



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**Εφαρμογή καινοτόμων τεχνικών και τεχνολογιών
για τη διερεύνηση της υδρολογίας της ακόρεστης
ζώνης**

ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής : Α. Καλλιώρας, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 Παρακολούθηση της ποιότητας του νερού στην ακόρεστη ζώνη	9
1.2 Μετρήσεις ηλεκτρικών ιδιοτήτων	10
1.2.1 Δειγματοληψία εδαφικού νερού	10
1.2.2 Λυσίμετρα	15
1.3 Άμεσες τεχνολογίες πίεσης	15
1.3.1 Διεσδυτικές τεχνολογίες υπεδαφικής έρευνας.....	16
1.3.2 Γεωφυσικές διασκοπίσεις.....	16
1.4 Δοκιμές νερού	17
1.5 Εργαλεία δειγματοληψίας εδάφους	18
2.ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	19
2.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης	19
2.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες	21
2.3 Γεωλογική περιγραφή	24
2.3.1 Γεωλογία περιοχής μελέτης	24
2.3.2 Γεωλογία πεδιάδας Μαραθώνα.....	27
2.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες.....	28
2.4.1 Υδρογεωλογικό καθεστώς Μαραθώνα	28
2.4.2 Καρστικό υδροφόρο σύστημα	28
2.4.3 Καρστικό υδροφόρο σύστημα μαρμάρων Μαραθώνα.....	29
3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ	31
3.1 Θέσεις δειγματοληψίας.....	31
3.2 Διάνοιξη γεωτρήσεων και μέθοδος δειγματοληψίας	32
3.3 Σύστημα δειγματοληψίας εδαφικού νερού.....	37
4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	41
4.1 Κοκκομετρικές αναλύσεις.....	41

4.1.1 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινο.....	42
4.1.2 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο	45
4.1.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	47
4.2 Μέθοδος Buchner	52
4.2.1 Παρασκευή πάστας κορεσμού - εκχυλίσματος	53
4.2.2 Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας	54
4.2.3 Προσδιορισμός των ιόντων χλωρίου	55
4.2.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	56
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	63
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	65

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού – Διεπιστημονικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το συγκεκριμένο θέμα ανατέθηκε από το εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, υπό την επίβλεψη του κ. Ανδρέα Καλλιώρα, Επίκουρου καθηγητή του τομέα Γεωλογικών επιστημών της σχολής. Το θέμα που πραγματεύεται η διατριβή είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών για τη διερεύνηση της υδρολογίας της ακόρεστης ζώνης.

Για τη διεξαγωγή της μεταπτυχιακής διατριβής, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργασίες:

- Συλλογή βιβλιογραφικών στοιχείων, από την ελληνική και παγκόσμια βιβλιογραφία, σε θέματα που αφορούν μέθόδους έρευνας της ακόρεστης ζώνης.
- Συλλογή και επεξεργασία υπαρχόντων γεωμορφολογικών, γεωλογικών και υδρογεωλογικών στοιχείων της ευρύτερης περιοχής έρευνας.
- Την έρευνα πεδίου στην παράκτια πεδιάδα του Μαραθώνα με δημιουργία ενός δικτύου παρακολούθησης της ακόρεστης ζώνης με διάνοιξη γεωτρήσεων και συλλογή δειγμάτων εδαφικού υλικού που υποβλήθηκαν σε κοκκομετρικές και χημικές αναλύσεις.
- Την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και την παρουσίασή τους σε διαγράμματα, για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επικ. Καθ. Ε.Μ.Π. κ. Ανδρέα Καλλιώρα για την ανάθεση της μεταπτυχιακής εργασίας, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, για τις πολύτιμες συμβουλές του και την καθοδήγησή του για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στη Ζαβρίδου Ευθυμία, υποψήφια διδάκτορα της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., που δίχως την πολύτιμη βοήθειά της σε όλα τα στάδια της εργασίας δεν θα επιτυγχάνονταν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ευχαριστώ τον κ. Κωνσταντίνο Μαρκαντώνη, ΕΔΙΠ της σχολής Μηχ. Μετ.-Μετ. Ε.Μ.Π. για τις συμβουλές του τόσο στο πεδίο όσο και στο εργαστήριο.

Τέλος ευχαριστώ τον αγαπημένο μου πατέρα για τις θυσίες του και τις εμπειρίες που μου έχει μεταδώσει όλα αυτά τα χρόνια που εργάστηκα στο πλευρό του γιατί χωρίς αυτόν δεν θα τα είχα καταφέρει.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου για τη διερεύνηση των υδρολογικών διεργασιών εντός της ακόρεστης ζώνης μέσω μιας σειράς τεχνολογιών πεδίου και εργαστηρίου που στοχεύουν: (i) στην αδιάκοπη δειγματοληψία εδάφους πολλαπλών επιπέδων με χρήση κρουστικής διάτρησης (ii) εφαρμογή τεχνικών εξαγωγής πορώδους ύδατος για χημικές αναλύσεις των υδάτων του εδάφους, (iii) εγκατάσταση συστήματος συνεχούς παρακολούθησης του πορώδους νερού.

Για τη διερεύνηση της ποιότητας των εδαφών της ακόρεστης ζώνης της πεδιάδας του Μαραθώνα, αναπτύχθηκε ένα δίκτυο 17 γεωτρήσεων, βάθους έως 3m σε διαστήματα των 0,5 m και συλλέχθηκαν αδιατάραχτοι πυρήνες διαμέτρου 50 mm. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά το τέλος της υγρής περιόδου (Απρίλιος) του έτους 2017. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., όπου κάθε δείγμα χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των ιόντων χλωρίου και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και μία επιπλέον ποσότητα αυτών σφραγίστηκε αεροστεγώς με σκοπό την μετέπειτα ανάλυση μεγέθους των κόκκων. Το πορώδες νερό εξήχθη από 75 δείγματα εδάφους χρησιμοποιώντας διήθηση κενού (μέθοδος Buchner) με τις μετρούμενες συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου να φθάνουν τα 31,6 meq/L υποδεικνύοντας την ύπαρξη διαλυτών αλάτων. Το παραπάνω επαληθεύθηκε επίσης από αυξημένες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις των ιόντων χλωρίου και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα εδαφικά δείγματα εντός της παράκτιας ζώνης οφείλεται και στην ύπαρξη ανθρώπινων δραστηριοτήτων όπως πρακτικές καλλιέργειας/ άρδευσης, χρήσης γης και χρήσης λιπασμάτων.

ABSTRACT

The aim of this study was to develop a methodological framework for the investigation of unsaturated zone hydrological processes. This research included the application of vibro-coring drilling activities for the collection of undisturbed soil samples down to significant depths within the unsaturated zone as well as the installation of multi-level pore-water sampling system in combination with tailored water extraction techniques from soil core samples. For the investigation of the hydrological processes in the unsaturated zone, chloride concentrations were used as a naturally occurring tracer that acts as an indicator of soil-water fluxes in the vadoze zone, tending to vary with depth in the soil. All monitoring plots (17 sites) were selected for sampling the unsaturated zone material, down to 3.0 m at intervals of 0.50 m. Undisturbed soil-cores of 50 mm diameter were collected with a portable direct-push vibro-coring drilling set. These profiles were obtained on April 2017 posterior to the wet period. Each sample was used for chloride and electrical conductivity determination and additional amount was sealed in polyethylene bags for grain size analysis. Porewater was extracted from 75 soil samples using vacuum filtration; measured chloride concentrations reached 31.60 meq/L indicating the existence of soluble salts, also verified by elevated electrical conductivity values. Chloride concentrations on soil surface within the coastal zone were found considerably high, while chloride concentration and electrical conductivity are also being affected by anthropogenic activities such as cropping/irrigation practices, land uses and application of fertilizers.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

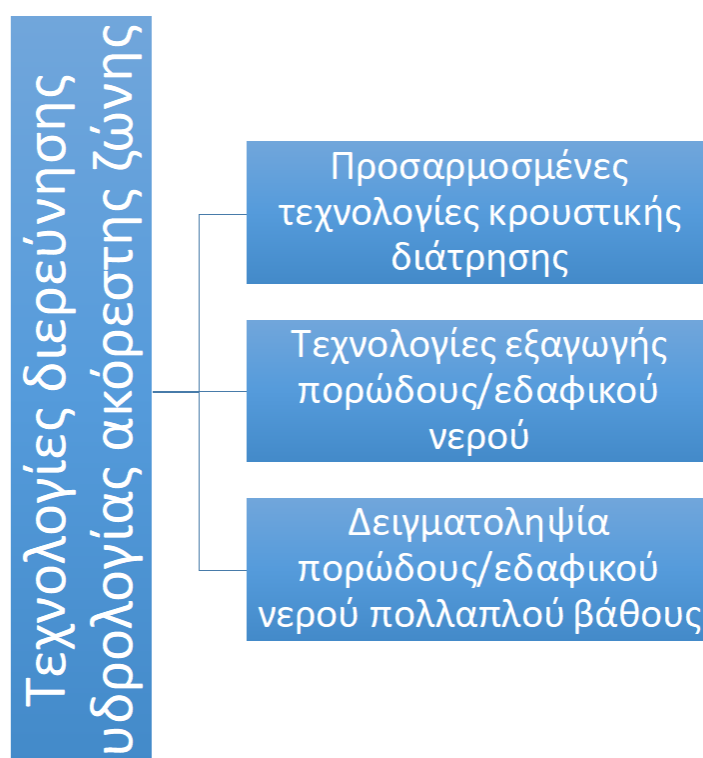
Η ακόρεστη ζώνη αποτελεί την ενδιάμεση υδρολογική ζώνη - μεταξύ της επιφανειακής και της κορεσμένης - σε ένα υδροφόρο στρώμα, παίζοντας καθοριστικό ρόλο όχι μόνο στον προσδιορισμό του φυσικού εμπλουτισμού των υπόγειων νερών, αλλά και του εκάστοτε υδροσυστήματος συνολικά. Η ακόρεστη ζώνη του εδάφους αποτελεί τον συνδετικό κρίκο των δραστηριοτήτων στην επιφάνεια του εδάφους και των υπόγειων νερών. Τα εδάφη της ακόρεστης ζώνης σε συνδιασμό με το πορώδες νερό αποτελούν μια σύνθετη διαδικασία καθώς πραγματοποιούνται ταυτόχρονα υδρολογικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες.

Οι υδρολογικές έρευνες στην ακόρεστη ζώνη μπορούν να αφορούν τόσο στην ποσοτική όσο και στην ποιοτική κατάσταση του εδαφικού ή πορώδους νερού (porewater), ενώ δύνανται να παράσχουν ιστορικά υδρολογικά στοιχεία του κατεισδύοντος νερού.

Για την μελέτη των υδρολογικών διεργασιών στην ακόρεστη ζώνη οι πιο ευρέως διαδεδομένοι δείκτες είναι η χρήση σταθερών ισοτόπων (18-Οξυγόνο και Δευτέριο) και η χρήση της συγκέντρωσης χλωριόντων. Η μέτρηση των συντηριτικών χημικών στοιχείων του εδαφικού νερού, όπως η συγκέντρωση χλωριόντων, μπορεί μέσω της εφαρμογής ισοζυγίου μάζας να παράσχει τον προσδιορισμό της καθοδικής/βαρυτικής κίνησης του εδαφικού νερού και κατά συνέπεια τη μέτρηση της κατείσδυσης.

Η εξαγωγή του εδαφικού νερού της ακόρεστης στήλης αποτελεί επίσης ένα αναπτυσσόμενο αντικείμενο περιβαλλοντικής τεχνολογίας, με κυριότερες από αυτές να αφορούν κυρίως: (α) στη μηχανική συμπίεση και εξαγωγή, (β) την αζεοτροπική απόσταξη, (γ) φυγόκεντρη εξαγωγή, (δ) απόσταξη κενού και (ε) κρουογονική απόσταξη. Οι βασικοί περιορισμοί στην εφαρμογή των παραπάνω επικεντρώνονται κυρίως στον όγκο του περιεχόμενου εδαφικού νερού και επίσης στην επίδραση που αυτές έχουν στον ποιοτικό χαρακτήρα του πορώδους νερού (π.χ. έχει παρατηρηθεί ισοτοπική κλασμάτωση εξαιτίας της εφαρμογής μηχανικής εξαγωγής). Επιπρόσθετα, εξαγωγή εδαφικού νερού μπορεί να πραγματοποιείται σε τακτά χρονικά διαστήματα υπό τη μορφή άμεσης δειγματοληψίας, μέσω κατάλληλα εγκαταστημένων δειγματοληπτικών λυσιμέτρων (suction cups/lysimeters).

Ο βασικός σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου για τη διερεύνηση των υδρολογικών διεργασιών εντός της ακόρεστης ζώνης μέσω μιας σειράς τεχνολογιών πεδίου και εργαστηρίου που στοχεύουν: (i) στην αδιάκοπη δειγματοληψία εδάφους πολλαπλών επιπέδων με χρήση κρουστικής διάτρησης (ii) εφαρμογή τεχνικών εξαγωγής πορώδους ύδατος για χημικές αναλύσεις των υδάτων του εδάφους, (iii) εγκατάσταση συστήματος συνεχούς παρακολούθησης του πορώδους νερού.



Σχήμα 1. Μεθοδολογικό πλαίσιο για την διερεύνηση των υδρολογικών διεργασιών εντός της ακόρεστης ζώνης

1.1 Παρακολούθηση της ποιότητας του νερού στην ακόρεστη ζώνη

Η ακόρεστη ζώνη παίζει βασικό ρόλο κατά τη διάρκεια της MAR αποτελώντας το μονοπάτι της πορείας της ροής του νερού, συνεπώς είναι σημαντικό να μετρούνται και να παρακολουθούνται λεπτομερώς οι χωρικές και χρονικές μεταβολές στην ποιότητα του νερού. Αυτή η παρακολούθηση της ποιότητας είναι ακόμα πιο σημαντική αν το νερό που εισέρχεται είναι κατώτερης ποιότητας, όπως τα επεξεργασμένα λύματα (Abiye et al., 2009 · Alidina et al., 2014a · Alidina et al., 2014b · Asano et al., 2007 · Bekele et al., 2011 · Bekele et al., 2013 · Bekele et al., 2015 · Betancourt et al., 2014 · Drewes, 2009 · Dutta et al., 2014 · Greskowiak et al., 2005). Η σωστή παρακολούθηση της ακόρεστης ζώνης μπορεί να αποτρέψει πολλά ανεπιθύμητα αποτελέσματα όπως η πιθανή μόλυνση και η ανίχνευση της μετακίνησης μολυσματικών ουσιών κατά τη διάρκεια του SAT (Henzler et al., 2014, Hochstrat κ.ά., 2010, Kim et al., 2015, Li κ.ά., 2006, Li et al., 2013, Maeng et al., 2001, McFarlane et al., 2009, Ollivier et al., 2013, Su et al., 2013, Toze κ.ά., 2010). Λειτουργεί ως σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης, όπου μπορούμε να λάβουμε διορθωτικά μέτρα πριν εξαπλωθεί η μόλυνση σε ολόκληρο τον υδροφόρο ορίζοντα που επαναφορτίζεται.

