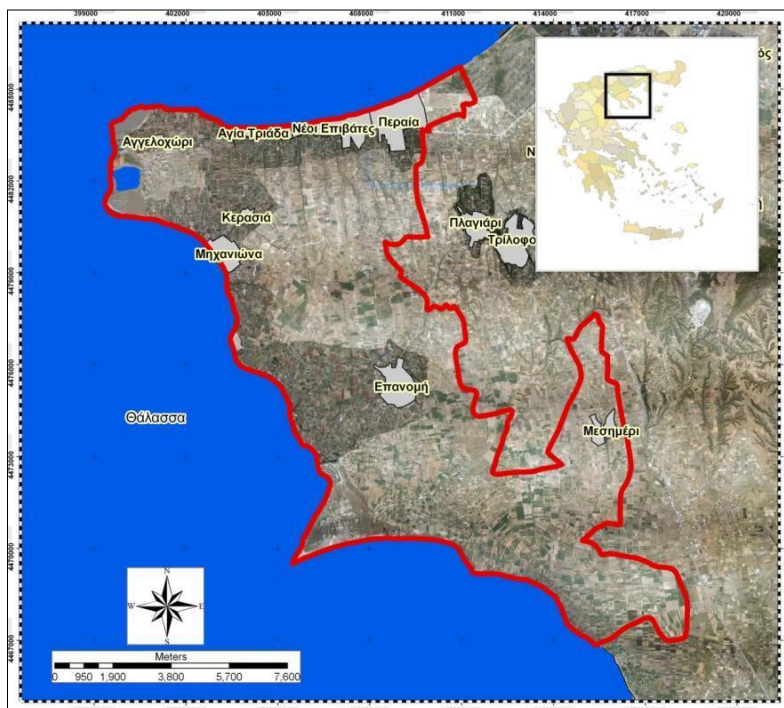




ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Υδρογεωλογική έρευνα στην περιοχή Επανομής και εκτίμηση της
τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση**



ΠΑΜΠΟΣ ΧΑΤΖΗΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ ΑΕΜ:4735

Υπεύθυνος καθηγητής: Κ. ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ

Θεσσαλονίκη 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	4
<u>1. Εισαγωγή.....</u>	5
<u>2. Γεωγραφία της περιοχής</u>	
2.1 Γεωγραφική θέση.....	6
2.2 Μορφολογία της περιοχής.....	7
2.3 Κλίμα.....	10
<u>3. Πληθυσμιακά στοιχεία</u>	
3.1 Γενικά.....	13
<u>4. Γεωλογία της περιοχής</u>	
4.1 Γεωτεκτονική θέση και παλαιογεωγραφία.....	16
4.2 Λιθοστρωματογραφία και τεκτονική.....	17
<u>5. Υδρογεωλογία της περιοχής</u>	
5.1 Γενικά.....	20
5.2 Υδρολιθολογία.....	20
5.3 Υδροφορία.....	21
5.4 Διαμόρφωση υδροφορέων.....	24
5.5 Διαχείριση νερού.....	25
5.6 Απογραφή υδρογεωτρήσεων.....	26
5.7 Στάθμη υπόγειου νερού.....	29
<u>5.8 Μεθοδολογία εργαστηριακών δοκιμών</u>	
5.8.1 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα.....	30
5.8.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	36
5.8.3 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο.....	37
5.8.4 Παρουσίαση μετρήσεων.....	41

5.8.5 Δειγματοληψία- Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	42
5.8.6 Μηχανική σύσταση του εδάφους.....	55
<u>6. Εφαρμογή δεικτών LOS</u>	
6.1 Γενικά.....	58
6.2 Δείκτες LOS.....	59
6.3 Υπολογισμός του σχετικού χρόνου μετάβασης.....	62
6.4 Χρωματική οδηγία για την επεξήγηση των χαρτών.....	64
6.5 Χρησιμότητα των χαρτών.....	64
6.6 Τελικός χάρτης τρωτότητας LOSN-PN της περιοχής.....	66
<u>7. Συμπεράσματα</u>	67
<u>Βιβλιογραφία</u>	70

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο καθένας από εμάς πιστεύω πως περιμένει με ανυπομονησία τα φοιτητικά χρόνια, χρόνια τα οποία μας δυναμώνουν, μας ωριμάζουν, και μας μορφώνουν. Μέσα από αυτά τα χρόνια έχουμε να θυμόμαστε τόσο στιγμές ευχάριστες όσο και δυσάρεστες. Κατά τη γνώμη μου, στο τέλος πρέπει να παραμείνουν σ' εμάς όλες εκείνες οι γνώσεις που αποκτήσαμε σχετικά με το αντικείμενο μας και τις οποίες πρέπει να αξιοποιήσουμε, με στόχο την επαγγελματική μας αποκατάσταση. Η διπλωματική εργασία λοιπόν υπενθυμίζει το τέλος των φοιτητικών μας χρόνων.

Θεωρείται πως η γεωλογία είναι η επιστήμη του μέλλοντος. Είναι ένας κλάδος με τεράστιο ενδιαφέρον και που μπορεί να μας ανοίξει πολλούς δρόμους λόγω της φύσης της. Συνεχώς αντιλαμβανόμαστε ολοένα και περισσότερο τη χρησιμότητα του γεωλόγου στις διάφορες μελέτες που πραγματοποιούνται στην καθημερινότητα μας (γεωφυσικές, περιβαλλοντικές, τεχνικά έργα κλπ). Αυτό είναι κάτι που με κάνει ιδιαίτερα χαρούμενο για τη σπουδή αυτή.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και όλα αυτά τα άτομα που με βοήθησαν να φτάσω ως εδώ:

Συγκεκριμένα αναφέρομαι στην οικογένεια μου η οποία με στήριζε όλα αυτά τα χρόνια. Είναι αυτοί που με βοήθησαν να φτάσω μέχρι εδώ, δίνοντας μου καθημερινά δύναμη και πίστη.

Ευχαριστώ επίσης την κοπέλα μου και τους φίλους μου με τους οποίους καθημερινά μοιραζόμουν όλες αυτές τις εμπειρίες και οι οποίοι με στήριζαν να συνεχίζω.

Τέλος ευχαριστώ και τους υπεύθυνους καθηγητές και διδάκτορες που επέβλεπαν τόσο την πορεία μου μέχρι τώρα αλλά και την διπλωματική μου εργασία, και συγκεκριμένα τον Επίκουρο καθηγητή Δρ. Κ. Βουδούρη, και τον Δρ. Καζάκη Νεραντζή. Μου πρόσφεραν όλες αυτές τις γνώσεις και που μου έδειξαν την τεράστια σημασία της γεωλογίας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών μου σπουδών, με την εποπτεία του επίκ. καθηγητή Κώστα Βουδούρη και του διδάκτορα Καζάκη Νεραντζή, του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου.

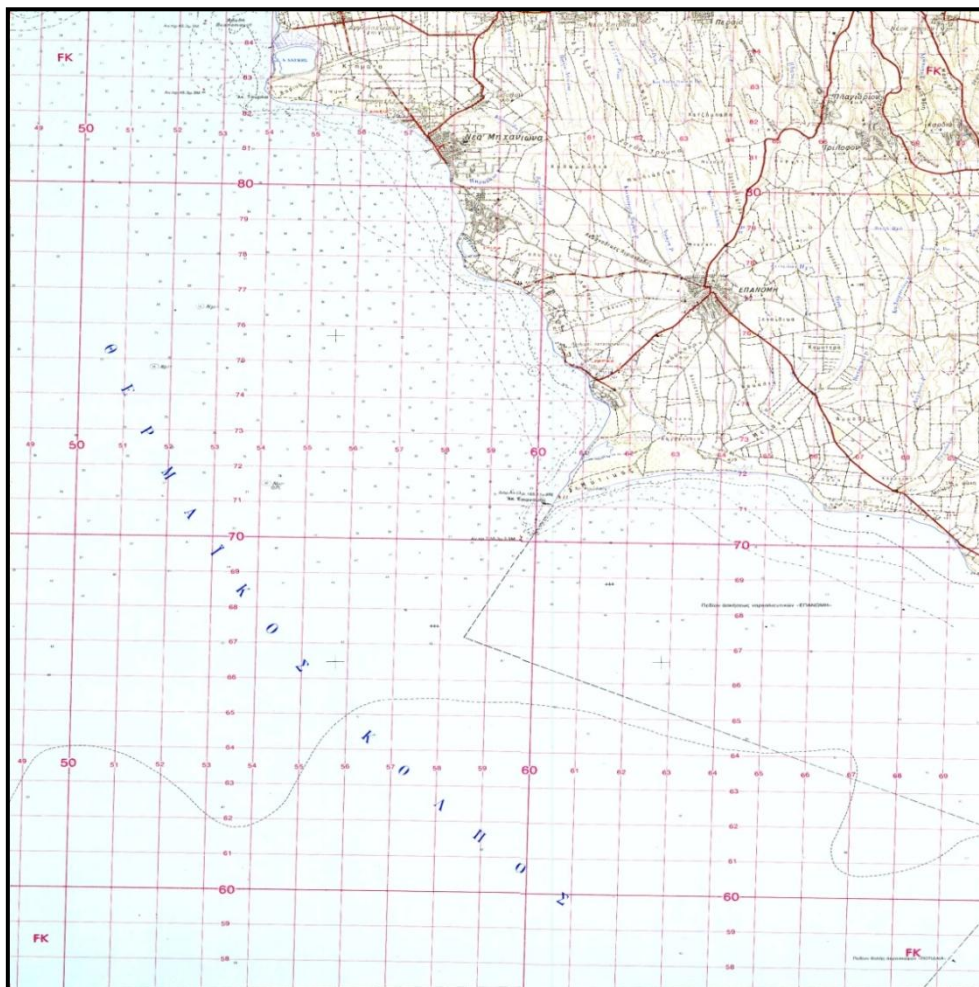
Η εργασία έγινε στην περιοχή της Δημοτικής Ενότητας Επανομής καθώς και τμήμα της ευρύτερης περιοχής, η οποία ανήκει στον Δήμο Θερμαϊκού. Στόχος της εργασίας αυτής είναι να γίνει υδρογεωλογική έρευνα και εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση.

Αρχικά γίνεται αναφορά στα γεωγραφικά στοιχεία της περιοχής (γεωγραφική θέση, κλίμα, μορφολογία). Στη συνέχεια σημειώνονται τα πληθυσμιακά στοιχεία. Έπειτα αναφέρονται στοιχεία για τη γεωλογία της Επανομής και γενικά της ευρύτερης περιοχής, όπως η γεωτεκτονική θέση, λιθοστρωματογραφία κλπ. Ακολούθως μελετώνται τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά, αναφέρονται οι υδρογεωτρήσεις της Επανομής καθώς και η μεθοδολογία των εργαστηριακών δοκιμών που έγιναν ώστε να βγάλουμε τις τελικές κοκκομετρικές καμπύλες και την κατανομή ποσοστών των υλικών των δειγμάτων μας. Στο τέλος γίνεται αναφορά στους δείκτες LOS μέσα από τους οποίους μπορέσαμε να καταλήξουμε σ' έναν τελικό χάρτη εκτίμησης της τρωτότητας στην ευρύτερη περιοχή.

2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.1 Γεωγραφική θέση

Η Επανομή βρίσκεται στα νοτιοανατολικά της Θεσσαλονίκης, σε απόσταση 25 km. από την πόλη. Η έκταση των ακτών της φτάνει τα 40 km, ενώ το ακρωτήριο της αποτελεί το γεωγραφικό όριο του Θερμαϊκού κόλπου. Ανήκει στο δήμο Θερμαϊκού και θεωρείται ως δημοτική ενότητα Επανομής. Συνορεύει με τη δημοτική ενότητα Νέας Μηχανιώνας και με τη δημοτική ενότητα Μίκρας. Έχει συντεταγμένες 40°25'60''N 22°55'60''E.



Σχήμα 2.1: Γεωγραφική θέση της Επανομής

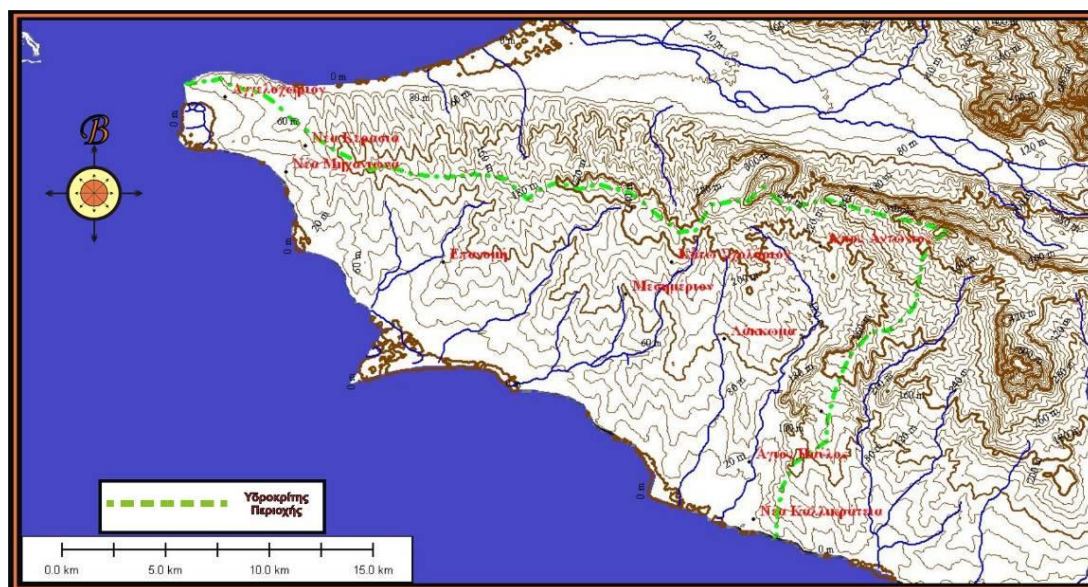
Ο Δήμος Θερμαϊκού γεωμορφολογικά και υδρογεωλογικά ανήκει στην ευρύτερη υδρολογική λεκάνη της Καλαμαριάς. Αποτελείται από υπολεκάνες διαφόρων χειμάρρων και ρεμάτων. Οι υδρολογικές λεκάνες των χειμάρρων αυτών εμφανίζουν κυρίως παράλληλη διάταξη και επιμήκη μορφή με ανάπτυξη από νότια προς βόρεια, οι οποίες τελικά «σβήνουν» στο ρήγμα της Περαιάς όταν συναντάνε τα χαλαρά πλευρικά κορήματα του ρήγματος και τις παράκτιες αποθέσεις του Θερμαϊκού Κόλπου. Οι κλίσεις των πρανών των ρεμάτων κυμαίνονται από 10^0 έως και περισσότερο από 55^0 δημιουργώντας κατακόρυφα πρανή με ύψη έως και 5m. Σφραγίδα της περιβαλλοντικής ταυτότητας αποτελεί η παραθαλάσσια ζώνη, αφού σηματοδοτεί τη γενικότερη αναπτυξιακή προοπτική του δήμου στην κατεύθυνση της βιώσιμης και αειφόρου ανάπτυξης. Μολονότι ο Θερμαϊκός Κόλπος αποτελεί μια από τις πιο επιβαρυνμένες θαλάσσιες περιοχές, το νερό της θάλασσας του δήμου κρίνεται κατάλληλο για κολύμβηση. Πραγματοποιούνται συνεχώς μικροβιολογικές αναλύσεις και βιολογικοί καθαρισμοί ώστε να επιβεβαιώνεται η καταλληλότητα των νερών. Παρόλα αυτά, διαπιστώνεται μια οπτική ρύπανση που οφείλεται στα δίκτυα όμβριων, ενώ υπάρχουν αυξημένες περιεκτικότητες νιτρικών ιόντων.

Επίσης όσον αφορά τη Λιμνοθάλασσα της Επανομής, έκτασης 6900 στρέμματα καθώς και τη Λιμνοθάλασσα της Επανομής μαζί με τη θαλάσσια παράκτια ζώνη, έκτασης 8303.8 στρέμματα, πρόκειται για περιοχές που καλύπτουν ακτή με άμμο και μία λιμνοθάλασσα. Πρόκειται για αμμώδεις χερσότοπους περιορισμένης έκτασης, που είναι ενσωματωμένοι με καλά αναπτυγμένο σύστημα θινών. Σχηματισμοί από καλάμια καταλαμβάνουν τεχνητές τάφρους και κανάλια, όπως επίσης θέσεις που συγκεντρώνουν αλμυρό νερό. Ο υγρότοπος θεωρείται σημαντικός τόπος αναπαραγωγής, διατροφής και διαχείμασης μεγάλου αριθμού πτηνών και άλλων ειδών ζώων (αμφίβια, ερπετά, θηλαστικά). Στην περιοχή υπάρχει και θεσμοθετημένο Καταφύγιο Άγριας Ζωής, το Τσαΐρι Επανομής, έκτασης 5000 στρέμματα, το οποίο αποτελεί χώρο όπου απαγορεύεται το κυνήγι κάθε θηράματος, με σκοπό την προστασία και την ανάπτυξη των πληθυσμών των θηραμάτων και των λοιπών ειδών της άγριας πανίδας και των ειδών αυτοφυούς χλωρίδας. Η Επανομή συνεπώς είναι περιοχή υψηλής οικολογικής σημασίας.

