες

Γεωλογικός χάρτης



Σχήμα 12. Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50.000 του φύλλου Αρναίας (ΙΓΜΕ 1978).

2.6 Τεκτονική

Η τεκτονική της περιοχής συνοψίζεται σε δύο ορογενετικές περιόδους. Η πρώτη ορογενετική περίοδος χρονολογείται στο προ-Άνω Παλαιοζωικό, όπου προκάλεσε την ανάπτυξη συμμεταμορφικών ισοκλινών πτυχών και της σχιστότητας s_1 των μιγματιτών. Κατά την δεύτερη ορογενετική περίοδο στο Ιουρασικό, αναπτύχθηκε η αμφιβολιτική μεταμόρφωση και ακολούθησε η δεύτερη φάση πτύχωσης, με ισοκλινείς πτυχές ΒΔ-ΝΑ, όπως αποτυπώνεται στην ενότητα Μελισσοχωρίου - Χολομώντα και την κύρια σχιστότητα της Σερβομακεδονικής. Η αμφιβολιτική μεταμόρφωση εξελίχθηκε σε πρασινοσχιστολιθική στο Άνω Ιουρασικό - Κάτω Κρητιδικό και συνοδεύτηκε από κλειστές υποϊσοκλινείς πτυχές. Μετά το τέλος του Κρητιδικού, ακολούθησαν Τριτογενείς πτυχώσεις, που έδωσαν πτυχές ανοιχτές τύπου knick.

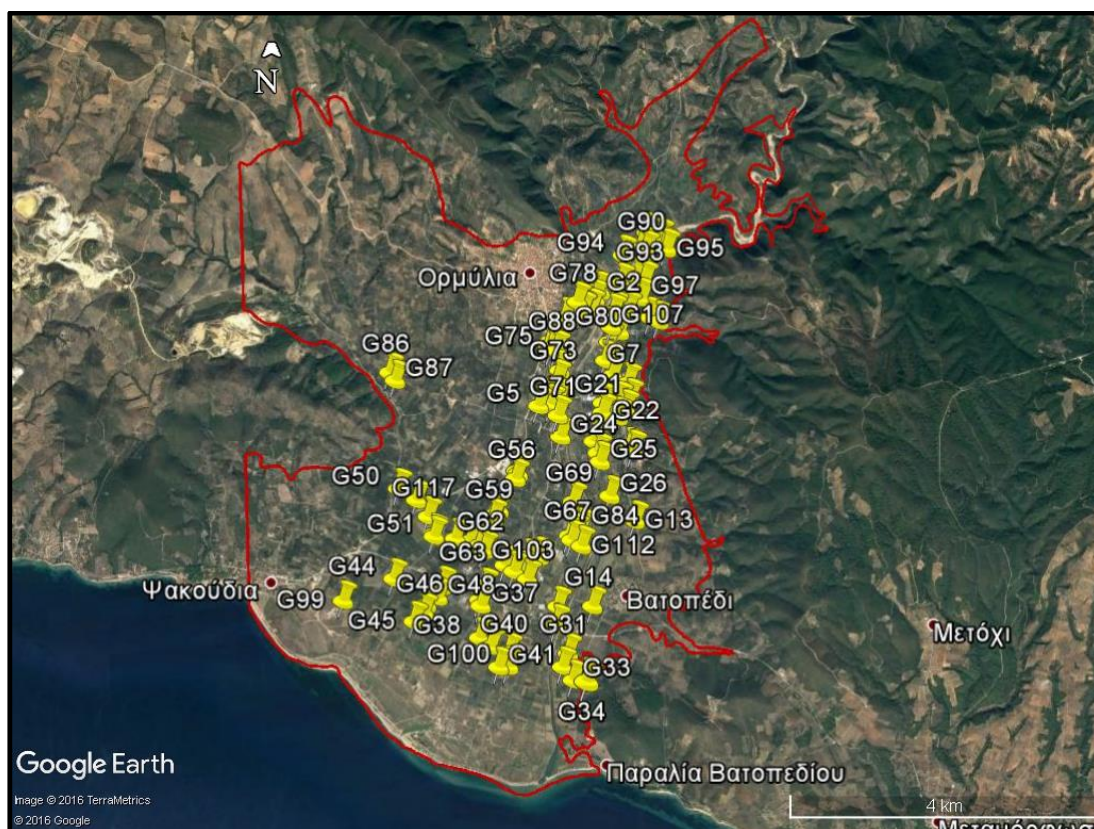
Ειδικότερα, στην περιοχή έρευνας έχουν παρατηρηθεί, κυρίως, κατακόρυφα ρήγματα που παρουσιάζουν διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ και ΒΑ - ΝΔ (Μουντράκης, 2010).

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής καθορίζονται από τα λιθολογικά χαρακτηριστικά, καθώς και από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών. Συγκεκριμένα, η πιο σημαντική υδροφορία αναπτύσσεται εντός των Τεταρτογενών και των Νεογενών αποθέσεων. Ο υδροφορέας αυτός καλύπτει τις υδατικές ανάγκες της περιοχής μέσω των γεωτρήσεων, που έχουν ανορυχθεί.

3.1 Πιεζομετρία

Στην περιοχή έρευνας απογράφηκαν συνολικά 120 γεωτρήσεις και πηγάδια. Η μέτρηση της στάθμης του υπόγειου νερού πραγματοποιήθηκε σε 70 γεωτρήσεις με τη χρήση βαθμονομημένου σταθμημέτρου, κατά την υγρή και ξηρή περίοδο (Μάιος, Οκτώβριος 2016) (Σχήμα 13).



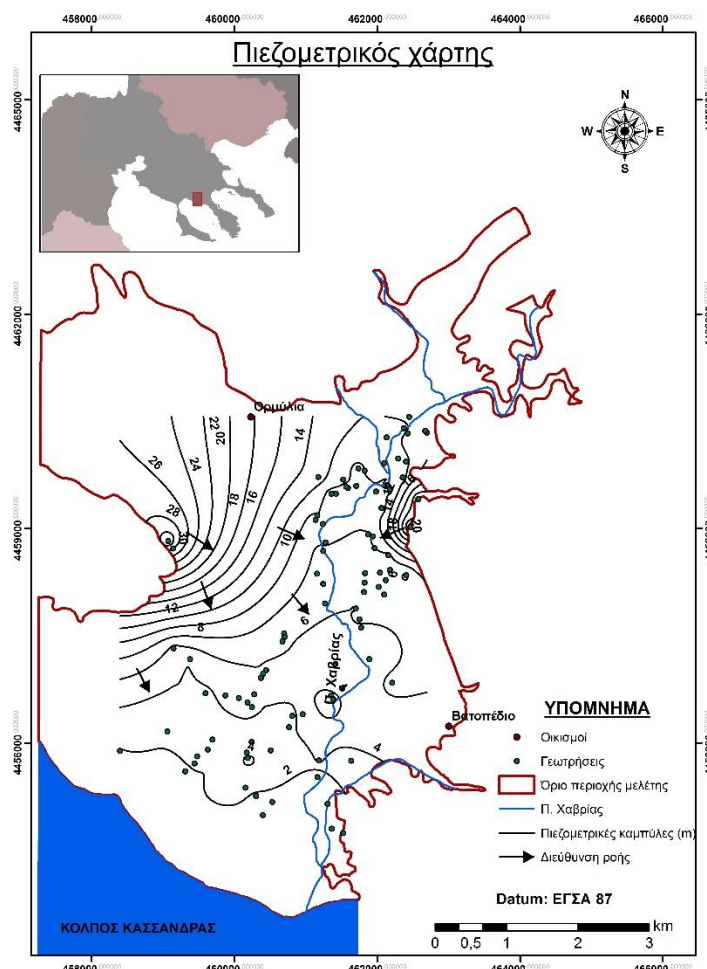
Σχήμα 13. Χάρτης των γεωτρήσεων στην περιοχή έρευνας.



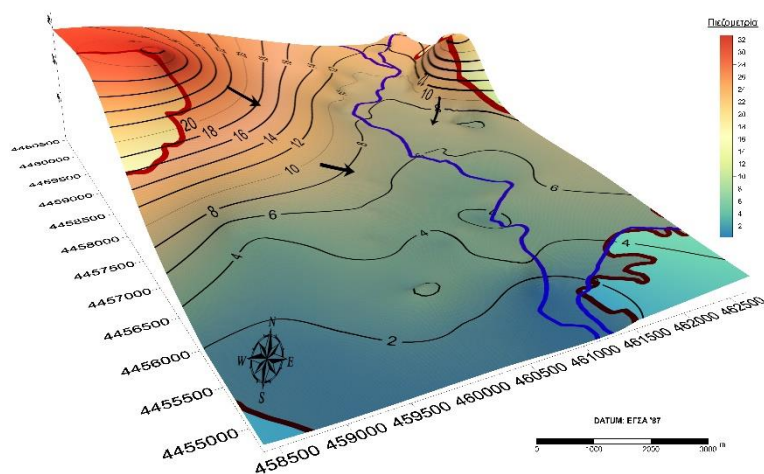
Σχήμα 14. Εικόνες από την απογραφή των γεωτρήσεων και την μέτρηση στάθμης με το σταθμήμετρο του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ...

Τα δεδομένα για τις δύο περιόδους, όπως προέκυψαν από τις υπαίθριες εργασίες, επεξεργάστηκαν και παρουσιάστηκαν στο ArcMap σε περιβάλλον GIS. Το Μάιο του 2016 (υγρή περίοδος), η στάθμη εντοπίστηκε σε βάθη που κυμαίνονται από 2 έως 8 m, από την επιφάνεια του εδάφους, σε περιοχές εκατέρωθεν του ποταμού Χαβρία. Στο παράκτιο τμήμα, τα βάθη κυμαίνονται από 0,5 έως 4,5 m, ενώ στο δυτικό τμήμα η στάθμη συναντήθηκε σε βάθος περίπου 12 m. Τον Οκτώβριο του 2016, η στάθμη κυμαίνεται από 4 έως 12 m εκατέρωθεν των περιοχών του ποταμού Χαβρία. Παρατηρείται δηλαδή, πτώση στάθμης που κυμαίνεται από 2 έως 4 m. Στο παράκτιο τμήμα η πτώση στάθμης είναι από 0,3 έως 3 m, ενώ στο δυτικό τμήμα της περιοχής φθάνει τα 15 m και είναι αποτέλεσμα της υπερ-εκμετάλλευσης του υπόγειου νερού, λόγω της αυξημένης ζήτησης για την κάλυψη των υδατικών αναγκών, την καλοκαιρινή περίοδο.

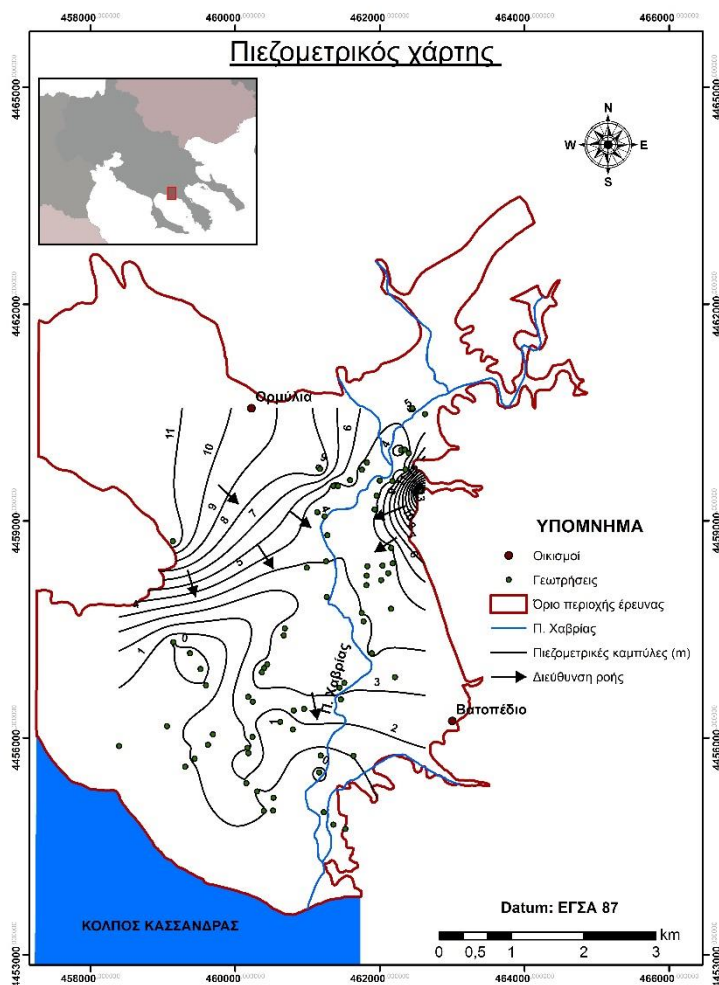
Στα Σχήματα 15, 16, 17, 18 παρουσιάζονται οι πιεζομετρικοί χάρτες, που αφορούν την υγρή και ξηρή περίοδο του 2016, καθώς επίσης απεικονίζεται τρισδιάστατα, η διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού. Η δημιουργία των θεματικών αυτών χαρτών πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS και Surfer.



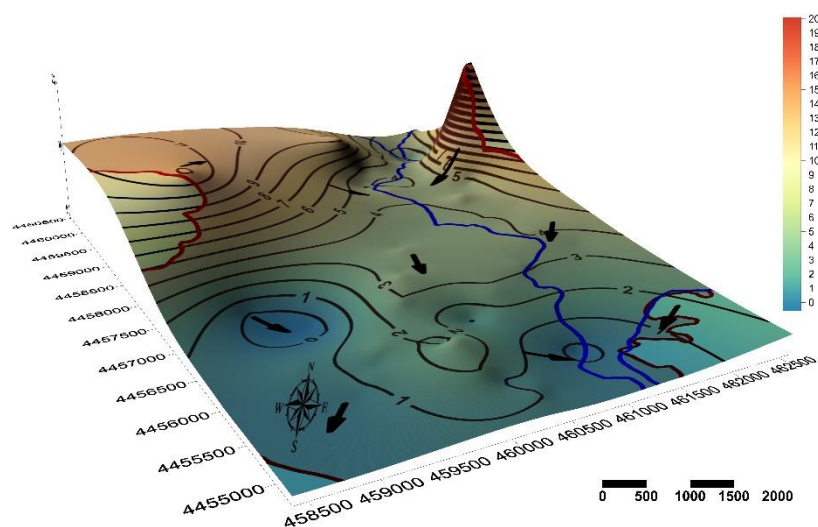
Σχήμα 15. Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο Μαΐου – 2016, ύστερα από επεξεργασία των δεδομένων σε περιβάλλον GIS.



Σχήμα 16. Τρισδιάστατη απεικόνιση της πιεζομετρίας της περιοχής και της διεύθυνσης ροής του υπόγειου νερού για την περίοδο Μαΐου 2016, σε περιβάλλον Surfer.