Μια λεπτομερής συζήτηση σχετικά με τις χημικές αντιδράσεις που επηρεάζουν τη μετανάστευση μολυσματικών ουσιών στην μη κορεσμένη ζώνη παρουσιάζεται στο Wilson (1980), ενώ οι Ballester et al. (2006) εξηγούν τους ακόλουθους τρεις βασικούς τύπους διαθέσιμων μεθόδων για την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων στην ακόρεστη ζώνη:

- Άμεση δειγματοληψία εδαφικού νερού
- Άμεση μέτρηση του πορώδους νερού από τους πυρήνες του εδάφους
- Έμμεσες μέθοδοι, συμπεριλαμβανομένων μετρήσεων ηλεκτρικών και θερμικών ιδιοτήτων

1.2 Μετρήσεις ηλεκτρικών ιδιοτήτων

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αγωγιμότητα που λαμβάνουμε μέσω του διαλύματος του νερού από το εδάφος. Τα δεδομένα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και αντίστασης που αποκτήθηκαν από τις μετρήσεις πεδίου είναι σαφής δείκτης των χαρακτηριστικών του εδάφους όπως η αλατότητά του. Είναι επίσης ένα εργαλείο για τη χαρτογράφηση των μολυσματικών πλουμίων. Ομοίως, η ηλεκτρική αντίσταση μπορεί να μετρηθεί με επιφανειακές γεωφυσικές τεχνικές ή με ενεργούς αισθητήρες άμεσης ώθησης, η οποία είναι επίσης δυνατή με τη χρήση ηλεκτρικών μπλοκ αντίστασης (αισθητήρες αλατότητας) που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της αλατότητας του εδάφους. Ο συνδυασμός των παραπάνω οργάνων εγκατεστημένων κάτω από ένα σύστημα SAT επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση.

1.2.1 Δειγματοληψία εδαφικού νερού

Οι Weiermüller et al., (2007) παρατήρησαν ότι οι νέες μη επεμβατικές τεχνολογίες όπως η τεχνολογία αντανάχυνσης του χρόνου (TDR), η τομογραφία ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης (ERT) και το ραντάρ διείσδυσης υπογείων υδάτων (GPR) καθόρισαν νέες προσεγγίσεις τόσο για τον πειραματικό σχεδιασμό όσο για τον σχεδιασμό δειγματοληψίας στην ακόρεστη ζώνη. Wassenaar et al. (2008), σχολιάζουν ότι οι τιμές $\delta^{18}\text{O}$ και δD του εκχυλισμένου νερού πόρων από κορεσμένους και ακόρεστους πυρήνες εδάφους χρησιμοποιούνται ευρέως ως φυσικοί ιχνηθέτες σε αρκετές υδρολογικές μελέτες. Μέχρι να παρουσιαστούν οι πλέον χρησιμοποιούμενες τεχνικές για την εκχύλιση νερού πόρων από τη μήτρα εδάφους που ανακτάται από την κορεσμένη ή ακόρεστη ζώνη, συμπεριλαμβάνεται η εφαρμογή: φυγοκέντρωσης, συμπίεσης ή αποπίεσης, απόσταξης κενού, κρυογονικής μικροαποστάξεως, απόπλυσης, εξισορρόπησης και αζεοτροπικής απόσταξης (Kallioras et al., 2012).

1.2.1.1 Φυγοκέντρηση

Οι Edmunds και Bath (1976) εφάρμοσαν φυγοκέντρηση ως μέθοδο εκχύλισης πορώδους νερού από ενοποιημένα γεωλογικά υλικά για μετέπειτα χημική ανάλυση, όπου παρατήρησαν ότι τα αποτελέσματα της κλασματοποίησης και οι μικρές ποσότητες δείγματος μπορεί να σχετίζονται με σημαντικά σφάλματα που θα μπορούσαν να φτάσουν ακόμη και $\pm 10\%$ στις αναλύσεις πορώδους νερού. Οι Zornberg και McCartney (2010) ανέπτυξαν ένα νέο διαπερατόμετρο φυγοκέντρησης με ειδικό σκοπό την επιτάχυνση της μέτρησης των υδραυλικών χαρακτηριστικών των ακόρεστων εδαφών. Οι Kinniburgh and Miles (1983) εξήγαγαν νερό από εδάφη με μη αναμίξιμη μετατόπιση με πυκνό, αδρανές υγρό φθοράνθρακα, χρησιμοποιώντας φυγόκεντρο υψηλής ταχύτητας. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι οι αποδόσεις του ενδιάμεσου νερού από τα εδάφη σε χωρητικότητα πεδίου είναι τυπικά 20-50% του συνολικού νερού που υπάρχει ενώ οι αποδόσεις από την κιμωλία κυμαίνονται έως και 90%. Kelln et al. (2001) χρησιμοποίησαν υδρομετρικά και γεωχημικά δεδομένα για να εξετάσουν τη συμβολή της προτιμησιακής ροής στην υδρολογική απόκριση μιας κάλυψης αποκατάστασης σε υπεράκτιο ορυχείο σχιστολιθικού φυσικού άλατος, σε ένα ψυχρό ημιώδες περιβάλλον. Το νερό πόρων από τα συλλεγόμενα δείγματα εδάφους εξήχθη στο εργαστήριο χρησιμοποιώντας φυγοκέντρηση υψηλής ταχύτητας και αναλύθηκε για τα σημαντικότερα ανιόντα.

1.2.1.2 Μηχανική συμπίεση

Boettcher et al. (1997) ανέπτυξαν μια νέα συσκευή συμπίεσης υψηλής πίεσης με πλαστική επικάλυψη για την εξαγωγή δειγμάτων εδάφους με περιεκτικότητα σε υγρασία μεγαλύτερη από περίπου 15%. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι έχει αφαιρεθεί αρκετό νερό για αναλύσεις, ενώ τα δεδομένα δεν έδειξαν καμία μόλυνση του πορώδους νερού από τη συσκευή συμπίεσης.

1.2.1.3. Αποστάξη κενού

Οι Allison και Hughes (1983) έκαναν απόσταξη κενού, για ανάλυση τριτίου, ενώ για τα σταθερά ισότοπα εφάρμοσαν αζεοτροπική απόσταξη, καθώς παρατηρήθηκε ότι δεν προέκυψαν αποτελέσματα κλασματοποίησης με αυτή την τεχνική. Araguas-Araguas et al. (1995) εφαρμόζει απόσταξη κενού για την εκχύλιση του εδάφους με νερό για σταθερή ανάλυση ισωτόπων από τρεις διαφορετικούς τύπους εδάφους που χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε νερό: (1) καθαρή άμμο, (2) καμπισόλη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικές ύλες, αναπτυγμένη σε ασβεστολιθικό ψαμμίτη υπό εύκρατες κλιματολογικές συνθήκες (Αυστρία) και (3) τροπική λαροσόλη φτωχή σε οργανική ύλη, η οποία αναπτύχθηκε σε αμμώδη ιζήματα αργίλου (Βραζιλία). Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος παρήγαγε ακριβή και αναπαραγώγιμα αποτελέσματα για την άμμο, υπό τον όρο ότι εξάγεται περισσότερο από το 98% του αρχικού νερού του εδάφους. Fontes et al. (1986) χρησιμοποίησαν σταθερά προφίλ ισωτόπων στο έδαφος του νερού στη βόρεια Σαχάρα για να ερμηνεύσουν τις υδρολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα εντός της ακόρεστης ζώνης. Η δειγματοληψία περιελάμβανε αλουβιακές αποθέσεις σε βάθος από 10 έως 12 m, ενώ υποπολλαπλάσια του ιζήματος (80-160 gr) αποστάχθηκαν σε κενό και χαμηλή θερμοκρασία (50 ° C) υπό στατικές συνθήκες για περίπου οκτώ ώρες και το νερό των πόρων συμπυκνωμένο σε θερμοκρασία υγρού αζώτου.

1.2.1.4. Κρυογονική απόσταξη

West et al. (2006) χρησιμοποίησε κρυογονική απόσταξη κενού για να δημιουργήσει καμπύλες χρονισμού εκχύλισης και να καθορίσει πόσος χρόνος απαιτείται για να εξαχθεί ένα δείγμα μη κλασματωμένου νερού από διαφορετικούς τύπους δειγμάτων εδάφους. Το συμπέρασμα είναι ότι η ισωτοπική τιμή του εκχυλισμένου νερού αυξάνεται με το χρόνο εκχύλισης μέχρι ένα ορισμένο κατώτατο όριο, μετά από το οποίο παρέμεινε ουσιαστικά σταθερή ανεξάρτητα από τις περαιτέρω αυξήσεις του χρόνου εκχύλισης (West et al., 2006). Heilweil et al. (2006), εφαρμόζοταν κρυοδιύλιση ως τεχνική εξαγωγής ύδατος πόρου για την ανάλυση των δειγμάτων εδάφους της ακόρεστης ζώνης

για O^{18} και H^2 και διερεύνηση της καθαρής διήθησης και επαναφόρτισης στον κατακερματισμένο υδροφόρο ορίζοντα Navajo Sandstone. Figueroa-Johnson et al. (2007) διεξήγαγε έρευνα για να συγκρίνει τις τιμές O και Br^- των δειγμάτων λυσίμετρων αναρρόφησης από ακέραιους πυρήνες εδάφους με δείγματα που λαμβάνονται με μεθόδους άμεσης εκχύλισης φυγοκέντρησης και αζεοτροπικής απόσταξης. Η μελέτη στοχεύει, μεταξύ άλλων, στην κριτική ανάλυση των διαφόρων συγκεντρώσεων του εξαγόμενου νερού που προέρχεται από κάθε μέθοδο -για να επιτραπεί ο προσδιορισμός της ακρίβειας και της βιωσιμότητας των μεθόδων εκχύλισης- και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αζεοτροπική απόσταξη είναι καταλληλότερη όταν είναι αυστηρά ποιοτικά και μπορεί να απαιτηθούν ποσοτικά δεδομένα για την εκρόφηση της προσρόφησης και διάφοροι τύποι κινητικών μελετών (Figueroa-Johnson et al., 2007). Οι Ingraham και Shadel (1992) χρησιμοποίησαν δοκιμαστικά εδάφη για τον προσδιορισμό της ακρίβειας, της ακρίβειας και της φύσης δύο μεθόδων για την εκχύλιση του εδάφους με νερό για σταθερή ισοτοπική ανάλυση: αζεοτροπική απόσταξη χρησιμοποιώντας τολουόλιο και απλή θέρμανση υπό κενό. Στην έρευνα τους (Ingraham and Shadel, 1992) παρατηρήθηκε μια μεταβολή στις μέσες σταθερές ισοτοπικές συνθέσεις του εκχυλισμένου και εισαγόμενου νερού μέχρι 1,4 ‰ σε $2H$ και 4,2 ‰ σε O^{18} με τη μέθοδο τολουολίου και κατά 11,0 ‰ σε $2H$ και 1,8 ‰ σε O^{18} για τη μέθοδο κενού / θερμότητας. Walker et al. (1994) διεξήγαγε μια διεργαστηριακή σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφόρων τεχνικών για την εκχύλιση του εδαφικού ύδατος στη μετρούμενη σύνθεση του H^2 και O^{18} . Στη σύγκριση, παρασκευάστηκαν και διανεμήθηκαν σε 14 εργαστήρια τέσσερα εδάφη (άμμος, γυψοσανίδα και αργιλώδες έδαφος σε υψηλή και χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό). Οι τεχνικές εκχύλισης που χρησιμοποιήθηκαν περιελάμβαναν αζεοτροπικό, κενό και μικροδιστάλισμό, ενώ τα αποτελέσματα αποκάλυψαν μεγάλη διακύμανση μεταξύ των εργαστηρίων στην ισοτοπική σύνθεση του εκχυλισμένου νερού (μέχρι 30 ‰ για $2H$ και 3,4 ‰ για ^{18}O). Η τυπική απόκλιση σε H^2 και O^{18} , σε σχέση με την αζεοτροπική απόσταξη (χρησιμοποιώντας κηροζίνη ως υδρογονάνθρακα και άμμο για εκχύλιση) ήταν ± 1 ‰ και $\pm 0,3$ ‰ αντίστοιχα. Η διακύμανση αυξήθηκε καθώς η περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους μειώθηκε και ήταν μεγαλύτερη για αργίλους από την άμμο σε συγκρίσιμες αναλύσεις μήτρας εδάφους (Walker et al., 1994). Landon et al.

(1999) χρησιμοποίησε αζεοτροπική απόσταξη για να εκχυλίσει το νερό του εδάφους από τα λυσίμετρα αναρρόφησης και τους δειγματολήπτες φυτών που θάφτηκαν στην ακόρεστη ζώνη ενός υδροφορέα άμμου και χαλικιών για σταθερή ανάλυση ισοτόπων οξυγόνου και υδρογόνου. Οι εκχυλίσεις από δείγματα ξηρού εδάφους από το σημείο μελέτης που αναμιγνύονται με νερό γνωστής σύνθεσης υποδεικνύουν ότι η ισοτοπική σύνθεση του εκχυλισμένου νερού δεν μεταβλήθηκε με τη μέθοδο αζεοτροπικής απόσταξης (Landon κ.ά., 1999, Komor και Emerson, 1994). Διαπιστώθηκαν μέσες διαφορές για επτά σύνολα διπλών δειγμάτων αζεοτροπικής απόσταξης ήταν 0,06 ‰ για τιμές O¹⁸ και 1,4 ‰ για τιμές H².