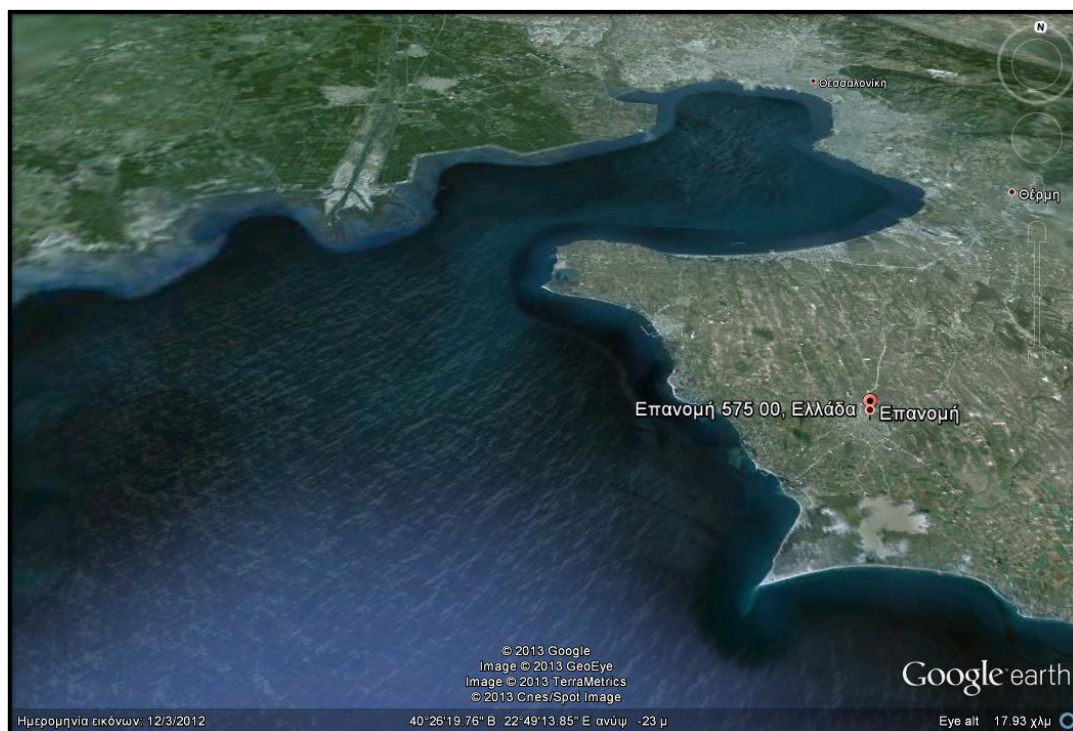
Ο υδροβιότοπος της Επανομής είναι ενταγμένος στο πρόγραμμα «Natura 2000» της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



Σχήμα 2.3: Παραλία Επανομής (http://katoikosmikras.blogspot.gr/2009/11/blog-post_01.html)



Σχήμα 2.4: Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής (Καζάκης, 2007)



Σχήμα 2.5: Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής (Google Earth)

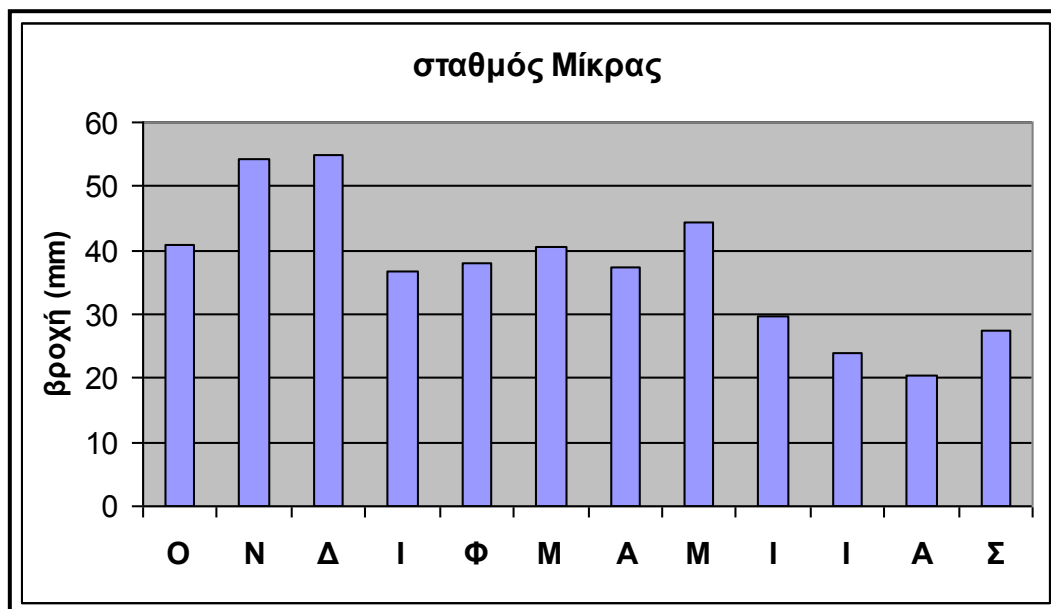
2.3 Κλίμα

Τα κλιματολογικά στοιχεία που αφορούν στο ύψος των βροχοπτώσεων, τους παγετούς, τις μέσες θερμοκρασίες και την ένταση των ανέμων που επικρατούν στην περιοχή είναι παράμετροι ιδιαίτερης σημασίας που βοηθούν στη διαμόρφωση μιας γενικής εικόνας για το κλίμα της περιοχής μελέτης. Πηγή των παραπάνω στοιχείων είναι ο μετεωρολογικός σταθμός της ΕΜΥ που βρίσκεται εγκατεστημένος στο αεροδρόμιο Μίκρας και σε υψόμετρο +4,8 m.

Το κλίμα της περιοχής είναι Μεσογειακού τύπου. Σ' αυτόν το τύπο κλίματος η μέση ετήσια βροχόπτωση έχει μεγάλο εύρος διακύμανσης από ξηρό έως υγρό. Η περιοχή εντάσσεται από κλιματική άποψη σε μια ζώνη μαζί με την Ανατολική ηπειρωτική Ελλάδα, με τη Θάσο, τις Σποράδες και την Εύβοια (Βουβαλίδης, Μαθήματα Φυσικής Γεωγραφίας). Τους θερινούς μήνες επικρατεί ξηρασία, ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα το κλίμα γίνεται πιο υγρό.

Στο σχήμα 2.6 φαίνεται η μέση μηνιαία βροχόπτωση στο σταθμό της Μίκρας. Ο μήνας με τη μεγαλύτερη βροχόπτωση είναι ο Δεκέμβριος και ακολουθεί ο Νοέμβριος.

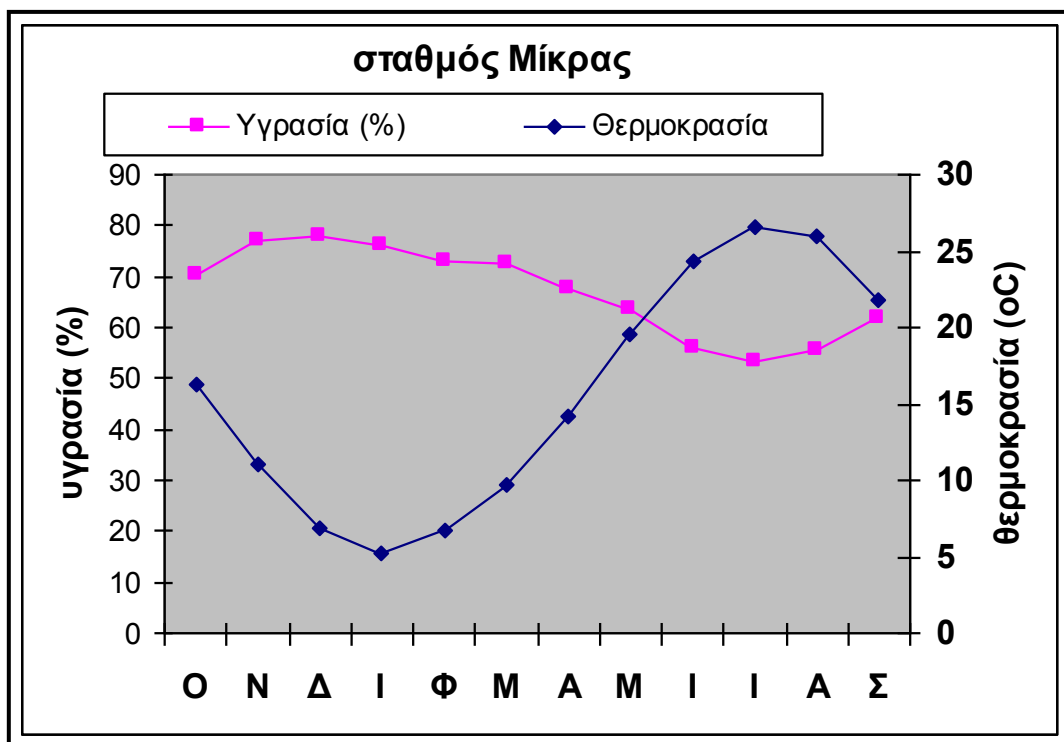
Οι πλέον ξηροί μήνες είναι ο Αύγουστος και ο Ιούλιος. Το μέγιστο ύψος 24-ωρης διάρκειας καταγράφηκε στις 24/11/1985 και ήταν 84,7 mm.



Σχήμα 2.6: Μηνιαία βροχόπτωση στο σταθμό Μίκρας (Πηγή: ΕΜΥ, 1959-1997)

Με βάση τα στοιχεία του σταθμού στο αεροδρόμιο Μακεδονίας, η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται σε 16,1°C, η μέση ετήσια βροχόπτωση 444 mm και η επικρατούσα διεύθυνση των ανέμων είναι ΒΔ. Χαρακτηριστικό είναι ότι εξαιτίας των ανέμων η περιοχή αναφοράς εμφανίζει πολύ μεγαλύτερη ξηρασία το καλοκαίρι και χαμηλότερες θερμοκρασίες το χειμώνα, σε σύγκριση με δυτικότερες περιοχές του ίδιου γεωγραφικού πλάτους. Οι άνεμοι είναι ισχυροί αρκετές μέρες το χρόνο.

Η απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία 42°C καταγράφηκε στις 7/7/1988 και η απόλυτη ελάχιστη -14°C καταγράφηκε στις 26/1/1963. Ο θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος και ο ψυχρότερος ο Ιανουάριος. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία είναι 67%. Υγρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος και ο μήνας με τη μικρότερη σχετική υγρασία είναι ο Ιούλιος. Στο σχήμα 2.7 παριστάνεται η μηνιαία υγρασία και η θερμοκρασία.



Σχήμα 2.7: Μηνιαία υγρασία και θερμοκρασία (Πηγή: ΕΜΥ, 1959-1997)

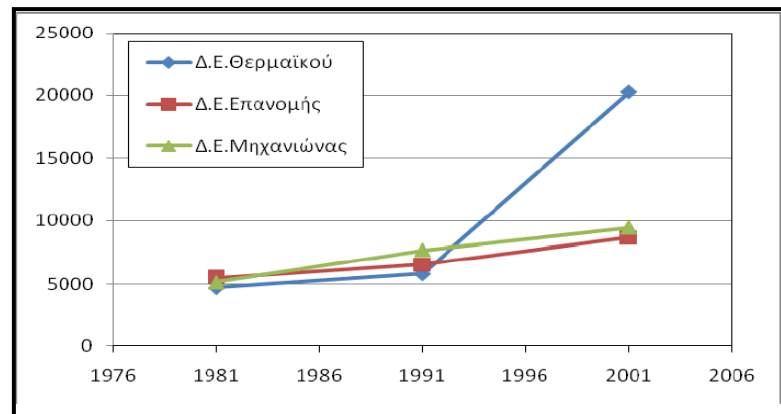
Πίνακας 3.1: Πληθυσμιακά στοιχεία ανά δημοτική ενότητα (Πηγή: ΕΣΥΕ)

Δημοτικές Ενότητες	Έκταση (Km ²)	Πληθυσμός (1981)	Πληθυσμός (1991)	Πληθυσμός (2001)	Πληθυσμιακή Πυκνότητα ανά Km ²
Θερμαϊκού	22,67	4704	5803	20253	149,72
Μηχανιώνας	21,71	5144	7684	9425	69,67
Επανομής	90.89	5503	6560	8671	64,10
Σύνολο	135,27	15351	20047	38349	283,49

Πίνακας 3.2: Πληθυσμιακά στοιχεία της υπό εξέταση περιοχής (Πηγή: Ε.Σ.Υ.Ε.)

Δήμος	Πληθυσμός 1991	Πληθυσμός 2001	Μεταβολή (%)	ΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ			
				Αστικά (km ²)	%	Αγροτικά	%
Επανομής	6.560	8.671	32,18	7.333	84,57	1.338	15,4
Θερμαϊκού	5.803	20.253	249,01	20.253	100,0	0	0,00
N. Μηχανιώνας	7.684	9.425	22,66	7.303	77,9	2.122	22,5
Μίκρας	5.854	10.427	78,12	7.351	70,50	3.076	29,5
ΣΥΝΟΛΟ	25.901	48.776	88,31	42.240	86,59	6.536	13,4

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται συνεχής αύξηση του μόνιμου πληθυσμού σε όλες τις δημοτικές ενότητες του δήμου Θερμαϊκού. Παρατηρώντας τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι υπάρχουν Δήμοι που εμφανίζουν ραγδαία πληθυσμιακή ανάπτυξη την τελευταία δεκαετία, όπως ο Δ. Θερμαϊκού (249,01%), λειτουργώντας ως χώρος υποδοχής της οικιστικής πίεσης του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Η εξέλιξη αυτή σχετίζεται με τη γειτνίαση της περιοχής με το Πολεοδομικό Συγκρότημα Θεσσαλονίκης, την ύπαρξη του θαλάσσιου μετώπου, την προσφορά γης για κατοικία και την προσφορά σχετικά φθηνής κατοικίας. Η οικιστική και πληθυσμιακή ανάπτυξη διαμορφώνει χαρακτηριστικά ενός αστικού δορυφόρου και προκαλεί μεγάλη οικοδομική δραστηριότητα, με κίνδυνο την αλλοίωση των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών και της ταυτότητάς της. Πιο συγκεκριμένα η αύξηση του μόνιμου πληθυσμού έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των υδρευτικών αναγκών του δήμου, με συνέπεια τη μείωση των διαθέσιμων αποθεμάτων του υπόγειου νερού λόγω της υπερεκμετάλλευσής τους.



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα με τα πληθυσμιακά στοιχεία του δήμου Θεσσαλονίκης (Βουδούρης, 2010)

4.ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

4.1 Γεωτεκτονική θέση και παλαιογεωγραφία

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο όριο 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. 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 κατά την τελική ορογενετική διεργασία των Ελληνίδων και τοποθετείται στο Τέλος Κρητιδικού – Αρχές Παλαιοκαίνου.



Σχήμα 4.1: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών και η θέση της περιοχής (Κατά Mountrakis et al.1983)

4.2 Λιθοστρωματογραφία και τεκτονική

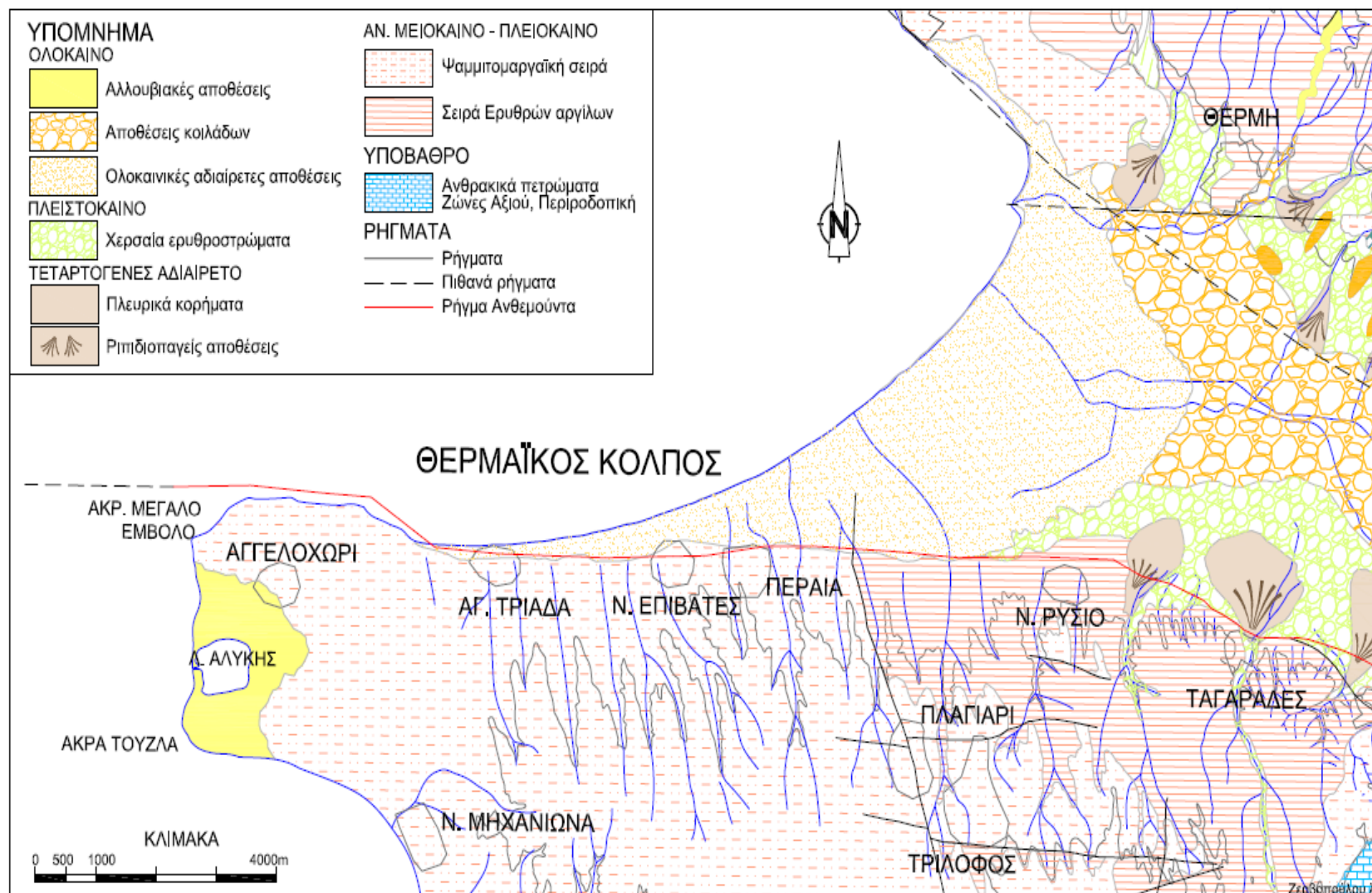
Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής ανήκει στη ζώνη της Παιονίας. Η περιοχή βρίσκεται μεταξύ των ζωνών της Παιονίας και της Περιοδοπικής κάτι που δικαιολογεί και το πλήθος των διαφορετικών πετρωμάτων που συναντάμε. Τα πετρώματα είναι: Ιζηματογενή πετρώματα από τη ζώνη της Παιονίας, πυριγενή πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης και πιο συγκεκριμένα της ενότητας Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη, τμήματα από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής ζώνης, Τριτογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Το ενδιαφέρον μας εστιάζεται κυρίως στις Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Τα ιζήματα αυτά είναι κλαστικά (χάλικες, άμμοι, άργιλοι κ.ά.) και έχουν μεγάλο πάχος (~400 m).

Συνοπτικά οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή είναι οι εξής:

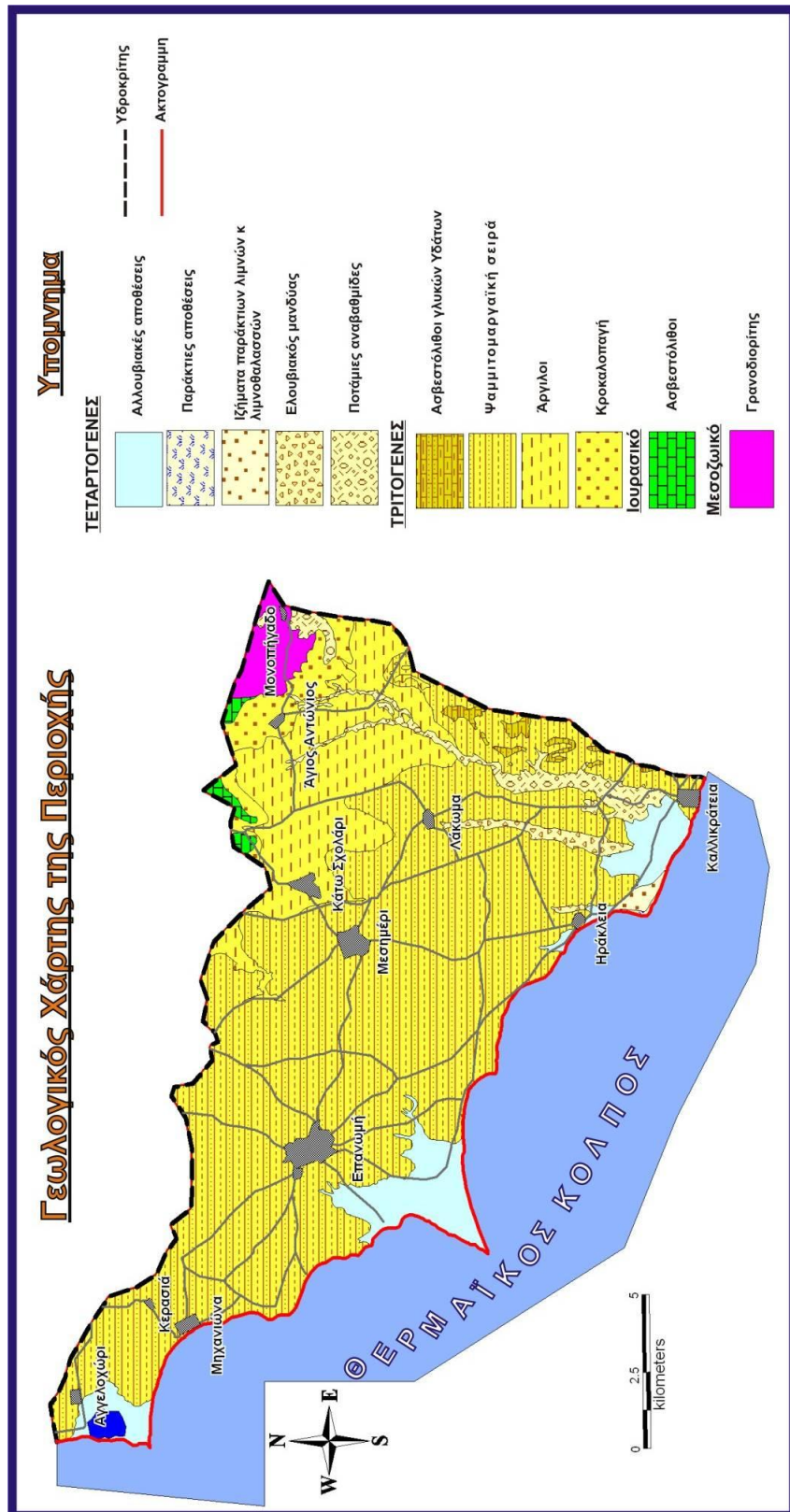
- Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Πλειοκαινικής ηλικίας: Καλύπτει μεγάλο τμήμα της ημιλοφώδους και λοφώδους ζώνης και αποτελείται από στρώματα ψαμμιτών, μαργών και αργίλων.
- Σειρά των ερυθρών αργίλων: Καλύπτει το Ανατολικό άκρο της περιοχής και είναι υποκείμενη της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς. Αποτελείται από εναλλαγές πηλών, αργίλων και αργιλικών ψαμμιτών.
- Αλλουβιακές αποθέσεις: Αποτελούνται από εναλλαγές αργίλων, άμμων, χαλικιών και λεπτομερών υλικών και καλύπτουν την παράκτια ζώνη.

Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής αποτελείται από τη ψαμμιτομαργαϊκή σειρά (Λιμναία-Υφάλμυρη φάση) η οποία κάθεται ομόφωνα πάνω στις ερυθρές έως κεραμόχρωμες αργίλους. Η διαδοχή των στρωμάτων της σειράς (από λιθολογικής πλευράς) δεν είναι σταθερή σ' όλη την έκταση της.

Από άποψη τεκτονικής, τα βυθίσματα (λεκάνες) της περιοχής Θεσσαλονίκης θεωρούνται αποτέλεσμα έντονου εφελκυσμού από το Μειόκαινο έως σήμερα. Οι κύριες διευθύνσεις των ρηγμάτων είναι: A – Δ, ABA – ΔNΔ και BΔ – NΑ. Σπανιότερα σημειώνονται ρήγματα B – N. Στην περιοχή καταγράφεται η παρουσία του ρήγματος της Περαιάς που αποτελεί τμήμα του μεγαλύτερου ενεργού ρήγματος, γνωστού ως ρήγμα του Ανθεμούντα. Το ρήγμα είναι κανονικό με γενική διεύθυνση A-Δ με συνολικό μήκος 32 km (Παυλίδης κ.α., 2007)



Σχήμα 4.2: Συνθετικός γεωλογικός – τεκτονικός χάρτης της περιοχής (Παυλίδης, 2007)



Σχήμα 4.3: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής (Καζάκης, 2007)

5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

5.1 Γενικά

Η περιοχή μελέτης ανήκει στο 10^0 υδατικό διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας στην υδρολογική λεκάνη (1099).

Στην ευρύτερη περιοχή η επιφανειακή απορροή γίνεται με ένα μέτρια ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο που εκβάλλει στον κόλπο της Θεσσαλονίκης. Οι απορρέουσες ποσότητες μέσω των χειμάρρων είναι σχετικά μικρές, λόγω του χαμηλού ύψους βροχόπτωσης και της παρουσίας διαπερατών και ημιδιαπερατών πετρωμάτων στην περιοχή. Έτσι απορροές καταγράφονται μόνο μετά από έντονες βροχοπτώσεις.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην Επανομή χαρακτηρίζονται από διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για τους σχηματισμούς που αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής (γρανίτες, ασβεστόλιθοι) καθώς και τις τριτογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις.

5.2 Υδρολιθολογία

Σχετικά με τους σχηματισμούς του υποβάθρου:

- Οι γρανίτες, ηλικίας Μεσοζωϊκού, που εμφανίζονται στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, χαρακτηρίζονται από έλλειψη πρωτογενούς πορώδους. Η υδροφορία παρουσιάζεται μονάχα ανάμεσα σε διακλάσεις και ρήγματα που διατρέχουν το σχηματισμό και που χαρακτηρίζουν το δευτερογενές πορώδες αυτού.

- Οι ασβεστόλιθοι, ηλικίας Ιουρασικού, εμφανίζονται στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής και καλύπτουν ένα μικρό κομμάτι της λεκάνης απορροής. Εμφανίζονται ισχυρά κατακερματισμένοι και έντονα καρστικοποιημένοι και αποτελούν τα κατ' εξοχήν υδροπερατά πετρώματα της περιοχής μελέτης.

Όσον αφορά τις τριτογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής:

- Τις Τριτογενείς αποθέσεις της περιοχής συνιστούν τα κροκαλοπαγή και οι άργιλοι που συναντώνται στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής, η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά που καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής, καθώς και οι

ασβεστόλιθοι γλυκών υδάτων που συναντώνται στο ανατολικό τμήμα αυτής. Τα κροκαλοπαγή και οι ασβεστόλιθοι γλυκών υδάτων χαρακτηρίζονται από υψηλή υδροφορία, η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά από μέτρια, ενώ μηδαμινή υδροφορία εμφανίζουν οι άργιλοι.

- Τις Τεταρτογενείς αποθέσεις συνιστούν οι παράκτιες και αλλουβιακές αποθέσεις, τα ιζήματα παράκτιων λιμνών και λιμνοθαλασσών, ο ελλουβιακός μανδύας και οι ποτάμιες αναβαθμίδες. Τα ιζήματα των παράκτιων λιμνών και λιμνοθαλασσών καθώς και οι παράκτιες αποθέσεις χαρακτηρίζονται από χαμηλή υδροπερατότητα και υδροφορία. Αντιθέτως, από υψηλή υδροφορία χαρακτηρίζονται οι αλλουβιακές αποθέσεις, ο ελλουβιακός μανδύας και οι ποτάμιες αναβαθμίδες.

5.3 Υδροφορία

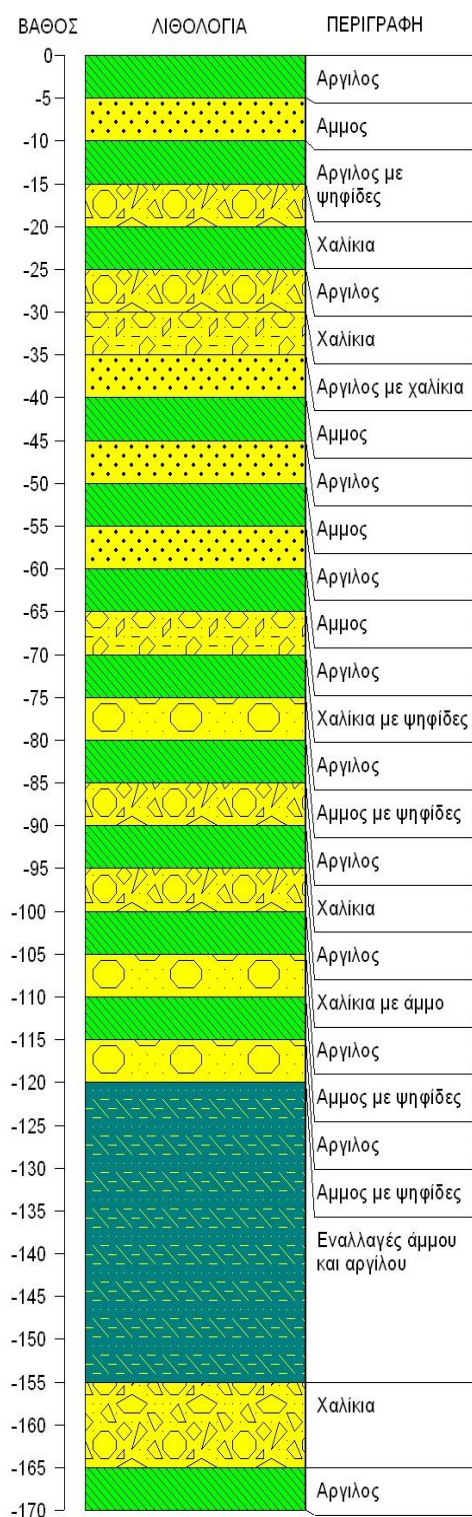
Εντός των ανωτέρω αποθέσεων φιλοξενούνται επάλληλοι υδροφόροι ορίζοντες. Από τα στοιχεία γεωτρητικής έρευνας διακρίνεται κυρίως ένας φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας (10-20 m βάθος) και βαθύτεροι υπό πίεση (40-200 m). Η τροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων γίνεται από απευθείας κατείσδυση του νερού της βροχόπτωσης, από πλευρικές διηθήσεις κατά μήκος των υδρορευμάτων, καθώς και από εισροές από την ανάντη περιοχή. Εκτιμάται επίσης ότι ποσοστό 10-20% του νερού άρδευσης, ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας επανατροφοδοτεί τους υδροφόρους ορίζοντες (Panagopoulos et al., 2002).

Με βάση τις γεωλογικές τομές των γεωτρήσεων, που έχουν ανορυχθεί στην περιοχή, προκύπτει ότι το βάθος τους κυμαίνεται από 10-25 m στην παράκτια ζώνη και >50 m στην εσωτερική ζώνη. Οι παροχές των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 30-100 m³/h, με τις μεγαλύτερες τιμές να συναντώνται στην Επανομή και τις μικρότερες στην Περαιά. Η στάθμη του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 15-100 m από την επιφάνεια του εδάφους. Στην παράκτια ζώνη, παλαιότερα είχαν καταγραφεί και φαινόμενα αρτεσιανισμού.

Πρέπει να τονισθεί, ότι λόγω εξάντλησης των ανώτερων αβαθών υδροφόρων στρωμάτων, το βάθος διάτρησης των γεωτρήσεων αυξάνει συνεχώς, κάτω από το επίπεδο της με σκοπό την αξιοποίηση των βαθύτερων υδροφόρων στρωμάτων. Οι αντλήσεις υπερβαίνουν τον φυσικό εμπλουτισμό και σε συνδυασμό με παρατεταμένες

περιόδους ξηρασίες οδηγούν σε συνεχή πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού, λόγω «συσσωρευμένου» ελλείμματος.

Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 5.1), φαίνεται μια αντιπροσωπευτική γεωλογική τομή από την περιοχή της Επανομής. Όπως φαίνεται, η υδροφορία φιλοξενείται σε στρώματα άμμων και χαλικιών που εναλλάσσονται με αργίλους. Οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από $3 \cdot 10^{-3}$ m/sec στα υδροφόρα στρώματα έως $5 \cdot 10^{-7}$ m/sec στις αργίλους.



Σχήμα 5.1: Χαρακτηριστική λιθολογική τομή γεώτρησης από την περιοχή της Επανομής (Βουδούρης κ.α.)

5.4 Διαμόρφωση υδροφορέων

Στην περιοχή μελέτης αναπτύσσονται δύο τύποι υδροφορέων:

1) Ο αλλουβιακός υδροφορέας

Αναπτύσσεται στα αδρομερή μέλη των αλλουβιακών αποθέσεων (κροκάλες, χάλικες, άμμοι) της πεδινής ζώνης. Το πάχος των αποθέσεων φθάνει λίγες δεκάδες μέτρα στην παράκτια ζώνη. Μεταξύ των αδρομερών φάσεων παρεμβάλλονται λεπτομερείς φάσεις, υδροστεγανές ή αποτελούμενες από μικρής περατότητας υλικά. Έτσι, λόγω αυτού, δημιουργούνται κατά θέσεις τόσο ελεύθεροι (φρεάτιοι) υδροφορείς όσο και υπό πίεση.

Στις παράκτιες αποθέσεις όπου επικρατεί κυρίως άμμος, καθώς και στα τεταρτογενή ιζήματα που καλύπτουν τη ψαμμιτομαργαϊκή σειρά, παρατηρείται υψηλή υδροπερατότητα ($\kappa=10^{-5}$ m/s έως 10^{-2} m/s).

Οι υδροφορείς αυτοί τροφοδοτούνται από απευθείας κατείσδυση του νερού της βροχόπτωσης και από διηθήσεις των χειμάρρων. Στην επανατροφοδότηση των υδροφόρων στρωμάτων συμμετέχουν και οι διηθήσεις των βόθρων και οι διαρροές του δικτύου ύδρευσης.

Η εκμετάλλευση του αλλουβιακού υδροφορέα γίνεται με περιορισμένο αριθμό πηγαδιών.

Λόγω όμως της αστικοποίησης της περιοχής καθώς και της ποιοτικής υποβάθμισης, ο υδροφορέας αυτός δεν παρουσιάζει κανένα υδρογεωλογικό ενδιαφέρον και έτσι τα τελευταία χρόνια δεν αξιοποιείται.

2) Ο υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας

Αναπτύσσεται εντός της νεογενούς ιζηματογενούς ψαμμιτομαργαϊκής σειράς, η οποία καλύπτει σημαντικό τμήμα της ημιλοφώδους ζώνης. Αυτή η σειρά αποτελείται από εναλλαγές άμμων, ψαμμιτών, μαργών και αργίλων αλλά και φακούς. Από τις εναλλαγές αυτές, οι άμμοι εμφανίζουν σχετικά αυξημένη υδροπερατότητα ($\kappa \sim 10^{-4}$ m/s).

Σε όλη την περιοχή εμφάνισης της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς αναπτύσσονται επάλληλοι υπό πίεση υπόγειοι υδροφορείς.

Η τροφοδοσία γίνεται από την απευθείας κατείσδυση νερού της βροχόπτωσης και με διηθήσεις των χειμάρρων. Διαπιστώθηκε επίσης και υποθαλάσσια τροφοδοσία των υδροφόρων αυτών της περιοχής, από Βορρά (Κουμαντάκης, 2006).

Χαρακτηριστικό της υπόγειας υδροφορίας στη ψαμμιτομαργαϊκή σειρά είναι ότι δεν είναι συνεχής και ομοιόμορφη, και αυτό έχει σαν συνέπεια να μην συναντάται ικανοποιητική υδροφορία σε οποιαδήποτε θέση και αν ανορυχθεί γεώτρηση. Από γεωτρητική έρευνα έχει διαπιστωθεί ότι πολλές γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν στη σειρά αυτή δεν συνάντησαν υδροφορία. Από την εκμετάλλευση του υδροφόρου αυτού γίνεται η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών των Δήμων της περιοχής.

Το βάθος των γεωτρήσεων στη ψαμμιτομαργαϊκή σειρά κυμαίνεται από 300 m. έως πάνω από 500 m.

5.5 Διαχείριση νερού

Η ύδρευση στο σύνολο της εξυπηρετούμενης περιοχής γίνεται από εκμετάλλευση υπόγειων και επιφανειακών νερών καλυπτόμενων από τοπικούς υδάτινους πόρους. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού προς ύδρευση βρίσκονται υπό τον έλεγχο του κράτους και της Τοπικής Αυτοδιοίκησης με τοπικούς αρμόδιους τις Δημοτικές Επιχειρήσεις Ύδρευσης και Αποχέτευσης. Το δίκτυο ύδρευσης του δήμου είναι αυτόνομο, μήκους 603 km και αποτελείται από 22 υδρογεωτρήσεις, 12 δεξαμενές, το εσωτερικό και εξωτερικό δίκτυο αγωγών. Πρόκειται για ένα νέο σχετικά δίκτυο (5-10 χρονών) αφού η συγκεκριμένη περιοχή είναι ακόμη υπό ανάπτυξη. Δύο εκ των γεωτρήσεων είναι ετοιμοπαράδοτες ενώ αναμένονται άλλες 22. Κατά τη διαδικασία των γεωτρήσεων εντοπίστηκαν ποσότητες σιδήρου, μαγγανίου και άλλων οργανικών χαρακτηριστικών που προκαλούν άσχημη μυρωδιά, με αποτέλεσμα να μην μπορεί το νερό να χρησιμοποιηθεί. Το πρόβλημα αυτό οδήγησε στην καθυστέρηση της λειτουργίας αρκετών γεωτρήσεων. Στην Επανομή ειδικά παρουσιάζεται πιο έντονο το πρόβλημα, λόγω των συγκεντρώσεων νιτρικών αρσενικού, φαινόμενο που οφείλεται στις καλλιέργειες. Γενικότερα, τα προβλήματα των υφιστάμενων δικτύων αφορούν κυρίως τη συντήρηση, την επέκταση ή την αντικατάσταση των παλαιών δικτύων που παρουσιάζουν διαρροές από διάρρηξη ή εμφράξεις, λόγω της συσσώρευσης αλάτων.

Αξιολόγηση: Η ποσότητα του νερού που καταναλώνεται είναι μεγάλη, ειδικότερα τους θερινούς μήνες που υπάρχουν επισκέπτες. Βασικές αιτίες αποτελούν αφενός η ραγδαία οικιστική ανάπτυξη της περιοχής και αφετέρου η έλλειψη ορθολογικής διαχείρισης, με αποτέλεσμα τα αποθέματα του νερού να είναι ανεπαρκή. Είναι δυσχερείς η κάλυψη των οικιακών αναγκών, ενώ σε ένα μεγάλο αριθμό των δημοτικών υδρευτικών γεωτρήσεων παρουσιάζεται το φαινόμενο της υφαλμύρισης, ως αποτέλεσμα της υπεράντλησης κατά την προσπάθεια κάλυψης των αναγκών και το πλήθος των ιδιωτικών και παράνομων γεωτρήσεων που υπάρχουν. Στο φαινόμενο αυτό συντελεί επίσης το ότι η περιοχή βρίσκεται σε πολύ μικρή απόσταση από τη θάλασσα.