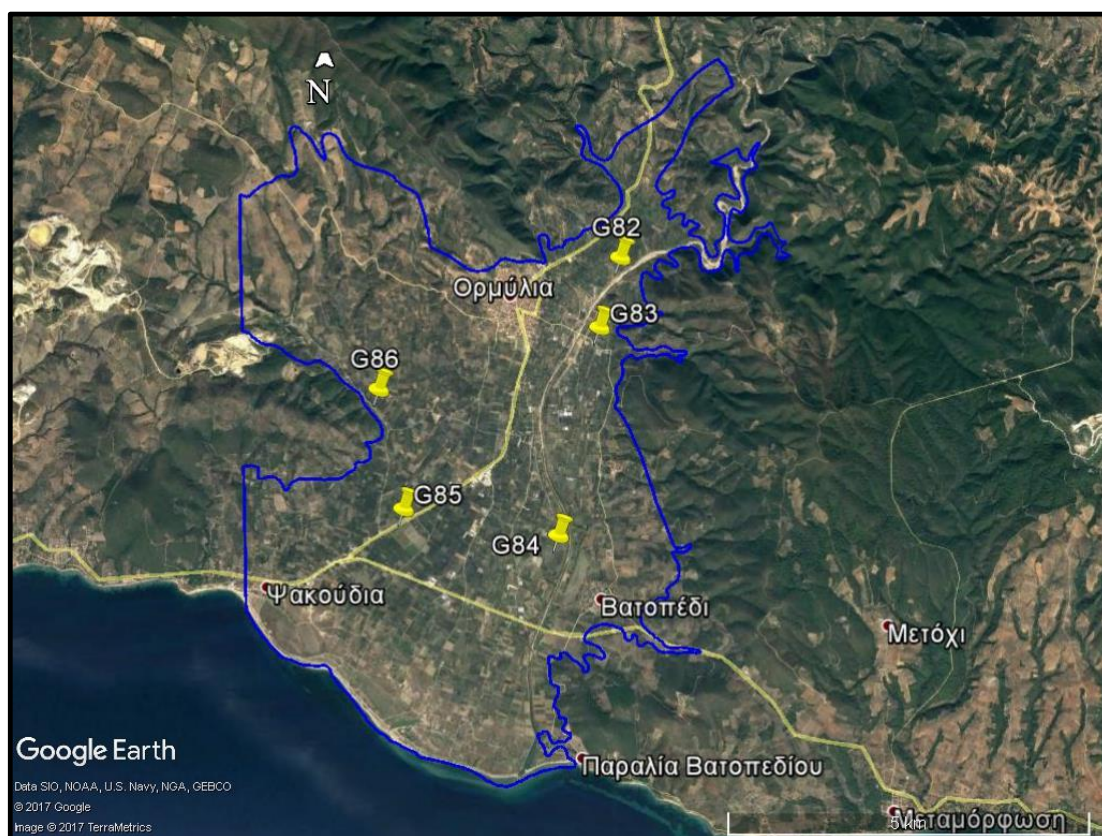


Σχήμα 17. Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο Οκτωβρίου – 2016, ύστερα από επεξεργασία των δεδομένων σε περιβάλλον GIS

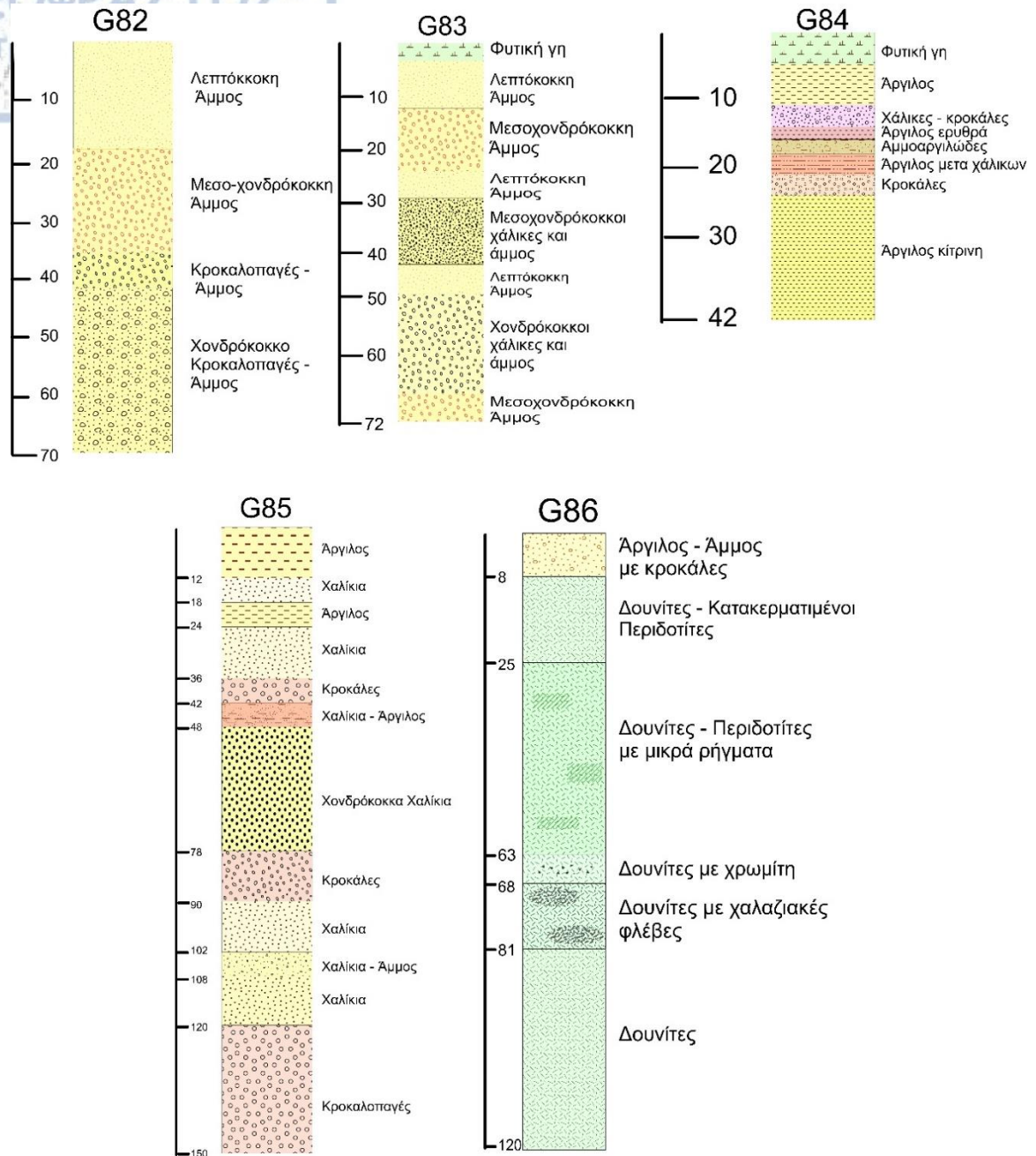


Σχήμα 18. Τρισδιάστατη απεικόνιση της πιεζομετρίας της περιοχής και της διεύθυνσης ροής του υπόγειου νερού, για την περίοδο Οκτωβρίου 2016, σε περιβάλλον Surfer.

Από τη μελέτη των πιεζομετρικών χαρτών και από τα τρισδιάστατα μοντέλα για τις δύο περιόδους (υγρή και ξηρή), διαπιστώνεται ότι ο υδροφορέας τροφοδοτεί το ποτάμι στο βόρειο και κεντρικό τμήμα. Παράλληλα, αξιολογώντας τα λιθολογικά προφίλ των γεωτρήσεων (Σχήμα 19 και Σχήμα 20), καθώς και την πιεζομετρία της περιοχής (Σχήμα 15 και Σχήμα 17), διαπιστώνεται ότι ο υδροφορέας, που αναπτύσσεται εντός των Ολοκαινικών αλλουβιακών αποθέσεων, είναι ελεύθερος και ρηχός και μεταπίπτει, κυρίως στο νότιο τμήμα της περιοχής, κατά θέσεις σε υπό πίεση, καθώς παρεμβάλλονται αργιλικοί σχηματισμοί.



Σχήμα 19. Οι γεωτρήσεις για τις οποίες παρουσιάζονται λιθολογικά προφίλ, όπως αυτές απεικονίζονται στις εικόνες Google Earth



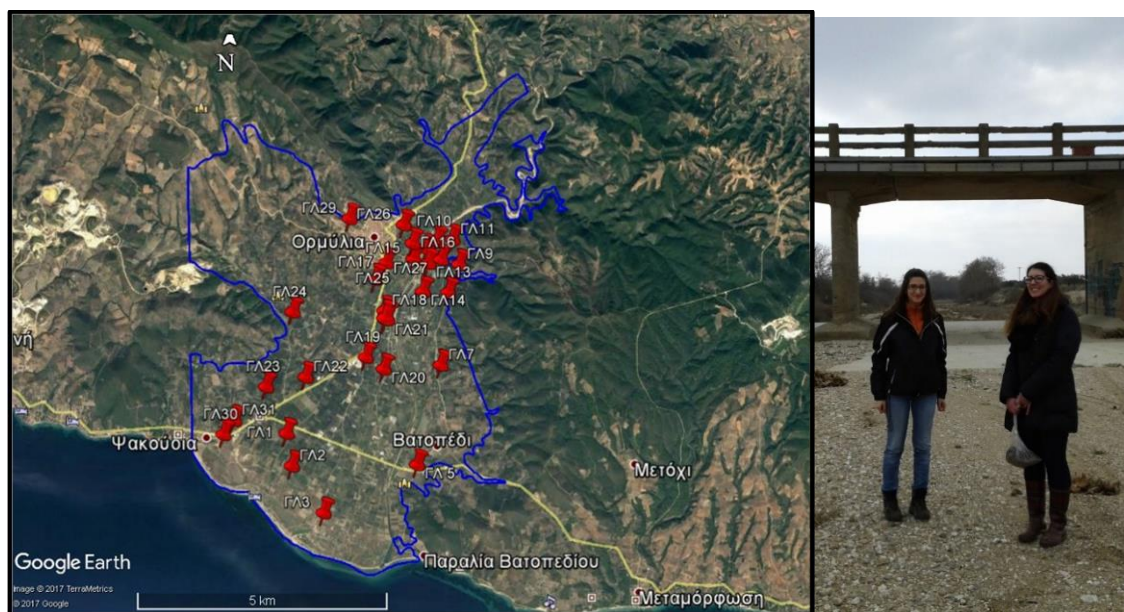
Σχήμα 20. Λιθολογικές τομές από 6 γεωτρήσεις

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας υπολογίζεται μέσω εμπειρικών τύπων ή με επιτόπου δοκιμές (Βουδούρης, 2013). Οι εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας της ακόρεστης ζώνης, που πραγματοποιήθηκαν είναι η κοκκομετρική ανάλυση και η ανάλυση ιλύος. Οι δοκιμές υλοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά, τα επιμέρους στάδια των εργαστηριακών δοκιμών.

4.1 Δειγματοληψία εδαφικού υλικού ακόρεστης ζώνης

Κατά το πρώτο στάδιο, πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία του εδαφικού υλικού. Συνολικά, συλλέχθηκαν 28 εδαφικά δείγματα, από το βάθος περίπου των 0,30 m, τα οποία καλύπτουν την περιοχή έρευνας έχοντας την κατάλληλη χωρική κατανομή (Σχήμα 21).



Σχήμα 21. Στην αριστερή εικόνα, απεικονίζονται οι θέσεις δειγματοληψίας εντός του ορίου της περιοχής έρευνας, όπως αυτές απεικονίζονται από τις εικόνες του Google Earth. Η δεξιά εικόνα είναι φωτογραφία από τη θέση δειγματοληψίας εντός της κοίτης του ποταμού Χαβρία.

Η συλλογή των δειγμάτων έγινε με τη χρήση του δειγματολήπτη, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 22. Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε σακουλάκια, τα οποία κλείστηκαν αεροστεγώς, ώστε να διατηρηθεί η φυσική τους

υγρασία (Σχήμα 22) και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές.



Σχήμα 22. Στην πρώτη φωτογραφία απεικονίζεται ο δειγματολήπτης, στην δεύτερη, η δειγματοληψία και στην τρίτη φωτογραφία η συλλογή του υλικού.

4.2 Κοκκομετρική ανάλυση εδαφικού υλικού με κόσκινα

Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει την κοκκομετρική ανάλυση. Η κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα χρησιμοποιείται για την εξέταση υλικού με μέγεθος κόκκων $d > 0,075 \text{ mm}$. Η διαβάθμιση του υλικού αποσκοπεί στην ταξινόμησή του, σύμφωνα με το Unified Soil Classification System (USCS, 1953, AASHTO, 1961, IAEG, 1981).

Αρχικά, προσδιορίζεται η φυσική υγρασία του κάθε δείγματος. Το δείγμα τοποθετείται σε κάψα και έπειτα, ζυγίζεται σε ζυγαριά ακριβείας. Στη συνέχεια, το δείγμα ξηραίνεται σε ειδικό φούρνο στους 105°C για 24 ώρες (Σχήμα 23). Όταν συμπληρωθούν οι 24 ώρες, το δείγμα ζυγίζεται ξανά, ώστε να προσδιοριστεί το βάρος του ξηρού πλέον υλικού. Πρέπει να αναφερθεί ότι η ποσότητα του υλικού που απαιτείται για την ανάλυση αυτή είναι περίπου στα 500 gr (Σχήμα 23).



Σχήμα 23. Η πρώτη εικόνα απεικονίζει τα τοποθετημένα για ξήρανση δείγματα, ύστερα από την ζύγιση τους. Ενώ, στην δεξιά εικόνα απεικονίζεται ο ζυγός ακριβείας, και το ξηρό υλικό. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ., κατά την ανάλυση των δειγμάτων.

Η φυσική υγρασία του δείγματος ισούται με την διαφορά του βάρους του υγρού δείγματος με το ξηρό δείγμα, όταν αυτό διαιρεθεί με το ξηρό βάρος και εκφραστεί επί τις εκατό. Η παραπάνω περιγραφή εκφράζεται από τον τύπο:

$$m = \frac{W - W_s}{W_s} * 100(\%)$$

όπου: m: περιεκτικότητα σε νερό

W: βάρος υγρού δείγματος

Ws: βάρος ξηρού δείγματος

Τα βάρη που χρησιμοποιούνται αφορούν το καθαρό βάρος του δείγματος, χωρίς το βάρος της κάψας (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002).

4.2.1 Μέθοδος κοσκινίσματος

Η κατανομή των κόκκων επιτυγχάνεται με τη χρήση πρότυπων κόσκινων με τετραγωνικές οπές (AASHTO T-27/66, ASTM C-136). Η σειρά των κόσκινων που χρησιμοποιήθηκαν, στην εργασία, είναι από πάνω προς τα κάτω: 19 mm (3/4"), 12,5 mm (1/2"), 9,45 mm (3/8"), 6,3 mm (1/4"), 4,75 mm (No 4), 2 mm (No 10), 0,425 mm

(No 40), 0,15 mm (No 100), 0,075 mm (No 200) και η παιπάλη ($< 0,075$ mm). Το υλικό τοποθετείται στα κόσκινα, έπειτα από την διάσπαση των συσσωμάτων, που υπάρχουν στο ξηρό δείγμα. Η αποσυσσωμάτωση γίνεται με τη χρήση γουδιού. Τα κόσκινα τοποθετούνται στην αυτόματη συσκευή κοσκινίσματος και τίθεται σε λειτουργία για 15 λεπτά περίπου. Στη συνέχεια, ζυγίζεται ξεχωριστά το περιεχόμενο του κάθε κόσκινου και μετατρέπεται σε ποσοστό επί τις εκατό του συνολικού βάρους του δείγματος (Σχήμα 24).



Σχήμα 24. Στην παραπάνω εικόνα, απεικονίζονται τα δείγματα υστέρα από την επεξεργασία τους με γουδί. Στην κάτω φωτογραφία, απεικονίζεται η σειρά των κόσκινων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση αυτή, καθώς και η αυτόματη συσκευή κοσκινίσματος. Οι παραπάνω φωτογραφίες λήφθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ..

4.3 Ανάλυση ιλύος

Όταν το υπό εξέταση υλικό περιέχει κόκκους με διάμετρο $d < 0,075 \text{ mm}$, σε ποσοστό μεγαλύτερο από 25%, τότε πραγματοποιείται ανάλυση ιλύος.

Για την μέτρηση της πυκνότητας του αιωρούμενου στερεού υλικού μέσα σ' ένα υγρό μέσο χρησιμοποιείται το αραιόμετρο. Το αραιόμετρο είναι ένα βαθμονομημένο όργανο με υποδιαίρεσεις από το 0 – 60 gr/lit. Οι διαφορές που παρατηρούνται κατά την μέτρηση της πυκνότητας, σε τακτά χρονικά διαστήματα δείχνουν την καθίζηση των αιωρούμενων κόκκων (Χρηστάρας, 2006).

Αρχικά, το ξηρό δείγμα (χωρίς τα συσσωματώματα), διέρχεται από το κόσκινο με διάμετρο 2 mm (No 10) και από την παιπάλη. Η ποσότητα που απαιτείται για την ανάλυση αυτή είναι περίπου στα 50 gr.

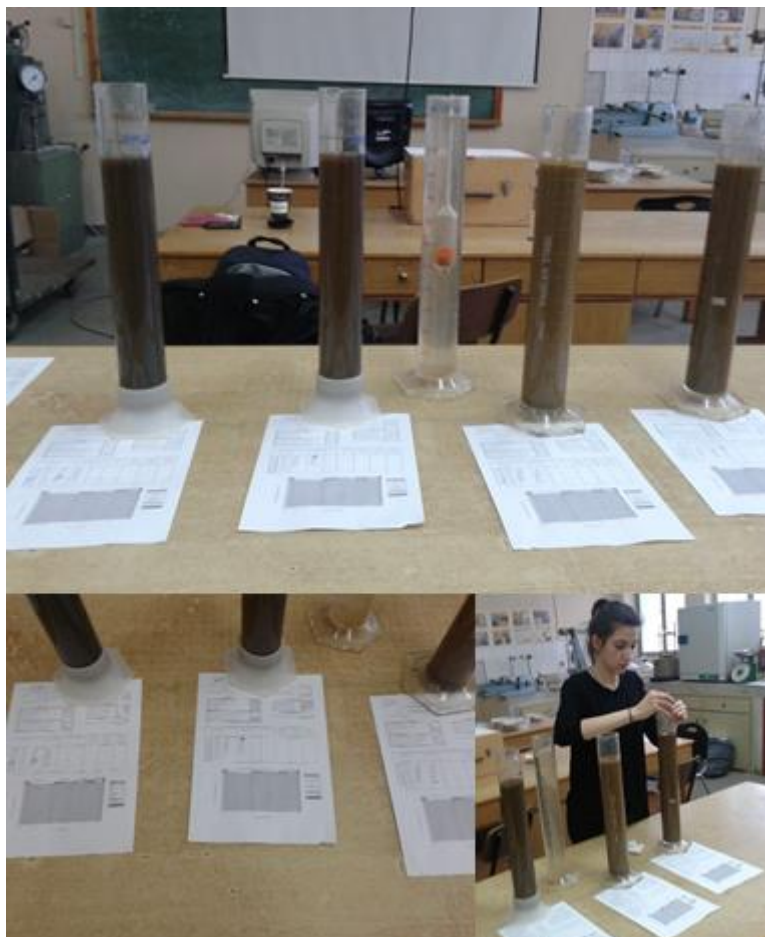
Στη συνέχεια, σε ένα ποτήρι ζέσεως τοποθετούνται 125 ml απιονισμένο νερό, 2,7 gr NaPO_3 και τα 50 gr δείγματος. Με μια γυάλινη ράβδο γίνεται ανάδευση για περίπου 1 λεπτό. Το μείγμα, διαβρέχεται για 24 ώρες για την αποσυσσωμάτωση των κόκκων (Σχήμα 25).