Sacchi et al. (2001) έκανε μια κριτική επισκόπηση των διαθέσιμων τεχνικών εκχύλισης για να ληφθεί νερό και διαλυμένες ουσίες από αργιλοειδή πετρώματα, διερευνώντας τους μηχανισμούς που εμπλέκονται στις διεργασίες εκχύλισης καθώς και τις συνέπειες στην ισοτοπική και χημική σύνθεση του εκχυλισμένου πορώδους νερού. Οι τεχνικές εκχύλισης που εφαρμόστηκαν στην έρευνά τους περιλάμβαναν φυγοκέντρηση, συμπύεση, έκπλυση, απόσταξη κενού, αζεοτροπική απόσταξη και άμεση εξισορρόπηση. Αναφορικά με τις τεχνικές κενού και αζεοτροπικής απόσταξης, αναφέρουν ότι η ατελής εκχύλιση νερού μπορεί να σχετίζεται με την αλατότητα του διάμεσου διαλύματος, μέσω δύο κύριων μηχανισμών: κατακρήμνιση νεοσχηματισμένων (ενυδατωμένων) φάσεων και κατακράτηση ύδατος στη σφαίρα ενυδάτωσης των κατιόντων (Sacchi et al., 2001). Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να υποστηρίξουμε ότι τα κύρια σφάλματα που σχετίζονται με τις τεχνικές απόσταξης (κενό και αζεοτροπικό) είναι ποσοτικής φύσης, μέσω ατελούς εκχύλισης του νερού του εδάφους. Ωστόσο, η αζεοτροπική απόσταξη αποδείχθηκε ότι είναι η πιο αποτελεσματική τεχνική εκχύλισης του πορώδους ύδατος, ειδικά σε περιπτώσεις όπου πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό υπάρχει στο δείγμα εδάφους. Ο Scrimgeour (1995) αναφέρει ότι αν και η ακρίβεια είναι κάπως μειωμένη σε δείγματα που περιέχουν υψηλά επίπεδα οργανικής ύλης ή πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό, η αζεοτροπική απόσταξη παραμένει το «χρυσό πρότυπο» έναντι του οποίου πρέπει να δοκιμαστούν και άλλες μέθοδοι.

1.2.2 Λυσίμετρα

Τα λυσίμετρα είναι ένα φθινό και αποτελεσματικό σύστημα παρακολούθησης της διήθησης κάτω από ένα σύστημα SAT, όταν οι συνθήκες του πεδίου είναι ευνοϊκές. Αναφορικά με τους Ballestero κ.ά. (2006), τα λυσίμετρα είναι δείκτες ελεύθερης αποστράγγισης που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δειγμάτων νερού με αποστράγγιση βαρύτητας. Αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε χώρους αποκομοιδής αποβλήτων κάτω από τις εδαφικές γραμμές/ επενδύσεις για να καθίσταται δυνατή η έγκαιρη ανίχνευση της υγρασίας ή της διαλυτής ουσίας μέσω της επένδυσης.

1.3 Άμεσες τεχνολογίες πίεσης

Η λεπτομερής γνώση των προτιμησιακών διαδρομών ροής και μεταφοράς είναι απαραίτητη για τον χαρακτηρισμό του τόπου και για τον αξιόπιστο σχεδιασμό της λειτουργίας του χώρου στις εγκαταστάσεις διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Οι Dietrich και Leven (2009) παρουσιάζουν τεχνολογίες άμεσης ώθησης (γνωστές και ως "δοκιμές διείσδυσης κώνου" ή "τεχνολογία άμεσης κίνησης") ως εναλλακτική προσέγγιση για την έρευνα στο χώρο, η οποία αναφέρεται σε μια αυξανόμενη οικογένεια εργαλείων που χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση υπογείων επιφανειών.

Με την ανάπτυξη νέων και ισχυρών εργαλείων και αισθητήρων, αυτή η τεχνολογία άμεσης ώθησης είναι ολοένα και πιο δημοφιλής, αντικαθιστώντας πολλές συμβατικές μεθόδους για τις έρευνες στο χώρο (Farrar et al., 1996). Ένα μεγάλο πλεονέκτημα με τη μέθοδο άμεσης ώθησης είναι η οικονομία του χρόνου. Βάθος μεγαλύτερο από 50 μέτρα μπορεί να επιτευχθεί σε μια ιδανική κατάσταση (όπως μαλακά, μη στερεοποιημένα ιζήματα). Η μέθοδος κρούσης εφαρμόζεται ανάλογα με τις ανάγκες όταν πραγματοποιείται δειγματοληψία άμμων, χαλικιών, αργίλων και μπαζομάτων.

1.3.1 Διεισδυτικές τεχνολογίες υπεδαφικής έρευνας

Προκειμένου να μελετηθεί το κατακόρυφο προφίλ της διερεύνησης της περιοχής, εφαρμόζεται ευρέως η τεχνολογία κρουστική διάτρηση. Η διαφορά σε σύγκριση με τη συμβατική καταγραφή γεωτρήσεων είναι ότι καταγράφει τα δεδομένα απευθείας κατά την προχώρηση των εργαλείων άμεσης ώθησης στην υποπεριοχή. Ως αποτέλεσμα, μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη δέσμη συνόλων δεδομένων σε σύντομο χρονικό διάστημα και με απλό τρόπο. Ένα ακόμα πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου σε σύγκριση με τη συμβατική διάτρηση είναι ότι επιτρέπει την χρήση πολύ μικρότερων και πιο ευέλικτων συστημάτων. Καθώς τα εργαλεία άμεσης ώθησεως οδηγούνται στην υπόγεια επιφάνεια χωρίς τη διάτρηση χρησιμοποιώντας μόνο το στατικό βάρος του οχήματος, υπάρχει μόνο περιθωριακή διαταραχή της υπόγειας επιφάνειας, καθώς δεν υπάρχουν γενετικά μοσχεύματα. Ο Dietrich και ο Leven (2009) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η συνδυασμένη ερμηνεία τέτοιων δεδομένων καταγραφής μπορεί να επιτρέψει αξιόπιστο χαρακτηρισμό υποεπιφανειακών δομών (Schulmeister et al., 2003, Schulmeister et al., 2004, Sellwood, 2005).

1.3.2 Γεωφυσικές διασκοπίσεις

To Beck et al., 2000, Schulmeister et al., 2003, Sellwood, 2005, Paasche et al. , 2009 · Schütze et al., 2012 · Hausmann, 2014).

Οι Dietrich και Leven (2009) αναφέρουν ότι γεωηλεκτρικοί ανιχνευτές μπορούν να εφαρμοστούν επιπρόσθετα για τη μέτρηση της προκαλούμενης πόλωσης ή φασματικής επαγόμενης πόλωσης, ενώ ειδικά εργαλεία εξοπλισμένα με γεώφωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση σεισμικών ταχυτήτων στην κατακόρυφη κατεύθυνση για μετρήσεις προφίλ (Robertson et al. 1986, Terry et al., 1996).

Η πυρηνική καταγραφή είναι ένας άλλος τύπος γεωφυσικών εργαλείων άμεσης ώθησης που είτε ανιχνεύουν τη φυσική γ ακτινοβολία είτε εκπέμπουν ακτινοβολία (γ ή νετρόνια) και μετρούν την απόκριση του περιβάλλοντος υλικού (Dietrich and Leven, 2009). Αυτή η επεμβατική τεχνική μέτρησης εφαρμόζεται - όπως η πλειονότητα αυτών των μετρήσεων άμεσης ώθησης - διεξάγεται μέσω της εισαγωγής κοίλων χαλύβδινων ράβδων στην υπόγεια επιφάνεια.

1.4 Δοκιμές νερού

Οι προηγμένοι υδροανιχνευτές μας επιτρέπουν να λάβουμε εκτιμήσεις της υδραυλικής αγωγιμότητας "k", με την ανάλυση και την ακρίβεια που είναι σπάνια δυνατή με συμβατικές τεχνικές έρευνας πεδίου.

Μια ομάδα εργαλείων άμεσης ώθησης είχε δοκιμή δεισδυσσης κώνου (CPT), η οποία πραγματοποιεί έρευνες για την εκτίμηση της υδραυλικής αγωγιμότητας. Βασισμένο στις πληροφορίες ταξινόμησης των ιζημάτων (Robertson et al, 1983), οι Butler και Dietrich (2004) ανέφεραν ότι η απλούστερη προσέγγιση της CPT είναι η χρήση εμπειρικών σχέσεων. Αυτός ο ανιχνευτής CPT χρησιμοποιεί δεδομένα διάχυσης πίεσης πόρου για τον προσδιορισμό τιμών k. (Baligh and Levadoux, 1980, Robertson et al., 1992, Abu-Farsakh et al., 1998, Sully et al., 1999).

Κατά τον προσδιορισμό της συμπιεστότητας του όγκου, από μία από τις πολλές εμπειρικές εξισώσεις, υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα όταν η υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίζεται από αυτή τη μέθοδο άμεσης ώθησης. Είναι δυνατό να προσδιοριστούν τα μεγέθη υδραυλικής αγωγιμότητας με τη μέθοδο ενός βήματος χρησιμοποιώντας μεγέθη πίεσης πόρων που αναπτύχθηκαν κατά την προώθηση των εργαλείων CPT. Η ισχύς των υποκείμενων μοντέλων κατανομής του εδάφους ή του στρες καθορίζει το εύρος εφαρμογής τέτοιων μεθόδων (Dietrich et al., 2003).

Η εκτίμηση της υδραυλικής αγωγιμότητας με την τεχνολογία άμεσης ώθησης ενσωματώνει και τις δοκιμές έγχυσης. Άλλες βασικές μετρήσεις (πίεση και ρυθμός έγχυσης γίνονται κατά τη διάρκεια της προώθησης των ράβδων ή σε συγκεκριμένο βάθος.) Υπάρχουν σημαντικά λάθη στα αποτελέσματα της μεθόδου έγχυσης, λόγω των επιπτώσεων της απόφραξης και της ζώνης συμπύκνωσης.

Σύμφωνα με τους Dietrich και Leven (2009), οι πιο αξιόπιστες εκτιμήσεις "k" μπορούν να συγκεντρωθούν από τις άμεσες δοκιμές ώθησης και το άμεσο όριο της πίεσης.

Οι Dietrich και Leven (2009) αναλύουν ότι οι πιο αξιόπιστες εκτιμήσεις k μπορούν να συγκεντρωθούν από τις δοκιμές Direct Push (Hinsby et al., 1992, Henebry and Robbins, 2000, Butler et al., 2002, McCall et al., 2002) και το

Permeameter Direct Push (Lowry et al., 1999, Mason and Lowry, 1999, Butler and Dietrich, 2004).

1.5 Εργαλεία δειγματοληψίας εδάφους

Η δειγματοληψία εδάφους έχει αναπτυχθεί για τη λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων από μη ενοποιημένους σχηματισμούς. Ως εκ τούτου, ένα περίβλημα δονείται στο έδαφος χρησιμοποιώντας έναν δονητή μεταβλητής συχνότητας που συσφίγγεται προς το εξωτερικό του σωλήνα δειγματοληψίας. Το μη διαταραγμένο δείγμα ανυψώνεται μέσα στο σωλήνα δειγματοληψίας και συγκρατείται από έναν συλλέκτη πυρήνα στη βάση του σωλήνα δειγματοληψίας. Στη συνέχεια το δείγμα καλύπτεται και αναγνωρίζεται. Όταν το μήκος στόχου του δείγματος έχει επιτευχθεί, ο σωλήνας / επένδυση δείγματος αποσύρεται από το σχηματισμό, ο σωλήνας ή η αντικατάσταση επιστρέφει στην οπή. Υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου:

Πλεονεκτήματα της άμεσης ώθησης της δόνησης:

- Δυνατότητα ανόθευτης δειγματοληψίας σχηματισμού σε μη στερεοποιημένους σχηματισμούς μέχρι βάθους 30 m με ελάχιστη διασταυρούμενη μόλυνση του δείγματος
- Πολύ γρήγορη
- Δεν απαιτούνται υγρά διάτρησης
- Επιτρέπει την ταχεία εγκατάσταση συστημάτων αδειών παρακολούθησης

Μειονεκτήματα της άμεσης ώθησης vibro-coring:

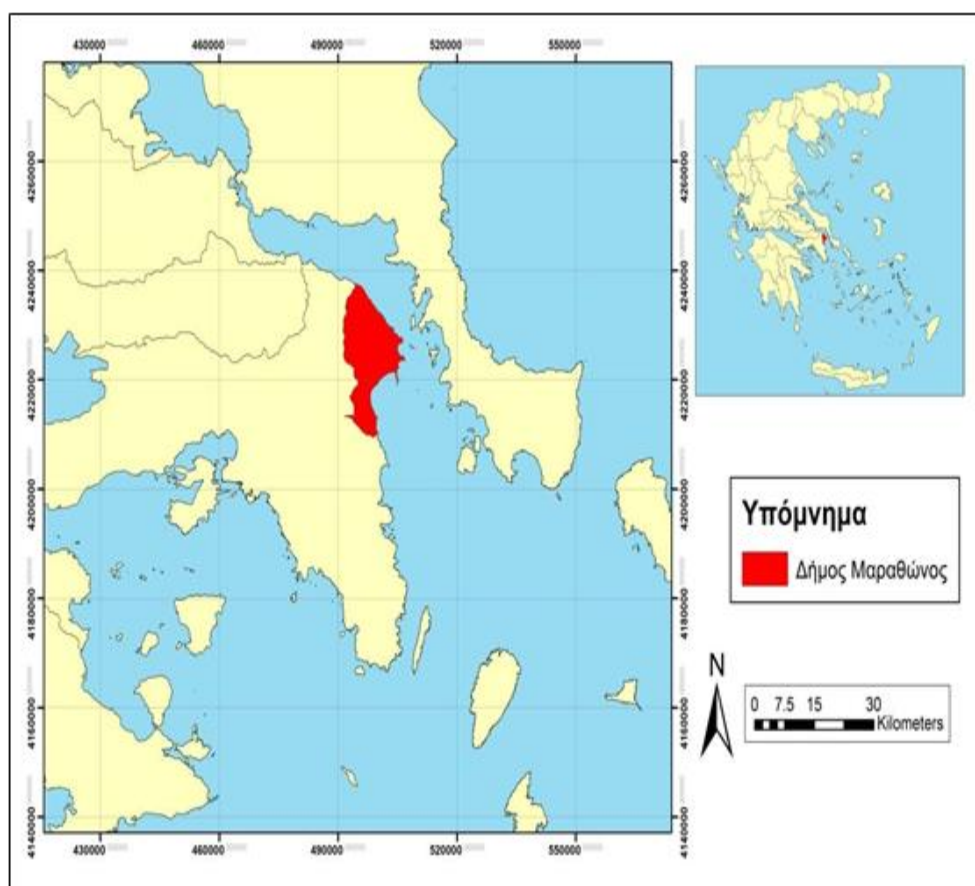
- Η διάτρηση δεν είναι δυνατή σε ενοποιημένους σχηματισμούς
- Η πρόοδος μπορεί να παρεμποδιστεί εύκολα από τα λιθόστρωτα
- Μόνο για σχετικά μικρά βάθη

2.ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

(Κύρια βιβλιογραφική πηγή: Περδικάκη, 2016)