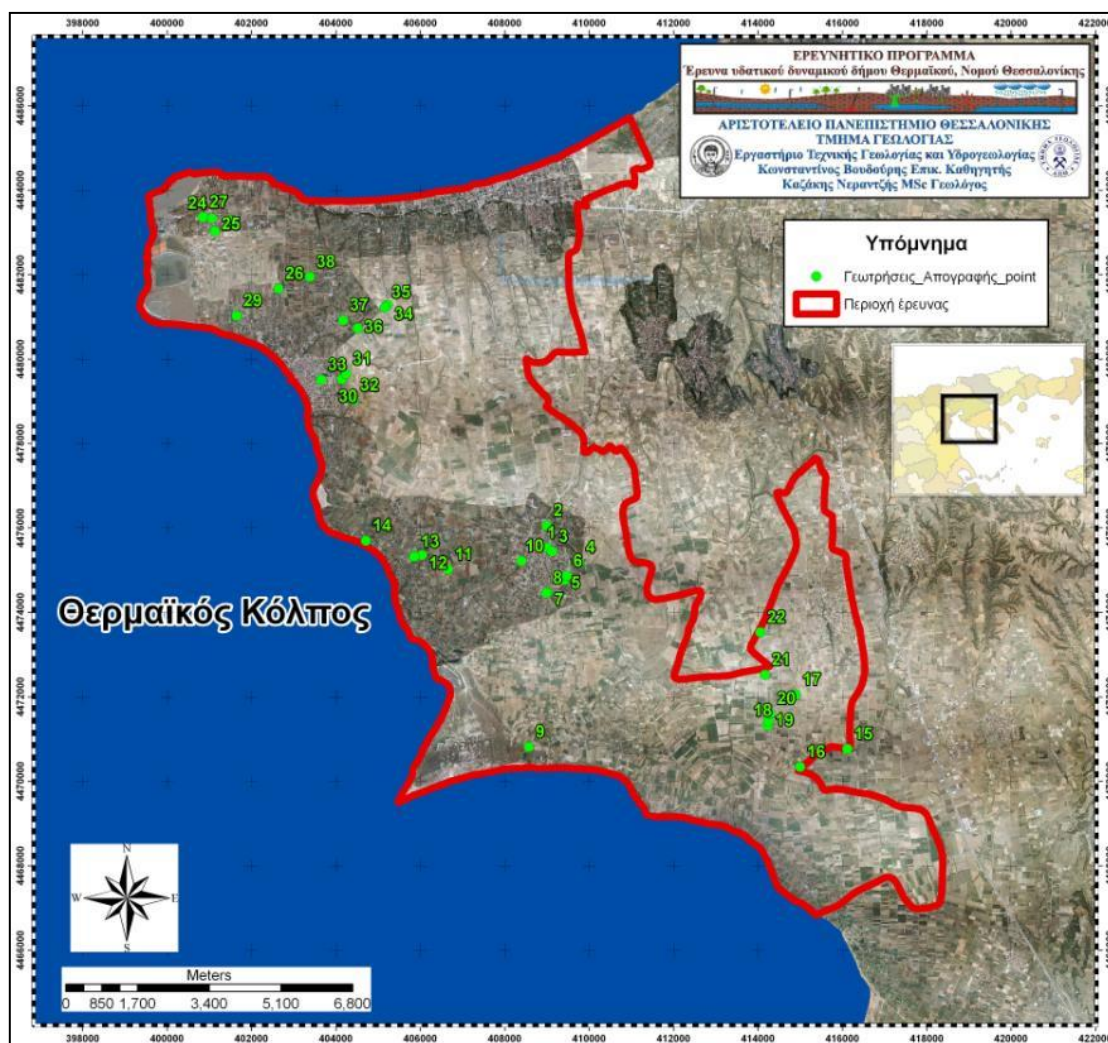
5.6 Απογραφή υδρογεωτρήσεων

Στα πλαίσια της δημιουργίας δικτύου παρακολούθησης της πιεζομετρίας και της ποιότητας του υπόγειου νερού, πραγματοποιήθηκε απογραφή των υδρογεωτρήσεων των δημοτικών κοινοτήτων της Μηχανιώνας και της Επανομής του Δήμου Θερμαϊκού. Στη Δ.Κ. Επανομής ανήκουν συνολικά 22 γεωτρήσεις από τις οποίες οι 8 λειτουργούν για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών.

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι γεωτρήσεις του Δήμου Θερμαϊκού, και συγκεκριμένα της Επανομής, που απογράφηκαν με τα ονόματα που χρησιμοποιούνται από το δήμο. Στο σχήμα 5.2 αποτυπώνονται οι θέσεις τους με βάση τον αύξοντα αριθμό του πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Γεωτρήσεις της Δ.Κ. Επανομής (Βουδούρης, 2012)

Δημοτική Ενότητα	A/A	Όνομα	x	y
Επανομής	1	Πλατεία	409011.6	4475533
	2	Κτηνιατρεία	408996.7	4476058
	3	Αρβανίτικο	409128.4	4475455
	4	Πίσω από το γήπεδο	409773.4	4475191
	5	Πέτκου	409414.8	4474776
	6	Γήπεδο	409472.5	4474868
	7	Αμαξοστάσιο	409022.3	4474478
	8	Αμαξοστασιο παλαιό	408989.2	4474466
	9	Ποταμός	408574.8	4470823
	10	Άγιος Σπυρίδωνας	408402.1	4475220
	11	Κοκκινόγιες Πύργος	406660.3	4475025
	12	Υδατόπυργος Πύργος	406047.1	4475366
	13	Παλπάνα Πύργος	405855.7	4475328
	14	Πλαζ κτήμα караγκιόζη	404717.5	4475704
	15	Αρδευτική Καρέλου	416122.6	4470775
	16	Αρδευτική Πατώματα	415002.3	4470344
	17	Φούρνος	414901.5	4472060
	18	Σιλίκ Πουρνάρ Δυτική Δεξαμενή	414232.9	4471324
	19	Σιλίκ Πουρνάρ παλαιά	414248.3	4471432
	20	Ανατολική Δεξαμενή	414297.5	4471610
	21	Μάλαμα	414173.6	4472530
	22	Πύρου	414062.5	4473537



Σχήμα 5.2: Θέσεις των γεωτρήσεων που απογράφησαν (οι περαιτέρω γεωτρήσεις είναι από την Δ.Κ.Μηχανιώνας) (Βουδούρης, 2012)

Πίνακας 5.2: Εν ενεργεία υδρευτικές γεωτρήσεις του Δήμου Θερμαϊκού από την Δ.Κ.Επανομής (Βουδούρης, 2012)

Δημοτική Ενότητα – Τοπική Κοινότητα	Α/Α	Ονομασία / Τοποθεσία	x	y	Μέση παροχή (m ³ /h)
ΕΠΑΝΟΜΗΣ	1	ΠΛΑΤΕΙΑ	409017	4475534	50
	2	ΑΡΒΑΝΙΤΙΚΟ	409134	4475470	35
	3	ΠΥΡΓΟΣ - ΠΑΛΠΑΝΑ	405856	4475326	120
	4	ΠΥΡΓΟΣ - ΥΔΑΤΟΠΥΡΓΟΣ	406045	4475354	50
	5	ΑΜΑΞΟΣΤΑΣΙΟ	409028	4474485	60
	6	ΠΕΤΚΟΥ	409409	4474789	100
	7	ΠΥΡΓΟΣ - ΚΟΚΚΙΝΟΓΕΣ	406654	4475038	50
	8	ΑΓ. ΣΠΥΡΙΔΩΝ	408401	4475233	50

5.7 Στάθμη υπόγειου νερού

Η φυσική διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού είναι από Νότο προς τη Βόρεια ακτή, αλλά η διεύθυνση ελέγχεται από τη δημιουργία κώνων πτώσης στάθμης σε περιοχές όπου γίνεται υπεράντληση.

Με βάση πρόσφατες μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού στην περιοχή έρευνας, καταγράφονται αρνητικές στάθμες, που ανέρχονται ως -44 m από το επίπεδο της θάλασσας.

Σημειώνεται επίσης ότι τη δεκαετία του 1970, σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες, εμφανιζόταν αυτόματη ροή του νερού (αρτεσιανισμός) σε γεωτρήσεις της παράκτιας ζώνης, φαινόμενα που έχουν εκλείψει σήμερα, λόγω εκτεταμένων γεωτρήσεων.

Η μέση ετήσια άνοδος της στάθμης του υπόγειου νερού κατά την υγρή περίοδο ανέρχεται σε 2.5 m. Καταγράφεται μια πτώση στάθμης του υπόγειου νερού στις γεωτρήσεις που αντλούνται συνεχώς σε υπερετήσια βάση.

5.8 Μεθοδολογία εργαστηριακών δοκιμών

5.8.1 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα

Η κοκκομετρική ανάλυση θεωρείται ως μια από τις βασικές μεθόδους κατάταξης των εδαφών. Στην ουσία προσδιορίζει τη συμμετοχή των διαμέτρων των κόκκων, ως ποσοστών, στο συνολικό όγκο του θεωρούμενου εδάφους. Οι πληροφορίες που παίρνουμε από την κοκκομετρική ανάλυση μας διευκολύνουν να προβλέψουμε την συμπεριφορά των εδαφών, όσον αφορά στην αντοχή και την παραμόρφωση, καθώς και να συμπεράνουμε τη δυνατότητα κίνησης του υπόγειου νερού (διήθηση) μέσα από τα κενά μεταξύ των κόκκων.

Για την ονομασία και τη 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 5.3: 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 Νο4 (4.76 mm)	Χονδρόκοκκα χαλίκια	Συγκρατούνται μεταξύ των κόσκινων 76,2 mm και 19 mm
		Λεπτόκοκκα χαλίκια	Συγκρατούνται μεταξύ των κόσκινων 19 mm και Νο4 (4.76 mm)
Άμμος	Η άμμος συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων Νο4 (4.76 mm) και Νο200 (0.075 mm)	Χονδρόκοκκη άμμος	Συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων Νο4 (4.76 mm) και Νο10 (2 mm)
		Μεσόκοκκη άμμος	Συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων Νο10 (2 mm) και Νο40 (0.425 mm)
		Λεπτόκοκκη άμμος	Συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων Νο40(0.425 mm) και Νο200 (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 κοσκίνισματος

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 κοσκίνισματος, όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω, μπορεί να γίνει και με ειδικές μηχανές κοσκίνισματος (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 5.3: Συσκευή κοσκίνισματος και κόσκινα

2. Σειρά κοσκίνων

Τα κόσκινα είναι κατασκευασμένα από πεπλεγμένο σύρμα, τετραγωνικών ανοιγμάτων των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 0,075 mm έως 25.0 mm. 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 5.4: Γουδί και γουδοχέρι (http://www.atas.gr/product.php?products_id=730)

4. Ζυγαριά με ακρίβεια 3 δεκαδικών ψηφίων

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



Σχήμα 5.5: Ζυγαριά ακριβείας (μέσα βρίσκεται το εδαφικό υλικό μετά τη ξήρανσή του)

Η διαδικασία που ακολουθείται 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.



Σχήμα 5.6: Φούρνος στον οποίο θερμαίνεται το δείγμα



Σχήμα 5.7: Φούρνος στον οποίο θερμαίνεται το δείγμα

5.8.2 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.

5.8.3 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό προσδιορισμό της κατά μέγεθος κατανομής των κόκκων στα λεπτόκοκκα εδάφη. Για την ανάλυση αυτή χρειάζεται αραιόμετρο (ή υδρόμετρο ή πυκνόμετρο) τύπου 152H (Σχήμα 5.8). Η κλίμακά του έχει υποδιαιρέσεις 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 υποδιαιρέσεις 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 5.8: Πυκνόμετρο

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

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 αμμώδη 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 $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$, 21.6 gr/l). Αναδεύεται καλά με γυάλινη ράβδο και αφήνεται να διαβραχεί για 12 τουλάχιστον ώρες για την αποσυσσώμηση των κόκκων.

Το περιεχόμενο του ποτηριού μεταφέρεται με επίπλευση μέσα σε ένα κύπελλο διασποράς, προστίθεται αποσταγμένο νερό και αναδεύεται με μηχανική συσκευή ανακίνησης (mixer), (σχήμα 5.9), για 1 min για να επιτευχθεί η διασπορά.

Το ομογενές αιώρημα μεταφέρεται σε γυάλινο ογκομετρικό κύλινδρο (σχήμα 5.10), 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 στη βαθμονομημένη κλίμακα του αραιομέτρου με προσέγγιση

0,5 gr/lit των 1, 2, 5, 30, 60, 250 και 1440 min από την έναρξη της κατακάθισης. Αμέσως μετά από κάθε ανάγνωση του αραιομέτρου, μετριέται η θερμοκρασία του εδαφικού αιωρήματος με τη χρήση υδραργυρικού θερμομέτρου (σχήμα 5.11).

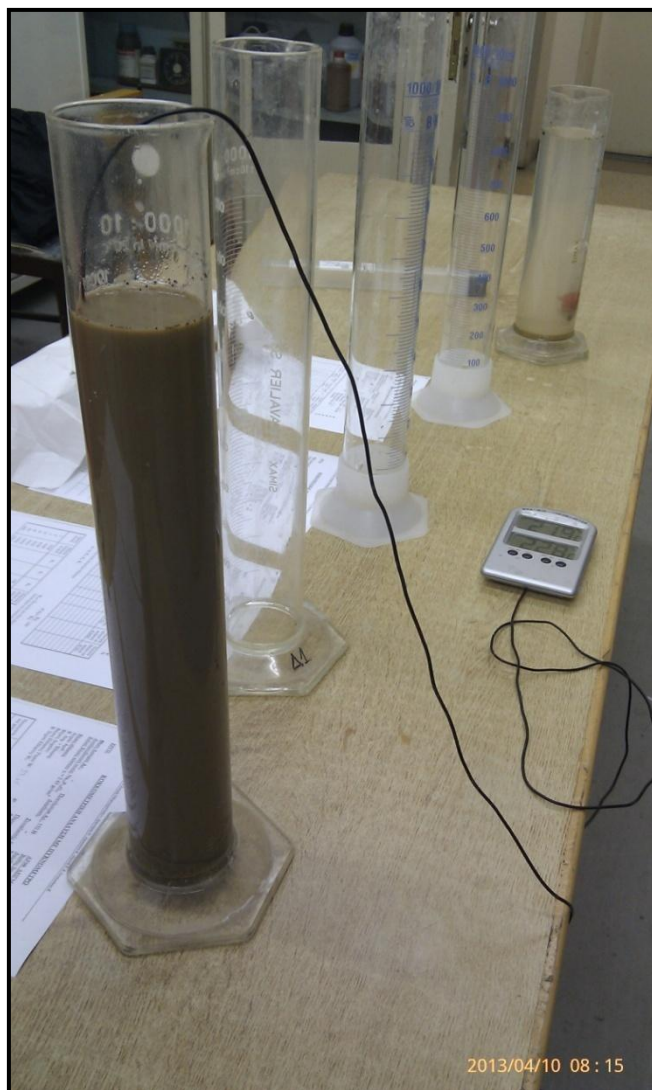
Μετά το τέλος κάθε ανάγνωσης, το αραιόμετρο απομακρύνεται προσεκτικά από το εδαφικό αιώρημα και τοποθετείται με περιστροφική κίνηση μέσα σε ογκομετρικό κύλινδρο γεμάτο καθαρό νερό. Περίπου 30 sec πριν την επόμενη ανάγνωση, το αραιόμετρο από το καθαρό νερό βυθίζεται αργά μέσα στο εδαφικό αιώρημα έτσι 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 5.9: Μηχανική συσκευή ανακίνησης (mixer)



Σχήμα 5.10: Ογκομετρικοί κύλινδροι που περιέχουν το εδαφικό αιώρημα



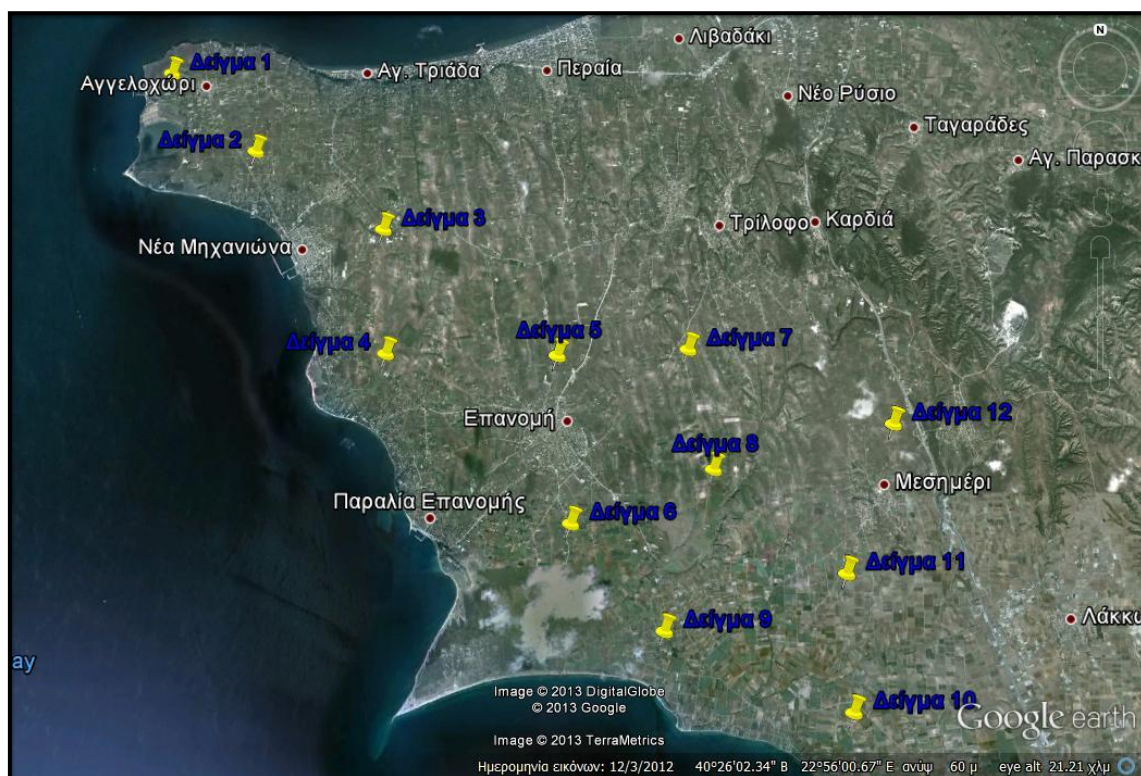
Σχήμα 5.11: Μέτρηση της θερμοκρασίας του εδαφικού αιωρήματος με τη χρήση υδραργυρικού θερμομέτρου

5.8.4 Παρουσίαση μετρήσεων

Κατά την κοκκομετρική ανάλυση του υλικού που πλύθηκε στο κόσκινο Νο. 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 Νο. 10 κλάσμα υπολογίζονται δια του πολ/σμού των πιο πάνω τιμών με την έκφραση: $(100 - \text{ποσοστό συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο. 10}) / 100$. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα με τη μορφή κοκκομετρικής καμπύλης.

5.8.5 Δειγματοληψία – παρουσίαση αποτελεσμάτων

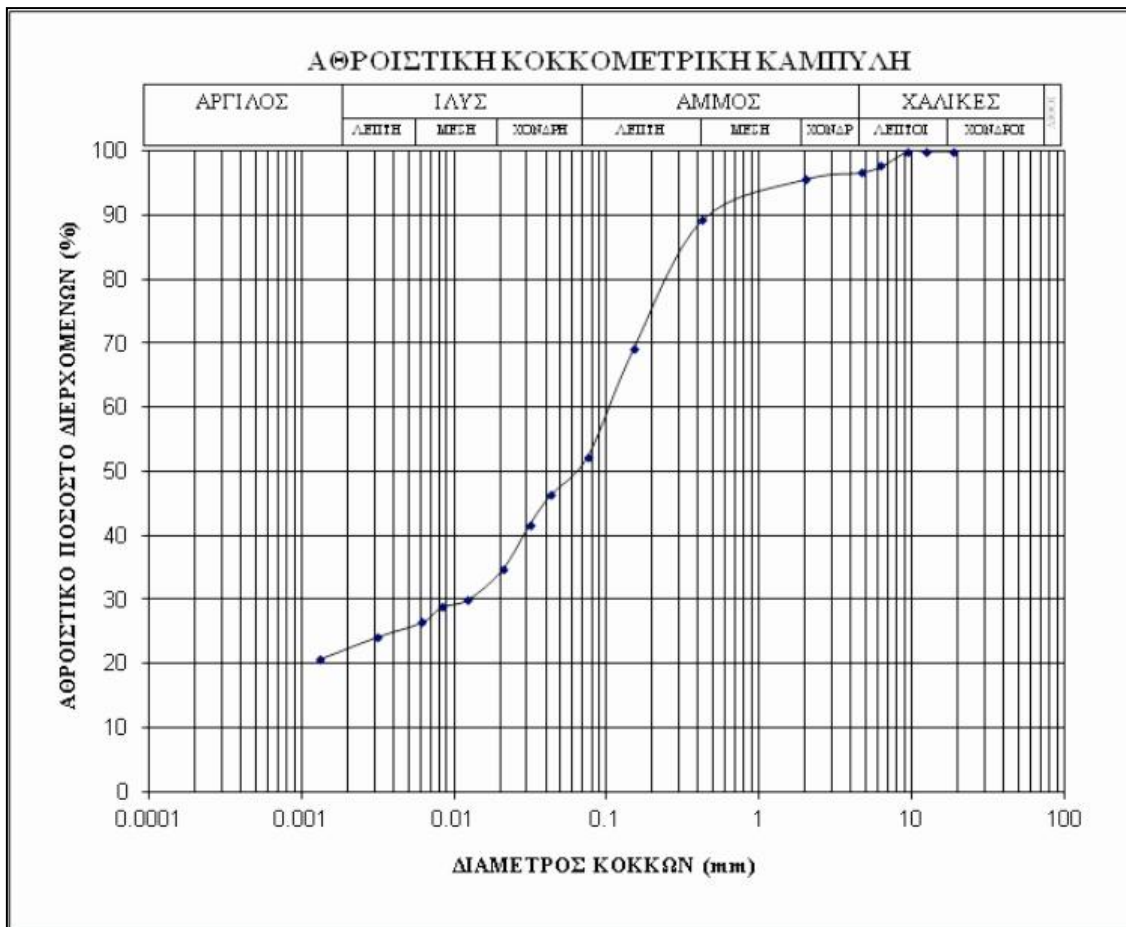
Από την περιοχή έρευνας (Αγγελοχώρι, Μηχανιώνα, Επανομή, Μεσημέρι), συλλέχθηκαν δείγματα από 12 διαφορετικά σημεία (σχήμα 5.12), σε Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμούς, σε βάθος 75cm (εδαφικό υλικό). Στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο για τις εργαστηριακές δοκιμές.