Σχήμα 25. Στην εικόνα παρουσιάζονται τα έτοιμα για ανάλυση δείγματα, τα ποτήρια ζέσεως μαζί με το πολυφωσφορικό νάτριο και τέλος το διάλυμα πολυφωσφορικού νατρίου και εδαφικού υλικού, έτοιμο για την 24ωρη διαβροχή του. Οι παραπάνω φωτογραφίες λήφθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ..

Όταν παρέλθουν οι 24 ώρες, το περιεχόμενο του ποτηριού ζέσεως μεταφέρεται με επίπλυση σε ένα δοχείο, το οποίο αναδεύεται σε μηχανοκίνητη συσκευή για τουλάχιστον 1 λεπτό. Στη συνέχεια, το περιεχόμενο του δοχείου τοποθετείται σε γυάλινο ογκομετρικό κύλινδρο χωρητικότητας 1000 ml, όπου συμπληρώνεται με απιονισμένο νερό. Τέλος, ο ογκομετρικός κύλινδρος ανακινείται για 1 λεπτό. (Σχήμα 26).

Μετά το πέρας της ανατάραξης, τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο και λαμβάνεται η μέτρηση του αραιομέτρου και η ένδειξη της θερμοκρασίας, για το πρώτο λεπτό. Οι μετρήσεις ελήφθησαν στο 1,2,5,30,60, 250 και 1440 min. Το αραιόμετρο, αλλά και το θερμόμετρο τοποθετούνται αργά και προσεκτικά με περιστροφική κίνηση μέσα στον ογκομετρικό, για να αποφευχθεί η διατάραξη του (Χρηστάρας, 2011).



Σχήμα 26. Στην παραπάνω εικόνα, απεικονίζονται οι ογκομετρικοί κύλινδροι μαζί με το αιώρημα, καθώς και το αραιόμετρο. Ακριβώς, από κάτω φαίνεται το φύλλο καταγραφής, αλλά και η διαδικασία μέτρησης. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ..

Τέλος, έπειτα από την τελευταία μέτρηση το αιώρημα ξεπλένεται πάνω στο κόσκινο με No 200 και αυτό που συγκρατείται, ξηραίνεται εκ νέου και κοσκινίζεται σε

μια σειρά από κόσκινα. Τα κόσκινα από πάνω προς τα κάτω είναι τα 0,425 mm (No 40), 0,3 mm (No 50), 0,15 mm (No 100) και 0,075 mm (No 200).

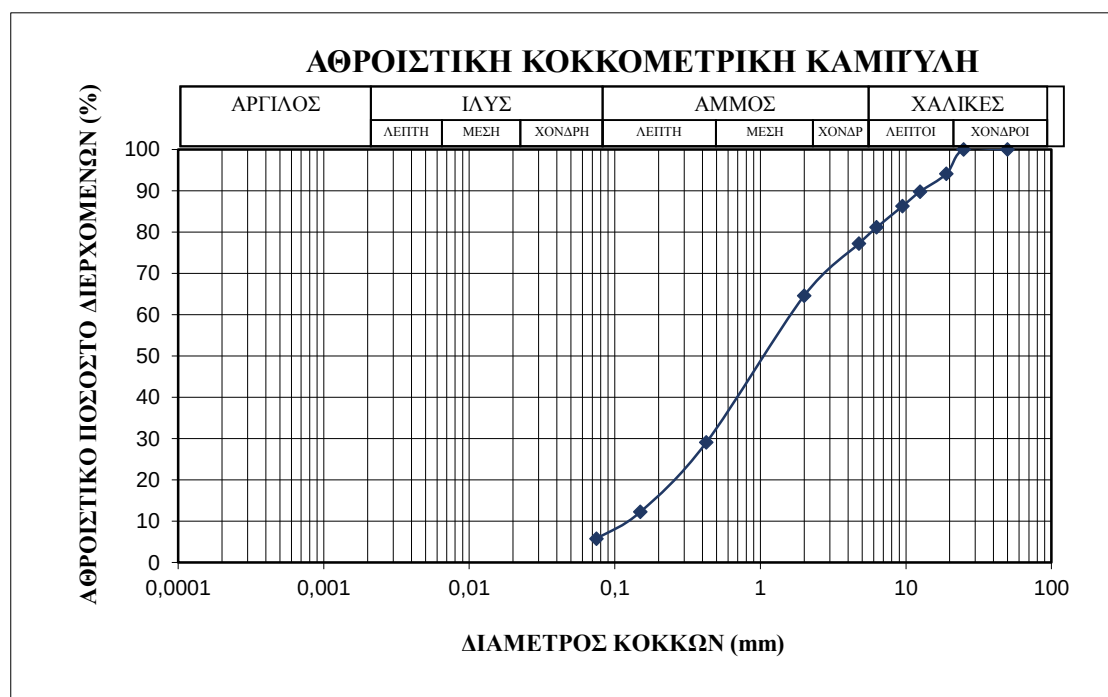
4.4 Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ένα ημι-λογαριθμικό διάγραμμα με τα ποσοστά του διερχόμενου υλικού από τα κόσκινα στον κατακόρυφο άξονα και την διάμετρο των κόκκων στον οριζόντιο άξονα. Επομένως, παρουσιάζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση με τη μορφή καμπύλης. Μέσω της καμπύλης προσδιορίζεται ο συντελεστής ομοιομορφίας του εδάφους, ο βαθμός διαβάθμισης και ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας.

4.4.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών για 4 εδαφικά δείγματα. Στο Παράρτημα 1, παρατίθενται οι κοκκομετρικές καμπύλες, για τα 28 δείγματα εδαφικού υλικού, με τους αντίστοιχους πίνακες κατανομής υλικού.

➤ Δείγμα 9

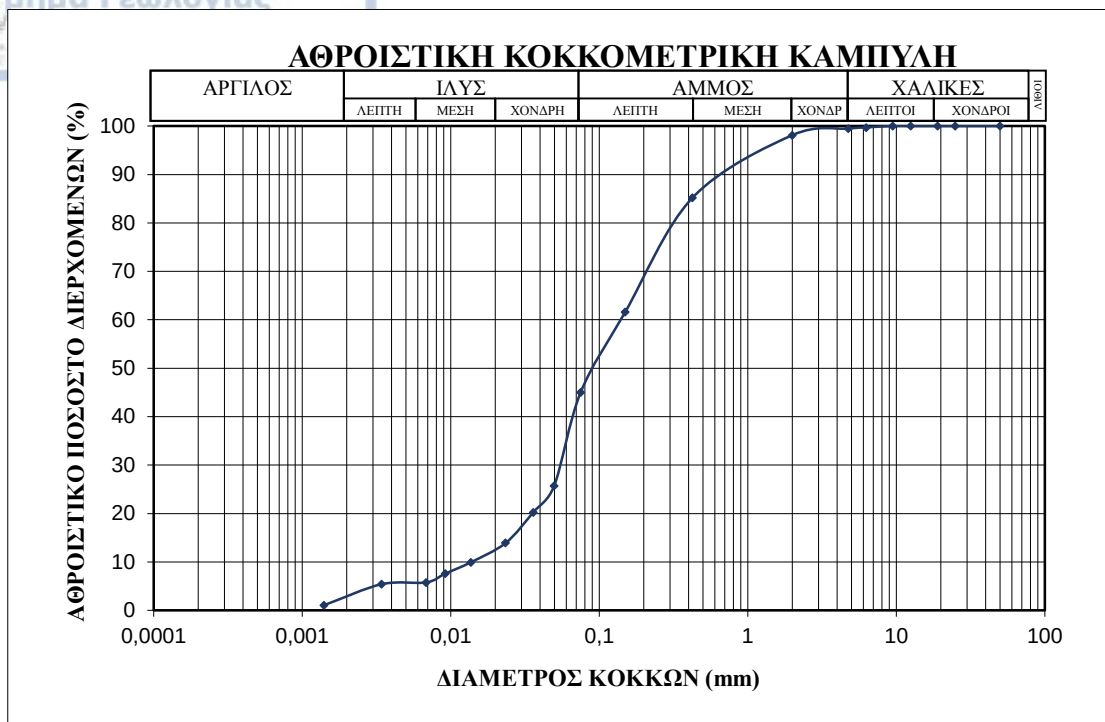


Σχήμα 27. Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος 9.

Πίνακας 4. Ποσοστιαία κατανομή (%) υλικού δείγματος 9.

Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ9	9		71	20

➤ **Δείγμα 11**

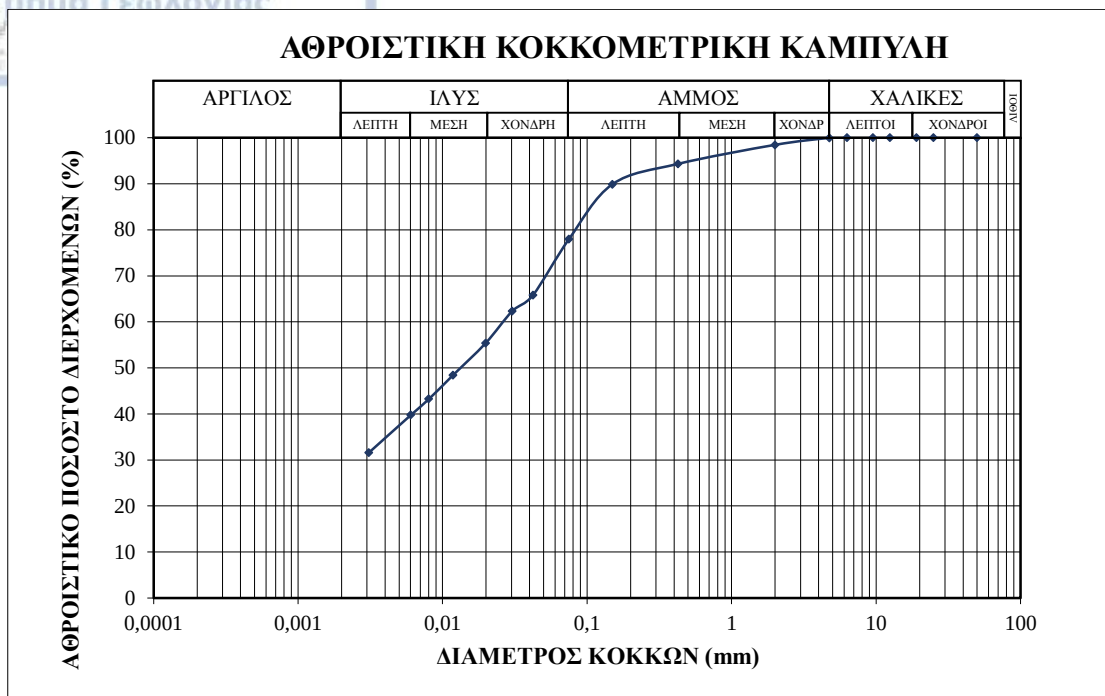


Σχήμα 28. Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος 11.

Πίνακας 5. Ποσοστιαία κατανομή (%) υλικού δείγματος 11.

Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ11	3	42	55	0

➤ **Δείγμα 23**

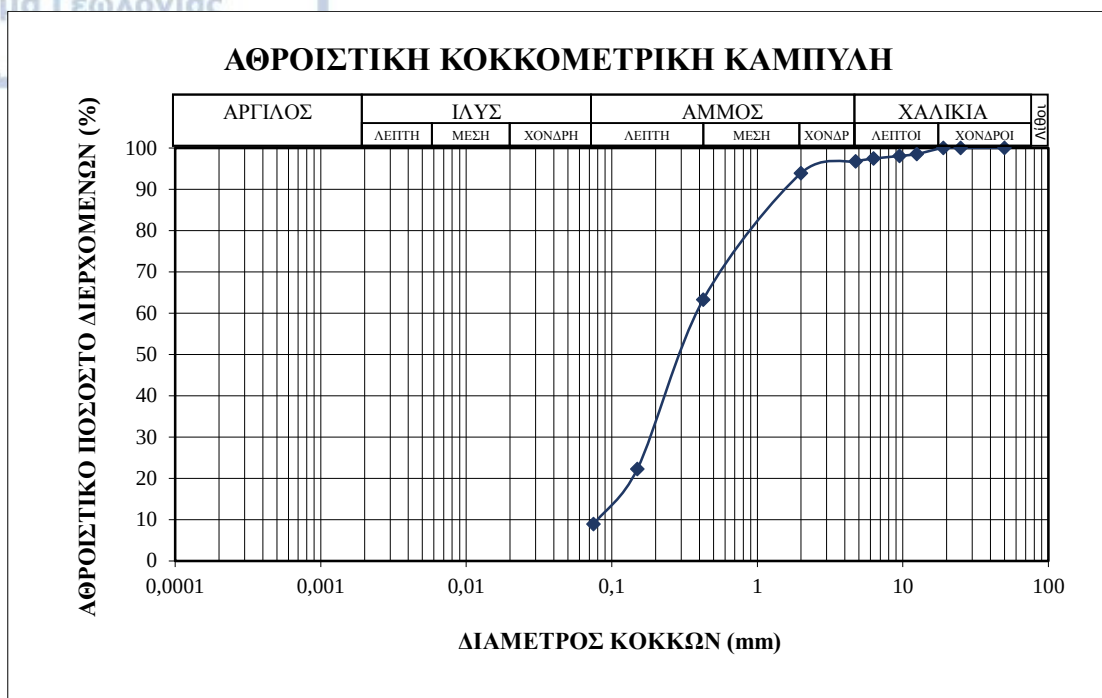


Σχήμα 29. Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος 23.

Πίνακας 6. Ποσοστιαία κατανομή (%) υλικού δείγματος 23.

Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ23	30	48	22	0

➤ **Δείγμα 27**



Σχήμα 30. Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος 27.

Πίνακας 7. Ποσοστιαία κατανομή (%) υλικού δείγματος 27.

Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ27	9		88	3

4.5 Προσδιορισμός συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας

Στην παρούσα εργασία, ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας υπολογίστηκε με τους ακόλουθους εμπειρικούς τύπους: Hazen, Biallas, Seelheim και Harleman. Οι εμπειρικοί αυτοί τύποι, που επιλέχθηκαν να εφαρμοστούν είναι οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι στη διεθνή βιβλιογραφία.

Σύμφωνα με τον Καλλέργη (1999), υπάρχει η ακόλουθη κατάταξη των τιμών της υδροπερατότητας:

Πίνακας 8. Τιμές υδροπερατότητας (m/sec) (Καλλέργης,1999).

Χαρακτηρισμός	Τιμή Υδροπερατότητας (m/sec)	Εδαφικό Υλικό
Πολύ μεγάλη	$k \geq 10^{-2}$	Χαλίκια
Μεγάλη	$10^{-5} < k < 10^{-2}$	Καθαροί άμμοι με χαλίκια
Μέτρια	$10^{-8} < k < 10^{-5}$	Λεπτόκοκκοι άμμοι
Μικρή	$10^{-10} < k < 10^{-8}$	Πλούχος άργιλος
Πολύ Μικρή	$k \leq 10^{-10}$	Καθαρή άργιλος

Ο τύπος του **Hazen** είναι ο πιο διαδεδομένος και εφαρμόζεται καλύτερα σε αδρόκοκκα υλικά. Ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας σύμφωνα με τον Hazen υπολογίζεται από την εξίσωση:

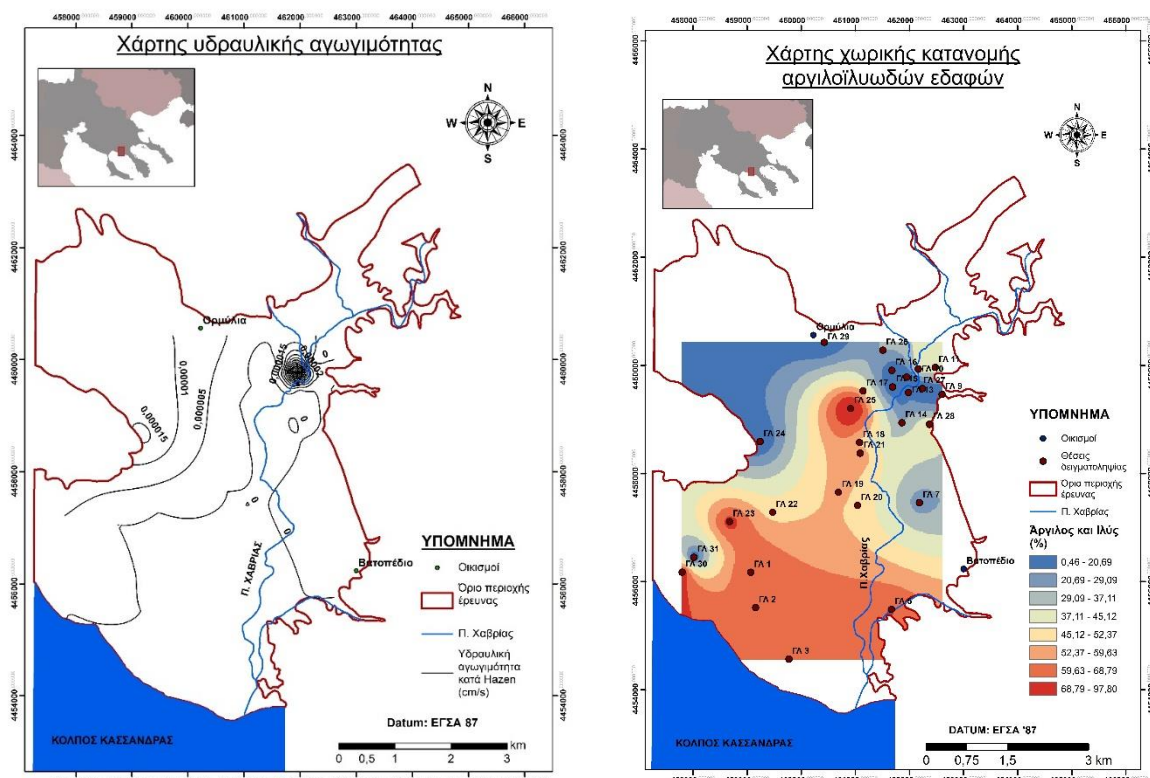
$$k = c * d_{10}^2 \text{ (cm/sec)}$$

όπου: k : συντελεστής υδροπερατότητας (cm/s)

d_{10} : ενεργός διάμετρο κόκκων (mm) (διάμετρος κόσκινου όπου περνάει το 10% του υλικού)

c : η κοκκομετρική διαβάθμιση, εμπειρικά δεχόμαστε μια μέση τιμή 100

Για την εφαρμογή του τύπου αυτού ισχύει η προϋπόθεση, ότι ο συντελεστής ομοιομορφίας είναι μικρότερος του 5. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του τύπου επεξεργάστηκαν σε περιβάλλον GIS, από όπου προέκυψε ο χάρτης του Σχήματος 31, α.