2.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης

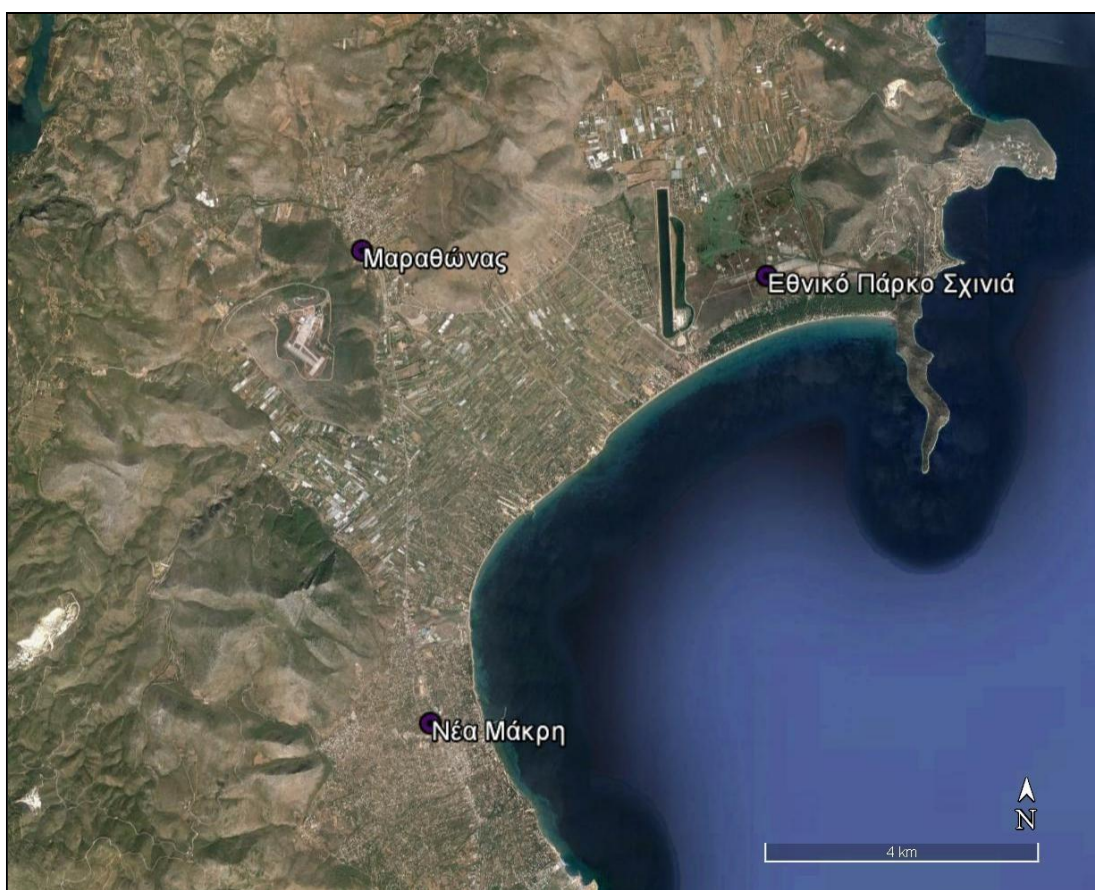
Η ευρύτερη περιοχή έρευνας της παρούσας διατριβής είναι ο Μαραθώνας. Γεωγραφικά, βρίσκεται βορειοανατολικά του νομού Αττικής και διοικητικά ανήκει στην Περιφέρεια Ανατολικής Αττικής. Παλαιότερα αποτελούσε αυτοτελή δήμο, αλλά μετά το 2010 συγχωνεύτηκε με άλλους σύμφωνα με το πρόγραμμα “Καλλικράτης” του νόμου Ν3852/2010. Ο σημερινός δήμος διατηρεί το όνομα “Δήμος Μαραθώνος”. Έδρα του νέου Δήμου είναι ο Μαραθώνας, και περιλαμβάνει ακόμη τον πρώην δήμο Νέας Μάκρης και τις κοινότητες Βαρνάβα και Γραμματικού (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1 Διοικητική έκταση Δήμου Μαραθώνα

Η έκταση του δήμου είναι 227 km^2 και ο μόνιμος πληθυσμός ανέρχεται στα 26.899 άτομα, σύμφωνα με τα στοιχεία που προέκυψαν από την απογραφή του 2011.

Η στενότερη περιοχή μελέτης είναι η πεδιάδα του Μαραθώνα με έκταση περίπου 40 km^2 (Σχήμα 2.2). Η ακτογραμμή, η οποία διαχωρίζει την ηπειρωτική χώρα από τη θάλασσα, έχει μήκος 10km και αρχίζει από τη λοφώδη ζώνη της Κυνοσούρας στα βορειοανατολικά, έως τη Νέα Μάκρη στα νοτιοανατολικά. Στην ενδοχώρα, οριοθετείται στα Δ/Β/ΒΑ από λοφώδεις περιοχές με απότομα πρανή: στα βόρεια οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους Κοτρώνι, Στρατή και Τεροκορυφή, στα δυτικά από τον ορεινό όγκο της Πεντέλης, στα ανατολικά από τον ορεινό όγκο της Δρακονέρας και του Μύτικα και στα νοτιοανατολικά από την χερσόνησο της Κυνοσούρας.



Σχήμα 2.2 Η πεδιάδα του Μαραθώνα (Πηγή: Google Earth)

2.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες

Από γεωμορφολογική άποψη, το παράκτιο πεδίο του Μαραθώνα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των έντονων γεωμορφολογικών αλλαγών που συνεχώς πραγματοποιούνται, εξαιτίας φυσικών διεργασιών και ανθρωπογενών παρεμβάσεων.

Γενικά, η περιοχή χαρακτηρίζεται ως πεδινή, με κλίση η οποία δεν υπερβαίνει το 4%, ενώ η έκταση του έλους έχει κλίση από 0 έως 2% (Σκούντζος, 1992).

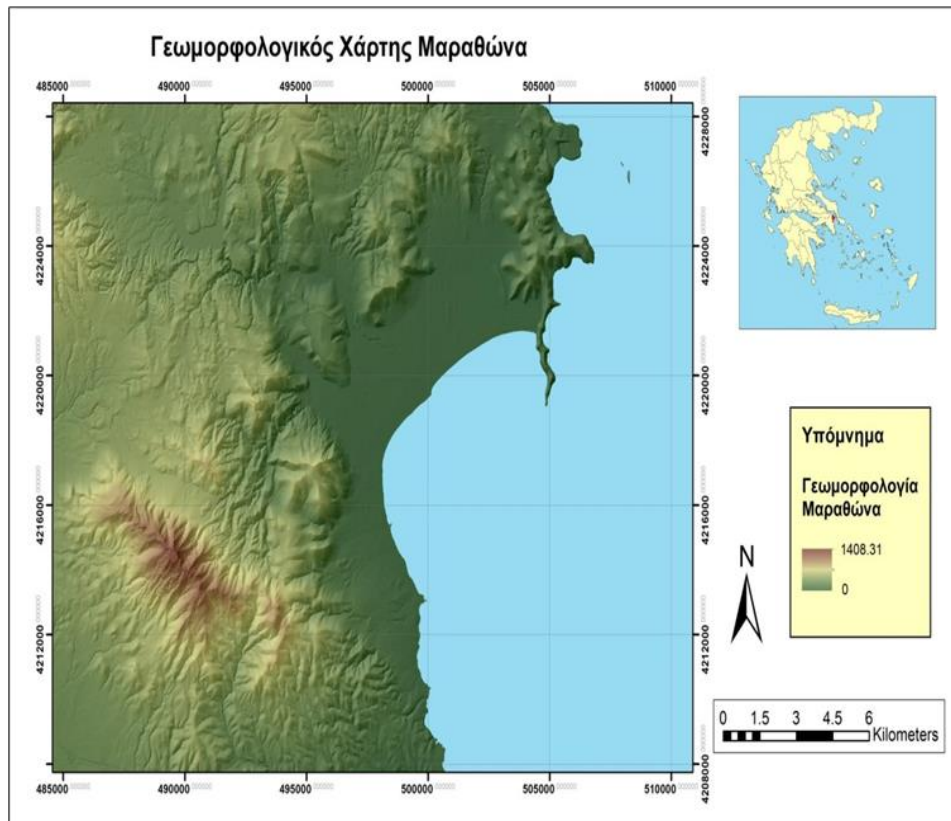
Σύμφωνα με τη Μαργώνη (2006), η πεδιάδα του Μαραθώνα αποτελεί ουσιαστικά ένα καρστικό-τεκτονικό βύθισμα της λοφώδους ζώνης της ΒΑ Αττικής και οριοθετείται από τη λοφώδη ζώνη της Πεντέλης από την πλευρά της ξηράς και από την ακτογραμμή του Όρμου του Μαραθώνα από την πλευρά της θάλασσας. Το βύθισμα δημιουργήθηκε πιθανώς κατά το Πλειστόκαινο και πληρώθηκε με υλικά, τα οποία προήλθαν από εξωγενείς διεργασίες διάβρωσης και αποσάθρωσης. Σημαντική επίδραση στη διαμόρφωση της μορφολογίας της περιοχής είχε η δράση των χειμάρρων Οινόης/Χάραδρου και Κιμπιπούγιου. Ο πρώτος αποστραγγίζει τις Β/ΒΑ υπώρειες της Πάρνηθας. Η παλαιότερη λεκάνη απορροής του έχει διακοπεί μετά τη κατασκευή του φράγματος του Μαραθώνα ενώ σήμερα ο Χάραδρος εκφορτίζεται προς την ακτογραμμή του όρμου του Μαραθώνα με λεκάνη απορροής 58km² κατάντη της λίμνης του Μαραθώνα. Ο δεύτερος αποστραγγίζει τις ΒΑ υπώρειες της Πεντέλης στη περιοχή της Ραπεντώσας, με έκταση λεκάνης απορροής 30,16km² και εξέρχεται από τη λοφώδη ζώνη στη περιοχή του Μαραθώνα, δυτικά του Αρχαιολογικού Μουσείου Μαραθώνα. Η πεδινή έκταση του Μαραθώνα, χωρίζεται γεωμορφολογικά στις εξής ενότητες:

- **Πεδινό τμήμα πόλης Μαραθώνα:** Εκτείνεται κατά μήκος της κοίτης του χειμάρρου Οινόης και διακρίνεται σε δύο τμήματα. Στο πρώτο, αναπτύσσεται η πόλη του Μαραθώνα και έχει διεύθυνση ΝΝΑ-ΒΒΔ, μήκος 2 km και πλάτος 0,6 km περίπου. Στο δεύτερο, αναπτύσσονται καλλιέργειες ανθοκομικών και κηπευτικών με διεύθυνση Α-Δ, μήκος 1,2 km και πλάτος 0,5 km περίπου.
- **Πεδινό τμήμα Μαραθώνα:** Αναπτύσσεται στην περιοχή από το όριο μεταξύ Νέας Μάκρης και Μαραθώνα, δυτικά – βορειοδυτικά από τις απολήξεις της

λοφώδους περιοχής, βορειοανατολικά από την αποστραγγιστική τάφρο της Μακαρίας Πηγής και ανατολικά από την ακτογραμμή του όρμου του Μαραθώνα. Ο κύριος άξονας της πεδιάδας έχει διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ με μέσο μήκος 6km και μέσο πλάτος 3km περίπου. Στο κεντρικό της τμήμα η πεδιάδα διασχίζεται από την κοίτη του χειμάρρου της Οινόης ενώ στο νοτιοδυτικό τμήμα καταλήγει η κοίτη του Κιμπιτούγιου. Το υψόμετρο της πεδιάδας κυμαίνεται από 0,5 - 1m έως 15 - 18m. Συγκεκριμένη έκταση καλύπτεται κυρίως από κατοικίες και γεωργικές εκτάσεις.

- **Πεδινό τμήμα Κάτω Σούλι – Πάτημα:** Αποτελεί το Β-ΒΑ άκρο της πεδιάδας του Μαραθώνα. Αναπτύσσεται με διεύθυνση Α-Δ και έχει μήκος 3,5km περίπου και μέσο πλάτος 0,5km. Οριοθετείται νότια από το δρόμο Μαραθώνα – Κάτω Σουλίου ενώ στις υπόλοιπες διευθύνσεις περιβάλλεται από λοφώδεις ορεινούς όγκους. Τα υψόμετρα στη συγκεκριμένη έκταση κυμαίνονται από 8m έως 50m προς τη περιοχή των λόφων. Στη περιοχή αναπτύσσονται αγροτικές εκμεταλλεύσεις αποτελούμενες κυρίως από θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις καλλιέργειας κηπευτικών και ανθοκομικών ειδών.
- **Οι περιοχές των ελωδών εκτάσεων:** Αποτελείται από το έλος του Σχοινιά και της Μπρεξίζας. Στο έλος του Σχοινιά αναπτύσσεται ο υγρότοπος, μέρος του Εθνικού Πάρκου του Σχοινιά. Το απόλυτο υψόμετρο της περιοχής στο κεντρικό τμήμα, δεν ξεπερνά το 1m, ενώ βορειότερα κυμαίνεται μεταξύ 1,5 και 2,5m. Ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής του έλους του Σχοινιά η ύπαρξη της μικρής χερσονήσου της Κυνοσούρας με τρεις μικρές κορυφές μεγίστου ύψους 92m, στο ανατολικό όριο της πεδινής έκτασης, αλλά και η ανάπτυξη παράλληλα προς την ακτή, παράκτιων χαμηλών αμμόλοφων μήκους 3km και πλάτους 450m, όπου και αναπτύσσεται το προστατευόμενο δάσος κουκουναριάς και πεύκης. Το έλος της Μπρεξίζας αναπτύσσεται στο νοτιοδυτικό άκρο της πεδιάδας με έκταση περίπου 1km² και οριοθετείται μεταξύ του οικισμού της Νέας Μάκρης στα νότια, του κάμπου του Μαραθώνα στα βόρεια, της παράκτιας ζώνης στα ανατολικά και των παρυφών του καρστικού λόφου Αγριλίκι στα δυτικά. Στο έλος εκφορτίζεται η πηγή Μάτι η οποία παροχετεύεται στη θάλασσα. Το έλος

αποστραγγίστηκε το 1931 και σήμερα το μεγαλύτερο μέρος του έχει καταλειφθεί από οικοδομήματα.