Σχήμα 5.12: Σημεία λήψης δειγμάτων

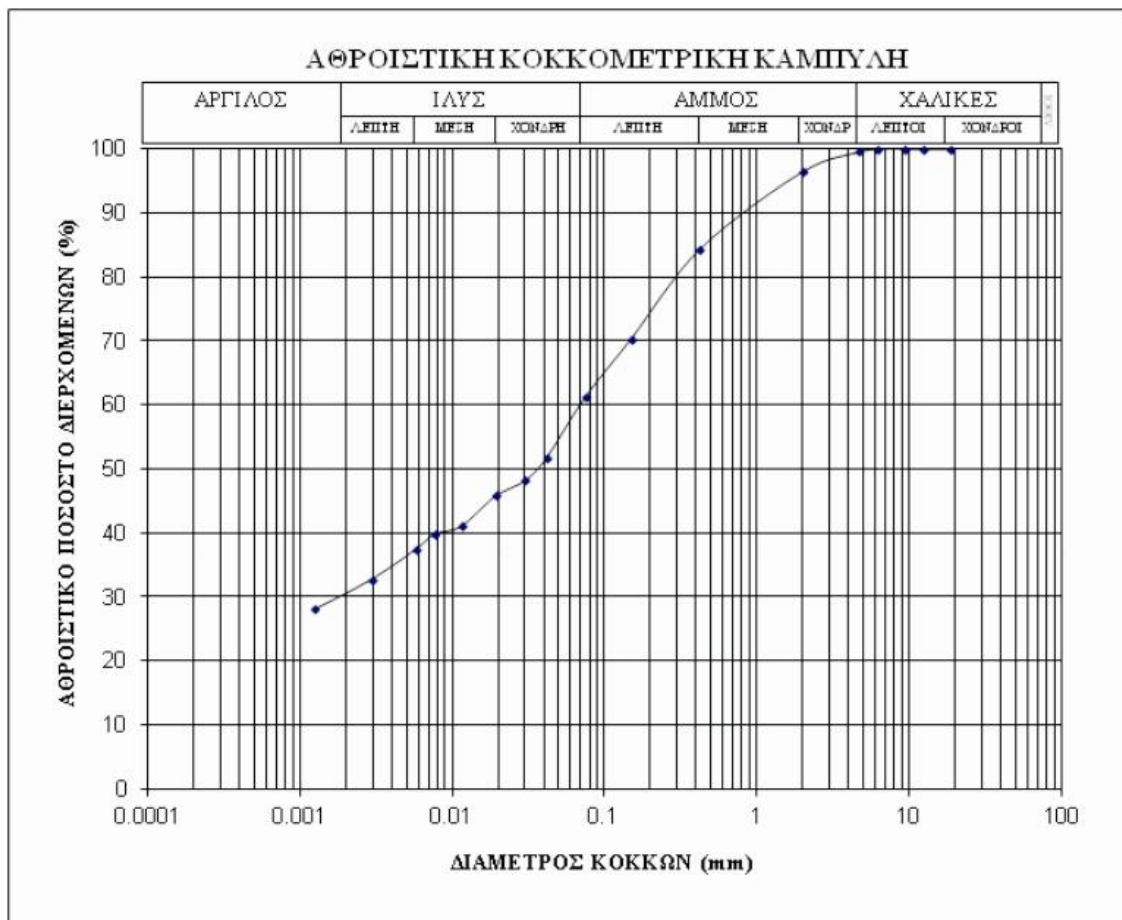
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών για κάθε σημείο, με την αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη του καθενός. Επίσης παρουσιάζεται και ένας συνοπτικός πίνακας που δείχνει την κατανομή, σε ποσοστά, του υλικού για όλα τα δείγματα (πίνακας 5.4).

Δείγμα 1



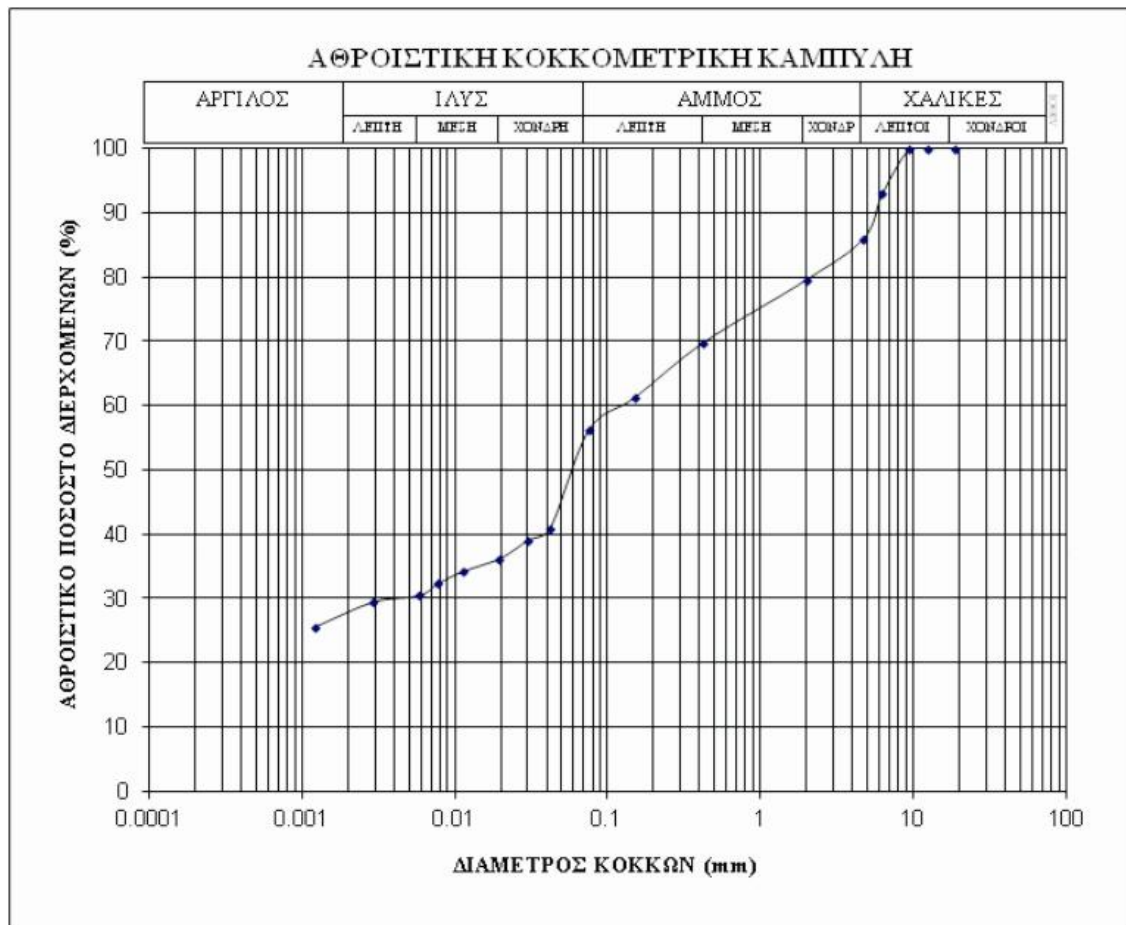
Σχήμα 5.13: Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 1

Δείγμα 2



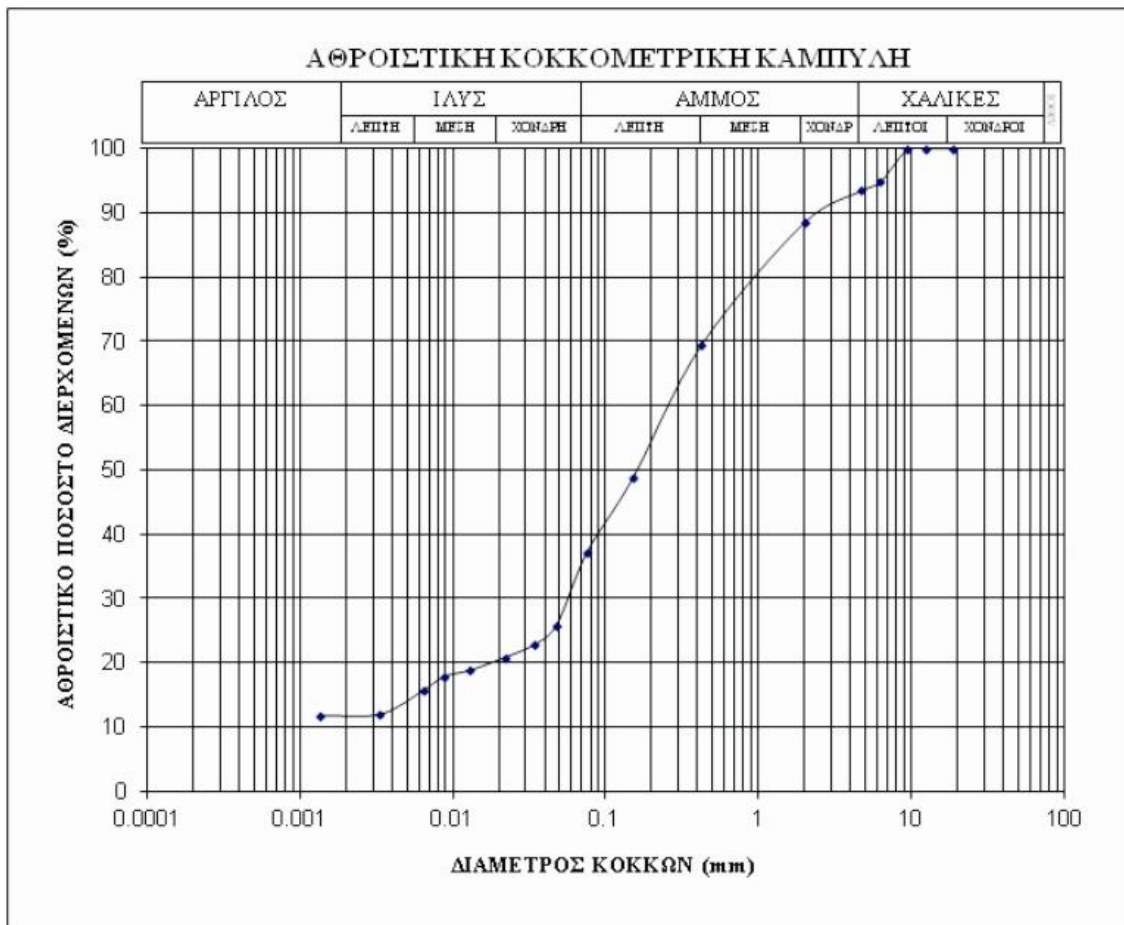
Σχήμα 5.14: Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 2

Δείγμα 3



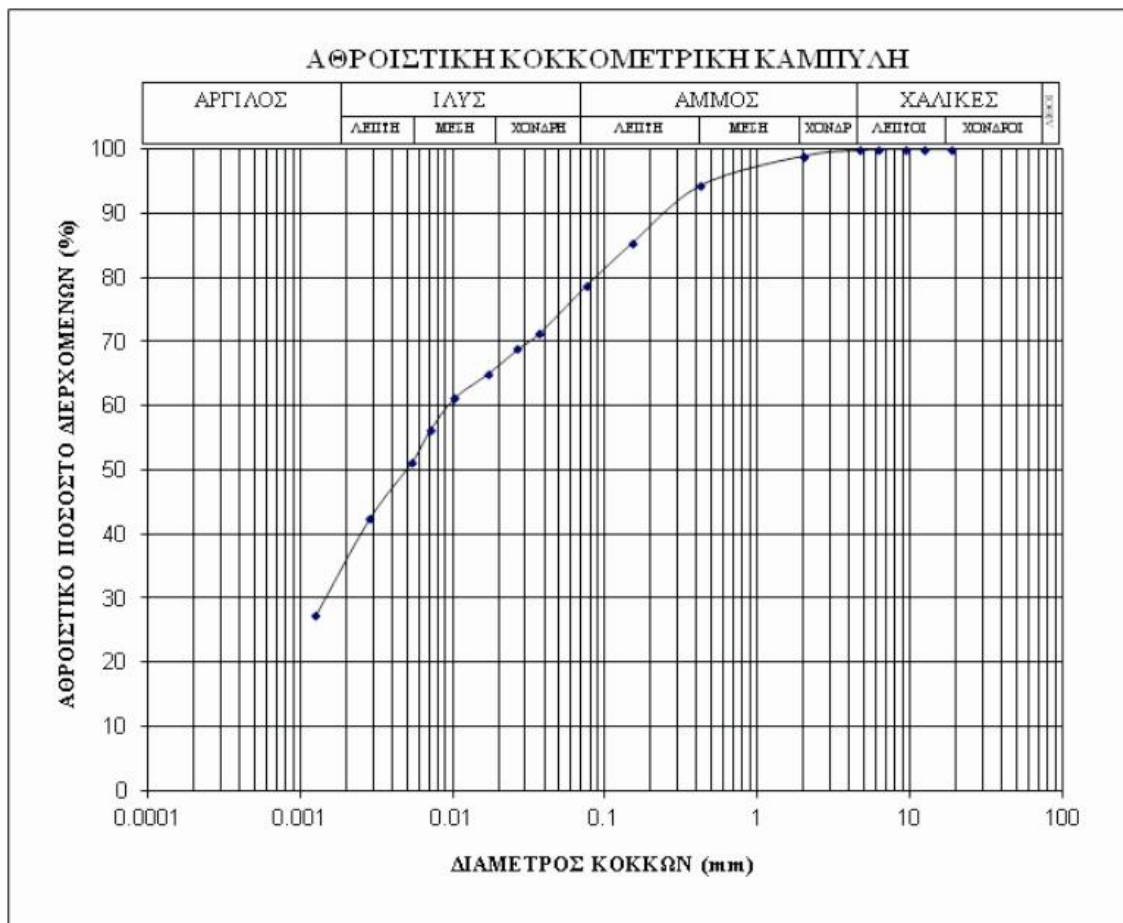
Σχήμα 5.15: Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 3

Δείγμα 4



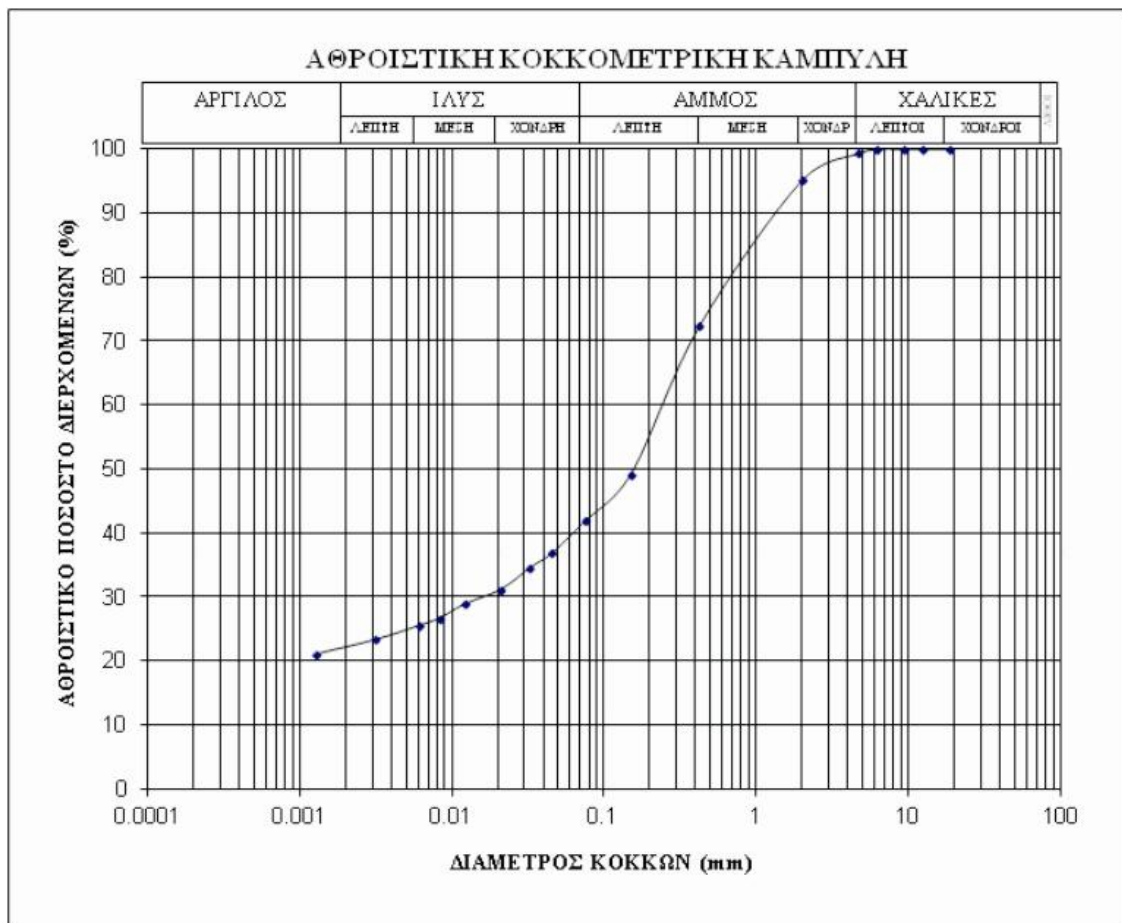
Σχήμα 5.16: Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 4