Σχήμα 31. α). Χάρτης του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας, όπως προέκυψε από την εφαρμογή του τύπου Hazen, για τα 28 εδαφικά δείγματα, σε περιβάλλον GIS. β) Χάρτης χωρικής κατανομής αργιλοΐλυωδών εδαφών, σε περιβάλλον GIS.

Η υδραυλική αγωγιμότητα κατά Hazen, στο βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας παρουσιάζει τιμές της τάξης $10^{-6} - 10^{-3}$ m/s και σύμφωνα με τον Καλλέργη, 1999, η υδροπερατότητα της περιοχής χαρακτηρίζεται από μεγάλη έως μέτρια. Στο δυτικό τμήμα, η υδροπερατότητα χαρακτηρίζεται μικρή έως πολύ μικρή με τιμές της τάξης $10^{-11} - 10^{-9}$ m/s. Στο ανατολικό τμήμα, χαρακτηρίζεται μέτρια, με τιμές της τάξης 10^{-6} m/s, ενώ στο νότιο τμήμα μικρή υδροπερατότητα, της τάξης 10^{-9} m/s. Τέλος, εκατέρωθεν των περιοχών του κάτω ρου του ποταμού Χαβρία, οι τιμές του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας είναι της τάξης $10^{-9} - 10^{-7}$ m/s (Σχήμα 31, α). Οι παραπάνω υπολογισμοί βρίσκονται σε αντιστοιχία με την χωρική κατανομή των ποσοστών αργίλου και ιλύος (Σχήμα 31, β).

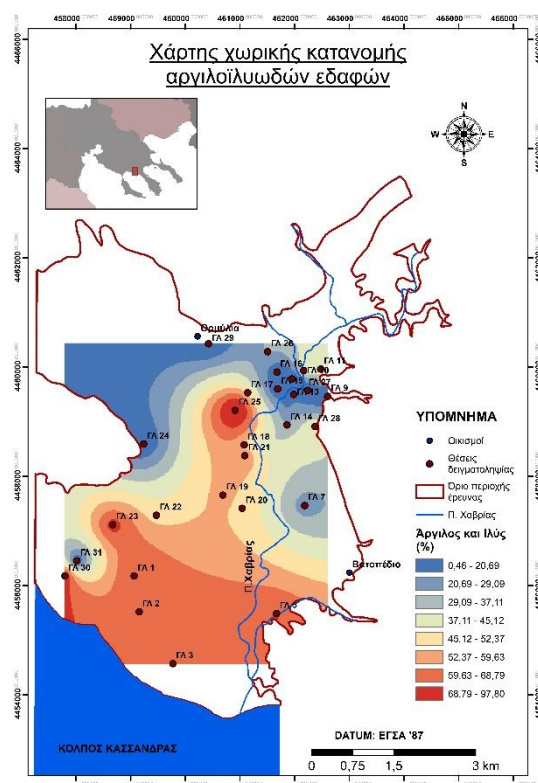
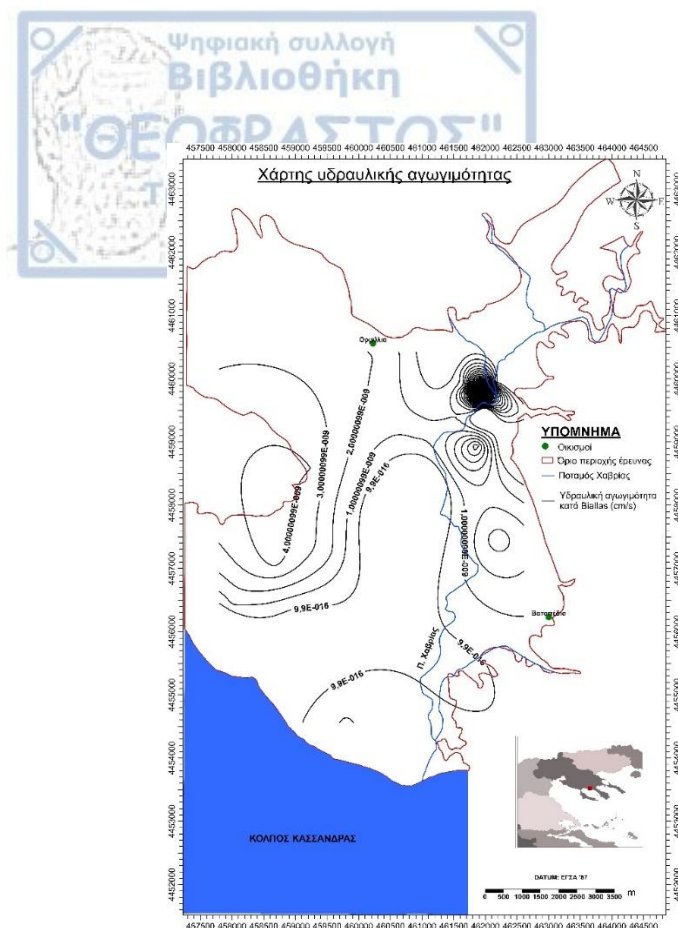
Σύμφωνα με τον **Biallas**, ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας υπολογίζεται με τον τύπο:

$$k = 0.0036 * d_{20}^{2.3} \text{ (m/s)}$$

όπου: k: συντελεστής υδροπερατότητας (m/s)

d_{20} : διάμετρος κόσκινου όπου περνάει το 20% του υλικού (mm)

Ο τύπος αυτός εφαρμόζεται με την προϋπόθεση, ότι ο συντελεστής ομοιομορφίας έχει τιμή μεγαλύτερη από την μονάδα και μικρότερη του 20.



Σχήμα 32. α) Χάρτης όπου απεικονίζεται ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας, όπως προέκυψε από την εφαρμογή του τύπου Biallas, για τα 28 εδαφικά δείγματα, σε περιβάλλον Surfer. β) Χάρτης χωρικής κατανομής αργιλοίλυδων εδαφών, σε περιβάλλον GIS.

Η υδροπερατότητα στο βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας, χαρακτηρίζεται πολύ μικρή, σύμφωνα με τον εμπειρικό τύπο Biallas και παρουσιάζει, τιμές της τάξης $10^{-13} - 10^{-10}$ m/s.. Παρόμοια εικόνα συναντάται στο δυτικό, ανατολικό, νότιο τμήμα, καθώς και εκατέρωθεν του κάτω ρου του Χαβρία (Σχήμα 32, α). Ωστόσο, στο βόρειοανατολικό τμήμα συναντώνται μεγάλα ποσοστά άμμων και χαλικών (Σχήμα 32, β).

Τέλος, εφαρμόστηκαν οι τύποι **Seelheim** και **Harleman**, σύμφωνα με τους οποίους υπολογίστηκε ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας:

- **Seelheim**

$$k = 0.00357 * d_{50}^2 \text{ (m/s)}$$

όπου: k: συντελεστής υδροπερατότητας (m/s)

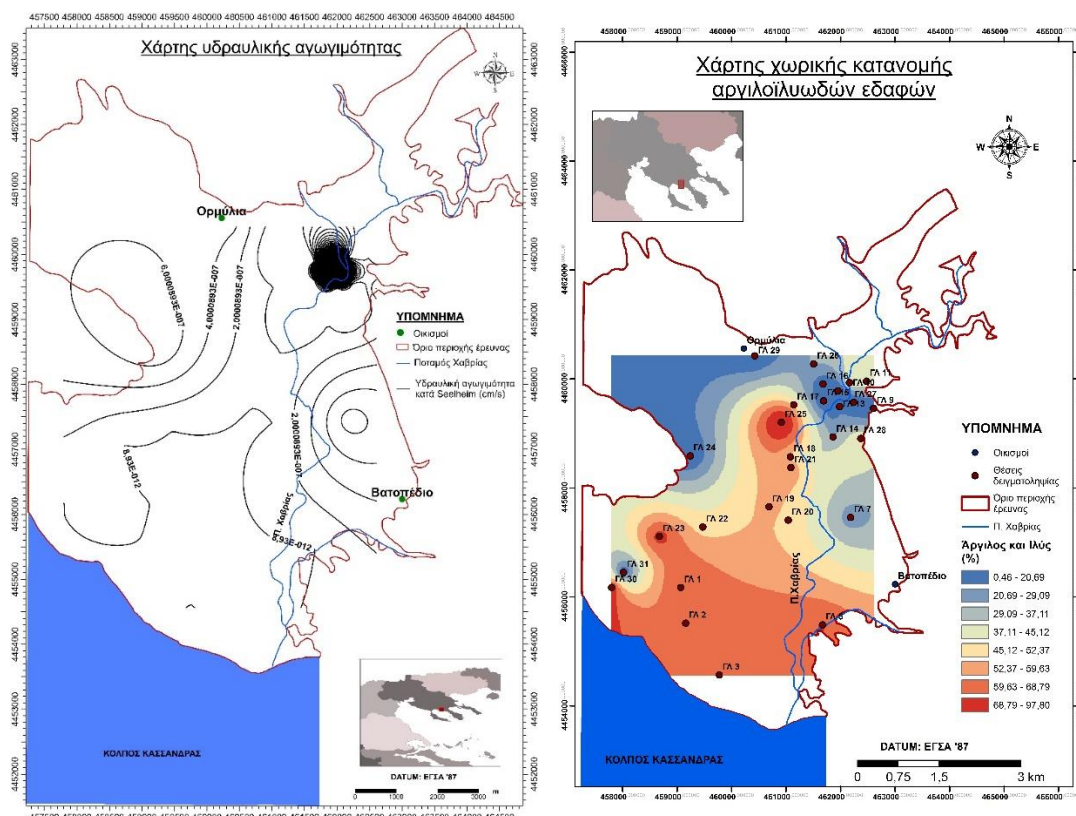
d_{50} : διάμετρος κόσκινου όπου περνάει το 50% του υλικού (mm)

και

$$k = (6.54 \cdot 10^{-4}) \cdot d_{ev}^2 \text{ (cm/s)}$$

όπου: k: συντελεστής υδροπερατότητας (cm/s)

d_{ev} : ενεργός διάμετρο κόκκων (mm) (διάμετρος κόσκινου όπου περνάει το 10% του υλικού)

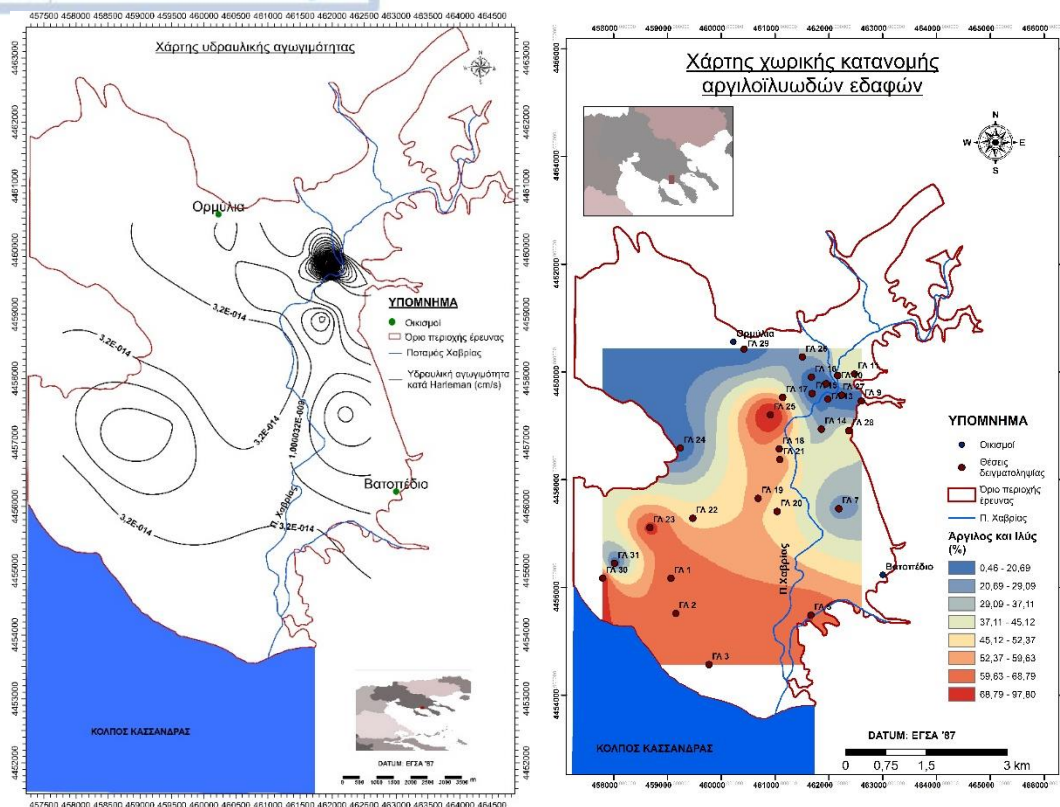


Σχήμα 33, α). Χάρτης όπου απεικονίζεται ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας, όπως προέκυψε από την εφαρμογή του τύπου Seelheim, για τα 28 εδαφικά δείγματα, σε περιβάλλον Surfer. β) Χάρτης χωρικής κατανομής αργιλοίλυδων εδαφών, σε περιβάλλον GIS.

Κατά τον Seelheim και τον Harleman η τιμή του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας, στο βόρειο τμήμα είναι της τάξης $10^{-11} - 10^{-9}$ m/s, δηλαδή χαρακτηρίζεται από μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα. Στο δυτικό τμήμα, οι τιμές είναι της τάξης $10^{-14} - 10^{-11}$ m/s, στο ανατολικό της τάξης $10^{-15} - 10^{-9}$ m/s στο νότιο $10^{-14} - 10^{-12}$ m/s και τέλος, εκατέρωθεν του κάτω ρου του ποταμού Χαβρία, οι τιμές είναι της τάξης $10^{-13} - 10^{-11}$ m/s (Σχήμα 33, α και Σχήμα 34, α).

Οι τιμές που υπολογίστηκαν στο νότιο και το δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας είναι αντίστοιχες με τα ποσοστά αργίλου και ιλύος, που κυμαίνονται από 60%

έως 97% (Σχήμα 33, β και Σχήμα 34, β). Σε αντίθεση, με τις τιμές στο βόρειο και ανατολικό τμήμα, που δεν αντιπροσωπεύουν τις εδαφικές συνθήκες της περιοχής.

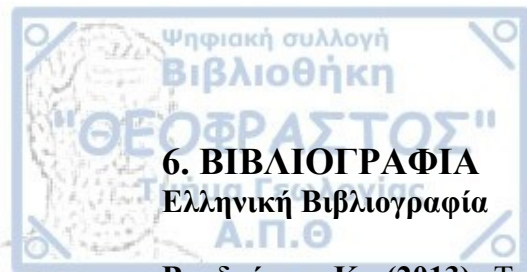


Σχήμα 34, α). Χάρτης όπου απεικονίζεται ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας, όπως προέκυψε από την εφαρμογή του τύπου Harleman, για τα 28 εδαφικά δείγματα, σε περιβάλλον Surfer. β) Χάρτης χωρικής κατανομής αργιλοϊλυωδών εδαφών, σε περιβάλλον GIS.

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται συγκριτικά και συγκεντρωτικά, οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας (m/s) της ακόρεστης ζώνης, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή των 4 εμπειρικών τύπων. Από τον πίνακα αυτό διαπιστώνεται ότι οι εμπειρικές μέθοδοι αποκλίνουν μεταξύ τους. Ο τύπος Hazen δίνει μεγαλύτερες τιμές συγκριτικά με τους άλλους και λαμβάνοντας υπόψιν την χωρική κατανομή του ποσοστού αργίλου και ιλύος, συμπεραίνεται ότι ο τύπος **Hazen** είναι αυτός που ανταποκρίνεται καλύτερα στην εδαφικές συνθήκες της περιοχή έρευνας.