Σχήμα 2.3 Γεωμορφολογικός χάρτης περιοχής Μαραθώνα

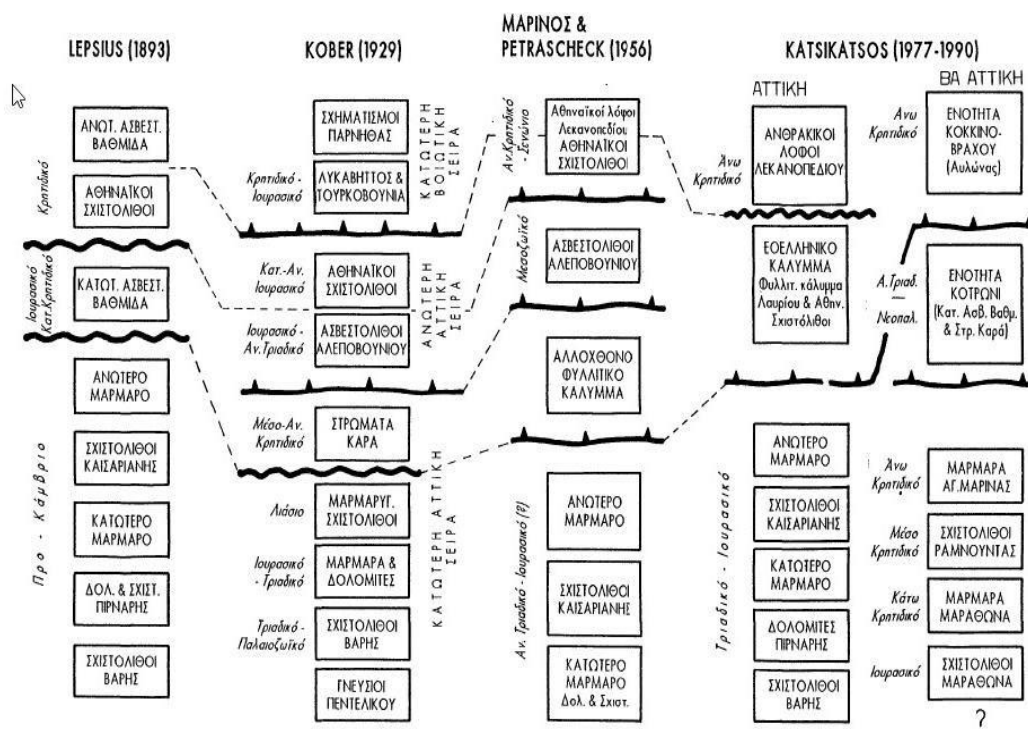
Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 2.3), παρουσιάζεται η γεωμορφολογία της περιοχής, όπως κατασκευάστηκε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που χορηγήθηκε από το Εθνικό Κτηματολόγιο, με κλίμακα 1:5000. Για την κατασκευή του χάρτη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcMap 10.1. Εξαιτίας της ύπαρξης πληθώρας στρατηγικών σημείων στην ευρύτερη περιοχή του Μαραθώνα (πρώην αμερικάνικη βάση στο έλος του Σχοινιά, βάση ελικοπτέρων ναυτικού στο Κοτρώνι, ναυτική βάση Νοτίου Ευβοϊκού στην Αγία Μαρίνα κ.ά.) το ψηφιακό μοντέλο εδάφους περιείχε τμήματα τα οποία δεν εμπεριείχαν πληροφορία. Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, τα κενά αυτά καλύφθηκαν λαμβάνοντας πληροφορία υψομέτρου από τις γύρω περιοχές των κενών κελιών, προκειμένου να διεκπεραιωθούν οι εργασίες που ήταν προγραμματισμένες για τη διεξαγωγή της διπλωματικής.

2.3 Γεωλογική περιγραφή

2.3.1 Γεωλογία περιοχής μελέτης

Ο όρμος του Μαραθώνα ανήκει γεωγραφικά στην ευρύτερη περιοχή της βορειοανατολικής Αττικής. Η περιοχή αυτή, από γεωτεκτονική άποψη, εντάσσεται στην «Ενδιάμεση Τεκτονομεταμορφική ζώνη των Ελληνίδων», όπως αυτή ορίστηκε από τον Brunh (1956). Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί τμήμα της Απτικοκυκλαδικής μάζας (Marinos & Petrascheck, 1956) και μάλιστα στα όριά της με τη Πελαγονική, με την περιοχή μελέτης (πεδιάδα Μαραθώνα) να βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα αυτής.

Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα με τη δομή της Ανατολικής Αττικής, διατυπώνοντας διάφορες απόψεις για τη λιθοστρωματογραφία. Ο Λόζιος (1993), στη διδακτορική του διατριβή για την τεκτονική της ΒΑ Αττικής, διατυπώνει σχηματικά τις κύριες απόψεις που επικράτησαν στη διάρκεια των χρόνων για τη λιθοστρωματογραφική δομή της Αττικής (Σχήμα 2.3.1).



Σχήμα 2.3.1 Σχηματική απεικόνιση των απόψεων των κυριότερων ερευνητών για τη λιθοστρωματογραφική δομή της Αττικής (Λόζιος, 1993)

Στη συνέχεια, ακολουθεί σύντομη περιγραφή των πιο πρόσφατων αναφορών σχετικά με τη γεωτεκτονική και λιθολογική δομή της ΒΑ Αττικής.

Ο Κατσικάτος (1971,1977) παρουσιάζει τη λιθοστρωματογραφία της Αττικής- Ν. Ευβοίας, θεωρώντας για τη περιοχή δύο ζώνες τύπου «Εσωτερικών Ελληνίδων»:

- **Ζώνη Αττικής:** αποτελεί τη βάση και τη σχετικά αυτόχθονη ζώνη και αποτελείται από το «Μεταμορφωμένο σύστημα Αττικής», τριαδικο-ιουρασικής ηλικίας με παραμόρφωση και μεταμόρφωση στο Αν. Ιουρασικό (κανονικά μεταμορφωμένα του Lepsius).
- **Ζώνη Αλμυροποτάμου:** εμφανίζεται σε Εύβοια και ΒΑ Αττική, είναι επωθημένη στην προηγούμενη ενότητα και αποτελείται από εναλλαγές μαρμάρων και σχιστολίθων με μεταφλύσχη στην οροφή που επικάθεται στα Ανω-Τριαδικά μάρμαρα Αγ. Γεωργίου-Ευβοίας.

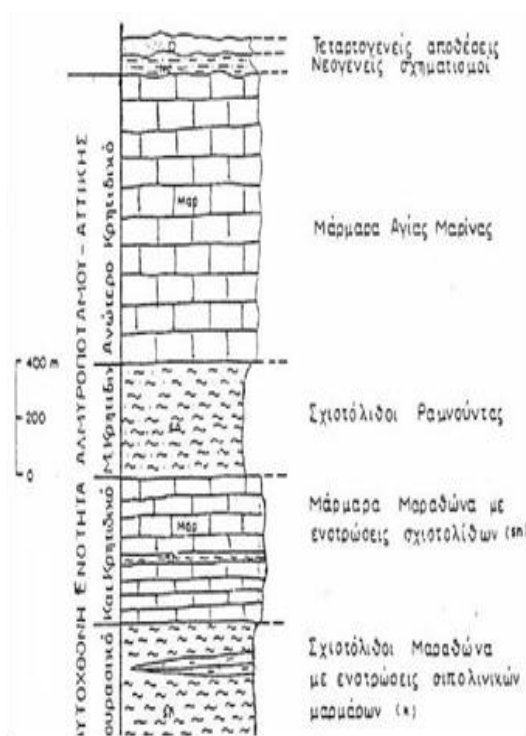
Ο Clement (1983), για τη περιοχή της ΒΑ Αττικής διακρίνει τρεις ενότητες:

- **Ενότητα Εκάλης:** η λιθοστρωματογραφική στήλη αποτελείται από λεπτές εναλλαγές μαρμάρων και σχιστολίθων με κύριες εμφανίσεις σε δυτικό και νότιο Πεντελικό. Η ενότητα αυτή εναποτίθεται στην «Ενότητα Πεντελικού».
- **Ενότητα Πεντελικού:** αποτελείται από μάρμαρα και υπερκείμενους σχιστόλιθους και εμφανίζεται στο κεντρικό και ανατολικό Πεντελικό στα βόρεια μέχρι το ύψος του Μαραθώνα.
- **Ενότητα Μαραθώνα:** υπόκειται των δύο παραπάνω ενοτήτων και η λιθοστρωματογραφική στήλη έχει ως βάση σχιστολίθους ενώ σε αυτούς υπέρκεινται τριαδικά μάρμαρα με καρστικά έγκοιλα πληρωμένα με μεταλλεύματα στα οποία εναποτίθενται Άνω-Κρητιδικά μάρμαρα και στην κορυφή σχιστόλιθοι.

Ο Παπανικολάου (1984, 1986) χωρίζει τη περιοχή της Αττικής σε τρεις γεωτεκτονικές ενότητες. Η ανώτερη είναι η ενότητα «Ολύμπου-Αλμυροποτάμου- Κερατέας» με εμφανίσεις σε ΒΑ Αττική, Όλυμπο, Εύβοια και Σάμο και εντάσσεται στις «Εσωτερικές Ελληνίδες. Σε αυτή υπόκειται η «Ενότητα Αττικής», η οποία εντάσσεται στις «Εσωτερικές Ελληνίδες» και

την αλλόχθονη «Ενότητα Λαυρίου» που υπέρκειται τεκτονικά της προηγούμενης και αποτελείται από το φυλλιτικό κάλυμμα Λαυρίου και τους σχηματισμούς του λεκανοπεδίου Αττικής.

Οι Κατσικάτσος κ.ά. (1990), παραθέτουν με σχηματική απεικόνιση στους Γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. τη λιθοστρωματογραφική διάρθρωση της ΒΑ Αττικής – Νοτίου Ευβοίας (Σχήμα 2.3.2).



Σχήμα 2.3.2 Λιθοστρωματογραφική διάρθρωση της ΒΑ Αττικής - Νοτίου Ευβοίας

Σύμφωνα με το σχήμα, η στρωματογραφία της ΒΑ Αττικής διαμορφώνεται από εναλλαγές μεγάλου πάχους οριζόντιων μαρμάρων και σχιστόλιθων με ηλικία από το Ιουρασικό μέχρι το Άνω Κρητιδικό που πλευρικά στην περιοχή της Ευβοίας, εξελίσσονται στους αντίστοιχους σχηματισμούς του «Αλμυροποτάμου» με ηλικία από το Τριαδικό (μάρμαρα) μέχρι το Ηώκαινο (μετά-φλύσχης). Η ενότητα αυτή ονομάζεται «αυτόχθονη ενότητα Αλμυροποτάμου-Αττικής» και σε αυτή υπόκεινται τεκτονικά οι ενότητες των κυανοσχιστολίθων και των αμεταμόρφωτων της Πελαγονικής.

Ο Λόζιος (1993), χωρίζει τη περιοχή στρωματογραφικά σε δύο μεταμορφωμένες γεωτεκτονικές ενότητες:

- **Ενότητα «ΒΑ Αττικής»** που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής και αποτελεί τη σχετικά αυτόχθονη ενότητα. Το υπόβαθρο της ενότητας αυτής είναι άγνωστο.
- **Ενότητα «Αγίου Γεωργίου»** που υπέρκειται τεκτονικά της προηγούμενης και αποτελεί την αλλόχθονη ενότητα.

Στις δύο παραπάνω ενότητες υπέρκειται και οι αμεταμόρφωτοι σχηματισμοί της Πάρνηθας που αντιπροσωπεύουν τμήματα της Υποπελαγονικής ζώνης η οποία απαρτίζει την Ανατολική Ελλάδα.

2.3.2 Γεωλογία πεδιάδας Μαραθώνα

Ο όρμος του Μαραθώνα βρίσκεται στα ανατολικά του ορεινού όγκου της Πεντέλης. Σύμφωνα με τη Μαργώνη (2006), από στοιχεία γεωλογικής και τεκτονικής συγκρότησης της περιοχής, προκύπτει ότι η ευρύτερη περιοχή αποτελούσε ένα καρστικό σύστημα και η πεδιάδα του Μαραθώνα δημιουργήθηκε ως ένα καρστικό- τεκτονικό βύθισμα της λοφώδους ζώνης της ΒΑ Αττικής. Το βύθισμα δέχτηκε υλικά από εξωγενείς διεργασίες αποσάθρωσης και διάβρωσης τα οποία πλήρωσαν τον πυθμένα του. Τα υλικά αυτά έχουν αποτεθεί επάνω σε μία καρστική επιφάνεια ανθρακικών πετρωμάτων. Συνεπώς, το υπόβαθρο των προσχώσεων αναμένεται να αποτελείται από μάρμαρα.

Η στρωματογραφία της πεδιάδας του Μαραθώνα έχει διαμορφωθεί από διάφορες εξελικτικές φάσεις και διεργασίες οι οποίες οδήγησαν στην παρακάτω στρωματογραφική διάρθρωση του αλλουβιακού πεδίου (από τον πυθμένα προς την οροφή):

- Ο πυθμένας του αλλουβιακού σχηματισμού χαρακτηρίζεται από την απόθεση μαργαϊκού στρώματος σε όλη την έκταση της πεδιάδας. Το στρώμα αυτό αποτελείται από ερυθρό χονδροκλαστικό υλικό κοντά στη λοφώδη ζώνη και κίτρινο λεπτόκοκκο υλικό με πληθώρα συγκριμάτων CaCO_3 στην εξωτερική ζώνη.
- Υπερκείμενο στον πυθμένα, έχει αποτεθεί στρώμα χερσοχειμάρρειων κροκάλων καστανέρυθρου χρώματος

- Στρώμα κροκάλων και άμμου τεφρού χρώματος με παράκτια χαρακτηριστικά εντοπίζεται στην ανατολική περιοχή του Σχοινιά
- Απόθεση θαλάσσιων, λιμνοθαλάσσιων και ελωδών ιζημάτων με στρώματα τύρφης. Το στρώμα αυτό δημιουργήθηκε κατά το Ολόκαινο.
- Στρώμα χερσοποτάμιων αποθέσεων χειμάρρων ερυθρού χρώματος.

Τα παραπάνω δεδομένα για τη στρωματογραφία της πεδιάδας έχουν προκύψει από σχετική έρευνα της Μαργώνη (2006), βάσει δειγμάτων εδάφους από γεωτρήσεις που δεν ξεπερνούν το βάθος των 16m.

2.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες

2.4.1 Υδρογεωλογικό καθεστώς Μαραθώνα

Η υπόγεια υδροφορία της υπό μελέτη περιοχής προσδιορίζεται από το είδος των γεωλογικών σχηματισμών και τα τεκτονικά χαρακτηριστικά αυτών. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναλύθηκαν παραπάνω για την πεδιάδα του Μαραθώνα και την ευρύτερη περιοχή, διακρίνονται σε υδροπερατούς και αδιαπέρατους. Στους αδιαπέρατους σχηματισμούς εντάσσονται οι σχιστόλιθοι και τα στρώματα αργίλων και αργιλοπηλών. Στα υδροπερατά στρώματα κατατάσσονται τα μάρμαρα και οι προσχλωσιγενείς αποθέσεις της παράκτιας πεδιάδας στα οποία αναπτύσσονται δύο υδροφόρα συστήματα: το καρστικό και το προσχλωματικό.

Στα παρακάτω υποκεφάλαια αναλύονται τα προαναφερθέντα υδροφόρα συστήματα και η υδραυλικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

2.4.2 Καρστικό υδροφόρο σύστημα

Πρόκειται για ένα σύστημα υψηλής υδροπερατότητας που διαμορφώνεται στα ανθρακικά πετρώματα της ΑΒΑ Αττικής και έχει έκταση 81km². Στην πεδιάδα του Μαραθώνα, το εν λόγω σύστημα αναπτύσσεται στα Μάρμαρα Μαραθώνα, Αγίας Μαρίας και Γραμματικού. Τέτοιοι σχηματισμοί είναι υψηλής υδροπερατότητας και η υδροφορία τους οφείλεται, κυρίως, στη

δημιουργία καρστικών εγκοίλων και αγωγών, εξαιτίας διεργασιών εντατικής καρστικοποίησης αλλά και στον κατακερματισμό των πετρωμάτων από ένα πυκνό δίκτυο ρωγμών και διακλάσεων.