Δείγμα 5



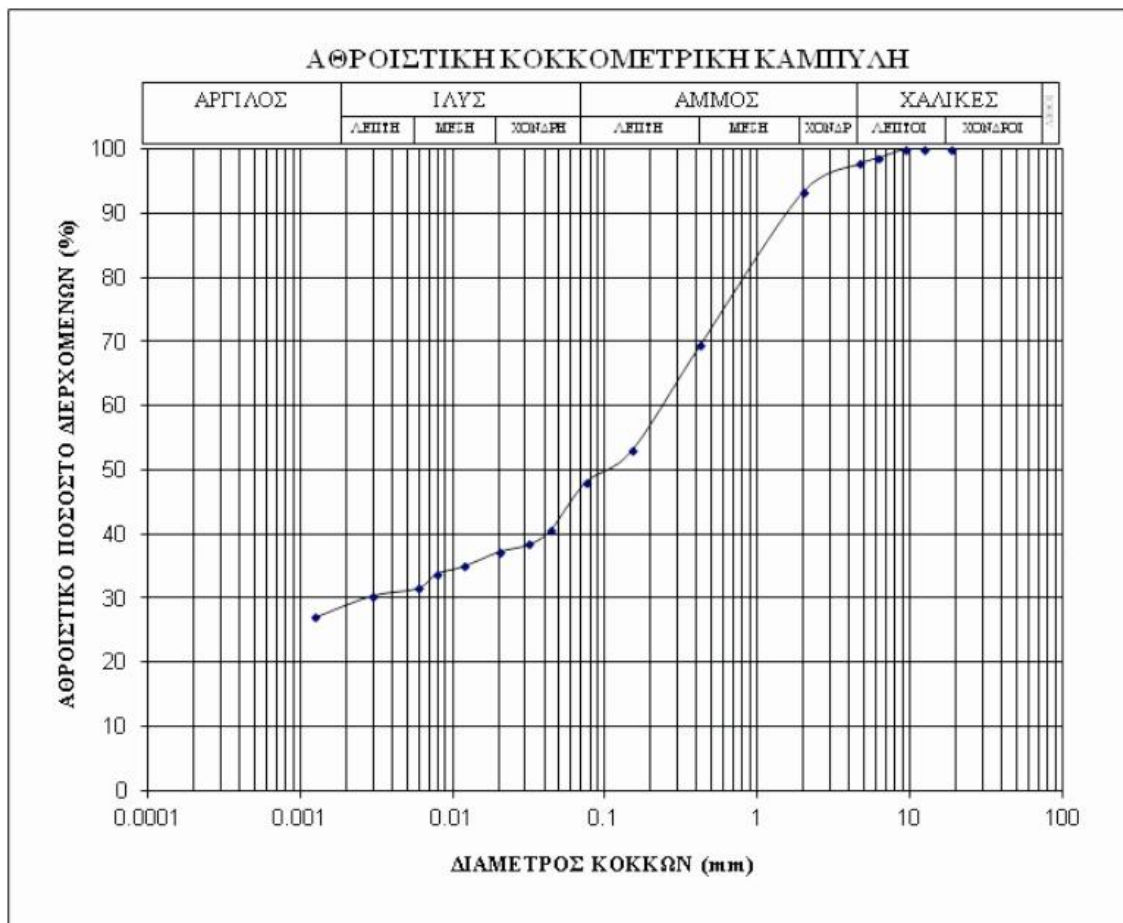
Σχήμα 5.17: Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 5

Δείγμα 6



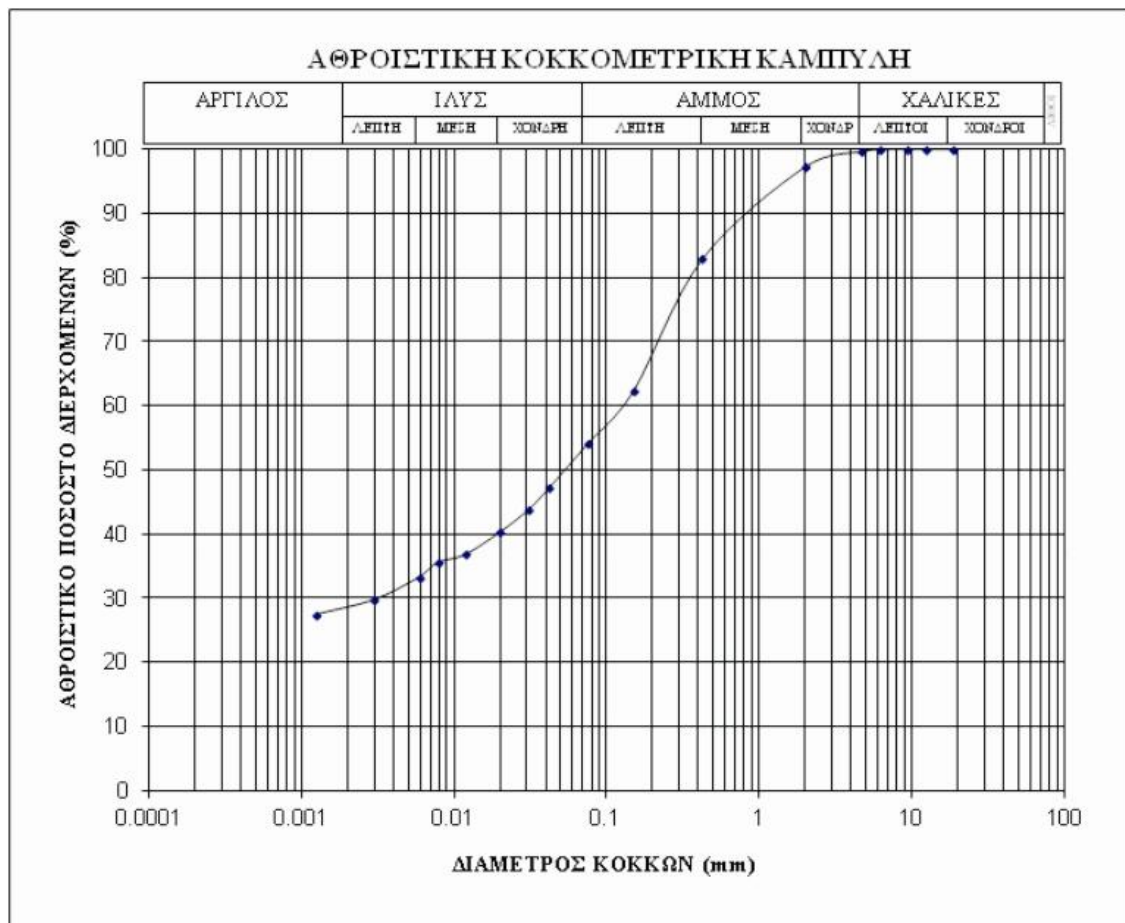
Σχήμα 5.18: Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 6

Δείγμα 7



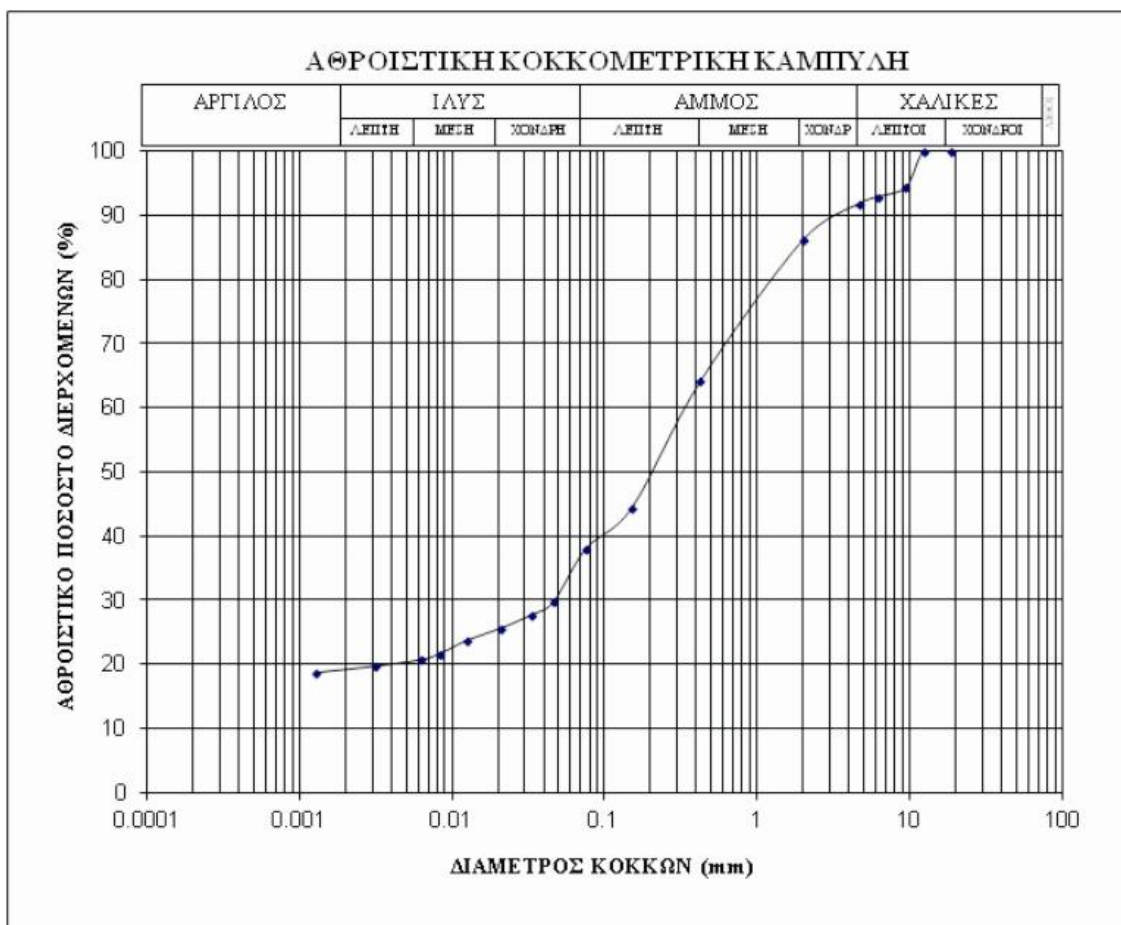
Σχήμα 5.19: Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 7

Δείγμα 8



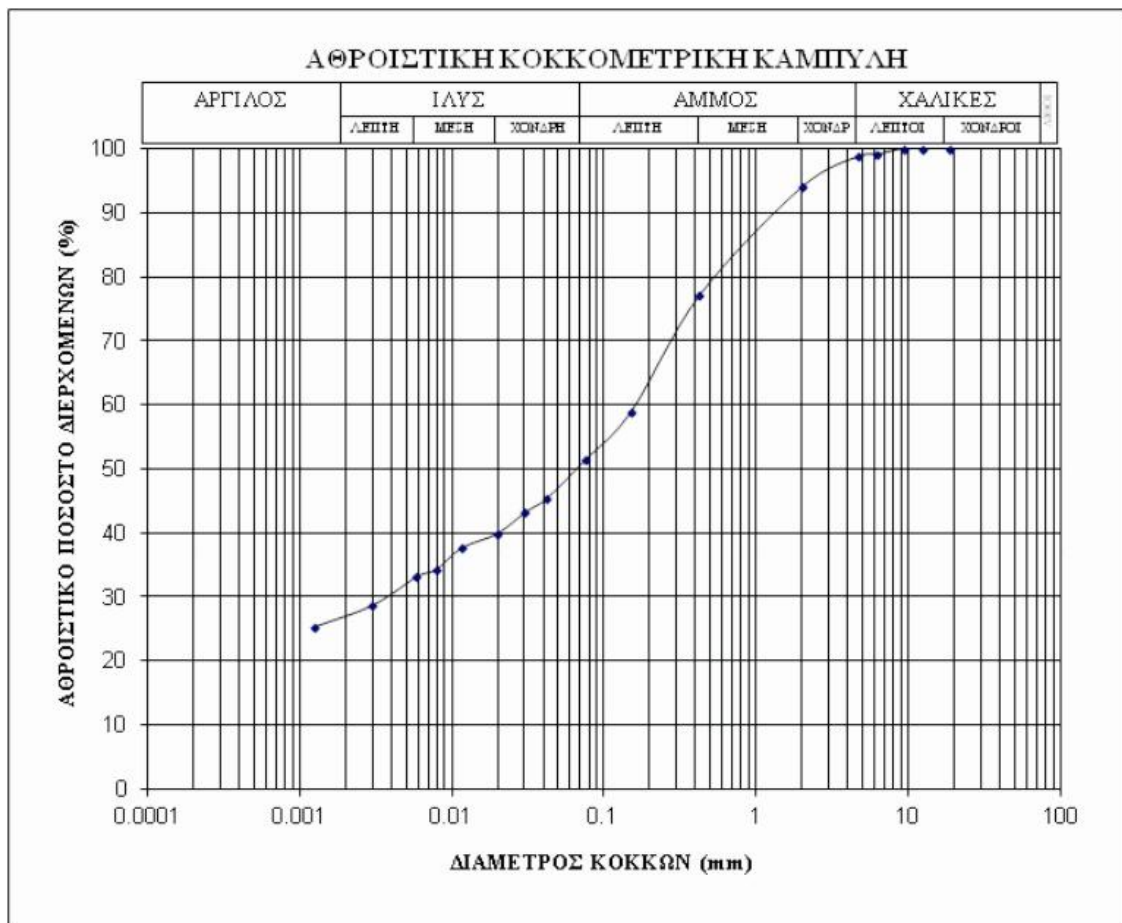
Σχήμα 5.20: Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 8

Δείγμα 9



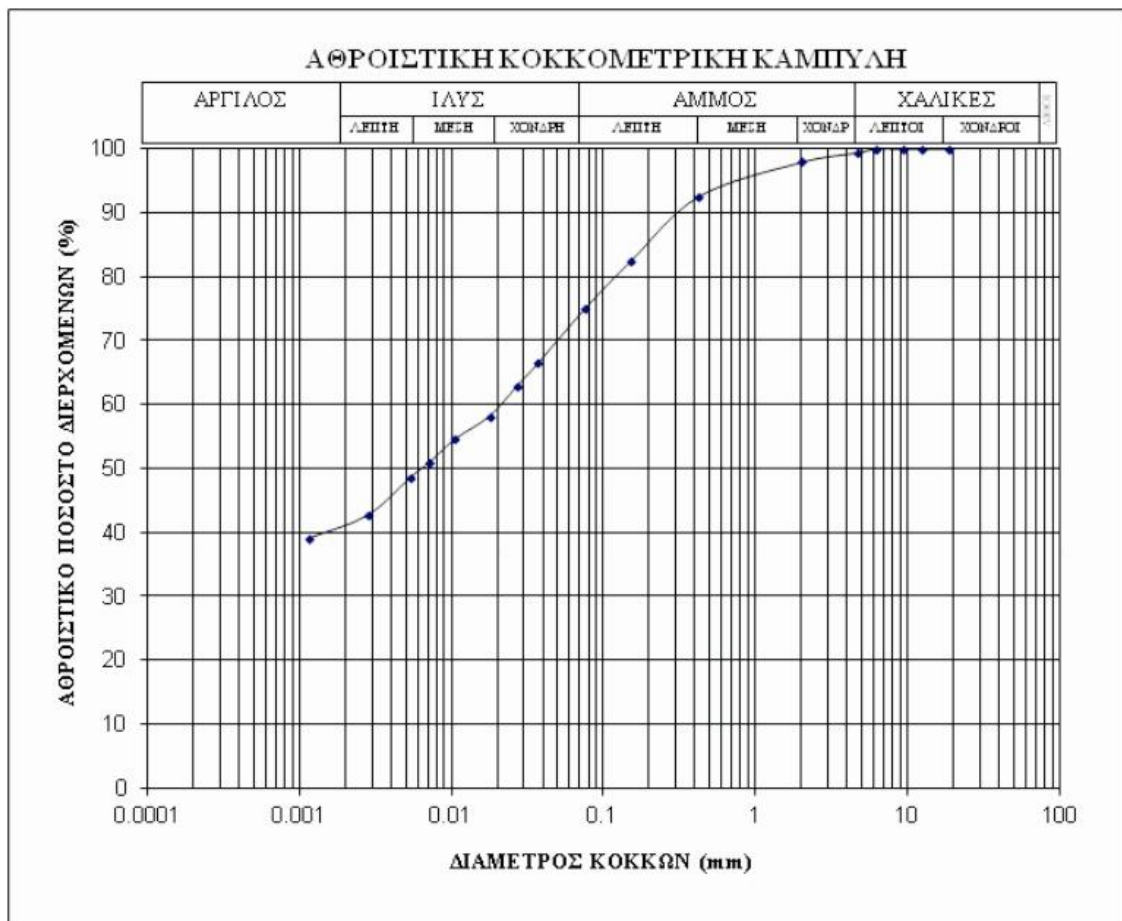
Σχήμα 5.21: Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 9

Δείγμα 10



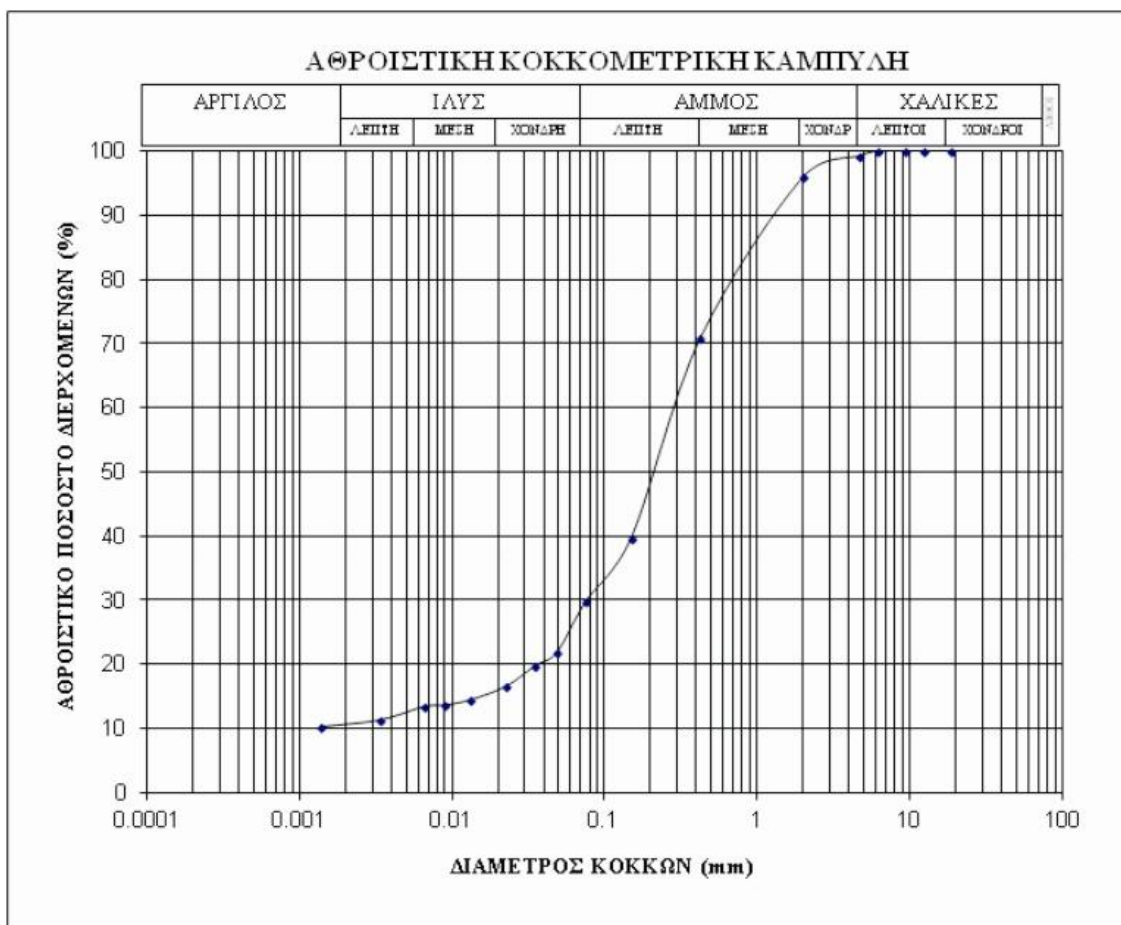
Σχήμα 5.22: Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 10

Δείγμα 11



Σχήμα 5.23: Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 11

Δείγμα 12



Σχήμα 5.24: Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος 12

Πίνακας 5.4: Κατανομή σε ποσοστά στο σύνολο του δείγματος των Χαλ, Αμ, Ιλ, Αργ.

	Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Αργίλος
1	3,30	44,40	30,38	21,92
2	0,44	38,38	31,17	30,02
3	14,05	29,82	28,82	27,31
4	6,58	56,38	25,28	11,76
5	0,18	21,22	44,38	34,22
6	0,65	57,58	19,96	21,81
7	2,30	49,71	19,62	28,36
8	0,33	45,73	25,54	28,40
9	2,51	53,93	18,91	18,95
10	1,24	47,49	24,61	26,65
11	0,58	24,52	34,09	40,81
12	0,84	69,54	19,12	10,49

5.8.6 Μηχανική σύσταση του εδάφους

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 2007). Αυτό εκφράζεται από το τριγωνικό διάγραμμα του σχήματος 5.25 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), Ιλύδες (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) και διευρύνεται η ικανότητα κατιοντικής ανταλλαγής (Cation Exchange Capacity - CEC). Εξίσου σημαντική επίδραση στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων έχει η ποσότητα της οργανικής ουσίας και του οργανικού άνθρακα στο έδαφος. Η ικανότητα κατιοντικής ανταλλαγής υπολογίζεται από την εμπειρική σχέση που τη σχετίζει με το ποσοστό της αργίλου ($<2 \mu\text{m}$) και του οργανικού άνθρακα (OC) (Appelo and Postma, 1996) :

$$\text{CEC (meq/100g)} = 0,7 \times (\text{Clay}\%) + 3,5(\%\text{OC})$$

Η οργανική ουσία (OM) υπολογίστηκε από την πεδοσυνάρτηση που προτάθηκε από τον Dexter (2004), ενώ είναι αποδεκτό ότι ο οργανικός άνθρακας (OC) αποτελεί περίπου το 58% της οργανικής ουσίας στο έδαφος (Nelson & Sommers, 1982) και μπορεί να εξαχθεί από τη σχέση, όπου το 1,72 είναι γνωστό ως συντελεστής του Van Bemmelen.

$$\text{OM}\% = 1,58 + 0,048 \times (\text{Clay } \%)$$

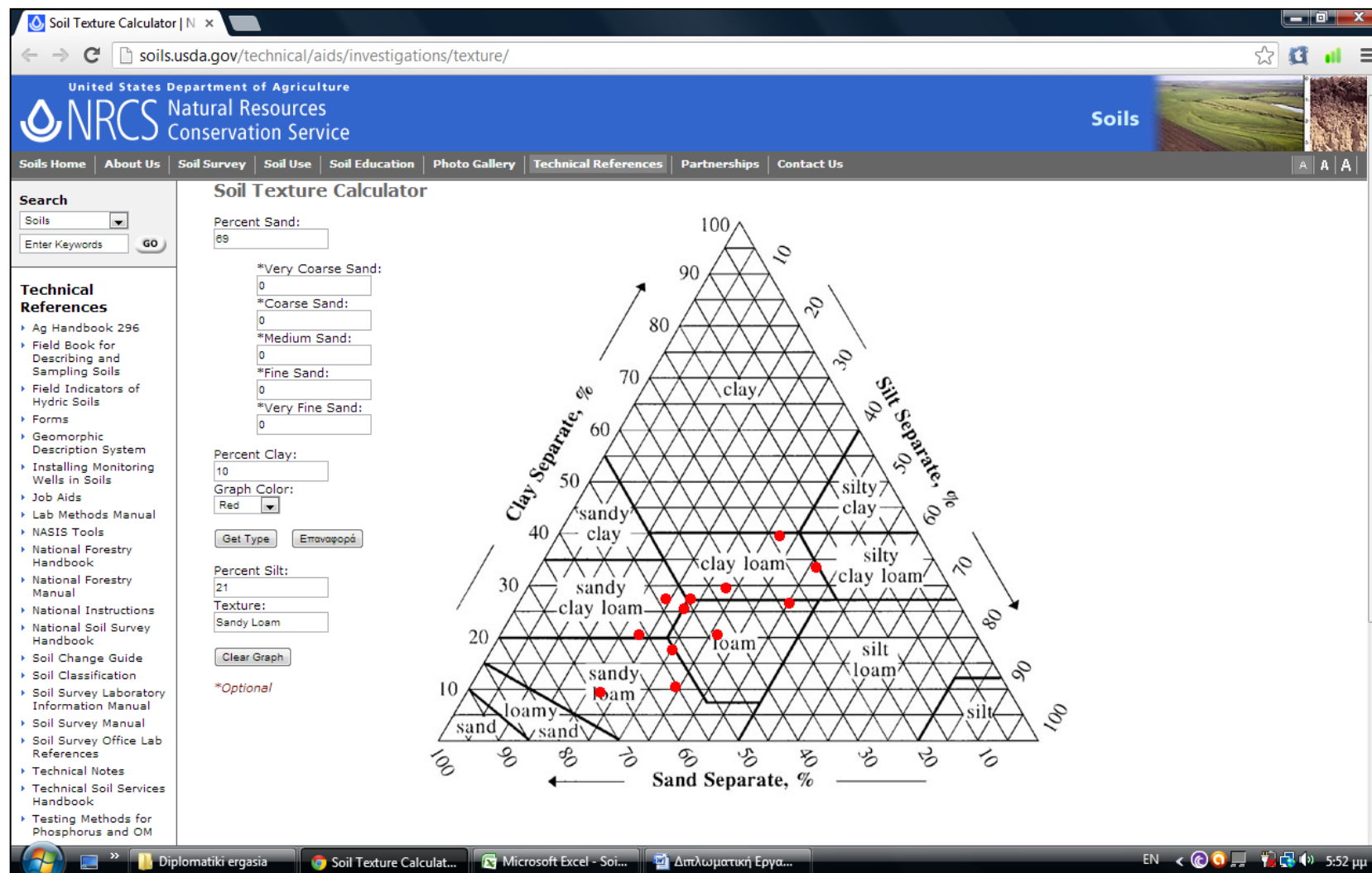
$$\text{OC}\% = 1,72 \times (\text{OM}\%)$$

Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων και της πεδοσυνάρτησης παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 5.5: Κατανομή των ποσοστών της αργίλου, ιλύος, άμμου, οργανικού υλικού και προσδιορισμός εδαφικού τύπου

	Άμμος	Αργίλος	Ιλύς	Οργανικό Υλικό	Εδαφικός τύπος
1	45,92	22,67	31,42	2,67	Πηλώδες
2	38,55	30,15	31,31	3,03	Αργιλοπηλώδες
3	34,69	31,77	33,53	3,11	Αργιλοπηλώδες
4	60,35	12,59	27,06	2,18	Αμμοπηλώδες
5	21,26	34,28	44,46	3,23	Αργιλοπηλώδες
6	57,96	21,95	20,09	2,63	Αμμοαργιλοπηλώδες
7	50,88	29,03	20,08	2,97	Αμμοαργιλοπηλώδες
8	45,88	28,49	25,62	2,95	Αργιλοπηλώδες
9	55,32	19,44	19,4	2,57	Αμμοπηλώδες
10	48,09	26,98	24,92	2,88	Αμμοαργιλοπηλώδες
11	24,66	41,05	34,29	3,55	Αργιλώδες
12	70,13	10,58	19,28	2,09	Αμμοπηλώδες

Η μέγιστη τιμή σε ποσοστό αργίλου που μετρήθηκε ανέρχεται σε 41,05% (δείγμα 11), και η ελάχιστη 10,58% (δείγμα 12). Η οργανική ουσία στην περιοχή κυμαίνεται από 2,09% (δείγμα 12) έως 3,55% (δείγμα 11). Στην περιοχή εντοπίζονται 5 εδαφικοί τύποι.



Σχήμα 5.25: Ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής έρευνας σε τριγωνικό διάγραμμα κατά USDA

6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΙΚΤΩΝ LOS

6.1 Γενικά

Οι δείκτες LOS (Aschonitis et al., 2012) αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος EU-WATER για τον υπολογισμό της τρωτότητας του εδάφους (περιοχή ριζοστρώματος πάχους 30 cm) στις απώλειες νερού και νιτρικών από επιφανειακή απορροή και διήθηση, καθώς της και ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Οι δείκτες προέκυψαν έπειτα από προσομοίωση των απωλειών των νιτρικών και του νερού σε διάφορες κλιματολογικές, εδαφικές και αρδευτικές συνθήκες με τη χρήση του προγράμματος GLEAMS, ενώ η βαρύτητα κάθε παραμέτρου υπολογίστηκε από γραμμική παλινδρόμηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου.

Οι σημαντικότερες πηγές ρύπανσης, οι οποίες συνδέονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες, περιλαμβάνουν γεωργικές δραστηριότητες, αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, εγκαταλειμμένες χωματερές, απόβλητα από αναπαραγωγή ζώων.

Η εύρεση των πηγών ρύπανσης πραγματοποιείται μέσω παρατηρήσεων στην περιοχή καθώς και με συλλογή δεδομένων. Η υποβάθμιση της ποιότητας των υδατικών πόρων εμφανίζεται ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Μη επεξεργασμένα απόβλητα βιομηχανιών και κτηνοτροφικών σε συνδυασμό με τις γεωργικές δραστηριότητες, ευθύνονται για την υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων. Στο γεγονός αυτό συμβάλλει και η αποβολή υγρών και στερεών αποβλήτων σε εγκαταλειμμένα ρηχά πηγάδια σε αστικές περιοχές ή σε εγκαταλελειμμένα λατομεία σε αγροτικές περιοχές. Κεντρικό σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων δεν υφίσταται σε μικρά χωριά. Λιπάσματα και χημικά συστατικά χρησιμοποιούνται εντατικά για τη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους. Η επιβάρυνση των επιφανειακών υδάτων από τη γεωργία συνδέεται κυρίως με τη ρύπανση με νιτρικά.

6.2 Δείκτες LOS

$$\text{LOSW-P} = \left\{ \begin{array}{l} 0.0941\sqrt{K_s} - 0.761\sqrt{S} + 0.4185\sqrt{\text{PCP}} \\ - 0.0487\sqrt{\text{PE}} + 0.0903\sqrt{\text{IR}} \end{array} \right\}^2$$

$$\text{LOSW-R} = \left\{ \begin{array}{l} -0.0856\sqrt{K_s} + 1.8573\sqrt{S} + 0.9966\sqrt{\text{PCP}} \\ -0.5612\sqrt{\text{PE}} + 0.2384\sqrt{\text{IR}} \end{array} \right\}^2$$

$$\text{LOSN-PN} = \left\{ \begin{array}{l} -0.1536\sqrt{\text{OM}} + 2.6981\sqrt{T} + 0.0439\sqrt{K_s} \\ -0.2046\sqrt{S} + 0.0471\sqrt{\text{PCP}} - 0.2515\sqrt{\text{PE}} \\ -0.0116\sqrt{\text{IR}} \end{array} \right\}^2$$

$$\text{LOSN-RN} = \left\{ \begin{array}{l} 0.0121\sqrt{\text{OM}} - 2.6559\sqrt{T} - 0.0228\sqrt{K_s} \\ +0.3785\sqrt{S} + 0.1298\sqrt{\text{PCP}} + 0.2923\sqrt{\text{PE}} \\ +0.0047\sqrt{\text{IR}} \end{array} \right\}^2$$

Όπου:

LOSW-P: είναι οι ετήσιες απώλειες που οφείλονται σε βαθιά διήθηση κάτω από τη ζώνη ριζοστρώματος 30 cm (mm year⁻¹)

LOSW-R: είναι οι ετήσιες απώλειες που οφείλονται σε επιφανειακή απορροή (mm year⁻¹)

LOSN-PN: είναι οι ετήσιες απώλειες νιτρικών που οφείλονται σε βαθιά διήθηση κάτω από τη ζώνη ριζοστρώματος 30 cm (kg ha⁻¹year⁻¹)

LOSN-RN: είναι οι ετήσιες απώλειες νιτρικών που οφείλονται σε επιφανειακή απορροή (kg ha⁻¹year⁻¹)

K_s : είναι η υδραυλική αγωγιμότητα (mm day^{-1})

S : είναι η κλίση της επιφάνειας του εδάφους (%)

PCP : είναι η κατακρήμνιση (mm year^{-1})

PE : είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm year^{-1})

IR : είναι η εφαρμογή άρδευσης σύμφωνα με το μοντέλο (mm year^{-1})

OM : είναι η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (%)

T : είναι η μέση ετήσια θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)

Το άθροισμα των συνολικών απωλειών νερού και νιτρικών δίνονται από τις εξισώσεις:

$$(\text{LOSW-PR}) = (\text{LOSW-P}) + (\text{LOSW-R})$$

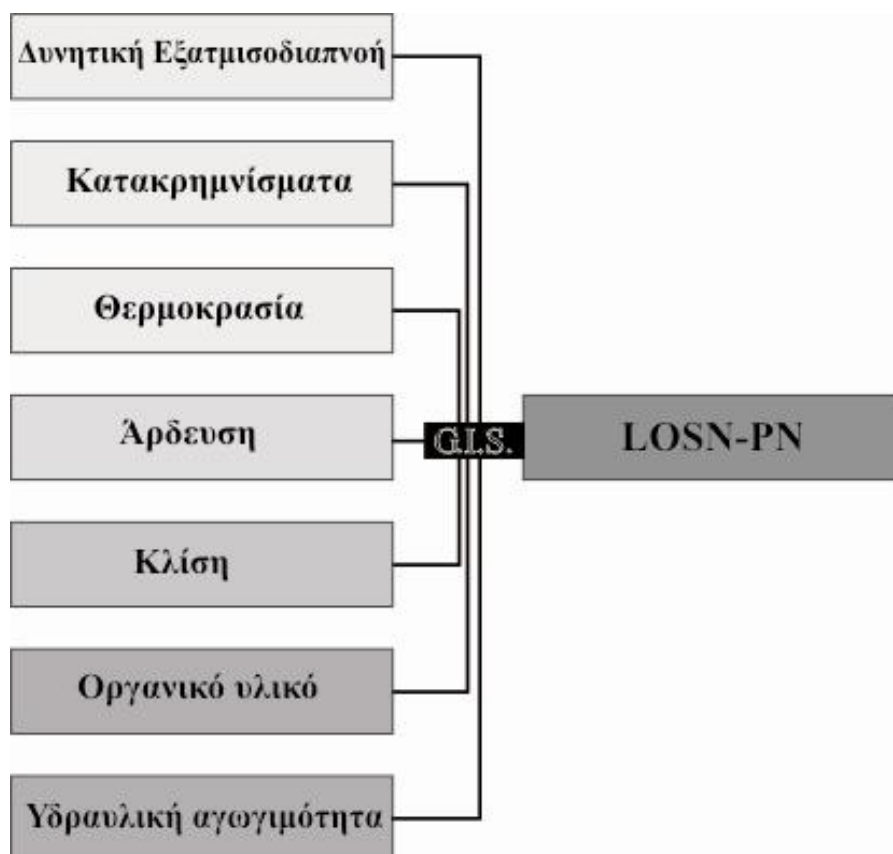
$$(\text{LOSN-PRN}) = (\text{LOSN-PN}) + (\text{LOSN-RN})$$

Οι δείκτες LOS καθορίστηκαν χρησιμοποιώντας 342.44 mm άρδευσης. Η τιμή αυτή ήταν η χαμηλότερη τιμή που καταγράφηκε (στα 3 έτη προσομοίωσης) από το μοντέλο αυτόματης προσομοίωσης της άρδευσης GLEAMS για τις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες.

Σύμφωνα με τους δείκτες $LOSW-P$ και $LOSN-PN$ και τη σύνδεσή τους με τη ρύπανση των υπόγειων υδάτων, οι τιμές όπως υπολογίζονται είναι ίσες με το νερό και τα νιτρικά που προστίθεται στα υπόγεια ύδατα χρησιμοποιώντας τις παραδοχές:

- Υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ του βάθους ριζοστρώματος και των υπόγειων υδάτων στις πεδινές περιοχές (εδάφη με υψηλή στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα) και
- Για τα εδάφη στα πιο ορεινά θεωρείται ότι, η ζώνη μεταξύ επιφάνειας του εδάφους και επιφάνειας του υπόγειου υδροφορέα βρίσκονται υπό σταθερές συνθήκες, συνυπολογίζοντας ότι τα νιτρικά και άλλα αγροχημικά έχουν ήδη εμφανιστεί στην πλειονότητα των ταμιευτήρων που βρίσκονται κάτω από

γεωργική γη. Ο δείκτης LOSN-PN μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον καθορισμό της σχετικής συγκέντρωσης του διηθούμενου νερού.



Σχήμα 6.1: Παράμετροι για τον υπολογισμό των απωλειών των νιτρικών με το δείκτη LOSN-PN

Το πλεονέκτημα του δείκτη LOSW-P για τον υπολογισμό της ποσότητας που διηθείται (μπορεί να θεωρηθεί η ενεργή κατείσδυση μαζί με τις επιστροφές από τις αρδεύσεις) είναι ότι λαμβάνει υπόψη την κλίση του εδάφους, το συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας καθώς και κλιματολογικά δεδομένα. Ο δείκτης LOSN-PN λαμβάνει υπόψη τις παραμέτρους που επηρεάζουν τις διαδικασίες απονιτροποίησης (οργανικό υλικό, κλιματολογικοί παράγοντες) καθώς και την κλίση του εδάφους και το συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας. Ο δείκτης LOSN-PN σε περιοχές όπου το βάθος του υπόγειου νερού είναι πολύ μικρό (<2 m) και συνάμα πολύ μικρή η ακόρεστη ζώνη

θα μπορούσε να θεωρηθεί και δείκτης εκτίμησης της τρωτότητας του υπόγειου νερού στις απώλειες νιτρικών, ενώ δεν μπορεί να γίνει αυτή η παραδοχή σε περιοχές με μεγαλύτερο βάθος του υπόγειου νερού καθώς δεν λαμβάνεται υπόψη το υλικό της ακόρεστης ζώνης.

6.3 Υπολογισμός του σχετικού χρόνου μετάβασης

Για να συμπεριληφθεί η ακόρεστη ζώνη, χρησιμοποιείται εξίσωση που υπολογίζει τον ελάχιστο σχετικό χρόνο μετάβασης του νερού (TT), παρέχοντας τις απώλειες νιτρικών λόγω διήθησης από την επιφάνεια στα υπόγεια ύδατα. Η εξίσωση είναι:

$$TT = 1000 \frac{Depth}{K_s}$$

Όπου:

TT: είναι ο ελάχιστος σχετικός χρόνος μετάβασης του νερού (ημέρες)

Depth: είναι το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια του εδάφους (m)

K_s : είναι η υδραυλική αγωγιμότητα (mm day^{-1})

Η υδραυλική αγωγιμότητα (K_s) εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών της ακόρεστης ζώνης. Γενικά, μειώνεται με το βάθος αλλά μπορεί να θεωρείται και ως σταθερή τιμή.

Ο σχετικός χρόνος μετάβασης αποτελεί εκτίμηση της ευαισθησίας των υπόγειων υδάτων. Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος διήθησης, τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα οι ρυπαντές να μεταφερθούν στην επιφάνεια των υπόγειων υδάτων (υψηλή ευαισθησία). Σημειώνεται ότι όσο πιο βαθιά είναι τα επίπεδα του υπόγειου υδροφορέα, τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται για να φτάσουν οι ρυπαντές (χαμηλή ευαισθησία).

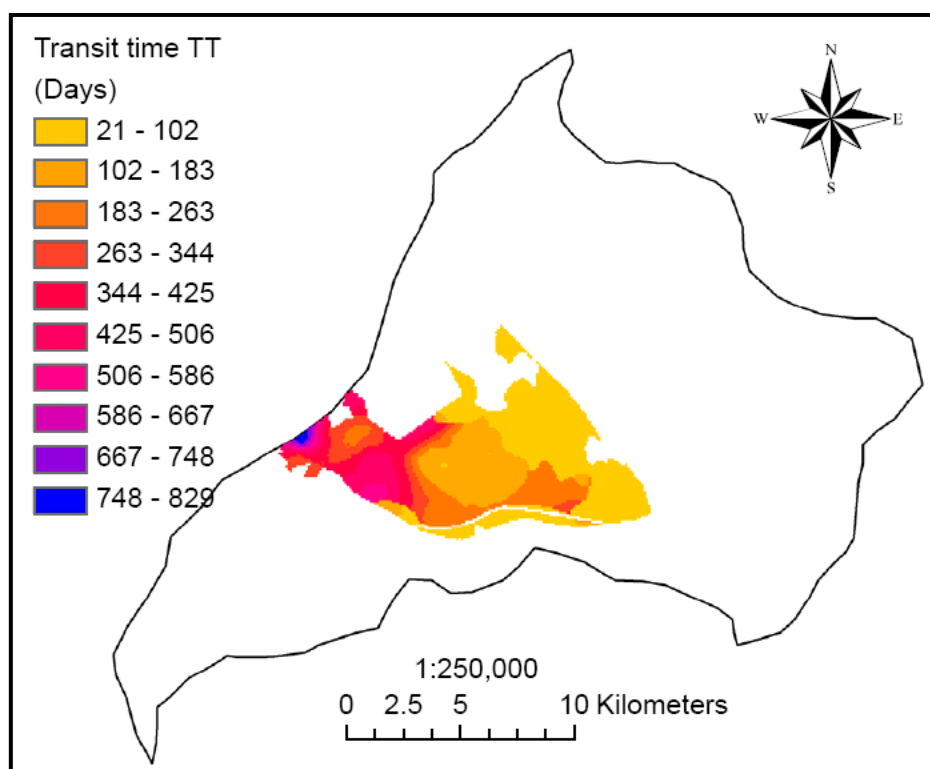
Για τις απώλειες νερού μέσω επιφανειακής απορροής (LOSW-R), οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται σε τμήματα που έχουν τη μεγαλύτερη κλίση του εδάφους. Μεσαίες τιμές παρατηρούνται λόγω χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας.