Πίνακας 9. Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας (m/s), όπως υπολογίστηκε από τους εμπειρικούς τύπους.

Αριθμός Δείγματος	Hazen (m/s)	Biallas (m/s)	Seelheim (m/s)	Harleman (m/s)
ΓΛ1	9,00E-10	8,28E-16	5,71E-12	5,89E-15
ΓΛ2	4,90E-11	8,28E-16	3,00E-12	3,20E-16
ΓΛ3	3,60E-09	9,52E-16	6,00E-12	2,35E-14
ΓΛ5	2,25E-10	9,09E-18	1,73E-12	1,47E-15
ΓΛ7	1,00E-06	1,14E-12	9,14E-09	6,54E-12
ΓΛ9	1,69E-04	1,87E-11	4,32E-09	1,11E-09
ΓΛ10	2,50E-07	4,98E-14	1,75E-11	1,64E-12
ΓΛ11	2,25E-06	2,03E-13	2,89E-11	1,47E-11
ΓΛ12	2,70E-03	3,12E-10	1,41E-07	1,77E-08
ΓΛ13	3,61E-04	1,17E-12	3,00E-10	2,36E-11
ΓΛ14	2,25E-06	7,02E-13	6,03E-09	1,47E-11
ΓΛ15	1,00E-04	9,94E-12	1,80E-09	6,54E-10
ΓΛ16	5,63E-05	5,77E-12	6,60E-10	3,68E-10
ΓΛ17	1,23E-07	1,14E-14	2,76E-11	8,01E-13
ΓΛ18	4,90E-07	4,40E-14	2,01E-11	3,20E-12
ΓΛ19	2,50E-07	1,14E-14	1,42E-11	1,64E-12
ΓΛ20	6,40E-07	2,89E-14	2,01E-11	4,19E-12
ΓΛ21	1,02E-07	5,52E-15	1,20E-11	6,70E-13
ΓΛ22	4,00E-08	3,93E-15	2,34E-11	2,62E-13
ΓΛ23	3,60E-09	8,68E-17	6,03E-13	2,35E-15
ΓΛ24	3,24E-03	5,51E-11	8,03E-09	2,12E-09
ΓΛ25	4,90E-09	1,45E-16	1,51E-13	3,20E-14
ΓΛ26	1,44E-06	5,74E-13	1,73E-10	9,42E-12
ΓΛ27	6,40E-05	4,92E-12	3,00E-10	4,19E-10
ΓΛ28	2,50E-07	1,73E-14	2,01E-11	1,64E-12
ΓΛ29	2,25E-04	2,43E-11	4,32E-09	1,47E-07
ΓΛ30	9,00E-08	4,69E-16	8,93E-14	5,89E-11
ΓΛ31	1,96E-04	1,39E-11	1,42E-09	1,28E-07



6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βουδούρης, Κ., (2013): Τεχνική Υδρογεωλογία- Υπόγεια Νερά, Εκδόσεις Τζιόλας, Θεσσαλονίκη

Ι.Γ.Μ.Ε., (1978): Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας 1:50.000 φύλλο Αρναία υπό Kockel, F., Mollat H., Αντωνιάδη Π., Παπαδόπουλο Π., Αθήνα.

Καλλέργης Γ. (1999): Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τόμος Α, Υδρολογικός Κύκλος-Υδροφόροι-Κίνηση & Άντληση Υπόγειου Νερού, Υδρομαστευτικά Έργα, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Αθήνα

Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., (2002): Τεχνική Γεωλογία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα

Μουντράκης Δ., (2010): Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη

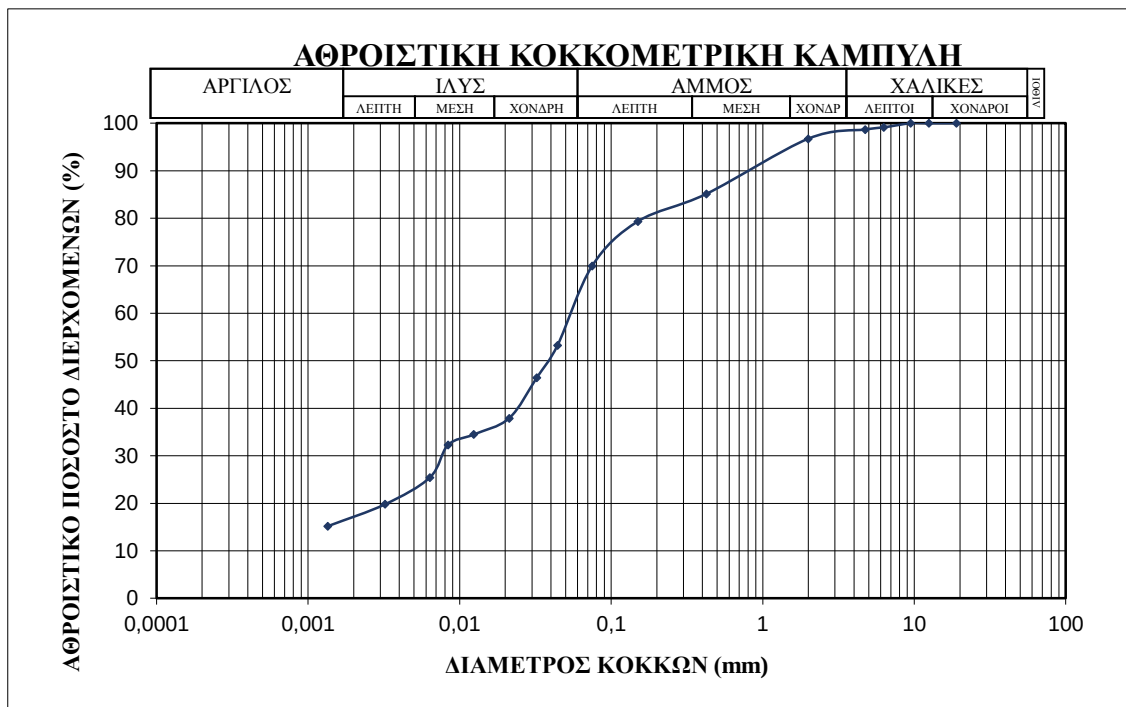
Χρηστάρας Β., (2006): Εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές εδαφομηχανικής. ΤΕΕ (β' έκδ.), Αθήνα

Χρηστάρας Β., Χατζηαγγέλου Μ., (2011): Απλά Βήματα στην Εδαφομηχανική, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη

Πηγές από το Διαδίκτυο:

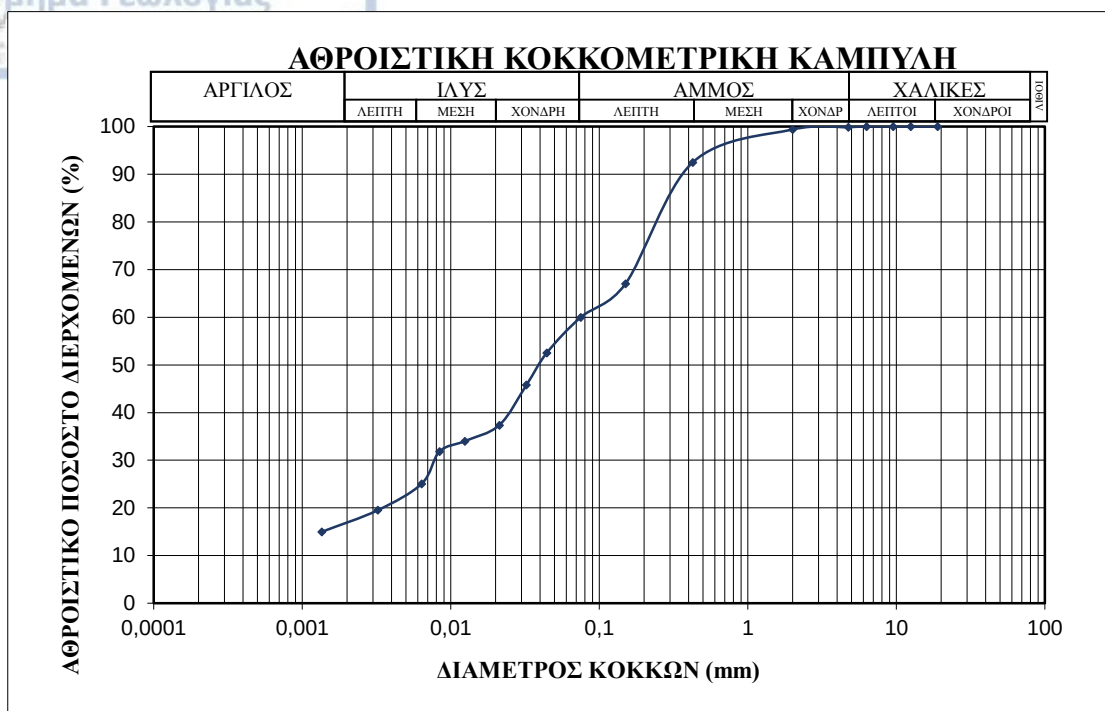
www.geodata.gr

www.statistics.gr (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία)



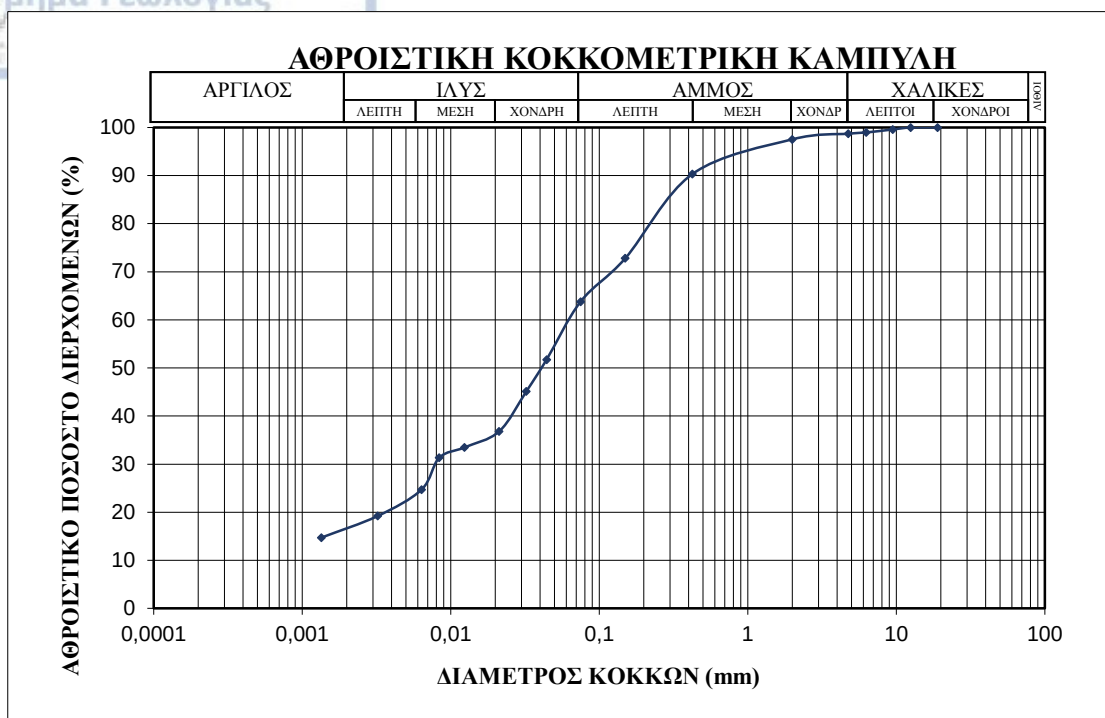
Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ1	16	54	29	1

○ Δείγμα 2



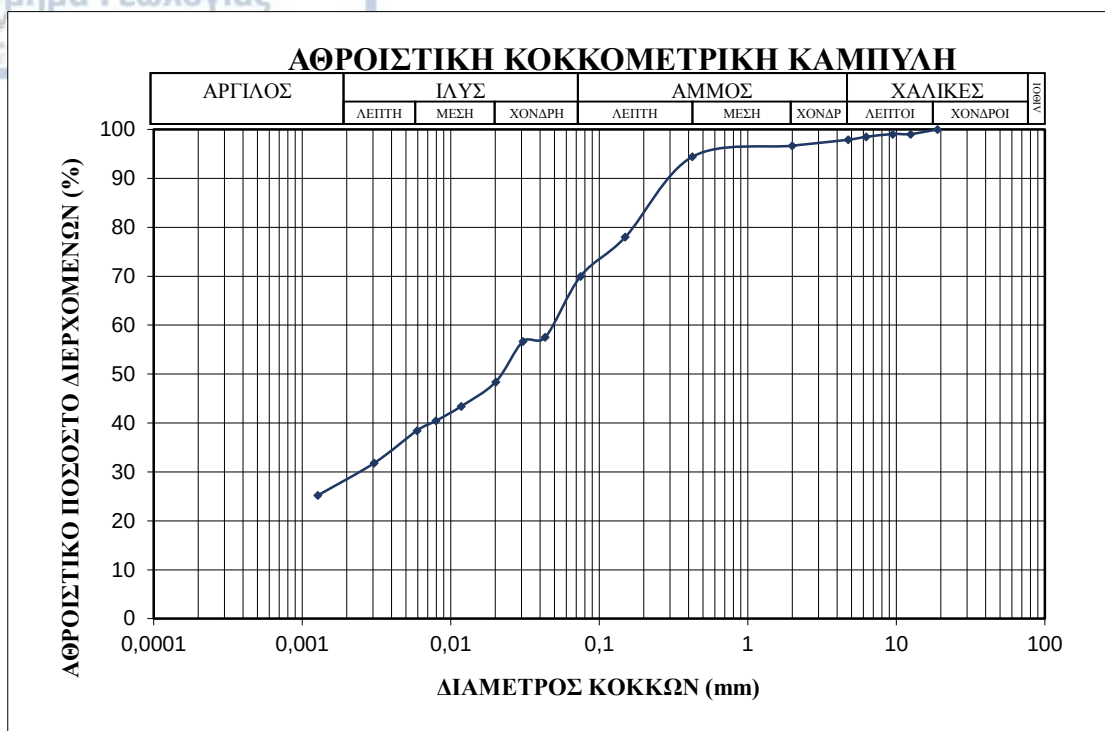
Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ2	16	44	40	0

○ Δείγμα 3



Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ3	16	49	34	1

○ Δείγμα 5



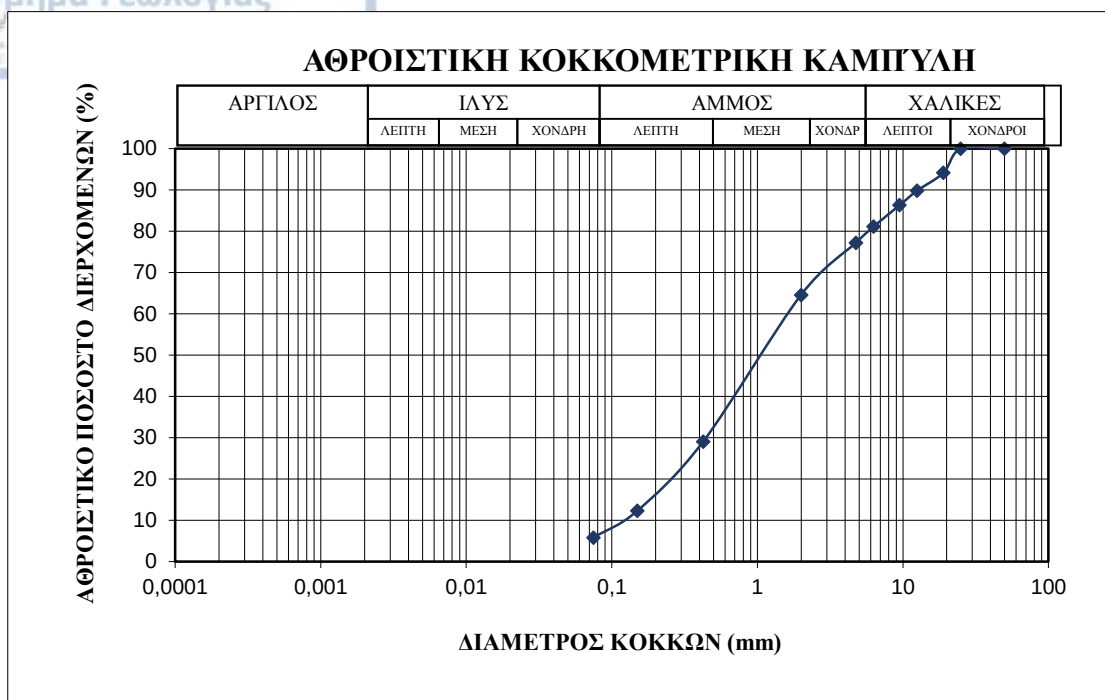
Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ5	29	41	28	2