2.4.3 Καρστικό υδροφόρο σύστημα μαρμάρων Μαραθώνα

Τα Μάρμαρα του Μαραθώνα αποτελούν τον ορεινό όγκο που διαχωρίζει την πεδινή περιοχή από τους λοφώδεις σχηματισμούς στο βορειοδυτικό όριο της. Ο σχηματισμός εκτείνεται μέχρι την περιοχή Λιμνιών του Ευβοϊκού κόλπου και έχει διεύθυνση Β-Ν.

Πρόκειται για έναν έντονα καρστικοποιημένο σχηματισμό με έντονο τεκτονισμό που εκδηλώνεται με ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ και Β-Ν. Το σύστημα, κατά το μεγαλύτερο μέρος του, περιβάλλεται από υδατοστεγανούς και ημιπερατούς σχηματισμούς ενώ στο βόρειο άκρο του συνορεύει με τη θάλασσα κατά μήκος ενός μικρού τμήματος. Η νότια πλευρά του βρίσκεται σε επαφή με τις αλλουβιακές αποθέσεις της πεδιάδας.

Σύμφωνα με υπολογισμούς των Μελισσάρη και Σταυρόπουλου (1999), ο όγκος νερού που δέχεται ο σχηματισμός από τις βροχοπτώσεις εκτιμάται σε $11,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ από τα οποία τα $6,2 \text{ m}^3/\text{έτος}$ τροφοδοτούν τον υδροφορέα.

Το εν λόγω σύστημα εκφορτίζεται φυσικά εν μέρει στη θάλασσα αλλά και υπογείως, τροφοδοτώντας τον κοκκώδη σχηματισμό της πεδιάδας, ενώ τεχνητά εκφορτίζεται μέσω πολυάριθμων γεωτρήσεων που έχουν διανοιχτεί στο πεδίο του Μαραθώνα και χρησιμοποιούνται κυρίως για την άρδευση των γεωργικών εκτάσεων της περιοχής. Ποιοτικά, χαρακτηρίζεται ως υφάλμυρο με τιμές αγωγιμότητας να κυμαίνονται μεταξύ 1.000 και 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και συγκέντρωση χλωριόντων από 40 έως 1.000 mg/L . Ο υδροφορέας επιβαρύνεται και από νιτρικά ιόντα (15-150 mg/L), γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στη χρήση γεωργικών λιπασμάτων. Πρόκειται για ελαφρώς βασικά νερά με pH 7,2-7,8 και θερμοκρασία 19-20,5 °C.

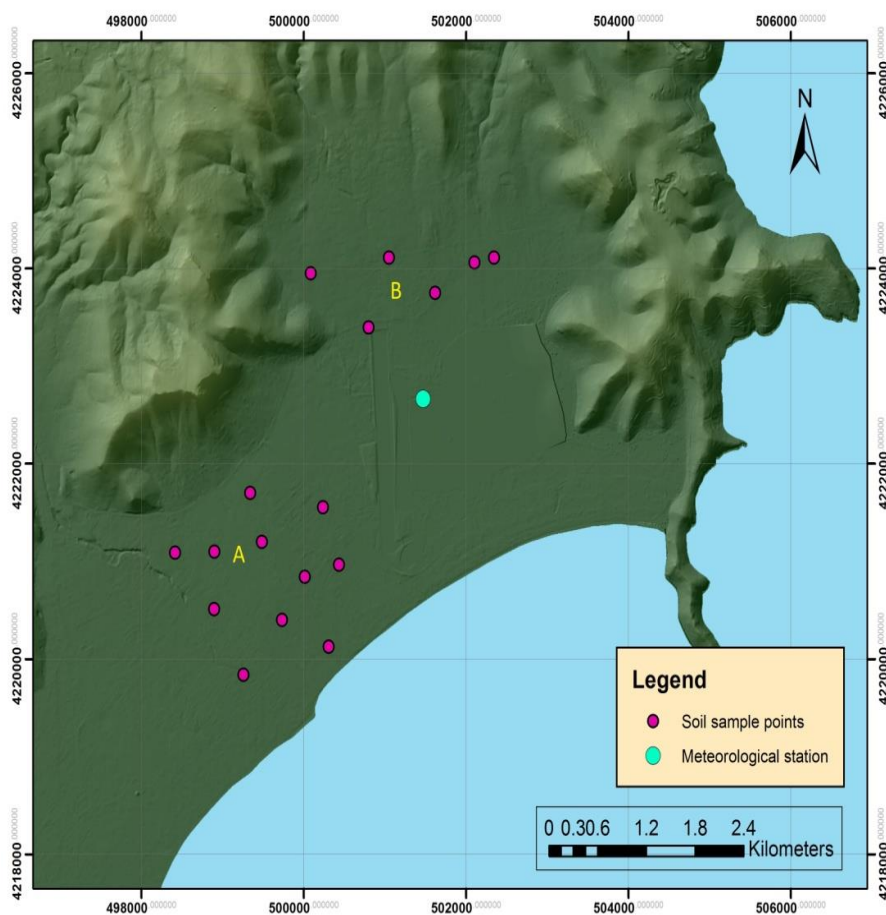
Ο καρστικός υδροφορέας εκδηλώνεται και επιφανειακά μέσω της Μακαρίας πηγής που αναβλύζει στο Ν-ΝΑ άκρο του σχηματισμού στη περιοχή του Κάτω Σουλίου σε υψόμετρο 2,5 m. Πρόκειται για πηγή που εκφορτίζει μεγάλους όγκους υπόγειου νερού που εκδηλώνονται επιφανειακά

μέσω δύο λιμνών μικρής έκτασης. Το νερό της Μακαρίας παροχετεύεται σε κανάλι από το οποίο τροφοδοτείται με ελεγχόμενη ροή το Ολυμπιακό κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά ενώ το υπόλοιπο εκφορτίζεται στη θάλασσα από το κεντρικό κανάλι αποστράγγισης. Δυστυχώς, δεν υπάρχει χρονοσειρά μετρήσεων της παροχής της πηγής. Οι μόνες διαθέσιμες μετρήσεις παρέχονται από τη υδρομετρήσεις του Υπουργείου Γεωργίας (Μελλισάρης και Σταυρόπουλος, 1999) για τα έτη 1997-1998. Σύμφωνα με αυτές τις μετρήσεις, η μέση παροχή της πηγής ανέρχεται στα $1548 \text{ m}^3/\text{h}$, δηλαδή $13,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Η πηγή χαρακτηρίζεται υφάλμυρη με αγωγιμότητα περί των $1.200 \text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ

3.1 Θέσεις δειγματοληψίας

Για τη διερεύνηση της ποιότητας των εδαφών της ακόρεστης ζώνης της πεδιάδας, αναπτύχθηκε ένα δίκτυο 17 γεωτρήσεων (Σχήμα 3.1), βάθους έως 3m σε διαστήματα των 0,5m και συλλέχθηκαν αδιατάραχτοι πυρήνες διαμέτρου 50 mm. Στη συνέχεια, τα δείγματα αυτά μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., όπου κάθε δείγμα χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση χλωριόντων και ηλεκτρικής αγωγιμότητας και μία επιπλέον ποσότητα αυτών σφραγίστηκε αεροστεγώς με σκοπό την μετέπειτα ανάλυση μεγέθους των κόκκων.



Σχήμα 3.1 Θέσεις δειγματοληψίας

3.2 Διάνοιξη γεωτρήσεων και μέθοδος δειγματοληψίας

Γεώτρηση καλείται η κατακόρυφη ή κεκλιμένη οπή κυκλικής διαμέτρου, η οποία ορύσσεται στο υπέδαφος με ειδικό μηχάνημα και κατάλληλο εξοπλισμό. Κατά την εκτέλεση της γεώτρησης λαμβάνεται δείγμα κυλινδρικής μορφής από τους διατρυόμενους σχηματισμούς.

Σκοπός των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων είναι:

- Η συγκέντρωση στοιχείων για τη δομή και την σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών
- Η λήψη δειγμάτων από διάφορα βάθη για την εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών
- Η εκτέλεση δοκιμών μέσα στη γεώτρηση για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών στο φυσικό τους περιβάλλον
- Η ανίχνευση και ο εντοπισμός υδροφόρων στρωμάτων και ο προσδιορισμός των υδραυλικών χαρακτηριστικών τους (πορώδες, διαπερατότητα)

Για την ανόρυξη των γεωτρήσεων εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές, όπως:

- Ελικοειδής διάτρηση (flight augering), για χαλαρούς σχηματισμούς
- Υδραυλική διάτρηση (wash boring), κατά την οποία η προχώρηση γίνεται με ειδική διάταξη κοπτικών που διεισδύουν στο έδαφος και το κατακερματίζουν, ενώ με εισπίεση νερού απομακρύνονται τα θρύμματα και τα εδαφικά τεμάχια
- Περιστροφική διάτρηση (rotary drilling), κατά την οποία η διάνοιξη της γεώτρησης γίνεται με περιστροφή της διατρητικής στήλης και τη χρήση κοπτικών κεφαλών, καθώς και ειδικών δειγματοληπτών που χρησιμοποιούνται σε συνδιασμό με τις κοίλες κοπτικές κεφαλές.
- Κρουστική διάτρηση (percussion drilling, shell and auger) κατά την οποία η προχώρηση στο έδαφος (συνεκτικό ή κοκκώδες)

γίνεται με κρούσεις. Στους συνεκτικούς εδαφικούς σχηματισμούς είναι δυνατή η λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων ενώ στους βραχώδεις σχηματισμούς η προχώρηση της γεώτρησης γίνεται με θρυμματισμό του πετρώματος, οπότε λαμβάνονται μόνο θρύμματα

Για την πυρηνοληψία χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτρικό φορητό σύστημα δόνησης για διάτρηση σε ετερογενή εδάφη με κρουστικό σφυρί (Cobra TT), το οποίο λαμβάνει την απαιτούμενη ενέργεια μέσω μιας βενζινοκίνητης γεννήτριας ρεύματος. Η κρουστική διάτρηση είναι κατάλληλη για μη στερεοποιημένους και ενοποιημένους σχηματισμούς όπως οι στρώσεις άμμου, λάσπης, αργίλου και χάλικων.

Η τεχνική χρησιμοποιεί δονήσεις για να διεισδύσει στην υπόγεια επιφάνεια με ένα κοίλο περίβλημα που περιέχει μια εσωτερική επένδυση δειγματοληψίας. Όταν επιτευχθεί το απαιτούμενο βάθος, το περίβλημα με την επένδυση δειγματοληψίας αποσύρεται και η επένδυση μπορεί να καλύπτεται για περαιτέρω ανάλυση. Δεν χρειάζονται υγρά διάτρησης που θα αλλοιώσουν την περιεκτικότητα σε νερό και τη χημεία του νερού. Σε ένα δεύτερο βήμα, η ανοικτή γεώτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση του εξοπλισμού παρακολούθησης (monitoring). Περίπου 500-700g δείγματος εδάφους συλλέχθηκαν σε σάκους πολυαιθυλενίου ερμητικά σφραγισμένα και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο για ανάλυση. Δείγματα ιζημάτων από τις 17 θέσεις χρησιμοποιήθηκαν για ανάλυση κόσκινου και προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των συγκεντρώσεων χλωριόντων.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από:

1) Ένα ηλεκτρικό φορητό σύστημα δόνησης για ετερογενή εδάφη με κρουστικό σφυρί (Cobra TT).



2) Μία βενζινοκίνητη γεννήτρια ρεύματος η οποία παράγει την απαιτούμενη ενέργεια για την λειτουργία του κρουστικού σφυριού.



3) Ένα Δειγματοσυλλέκτη μονού σωλήνα, ο οποίος πρόκειται για τον απλούστερο κατασκευαστικά, περισσότερο ανθεκτικό και φθηνότερο σε τιμή δειγματοσυλλέκτη. Σε αυτόν συλλέγεται το δείγμα μέσω της ενισχυμένης κεφαλής στο εμπρός τμήμα, ικανή να διαπερνά τους εκάστοτε γεωλογικούς σχηματισμούς, ενώ στο πάνω μέρος του φέρει κατάλληλο σπείρωμα για να κοχλιώνεται με το διατρητικό στέλεχος.



4) **Στελέχη, σύνδεσμοι.** Τα στελέχη αποτελούν πολύ σημαντικό εξάρτημα του γεωτρυπάνου γιατί συγκρατούν το σύνολο σχεδόν της διατρητικής στήλης. Κατασκευάζονται, δίχως ραφή, από ειδικής ποιότητας χάλυβα για να αντέχουν στις μεγάλες μηχανικά καταπονήσεις βάρους και πίεσης που δέχονται. Το στέλεχος στο ένα άκρο του φέρει μόνιμα βιδωμένο ένα εξάρτημα, το **σύνδεσμο** και στο άλλο άκρο του φέρει εσωτερικό σπείρωμα. Η εξωτερική του διάμετρος είναι ίδια με εκείνη του στελέχους ενώ η εσωτερική είναι ελαφρώς μικρότερη εκείνης των στελεχών. Η επιμήκυνση της διατρητικής στήλης γίνεται βιδώνοντας το εξωτερικό σπείρωμα του συνδέσμου στο εσωτερικό σπείρωμα του προηγούμενου στελέχους. Κάθε στέλεχος έχει μήκος ενός μέτρου και η φορά βιδώματος είναι αριστερόστροφη με στόχο την αποφυγή λυσίματος των στελεχών κατά την κρούση.



5) **Διάταξη εξωλκέα,** για την εξαγωγή του γεωτρητικού εξοπλισμού από την γεώτρηση μετά την κάθε προσπάθεια δειγματοληψίας. Η εξαγωγή αυτή επιτυγχάνεται με την βοήθεια μέγγενης η οποία σφίγγει την στήλη της γεώτρησης και την ωθεί προς την επιφάνεια.



Η διάνοιξη γεωτρήσεων με την συγκεκριμένη μέθοδο αφορά μια σύγχρονη τεχνολογία υπόγειων ερευνών που περιλαμβάνει μια ποικιλία μεθόδων συλλογής δειγμάτων από το υπέδαφος (Σχήμα 3.2) . Πραγματοποιεί διάφορους τύπους δοκιμών που παρέχουν δεδομένα υδρογεωλογικής και γεωλογικής φύσεως και εγκαθιστά πιεζόμετρα μικρής διαμέτρου για την καθοδήγηση υπόγειων υδάτων σε ρηχούς μη συμπυκνωμένους υδροφόρους ορίζοντες.