Σύμφωνα με τους δείκτες LOSN, οι απώλειες νιτρικών λόγω διήθησης κάτω από το ριζόστρωμα 30cm (LOSW-PN) είναι λιγότερες όταν το έδαφος είναι λεπτόκοκκο με χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα. Αυξάνονται όταν το έδαφος μεταβάλλεται σε χονδρόκοκκο με υψηλότερη υδραυλική αγωγιμότητα.

Περιοχές τώρα που βρίσκονται μακριά από τον ταμιευτήρα, παρουσιάζουν χαμηλή πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Αντίθετα παρουσιάζεται υψηλός κίνδυνος ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων.

Οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στον ταμιευτήρα απαιτούν περισσότερη προσοχή. Παρουσιάζουν χαμηλές τιμές TT και χαρακτηρίζονται από υψηλότερη πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων υδάτων.

Επισημαίνεται ότι μια τοποθεσία με χαμηλή πιθανότητα ρύπανσης δε συνεπάγεται ότι είναι απαλλαγμένη από ρύπανση των υπόγειων υδάτων, αλλά είναι σχετικά λιγότερο ευαίσθητη στη ρύπανση συγκριτικά με περιοχές που παρουσιάζουν υψηλή τιμή TT.



Σχήμα 6.2: Παράδειγμα χάρτη ευαισθησίας που δείχνει τον χρόνο μετάβασης του διηθούμενου νερού για να φτάσει στον υπόγειο υδροφορέα (πηγή: Tero ΕΠΕ, 2011)

6.4 Χρωματική οδηγία για την επεξήγηση των χαρτών

Για καλύτερη απεικόνιση των θεματικών χαρτών, οι χρωματικές διαβαθμίσεις πρέπει να είναι παρόμοιες με αυτές στους χάρτες του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου.

Αναλυτικά:

Δείκτες LOSW-P-R-PR: Διαβάθμιση πράσινου χρώματος για τις χαμηλές τιμές και κόκκινου για τις υψηλές.

Δείκτες LOSN-PN-RN-PRN: Διαβάθμιση κίτρινου χρώματος για τις χαμηλές τιμές, κόκκινου για τις μεσαίες και μπλε για τις υψηλές.

Transit time TT: Διαβάθμιση κίτρινου χρώματος για τις χαμηλές τιμές, κόκκινου για τις μεσαίες και μπλε για τις υψηλές.

Βροχόπτωση: Διαβάθμιση ανοιχτού μπλε χρώματος για τις χαμηλές τιμές και σκούρου μπλε για τις υψηλές.

Θερμοκρασία: Διαβάθμιση πράσινου χρώματος για τις χαμηλές τιμές και κόκκινου για τις υψηλές.

Επισημαίνεται ότι κάθε εταίρος μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετική κλίμακα για τους δείκτες σύμφωνα με τις υδρογεωλογικές μετεωρολογικές και εδαφικές συνθήκες.

6.5 Χρησιμότητα των χαρτών

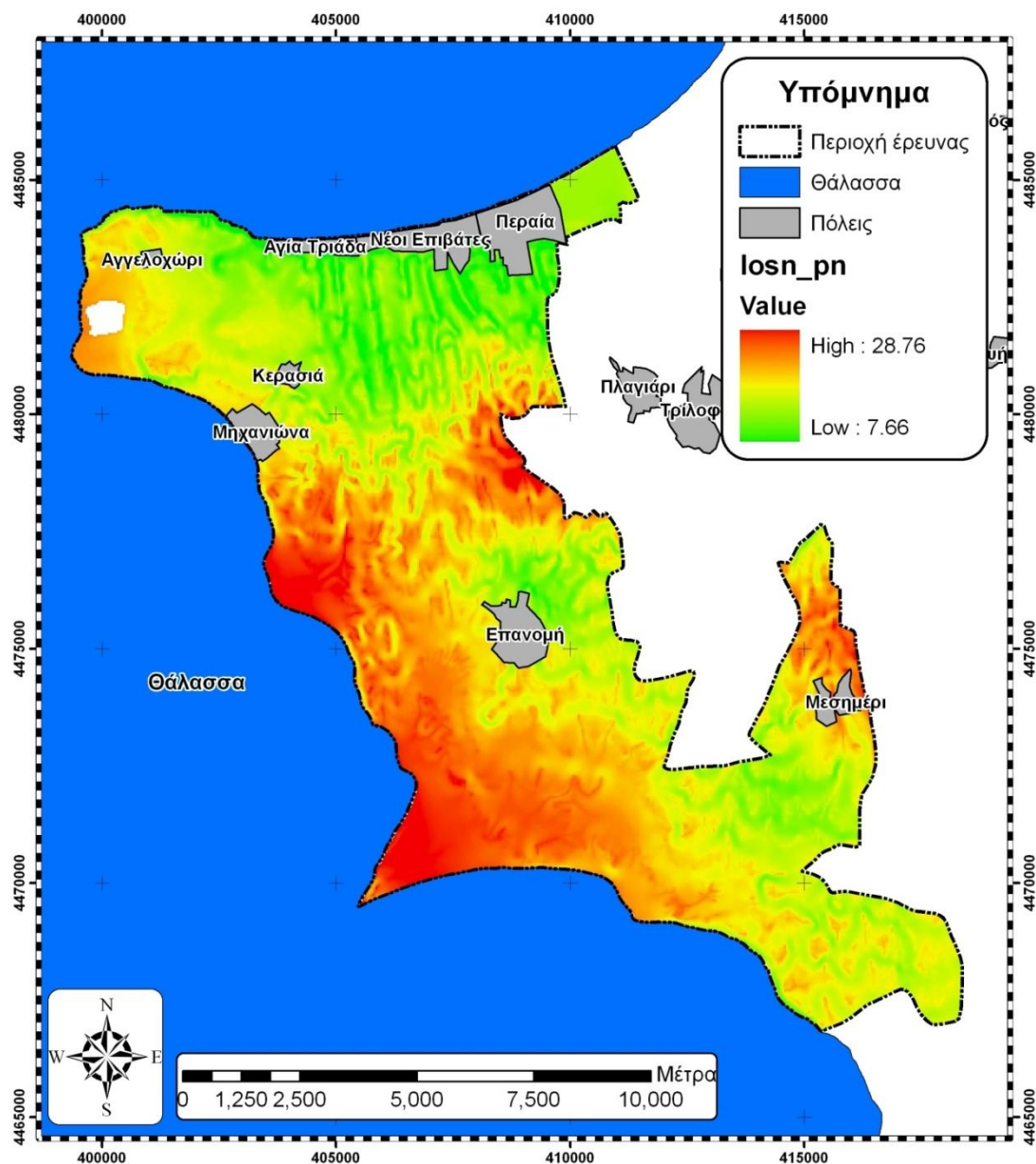
Τα αποτελέσματα παρέχουν σημαντική πληροφορία. Ο χάρτης ευαισθησίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις αρμόδιες αρχές και τους ειδικούς για τη διαχείριση και προστασία των υπόγειων υδάτων. Οι χάρτες ευαισθησίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς σχεδιασμού, πολιτικής, διαχείρισης και εκτίμησης της ρύπανσης.

Για παράδειγμα: όσο υψηλότερες οι απώλειες νερού **LOSN-PN** (μπλε χρώμα), τόσο υψηλότερος ο κίνδυνος ρύπανσης των υδάτων με νιτρικά και συνεπώς τόσο μεγαλύτερη η ευαισθησία του υδροφορέα. Η εφαρμογή του κώδικα ορθής γεωργικής πρακτικής στην περιοχή θα συμβάλλει στη μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων

με νιτρικά. Η αναμενόμενη μείωση θα επιτευχθεί από μείωση των εφαρμογών λίπανσης, την εφαρμογή εναλλακτικών τεχνικών άρδευσης, την καλύτερη επιλογή των καλλιεργειών σύμφωνα με τα εδαφικά χαρακτηριστικά και τα οικονομικά κίνητρα κτλ. Θα πρέπει να οργανωθούν εκπαιδευτικά σεμινάρια για την επιμόρφωση των ανθρώπων στο να χρησιμοποιούν μεθόδους για βελτιστοποίηση της χρήσης νερού και λιπασμάτων.

Επιπρόσθετα, η νέα οδηγία EC 2006/118 για την προστασία των υπόγειων υδάτων από ρύπανση και ποιοτική υποβάθμιση, αναπτύχθηκε υπό την οδηγία Water Framework Directive 2000/60, που θέτει κριτήρια με τα οποία θα εκτιμηθεί η χημική κατάσταση των υδάτων. Οι προαναφερόμενες οδηγίες έχουν ωθήσει τα κράτη μέλη να εγγραφθούν την καλή χημική και οικολογική κατάσταση των υπόγειων υδάτων.

6.6 Τελικός χάρτης τρωτότητας LOSN-PN της περιοχής



Σχήμα 6.3 : Χάρτης με την κατανομή του δείκτη LOSN-PN σε $\text{kg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{year}^{-1}$

Η μέγιστη τιμή για τις απώλειες των νιτρικών που οφείλονται σε βαθιά διήθηση κάτω από τη ζώνη ριζοστρώματος 30 cm ($\text{kg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$), υπολογίστηκε σε $28,76 \text{ kg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$, και η ελάχιστη σε $7,66 \text{ kg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$. Υψηλές τιμές του δείκτη LOSN-PN παρουσιάζονται στο βόρειο τμήμα του Μεσημερίου, στο νοτιοδυτικό τμήμα του Αγγελοχωρίου, στο νότιο και δυτικό τμήμα της Επανομής, και στο κεντρικό τμήμα ανάμεσα στην Επανομή-Μηχανιώνα (βορειοδυτικά και βορειοανατολικά της Επανομής, νότια και ανατολικά της Μηχανιώνας).

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση την υδρογεωλογική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην ευρύτερη περιοχή της Δ.Ε. Επανομής του Δήμου Θερμαϊκού, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η περιοχή της Επανομής ανήκει στο δήμο Θερμαϊκού και έχει συντεταγμένες 40°25'60''N και 22°55'60''E. Έχει μέσο υψόμετρο 150 m. Γενικά το σύνολο της περιοχής χαρακτηρίζεται ως πεδινό.
- Το κλίμα της περιοχής είναι Μεσογειακού τύπου. Σ' αυτόν τον τύπο κλίματος η μέση ετήσια βροχόπτωση (450 mm) έχει μεγάλο εύρος διακύμανσης από ξηρό έως υγρό.
- Στην ευρύτερη περιοχή η επιφανειακή απορροή γίνεται με ένα μέτρια ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο που εκβάλλει στον κόλπο της Θεσσαλονίκης. Απορροές καταγράφονται μόνο μετά από έντονες βροχοπτώσεις.
- Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο όριο των γεωτεκτονικών ζωνών της Παιονίας και της Περιοδοπικής. Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής ανήκει στη ζώνη της Παιονίας. Τα πετρώματα είναι: Ιζηματογενή πετρώματα από τη ζώνη της Παιονίας, πυριγενή πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης. Τα ιζήματα αυτά είναι κλαστικά (χάλικες, άμμοι, άργιλοι κ.ά.) και έχουν μεγάλο πάχος (~400 m). Οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή είναι οι εξής: Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Πλειοκαινικής ηλικίας, Σειρά των ερυθρών αργίλων, αλλουβιακές αποθέσεις.
- Ως προς την υδρολιθολογία, σχετικά με τους σχηματισμούς του υποβάθρου: Οι γρανίτες, ηλικίας Μεσοζωϊκού παρουσιάζουν υδροφορία μονάχα ανάμεσα σε διακλάσεις και ρήγματα. Οι ασβεστόλιθοι, ηλικίας Ιουρασικού αποτελούν τα κατ' εξοχήν υδροπερατά πετρώματα της περιοχής μελέτης. Όσον αφορά τις τριτογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής: Τα κροκαλοπαγή και οι ασβεστόλιθοι γλυκών υδάτων χαρακτηρίζονται από υψηλή υδροφορία, η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά από μέτρια, ενώ μηδαμινή υδροφορία εμφανίζουν οι άργιλοι (Τριτογενή). Τα ιζήματα των παράκτιων λιμνών και λιμνοθαλασσών καθώς και οι παράκτιες αποθέσεις χαρακτηρίζονται από χαμηλή υδροπερατότητα και υδροφορία. Αντιθέτως, από υψηλή υδροφορία

χαρακτηρίζονται οι αλλουβιακές αποθέσεις, ο ελλουβιακός μανδύας και οι ποτάμιες αναβαθμίδες (Τεταρτογενή ιζήματα).

- Διακρίνεται κυρίως ένας φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας (10-20 m βάθος) και βαθύτεροι υπό πίεση (40-200 m). Στην περιοχή μελέτης αναπτύσσονται συγκεκριμένα δύο τύποι υδροφορέων: Ο αλλουβιακός υδροφορέας και ο υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας.
- Με βάση πρόσφατες μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού στην περιοχή έρευνας, καταγράφονται αρνητικές στάθμες, που ανέρχονται ως -44m από το επίπεδο της θάλασσας. Η μέση ετήσια άνοδος της στάθμης του υπόγειου νερού κατά την υγρή περίοδο ανέρχεται σε 2,5 m.
- Ως προς τις εργαστηριακές δοκιμές έγιναν κοκκομετρικές αναλύσεις με κόσκινα και αραιόμετρο, και παρουσίαση των αποτελεσμάτων με αθροιστικές κοκκομετρικές καμπύλες. Επίσης έγινε κατανομή των ποσοστών της αργίλου, ιλύος, άμμου, οργανικού υλικού και προσδιορισμός εδαφικού τύπου όπου, ως η μέγιστη τιμή σε ποσοστό αργίλου που μετρήθηκε ανέρχεται σε 41,05% και η ελάχιστη 10,58%. Η οργανική ουσία στην περιοχή κυμαίνεται από 2,09% έως 3,55%. Στην περιοχή εντοπίζονται 5 εδαφικοί τύποι (πηλώδες, αργιλοπηλώδες, αμμοπηλώδες, αμμοαργιλοπηλώδες, αργιλώδες).
- Τέλος, εφαρμόστηκαν δείκτες LOS για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση. Οι σημαντικότερες πηγές ρύπανσης, οι οποίες συνδέονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες, περιλαμβάνουν γεωργικές δραστηριότητες, αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, εγκαταλειμμένες χωματερές, απόβλητα από αναπαραγωγή ζώων.

Χρησιμοποιήθηκαν 4 δείκτες LOS, οι οποίοι είναι: LOSW-P, LOSW-R, LOSN-PN, LOSN-RN. Το πλεονέκτημα του δείκτη LOSW-P για τον υπολογισμό της ποσότητας που διηθείται είναι ότι λαμβάνει υπόψη την κλίση του εδάφους, το συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας καθώς και κλιματολογικά δεδομένα. Ο δείκτης LOSN-PN λαμβάνει υπόψη τις παραμέτρους που επηρεάζουν τις διαδικασίες απονιτροποίησης καθώς και την κλίση του εδάφους και το συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας.

Ο σχετικός χρόνος μετάβασης αποτελεί εκτίμηση της ευαισθησίας των υπόγειων υδάτων. Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος διήθησης, τόσο μεγαλύτερη η

πιθανότητα οι ρυπαντές να μεταφερθούν στην επιφάνεια των υπόγειων υδάτων (υψηλή ευαισθησία). Σημειώνεται ότι όσο πιο βαθιά είναι τα επίπεδα του υπόγειου υδροφορέα, τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται για να φτάσουν οι ρυπαντές (χαμηλή ευαισθησία). Σύμφωνα με τους δείκτες LOSN, οι απώλειες νιτρικών λόγω διήθησης κάτω από το ριζόστρωμα 30cm (LOSW-PN) είναι λιγότερες όταν το έδαφος είναι λεπτόκοκκο με χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα. Αυξάνονται όταν το έδαφος μεταβάλλεται σε χονδρόκοκκο με υψηλότερη υδραυλική αγωγιμότητα.

Σύμφωνα με τον δείκτη LOSN-PN προκύπτει ότι η μέγιστη τιμή για τις απώλειες των νιτρικών που οφείλονται σε βαθιά διήθηση κάτω από τη ζώνη ριζοστρώματος 30 cm, υπολογίστηκε σε $28,76 \text{ kg ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, και η ελάχιστη σε $7,66 \text{ kg ha}^{-1}\text{year}^{-1}$. Υψηλές τιμές του δείκτη LOSN-PN παρουσιάζονται στο βόρειο τμήμα του Μεσημερίου, στο νοτιοδυτικό τμήμα του Αγγελοχωρίου, στο νότιο και δυτικό τμήμα της Επανομής, και στο κεντρικό τμήμα ανάμεσα στην Επανομή-Μηχανιώνα (βορειοδυτικά και βορειοανατολικά της Επανομής, νότια και ανατολικά της Μηχανιώνας).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βουδούρης, Κ., Καζάκης, Ν., Κασάπη, Ν. (2012): Έρευνα υδατικού δυναμικού Δήμου Θερμαϊκού Νομού Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη. Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση.
- Βουδούρης, Κ. (2010): Υδρογεωλογική έρευνα ευρύτερης περιοχής Περαιάς, Δήμου Θερμαϊκού, Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη. Τελική έκθεση ερευνητικού προγράμματος.
- Βουδούρης Κ., Σωτηριάδης Μ., Παύλου Α., Χατζηλιόντος Χ. (2005): Ποιότητα των υπόγειων νερών στο παράκτιο υδροφόρο σύστημα του Ανατολικού Θερμαϊκού κόλπου. Πρακτικά 2^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας.
- Ζαβρίδου, Ε. (2012): Σύγκριση του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας με εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές σε τμήμα της ακόρεστης ζώνης στην περιοχή του Γαλαρινού στη λεκάνη του Ανθεμούντα. Διπλωματική εργασία. Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
- Καζάκης, Ν. (2006): Προσδιορισμός των υδροφόρων στρωμάτων και του υποβάθρου στην περιοχή Λάκκα. Διπλωματική εργασία. Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
- Καζάκης, Ν. (2007): Εργασία για τα παράκτια υδροφόρα συστήματα. Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
- Καζάκης, Ν. (2008): Εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στην εξωτερική ρύπανση. Εφαρμογή στη λεκάνη της Φλώρινας. Διατριβή ειδίκευσης. Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
- Κεσόγλου, Ο. (2011): Εντοπισμός υφάλμυρων υδροφόρων στρωμάτων με τη χρήση γεωφυσικών μεθόδων: Εφαρμογή στην περιοχή του Αγγελοχωρίου, Θεσσαλονίκης. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία. Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις

- [Http://epanomh.blogspot.gr/](http://epanomh.blogspot.gr/)