○ Δείγμα 7



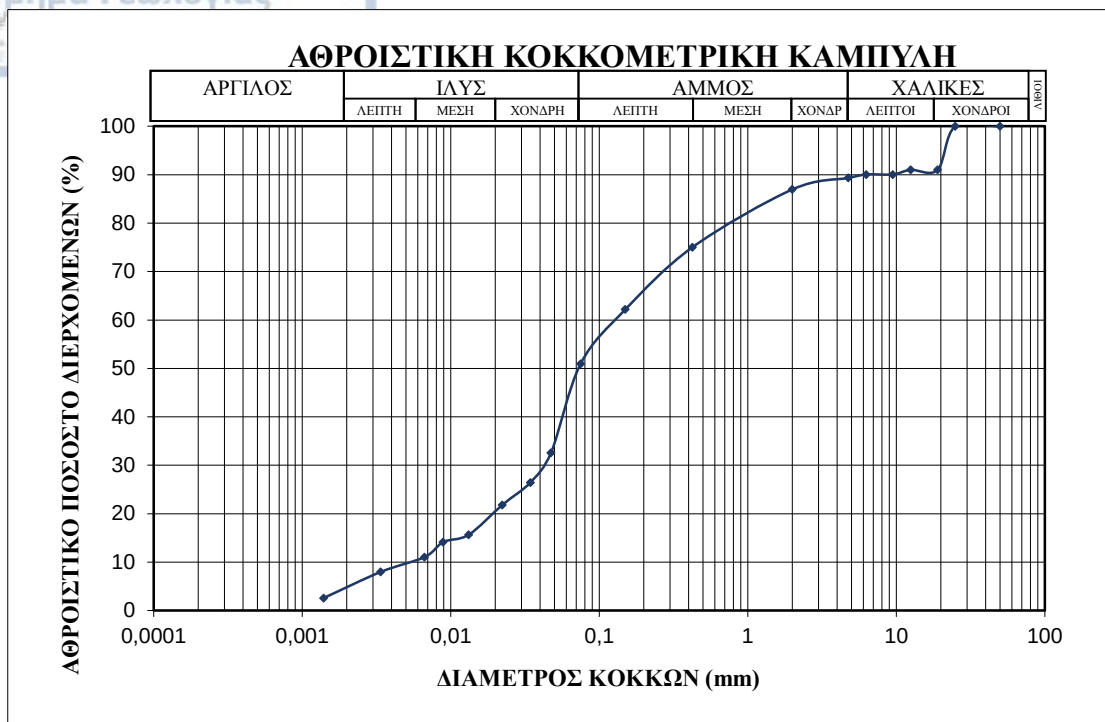
Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ7	22		48	30

○ Δείγμα 9



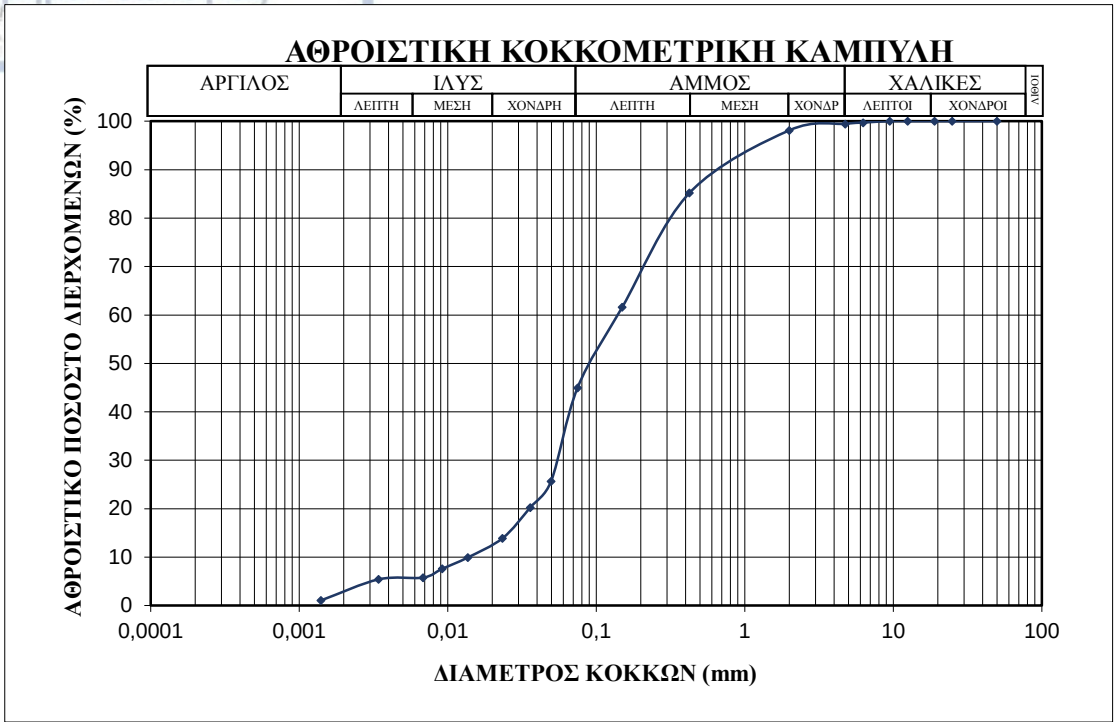
Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ9	9		71	20

○ Δείγμα 10



Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ10	5	45	40	10

○ Δείγμα 11



Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ11	3	42	55	0

○ Δείγμα 12



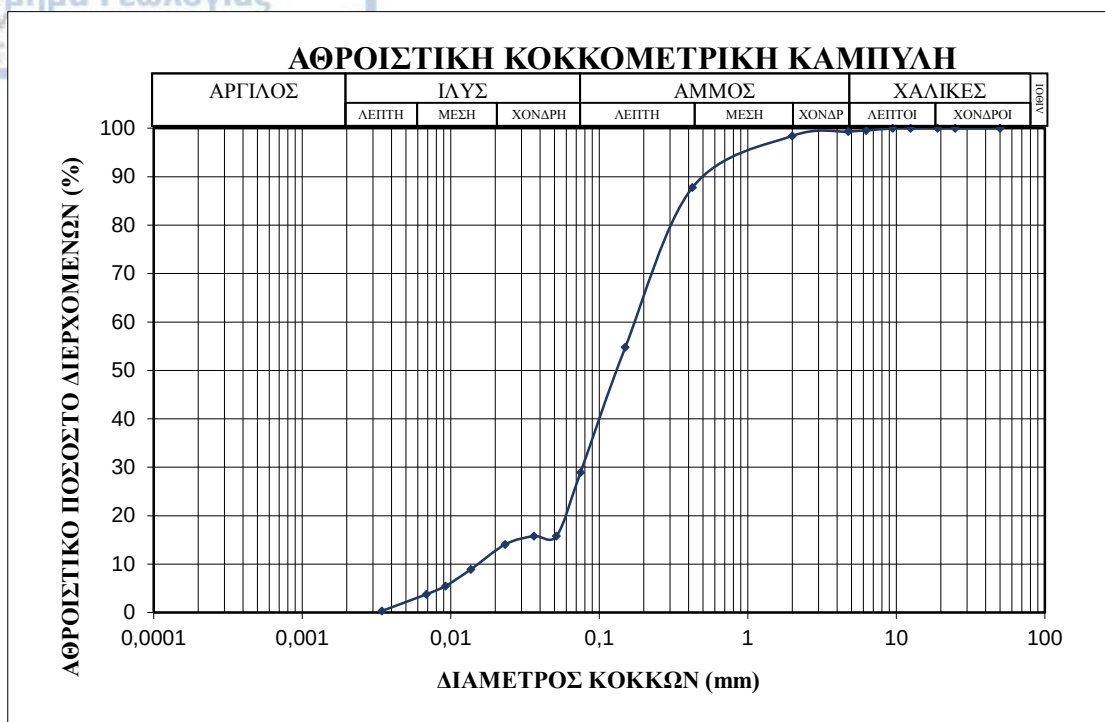
Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ12	0		50	50

○ Δείγμα 13



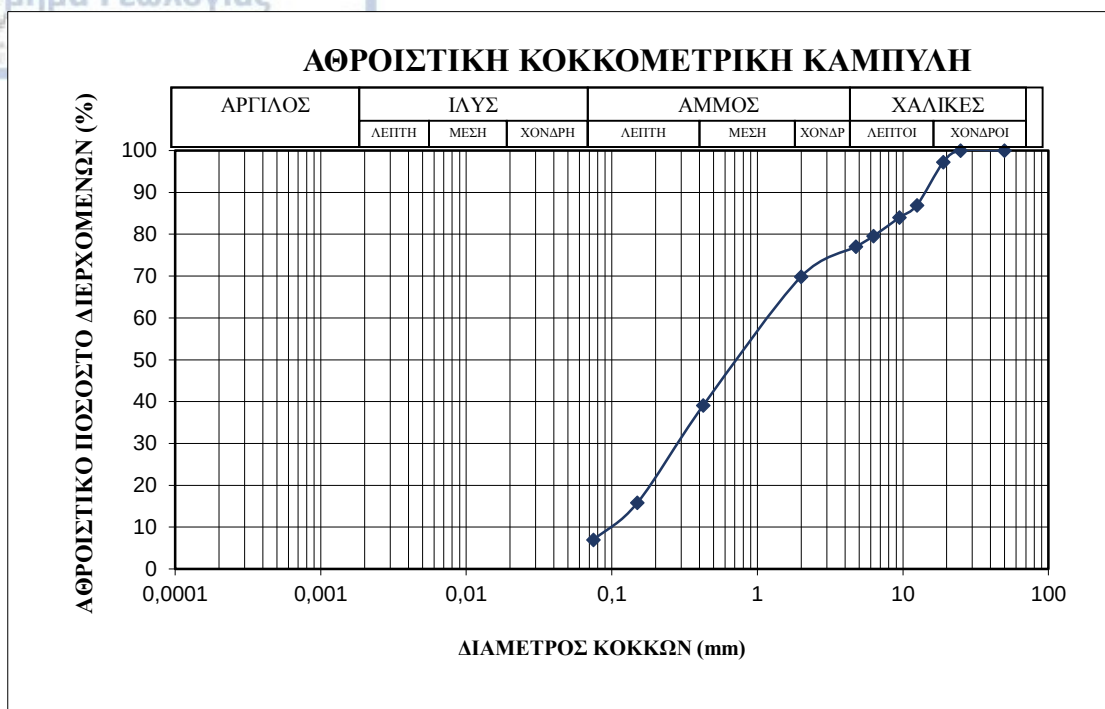
Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ13	2	18	62	18

○ Δείγμα 14



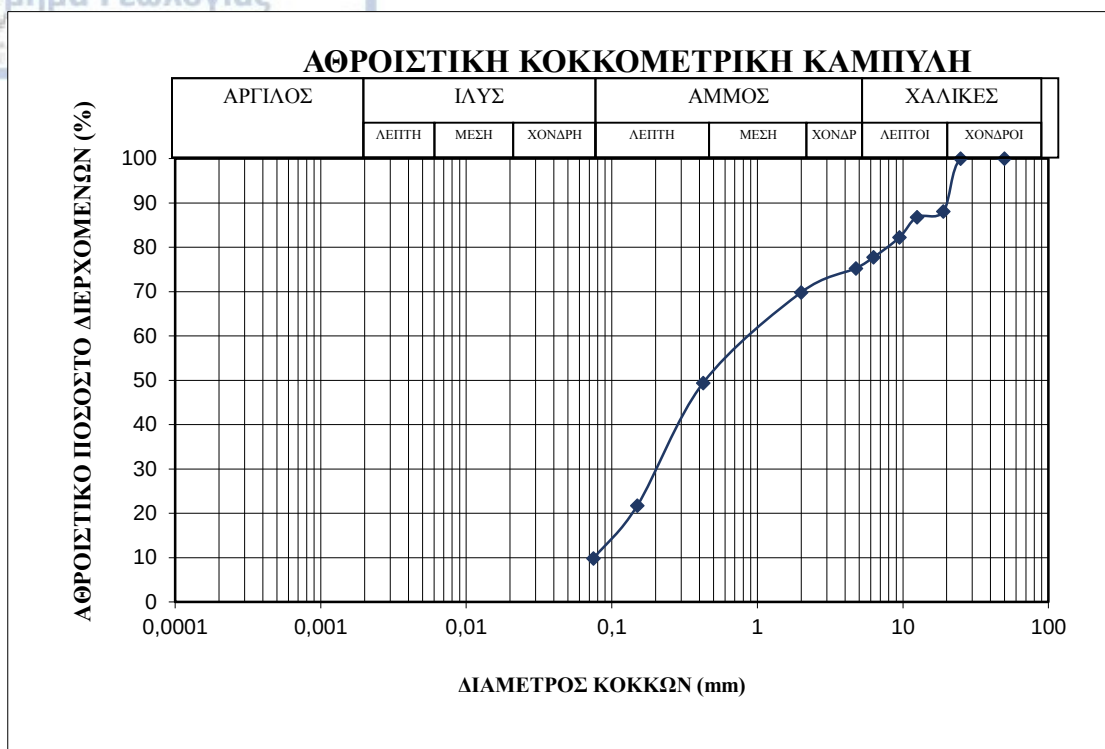
Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ14	0	29	71	0

○ Δείγμα 15



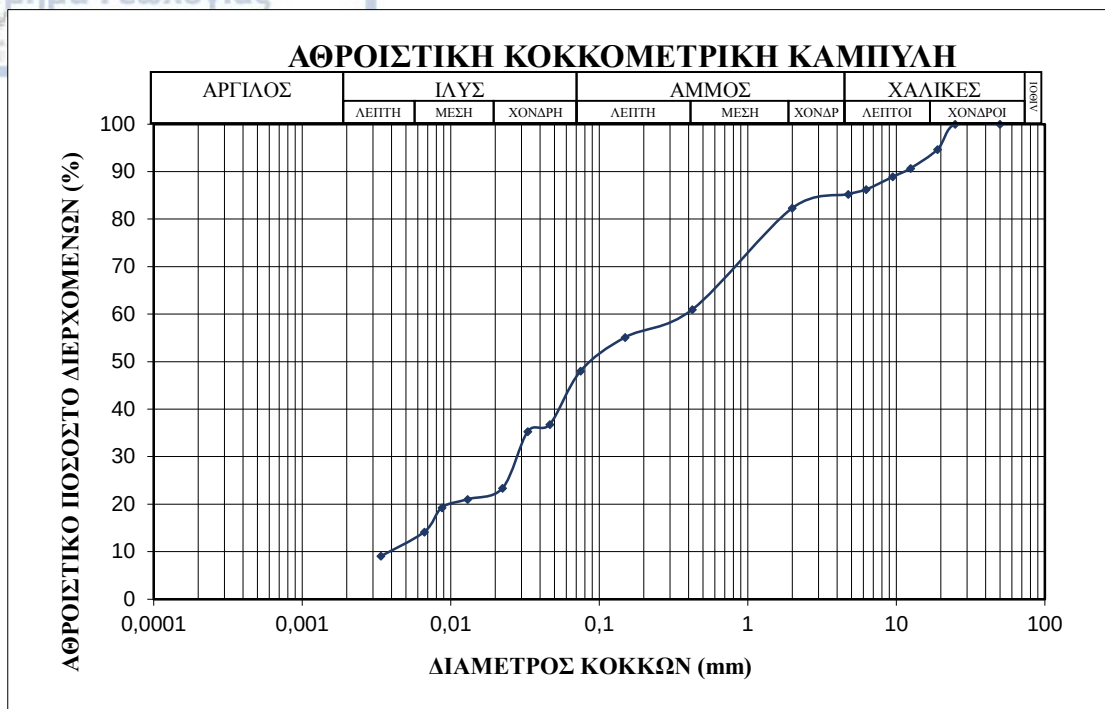
Αριθμός δείγματος	Αργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ15	8		70	22

○ Δείγμα 16



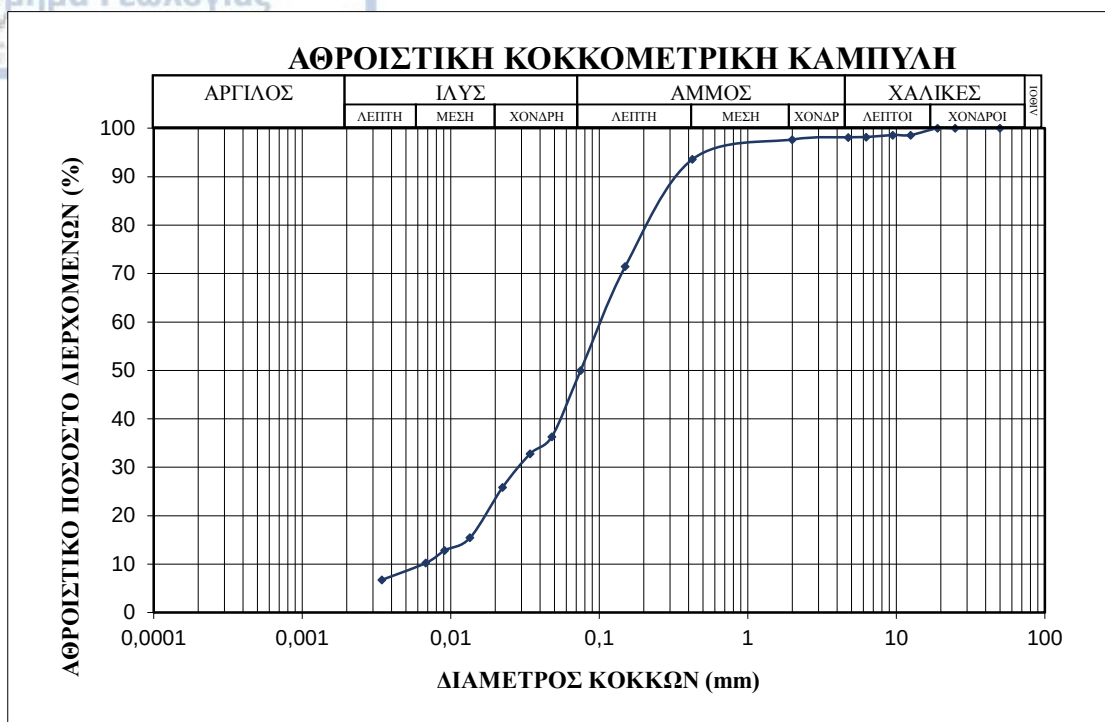
Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ16	10		68	22