Σχήμα 3.2 Διαδικασία διάνοιξης γεώτρησης (αριστερά) και δειγματολήπτης (δεξιά)

Ο Πίνακας 1 συνοψίζει ορισμένες από τις πιο κρίσιμες παραμέτρους σε σχέση με τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς των τεχνολογιών κρουστικής διάτρησης, που μπορούν να θεωρηθούν ως κατευθυντήριες γραμμές βέλτιστης πρακτικής για την τεχνολογία αυτή.

Πίνακας 1 Κύριες παράμετροι για τη βέλτιστη εφαρμογή των τεχνολογιών κρουστικής διάτρησης.

Πλεονεκτήματα κρουστικής διάτρησης	Μειονεκτήματα κρουστικής διάτρησης
Δυνατότητα ανόθευτης δειγματοληψίας σε μη ομοιογενοποιημένους σχηματισμούς μέχρι το βάθος των 30 μέτρων	Ορισμένα γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά ενδέχεται να περιορίζουν τις δυνατότητες δειγματοληψίας
Πολύ γρήγορη δειγματοληψία, με αποτέλεσμα την ευρεία συλλογή δειγμάτων σε ένα συγκεκριμένο χώρο	Περιορισμός βάθους περίπου στα 20 με 30 μέτρα εξαρτώμενο από τοπικές υπόγειες συνθήκες
Δεν απαιτούνται υγρά διάτρησης	Ο όγκος του δείγματος περιορίζεται σε εδαφικό πυρήνα μικρής διαμέτρου
Ταχεία εγκατάσταση αβαθών συστημάτων παρακολούθησης	Ακριβός εξοπλισμός σε σύγκριση με τα συμβατικούς χειροκίνητους δειγματολήπτες
Μπορεί να συνδεθεί με έναν αριθμό πρόσθετων δειγματοληψιών/δοκιμών όπως: <ul style="list-style-type: none"> • Δοκιμή διείδυσης κώνου (CPT) με επέκταση WCP • Καταγραφή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) • Υδραυλικό εργαλείο σχηματισμού προφίλ (HPT) 	

3.3 Σύστημα δειγματοληψίας εδαφικού νερού

Στο πλαίσιο της παρακολούθησης (monitoring) του πορώδους ύδατος της ακόρεστης ζώνης, τοποθετήθηκε σύστημα δειγματοληψίας εδαφικού νερού SPS 200, το οποίο αποτελείται από τρία μέρη Σχήμα 3.3:

- Πιεζόμετρο, βαλβίδα/ πώμα και σωλήνας πρόσβασης.

- Δοχείο δειγματοληψίας με καπάκι, ελαστικό πώμα διατρυπημένο με 2 οπές: η μία για τον σωλήνα σύνδεσης αντλίας κενού, και η άλλη για το λάστιχο μήκους 2 μέτρων.
- Χειροκίνητη αντλία κενού (vacuum) - βαθμονομημένη



Σχήμα 3.3 Σύστημα λυσιμέτρων αναρρόφησης αποτελούμενο από το κάτω τμήμα εισαγωγής με κεραμική πορώδη κεφαλή (αριστερά) και ανω μέρος με μονάδα δειγματοληψίας (δεξιά)

Το σύστημα αυτό δημιουργήθηκε για να βοηθήσει τους επιστήμονες του περιβάλλοντος να μελετήσουν τις κινήσεις των μορίων στο έδαφος. Μπορεί να εξαγάγει νερό από καλλιεργήσιμα εδάφη ή οποιοδήποτε άλλο τύπο εδάφους. Η αρχή στην οποία εργάζεται το SPS 200 τυγχάνει να είναι φθηνή, γρήγορη και πάνω απ' όλα αποτελεσματική. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την εγκατάσταση ήταν η εξής:

Τοποθετήθηκαν όλοι οι σωλήνες στο πεδίο σε διαδοχικά βάθη από 0,5m έως 2,5m και για ένα χρονικό διάστημα λίγων ωρών αφέθηκαν σε ηρεμία (Σχήμα 3.3.1). Στη συνέχεια, με χρήση ειδικής αντλίας (vacuum), δημιουργήθηκε κενό σε κάθε δειγματολήπτη με την παρακάτω σειρά. Συνδέθηκε η αντλία κενού στο στόμιο του σωλήνα ενώ παράλληλα η βαλβίδα (σε αυτόν τον αγωγό) βρισκόταν σε ανοικτή θέση. Ενεργοποιήθηκε αρκετές φορές το έμβολο της αντλίας μέχρι να επιτευχθεί μια πίεση τουλάχιστον 60 cbar (ευανάγνωστη στο μανόμετρο της αντλίας). Όταν δεν ήταν πλέον εφικτή η

αύξηση του δείκτη του μανόμετρου, ελέγχθηκε εάν η υποπίεση που υποδεικνύεται από το μανόμετρο δεν μειώνεται (δεν πρέπει να μειώνεται). Εφόσον η πίεση παρέμενε σταθερή, στη συνέχεια πιέστηκε το τσοκ στο σωλήνα μέχρι το σύστημα να είναι απόλυτα αεροστεγές. Αποσυνδέθηκε η αντλία κενού και έγινε η μετάβαση σε άλλο σωλήνα για να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία.



Σχήμα 3.3.1 Τοποθέτηση λυσιμέτρων στην περιοχή του Μαραθώνα

Η αναρρόφηση στον σωλήνα μεταδίδεται στην πορώδη κεραμική κεφαλή και έπειτα στην εξωτερική επιφάνειά της σε επαφή με το χώμα. Συνεπώς, πρόκειται να δημιουργηθεί μια "περιοχή αναρρόφησης" σε μια ζώνη επιρροής που περιορίζεται σε λίγα εκατοστά γύρω από την κεραμική κεφαλή. Μια γνωστή αρχή στην φυσική των εδαφών καθιέρωσε ότι η ροή του νερού πηγαιίνει από πολύ υγρές ζώνες σε πολύ ξηρή ζώνη. Έτσι, ο πιεζομετρικός σωλήνας θα αποστραγγίσει όλα τα "ελεύθερα νερά" που βρίσκονται στο "4π" γύρω από την κεραμική κεφαλή. Προκειμένου να λειτουργήσει αυτό το σύστημα πρέπει να έχει μια εσωτερική υποπίεση πάντα ανώτερη από το δυναμικό του εδάφους στο βάθος μέτρησης (δυναμικότητα εδαφικού νερού μεταξύ 0 και -850 mbar).

Στη συνέχεια, με σκοπό την ανάκτηση του υδατικού διαλύματος του εδάφους και εφόσον είχε σταματήσει η ροή του νερού απελευθερώθηκε η

βαλβίδα στο σωλήνα και εισχωρήθει στο εσωτερικό του πιεζομέτρου το λάστιχο αναρρόφησης, με στόχο την άντληση του νερού που αποταμιεύθηκε.

4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

4.1 Κοκκομετρικές αναλύσεις

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

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

Τα εδαφικά υλικά, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων, λαμβάνουν τα παρακάτω ονόματα (ASTM, 1989) (Πίνακας 2):

Πίνακας 2 Κατηγορίες εδαφικών υλικών - χαρακτηριστικά κόσκινα

Κροκάλες – Λίθοι	Το κόσκινο 76,2mm χωρίζει το εδαφικό υλικό από τις κροκάλες	-	-
Χαλίκια	Τα χαλίκια είναι η διαβάθμιση μεταξύ του κόσκινου των 76.2mm και του κόσκινου No4 (4.76mm)	Χονδρόκοκκα χαλίκια	Συγκρατούνται μεταξύ των κόσκινων 76,2mm και 19mm
		Λεπτόκοκκα χαλίκια	Συγκρατούνται μεταξύ των κόσκινων 19mm και No4 (4.76mm)

Άμμος	Η άμμος συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων No4 (4.76mm) και No200 (0.075mm) .	Χονδρόκοκκη άμμος	Συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων No4 (4.76mm) και No10 (2mm)
		Μεσόκοκκη άμμος	Συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων No10 (2mm) και No40 (0.425mm) .
		Λεπτόκοκκη άμμος	Συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων No40 (0.425mm) και No200 (0.075 mm) .
Ιλύς- Άργιλος	Η ιλύς και η άργιλος είναι το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No200 (0.075mm)	Ιλύς (0.075 - 0.002mm)	Γίνεται υδραυλική κοκκομετρική δοκιμή με χρήση αραιόμετρου
		Άργιλος (έως 0.002mm)	

4.1.1 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινο

Για την πραγματοποίηση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος εξοπλισμός:

1. Συσκευή κοσκινίσματος (Σχήμα 4.1)

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



Σχήμα 4.1 Συσκευή κοσκίνισματος (αριστερά) και κόσκινα (δεξιά)

2. Σειρά κοσκίνων

Τα κόσκινα είναι κατασκευασμένα από πλεγμένο σύρμα, τετραγωνικών ανοιγμάτων των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 0,075mm έως 25.0mm. Τα κόσκινα χρησιμοποιούνται με σειρά μεγέθους αυξανόμενη από κάτω προς τα πάνω: 0.075 (No. 200), 0.15 (No. 100), 0.30 (No. 50), 0.425 (No. 40), 2.0 (No. 10), 4.75 (No. 4), 6.30 (1/4"), 12.50 (1/2"), 19.0 (3/4"), 25.0 (1")

3. Γουδί και γουδοχέρι

Χρησιμοποιείται για τη σύνθλιψη του εδαφικού υλικού.



Σχήμα 4.2 Γουδί και γουδοχέρι

4. Ζυγαριά με ακρίβεια 2 δεκαδικών ψηφίων

Χρησιμοποιείται για το ζύγισμα του εδαφικού υλικού πριν και μετά από την ξήρασή του (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3 Ζυγαριά ακριβείας (αριστερά) και εργαστηριακός φούρνος (δεξιά)

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 κόσκινων με διαφορετική διάμετρο. Το τελευταίο κόσκινο με $d=0.075\text{mm}$ (No. 200) αντιπροσωπεύει το τελευταίο κλάσμα της άμμου.
- Μεταφέρουμε ολόκληρη τη στήλη σε αυτόματη συσκευή κοσκινίσματος και κοσκινίζουμε για 15' περίπου.
- Το υλικό που έχει μείνει σε κάθε κόσκινο ζυγίζεται και μετατρέπεται σε ποσοστό % του συνολικού βάρους του δείγματος.
- Στο τέλος ζυγίζουμε και το περιεχόμενο του δίσκου που βρίσκεται κάτω από το τελευταίο κόσκινο και περιέχει τα λεπτόκοκκα υλικά (ιλύς και άργιλος). Η διαφορά βάρους ανάμεσα στο αρχικό ζύγισμα και στο σύνολο των συγκρατούμενων υλικών των διαφορετικών κόσκινων δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 1% του αρχικού βάρους.

4.1.2 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 152^H. 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.

Η διαδικασία έχει ως 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 Na₁₂P₁₀O₃₁, 21.6 gr/lt). Αναδεύεται καλά με γυάλινη ράβδο και αφήνεται να διαβραχεί για 12 τουλάχιστον ώρες για την αποσυσσωμάτωση των κόκκων.

- Το περιεχόμενο του ποτηριού μεταφέρεται με επίπλυση μέσα σε ένα κύπελλο διασποράς, προστίθεται αποσταγμένο νερό και αναδεύεται με μηχανική συσκευή ανακίνησης (mixer) για 1min για να επιτευχθεί η διασπορά.
- Το ομογενές αιώρημα μεταφέρεται σε γυάλινο ογκομετρικό κύλινδρο όπου προστίθεται αποσταγμένο νερό μέχρι την ογκομετρική χαραγή των 1000 ml και αναταράσσεται με τα χέρια επί 1 min.
- Με το τέλος της αναταράξεως τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο και διαβάζονται οι ενδείξεις στην βαθμονομημένη κλίμακα του αραιομέτρου με προσέγγιση 0,5 gr/lt των 1, 2, 5, 30, 60, 250 και 1440 min από την έναρξη της κατακάθισης. Αμέσως μετά κάθε ανάγνωσης του αραιομέτρου μετριέται η θερμοκρασία του εδαφικού αιωρήματος με τη χρήση υδραργυρικού θερμομέτρου.
- Μετά το τέλος κάθε ανάγνωσης, το αραιόμετρο απομακρύνεται προσεκτικά από το εδαφικό αιώρημα και τοποθετείται με περιστροφική κίνηση μέσα σε ογκομετρικό κύλινδρο γεμάτο καθαρό νερό. Περίπου 30 sec πριν την επόμενη ανάγνωση, το αραιόμετρο από το καθαρό νερό βυθίζεται αργά μέσα στο εδαφικό αιώρημα έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η ακινητοποίησή του πριν από τον καθορισμένο χρόνο αναγνώσεως.
- Μετά την τελική ανάγνωση του αραιομέτρου, το αιώρημα πλένεται επάνω σε κόσκινο No. 200. Το κλάσμα που συγκρατείται στο κόσκινο No. 200 ξηραίνεται και εκτελείται κοκκομετρική ανάλυση με τα κόσκινα : No. 40, No. 100 και No. 200.



Σχήμα 4.4 Εδαφικά δείγματα στο εργαστήριο μετά το κοσκίνισμα (επάνω) και κατά την εκτέλεση των κοκκομετρικών αναλύσεων με αραιόμετρο (κάτω)

4.1.3 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 λεπτότερου υλικού από το κόσκινο No 200. Η κοκκομετρική διαβάθμιση παριστάνεται με την κοκκομετρική καμπύλη που είναι μια αθροιστική καμπύλη των μερών εκείνων που παίρνουμε με τη μέθοδο των κόσκινων 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.

Με βάση και την κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο υπολογίζεται και το υλικό που πλύθηκε στο κόσκινο No. 200. Τα ποσοστά % του δείγματος που

συγκρατούνται πάνω σε κάθε κόσκινο, υπολογίζονται δια διαιρέσεως του βάρους αυτών με το βάρος του εδάφους που υποβλήθηκε σε διασπορά 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-ποσοστό συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο. 10) /100. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα με τη μορφή κοκκομετρικής καμπύλης. Ως κύριο έδαφος χαρακτηρίζεται το έδαφος εκείνο στο οποίο κυριαρχεί το μεγαλύτερο ποσοστό βάρους.