○ Δείγμα 17



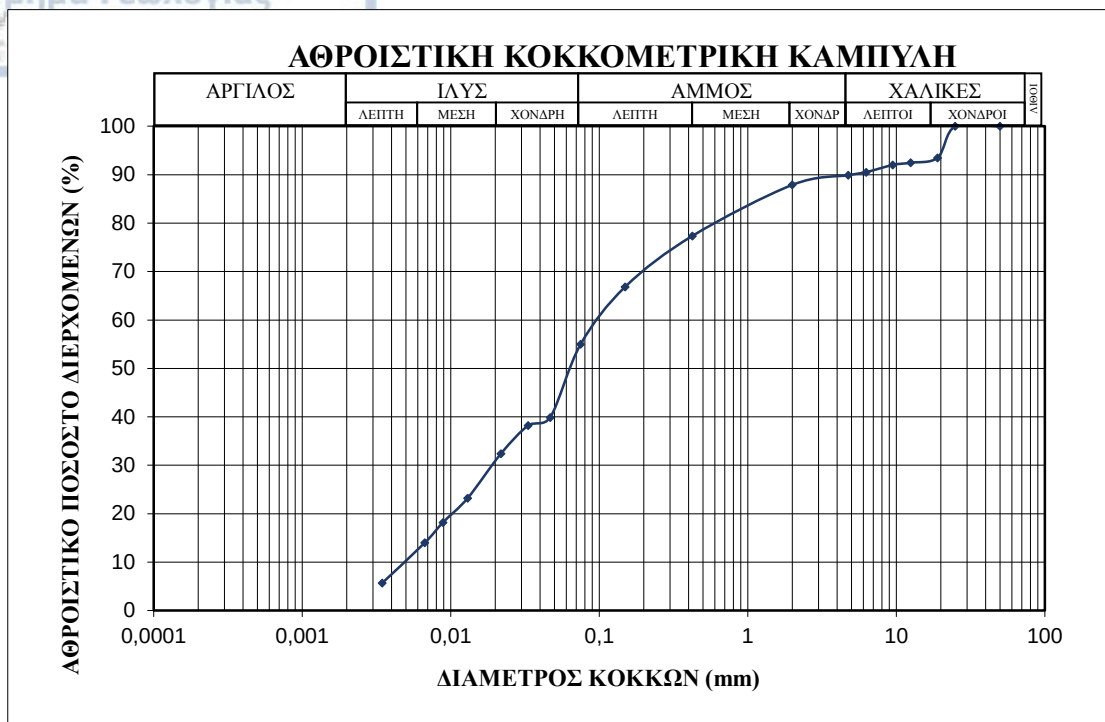
Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ17	8	43	34	15

○ Δείγμα 18



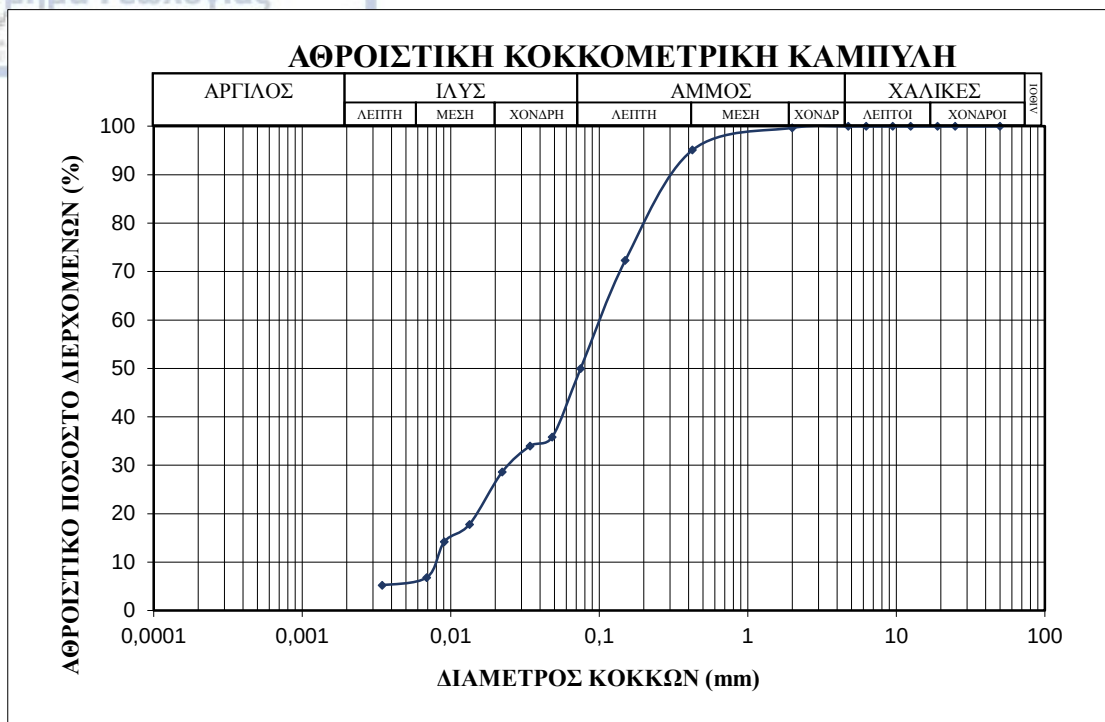
Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ18	5	45	48	2

○ Δείγμα 19



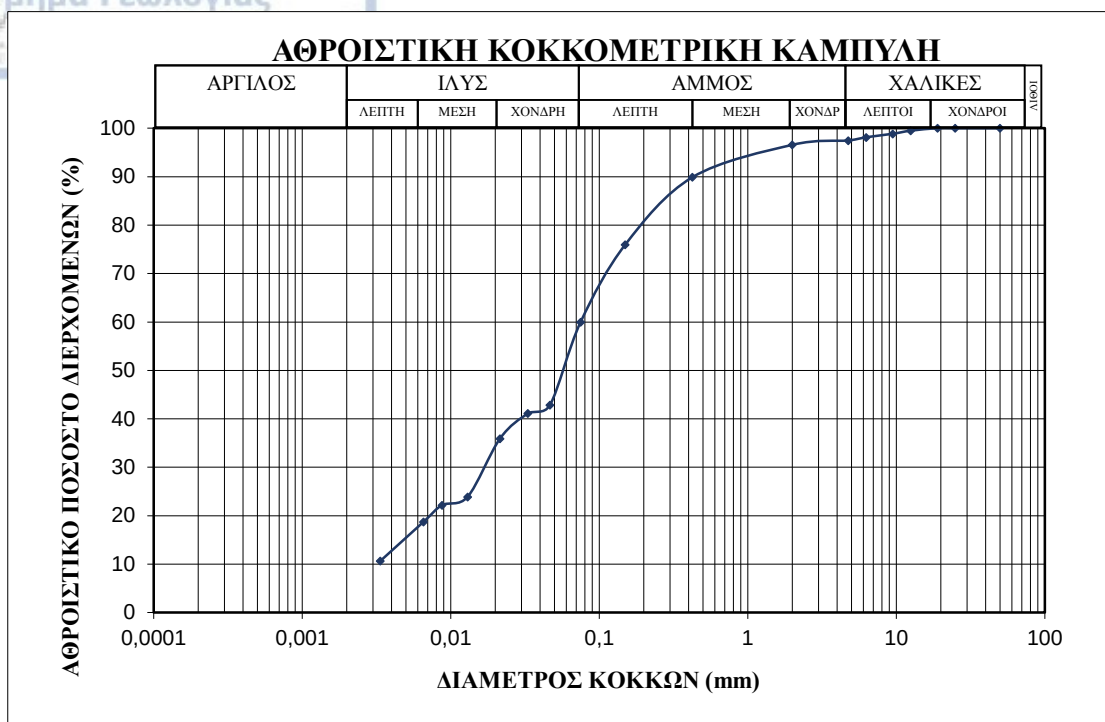
Αριθμός δείγματος	Τύπος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ19	Χαλίκια, φτωχά διαβαθμισμένα	2	53	35	10

○ Δείγμα 20



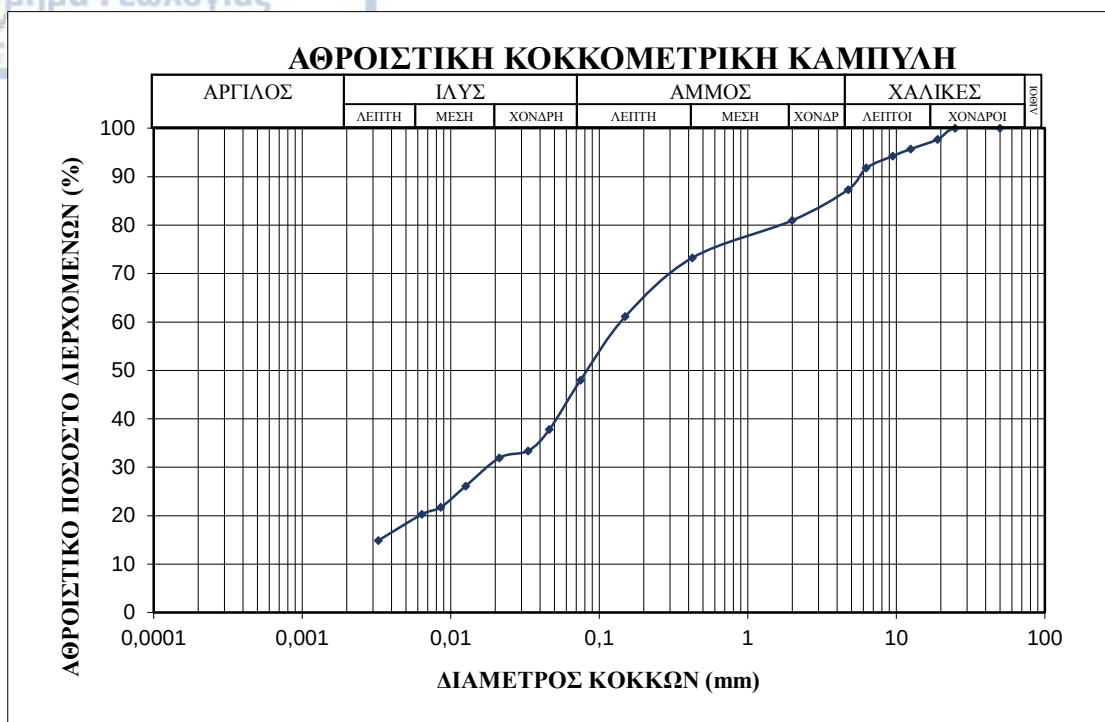
Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ20	5	45	50	0

○ Δείγμα 21



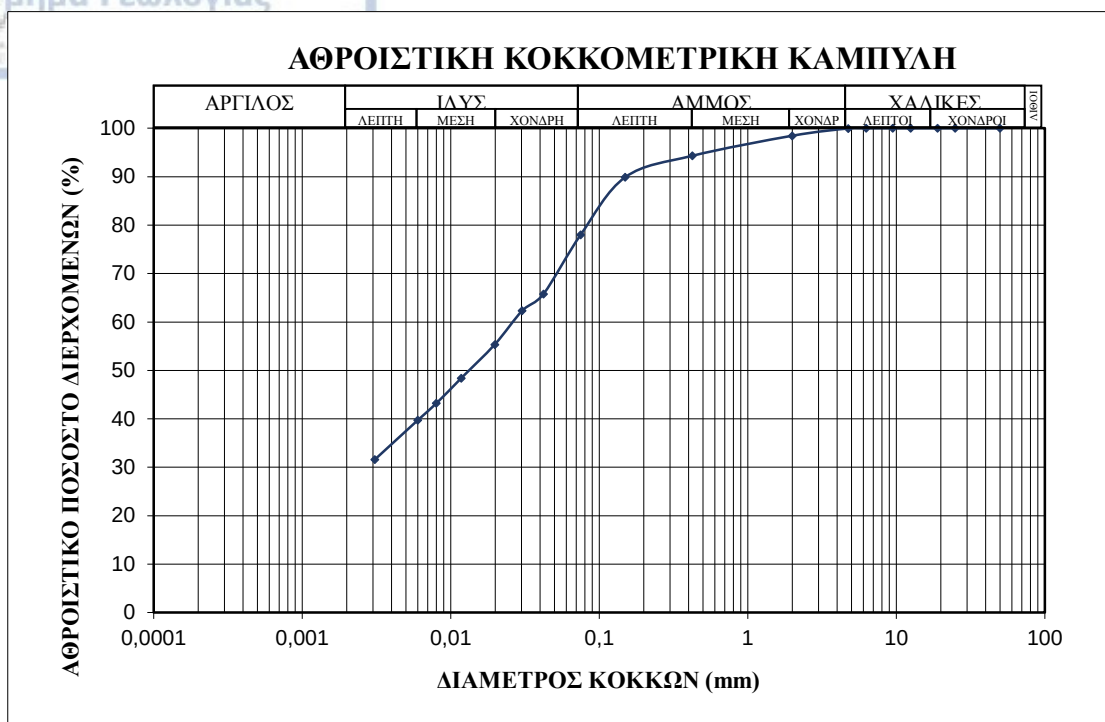
Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ21	8	52	38	2

○ Δείγμα 22



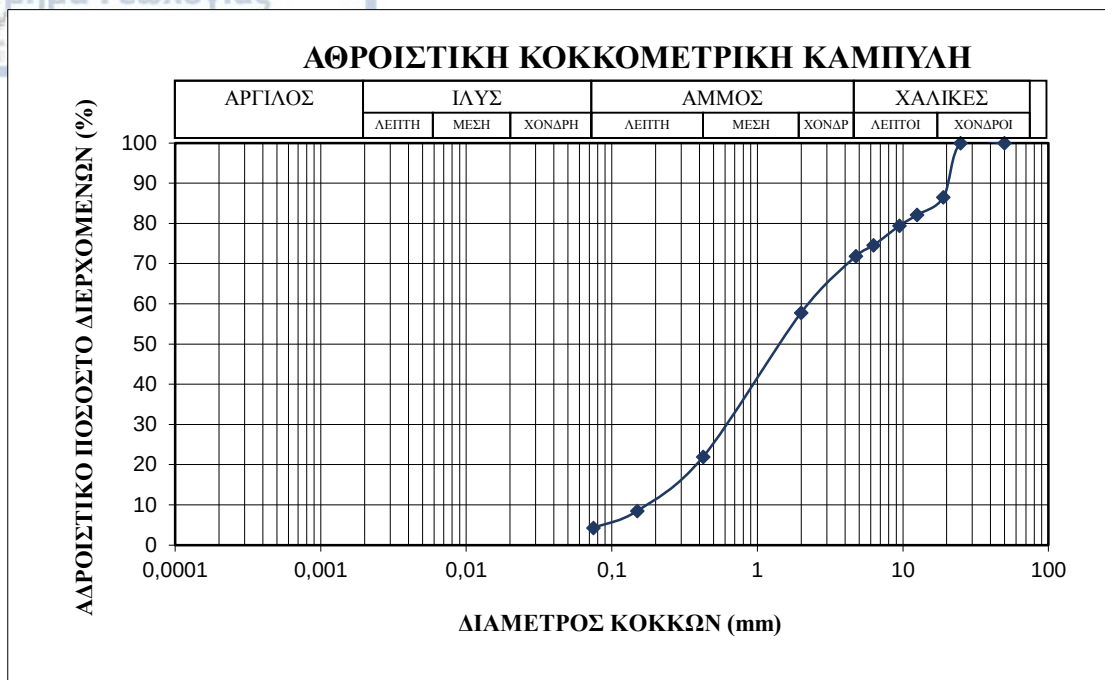
Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ22	10	38	40	12

○ Δείγμα 23



Αριθμός δείγματος	Τύπος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ23	Χαλίκια, φτωχά διαβαθμισμένα	28	50	22	0

○ Δείγμα 24



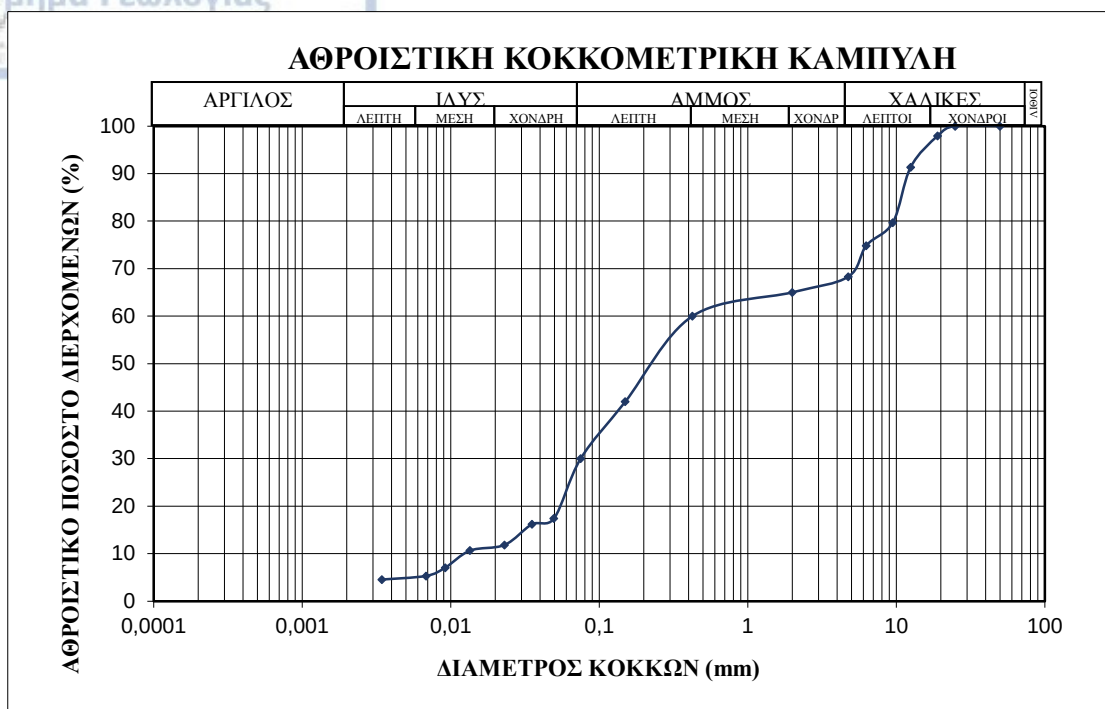
Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ24	5		67	28

○ Δείγμα 25



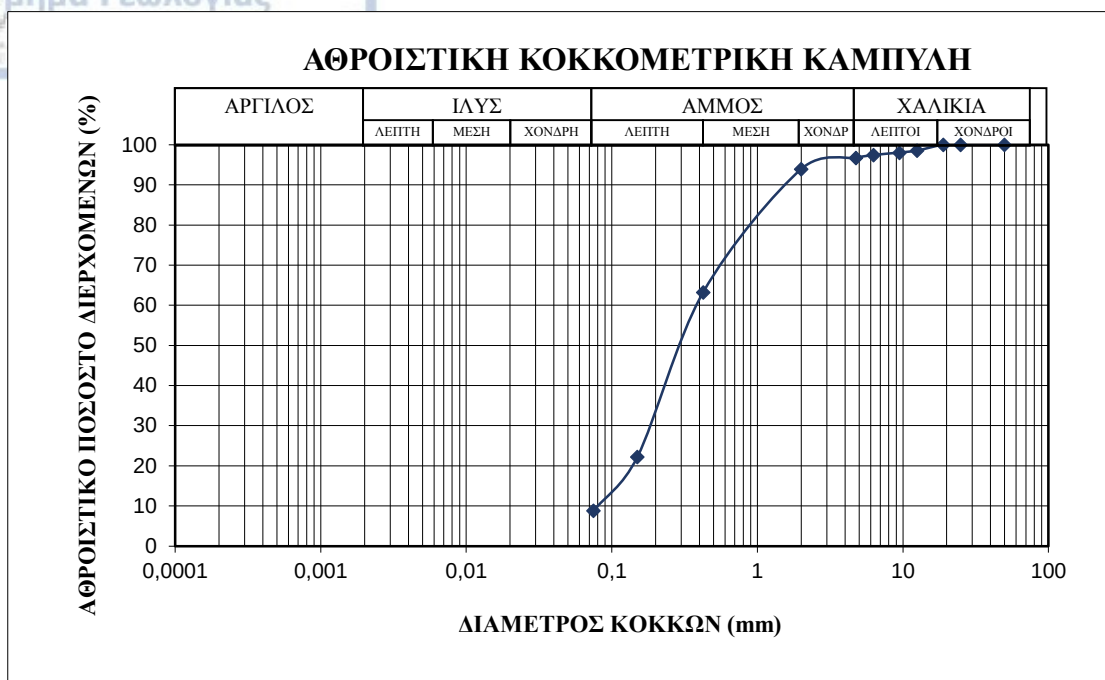
Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ25	30	68	2	0

○ Δείγμα 26



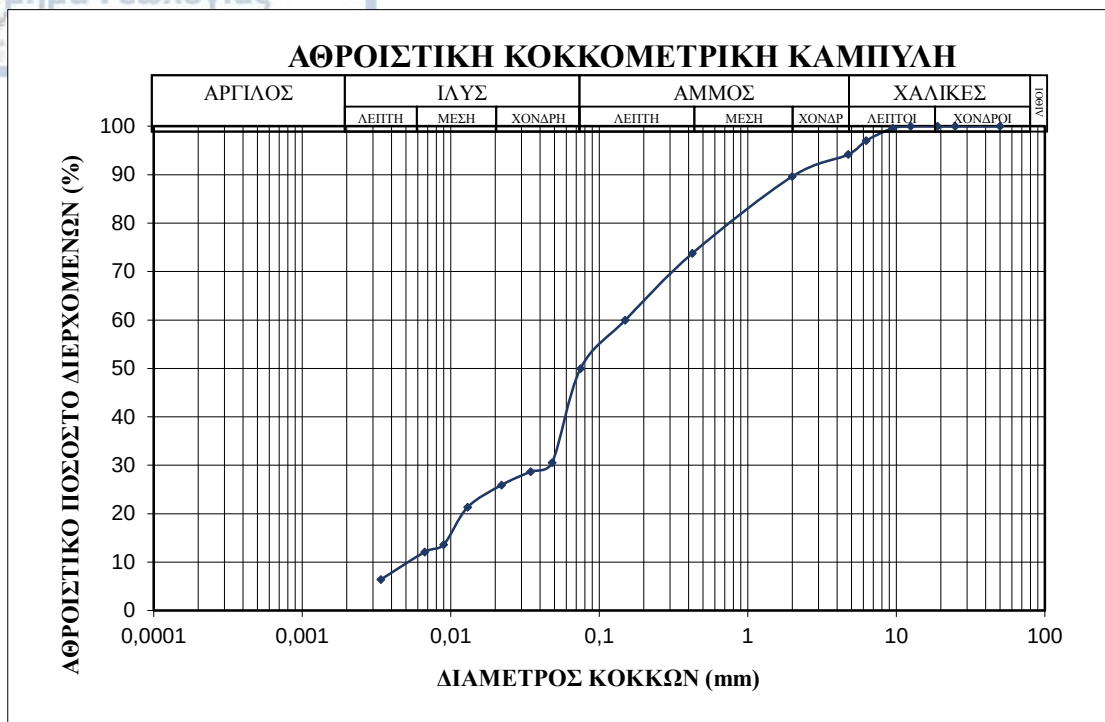
Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ26	5	25	38	32

○ Δείγμα 27



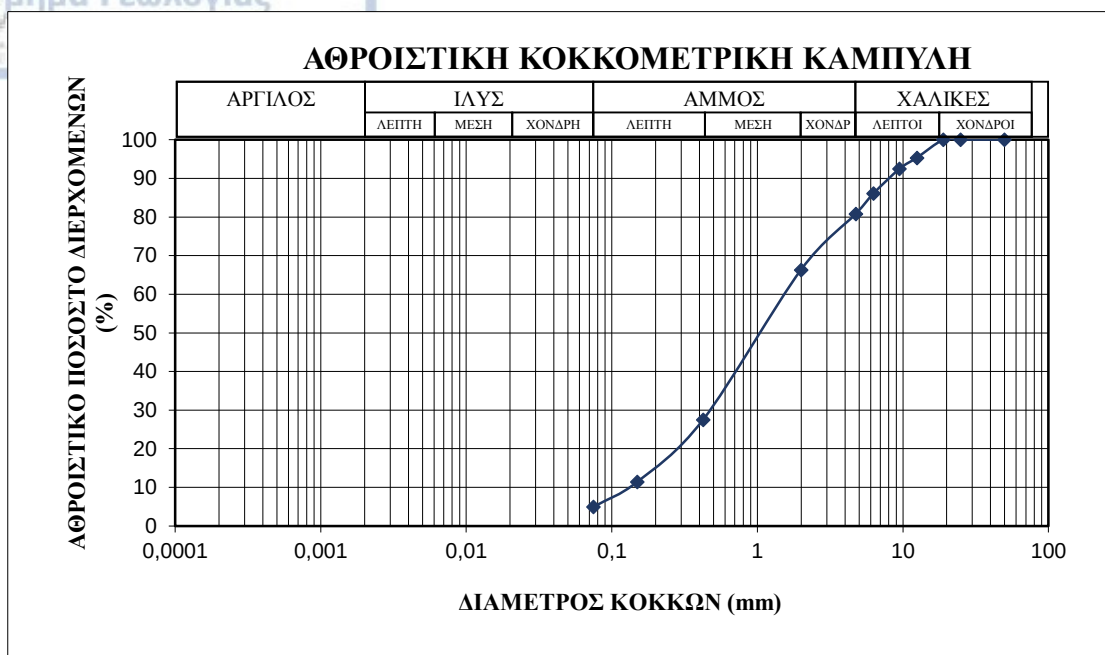
Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Αμμος	Χαλίκια
ΓΛ27	9		89	2

○ Δείγμα 28



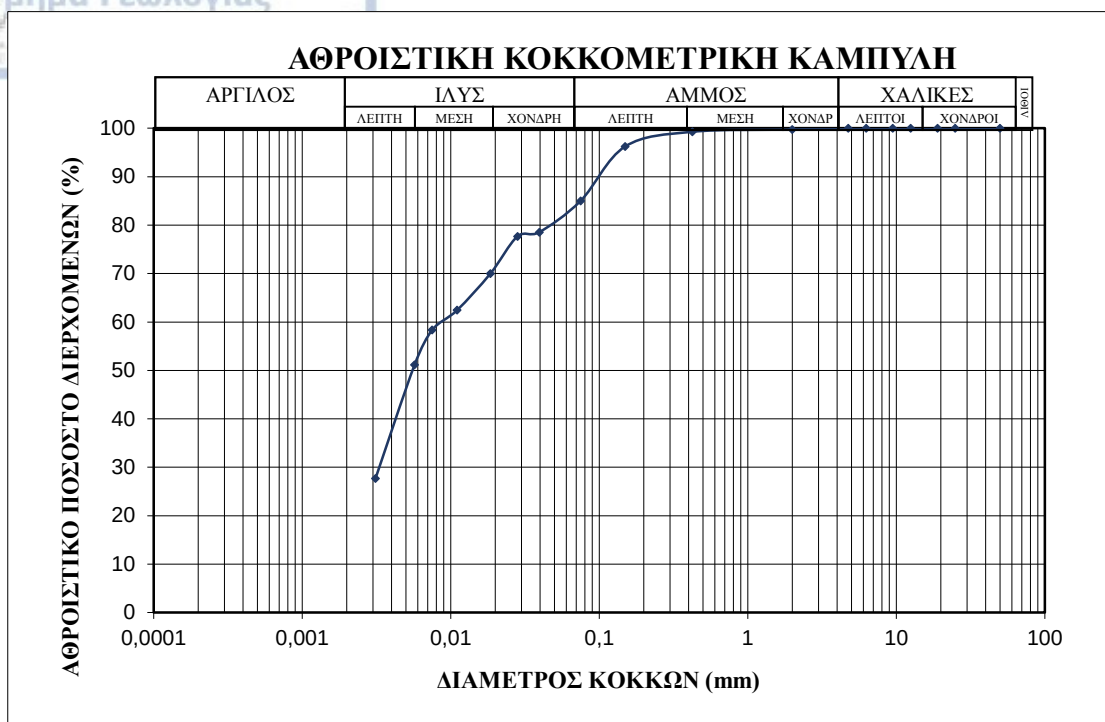
Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ28	5	45	45	5

○ Δείγμα 29



Αριθμός δείγματος	Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ29	5		75	20

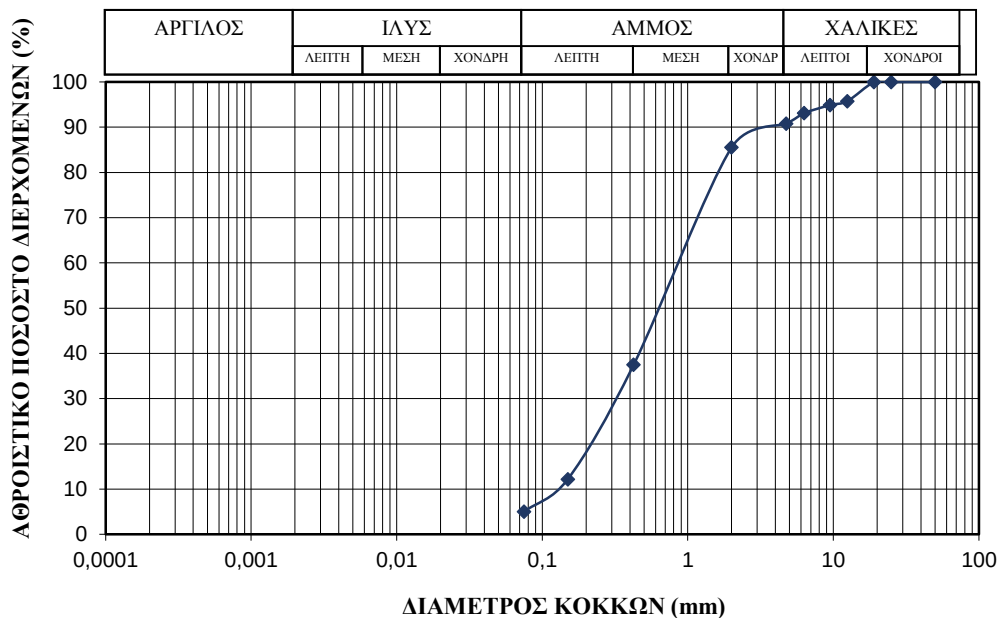
○ Δείγμα 30



Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ30	5	80	15	0

○ Δείγμα 31

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



Αριθμός δείγματος	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος	Χαλίκια
ΓΛ31	5		85	10

7.2 Παράρτημα II

➤ Φωτογραφικό Υλικό



Εικόνα 1. Μέτρηση στάθμης από πηγάδι.



Εικόνα 2. Καταγραφή στάθμης και συντεταγμένων της θέσης της γεώτρησης.



Εικόνα 3. Μέτρηση στάθμης από την G89.



Εικόνα 4. Μέτρηση στάθμης από την G73.



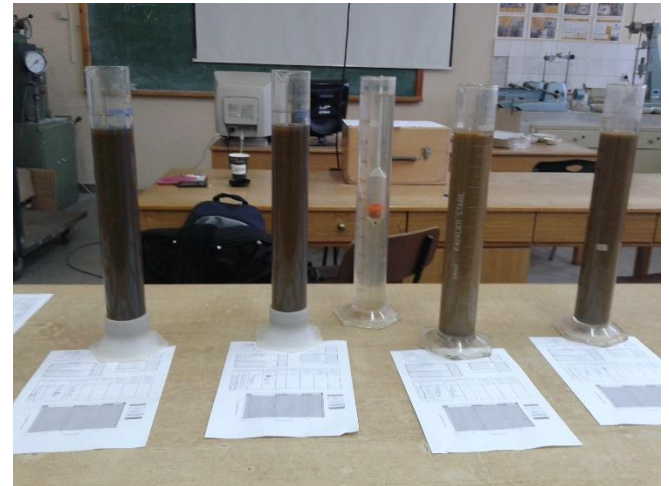
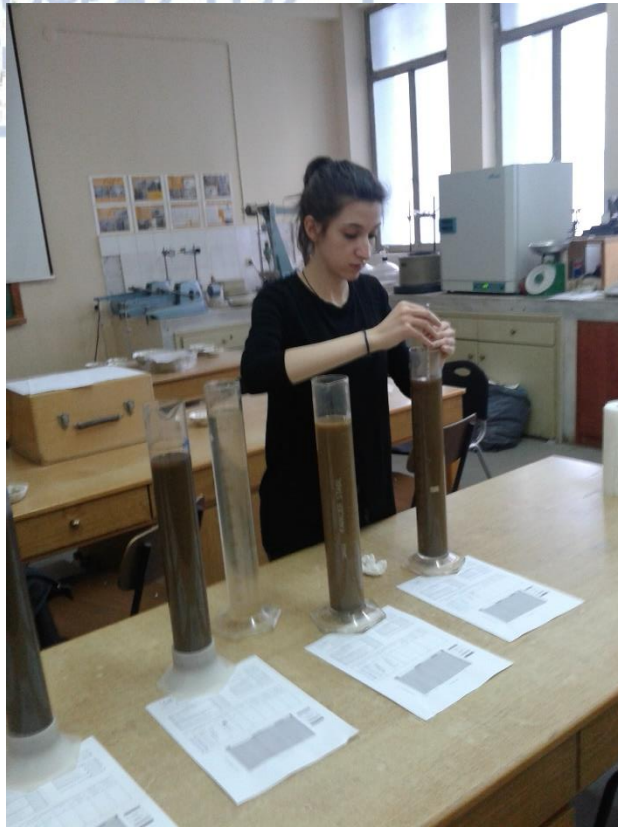
Εικόνα 5. Μέτρηση στάθμης από την G47.



Εικόνα 6. Φωτογραφία μέσα από την κοίτη του ποταμού.



Εικόνα 7. Εικόνες από τις εργαστηριακές αναλύσεις στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Α.Π.Θ..



**Εικόνα 8. Εικόνες από τις
εργαστηριακές αναλύσεις στο
εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας
και Υδρογεωλογίας, Α.Π.Θ..**