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

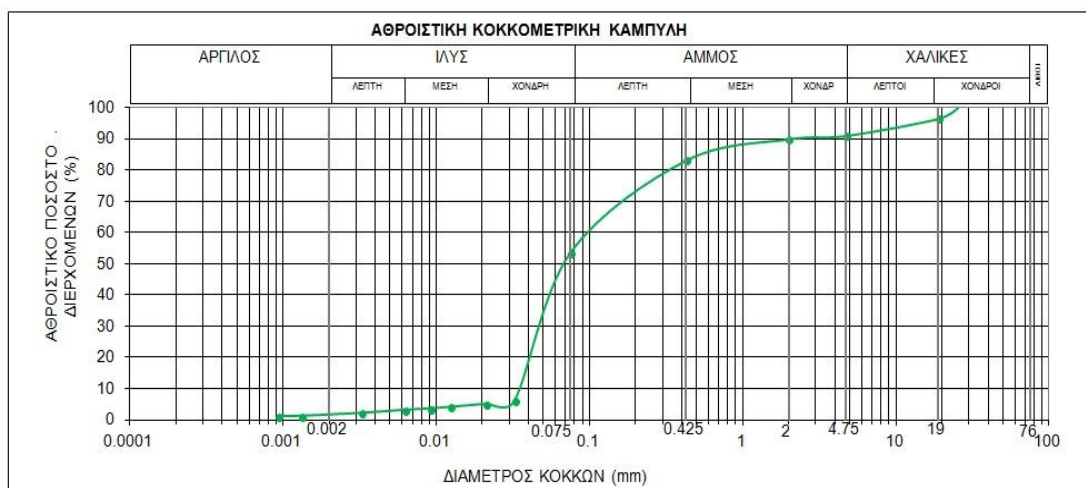
Με βάση τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων τα εδαφικά δείγματα στη θέση Ο (Περιοχή Α) χαρακτηρίζονται λεπτόκοκκα με σημαντικό το ποσοστό της άμμου και της ιλύος μέχρι το 1m. Από εκεί και κάτω εντοπίζεται ένα στρώμα περίπου 1.5 m με μεγάλο ποσοστό κυρίως από χάλικες και άμμο. Αντίστοιχα στη θέση Α14 (Περιοχή Β) εμφανίζονται λεπτόκοκκα εδάφη με το ποσοστό της άμμου και της ιλύος να ξεπερνά το 80% σε όλο το εδαφικό προφίλ.



Σχήμα 4.5 Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος στη θέση Ο (0-0.5m)

Πίνακας 3: Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

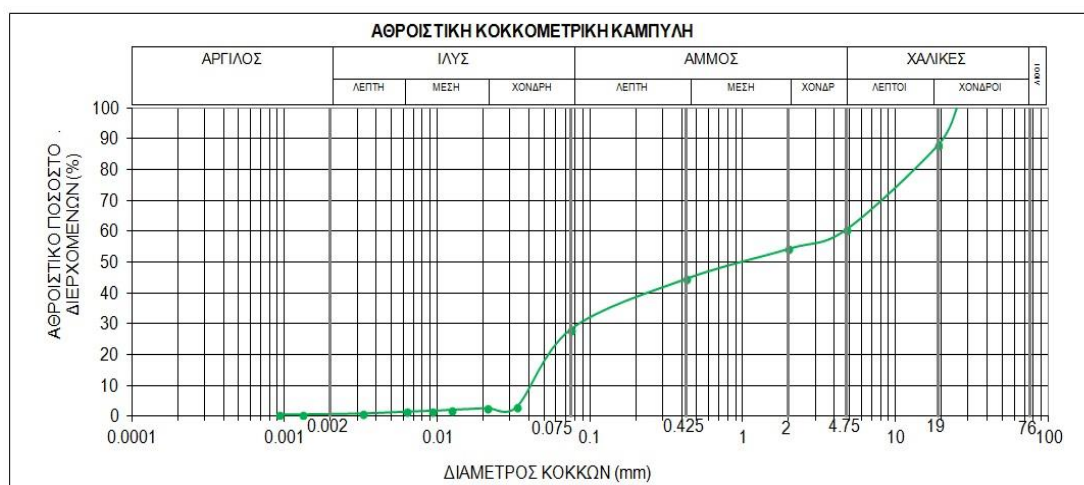
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ (%)			
ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)
1	32	66	2



Σχήμα 4.6 Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος στη θέση Ο (0.5- 1 m)

Πίνακας 4: Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ (%)			
ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)
9	38	52	2



Σχήμα 4.7 Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος στη θέση Ο (1-1.5 m)

Πίνακας 5 : Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

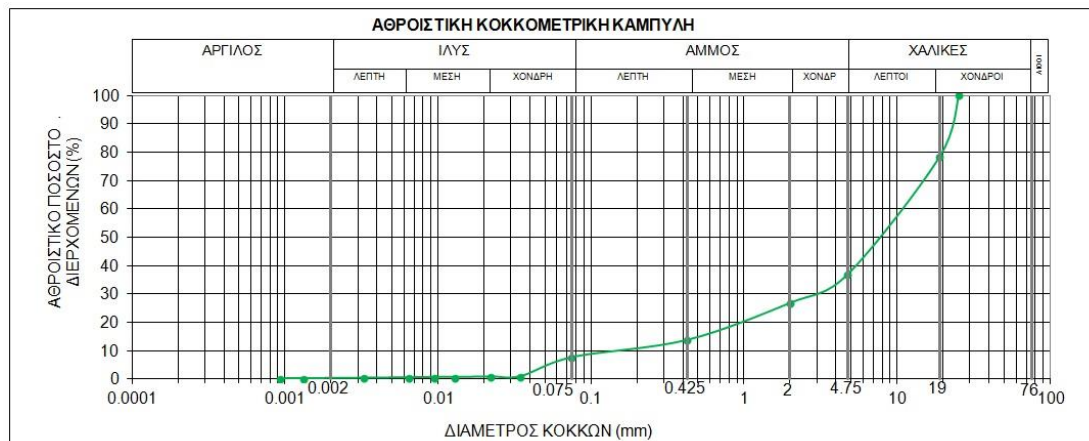
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ (%)			
ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)
40	32	27	1



Σχήμα 4.8 Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος στη θέση Ο (1.5- 2 m)

Πίνακας 6: Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

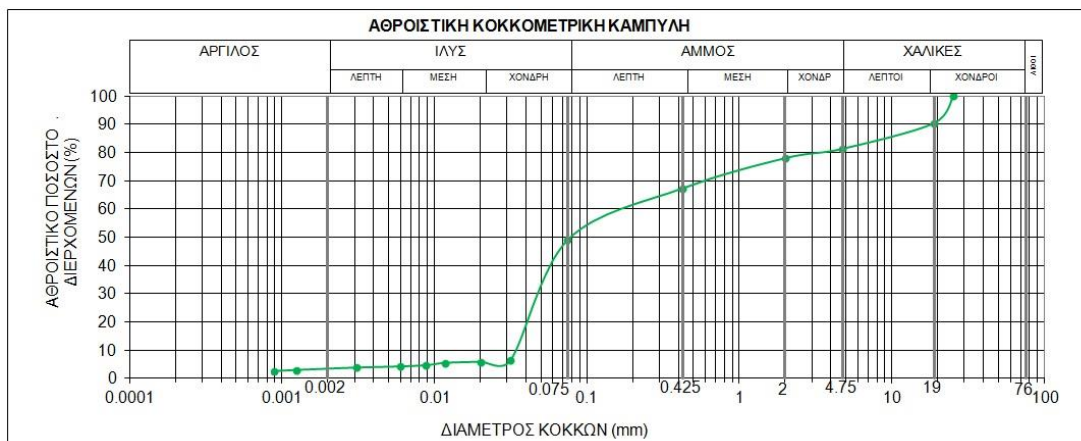
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ (%)			
ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)
40	32	7	0



Σχήμα 4.8 Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος στη θέση Ο (2 -2.5 m)

Πίνακας 7 : Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

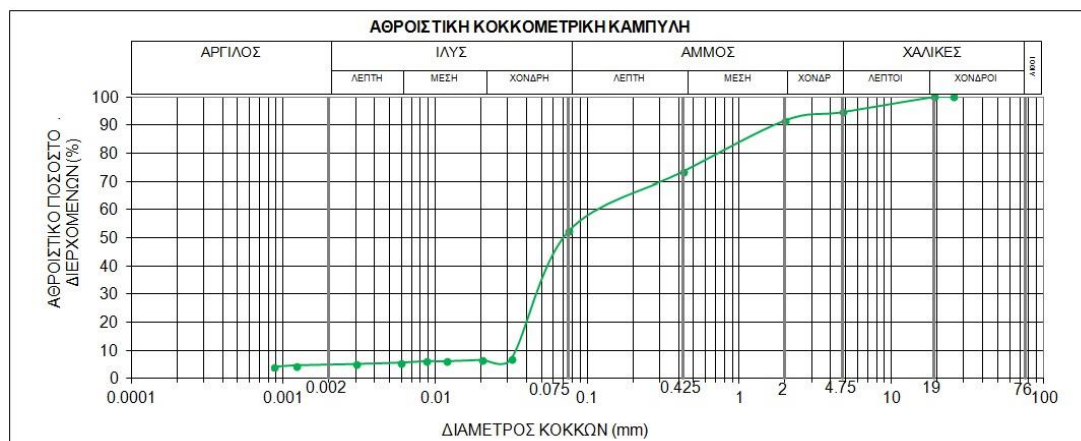
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ (%)			
ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)
63	29	8	0



Σχήμα 4.9 Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος στη θέση A14 (0-1 m)

Πίνακας 8 : Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

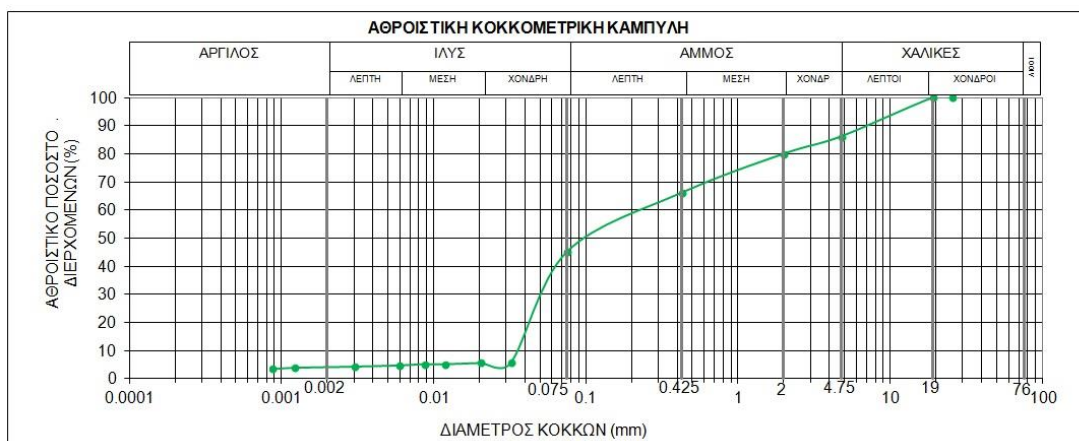
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ (%)			
ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)
19	32	46	4



Σχήμα 4.10 Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος στη θέση A14 (1.5-2 m)

Πίνακας 9: Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ (%)			
ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)
5	42	47	5



Σχήμα 4.11 Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος στη θέση A14 (2- 2.5 m)

Πίνακας 10 : Κατανομή του υλικού σε ποσοστά

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ (%)			
ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)
14	41	41	4

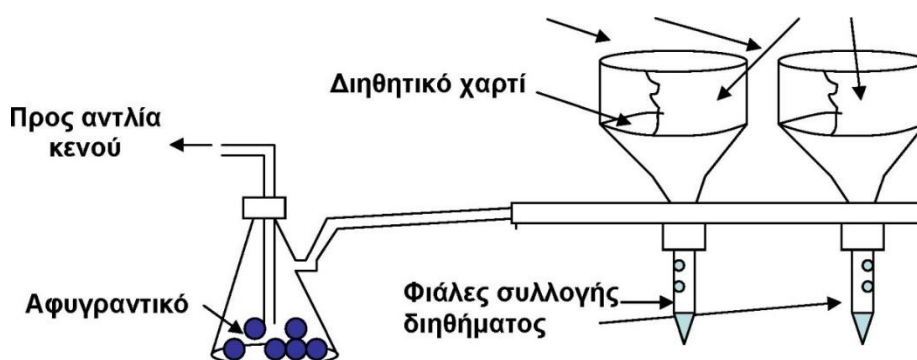
4.2 Μέθοδος Buchner

Αποτελείται από ένα χωνί Buchner, ένα διάτρητο σώμα καουτσούκ για να περνά ο λαιμός του χωνιού και μια γυάλινη κωνική φιάλη (φιάλη διηθήσεως κενού) με χονδρά τοιχώματα και πλάγια έξοδο που τη συνδέει με το κενό, το οποίο συνήθως δημιουργείται από μία υδραντλία (Σχήμα 4.2.1). Μεταξύ της φιάλης διηθήσεως κενού και της αντλίας κενού παρεμβάλλεται μία φιάλη ασφαλείας (παγίδα), που εμποδίζει την αναρρόφηση νερού από την αντλία στο διήθημα.

Στον επίπεδο διάτρητο πυθμένα του χωνιού Buchner τοποθετείται κυκλικός χάρτινος ηθμός που τον καλύπτει ακριβώς. Μερικές φορές χρησιμοποιείται διπλός ηθμός. Όταν οι κρύσταλλοι είναι κανονικού μεγέθους χρησιμοποιείται κανονικό πορώδες διηθητικό χαρτί, εάν είναι όμως μικρότεροι χρησιμοποιείται ειδικό χαρτί.

Η φιάλη διήθησης συνδέεται με την υδραντλία αφού πρώτα έχει αποκατασταθεί κανονική ροή του νερού στη βρύση. Πριν αρχίσει η διήθηση ρίχνουμε λίγο καθαρό διαλύτη σε όλη την επιφάνεια του ηθμού, ώστε να

κολλήσει καλά στον πυθμένο και να αποφευχθεί πιθανή διαφυγή του στερεού στο διήθημα. Στη συνέχεια, ακολουθεί η διήθηση. Συχνά, μερικοί από τους κρυστάλλους παραμένουν στο αρχικό ποτήρι, οπότε χρησιμοποιώντας μέρος του διηθήματος σαν υγρό εκπλύσεως, όσες φορές χρειαστεί τους μεταφέρουμε στον ηθμό. Αφήνουμε το κενό να λειτουργεί μετά τη διήθηση, ώστε να απομακρυνθεί όσο το δυνατό μεγαλύτερη ποσότητα του διαλύτη από τον ηθμό και τους κρυστάλλους. Η ταχύτητα διήθησης δεν είναι απαραίτητα ανάλογη της ροής βρύσης, γιατί μερικές φορές το έντονο κενό προκαλεί φράξιμο των πόρων με λεπτούς κρυστάλλους με αποτέλεσμα πολύ αργή διήθηση.



Σχήμα 4.2.1 Διήθηση από χωάνη Buchner με τη βοήθεια κενού.

4.2.1 Παρασκευή πάστας κορεσμού - εκχυλίσματος

Ζυγίζονται 200 g αεροξηραμένου εδάφους γνωστής υγρασίας και μεταφέρονται σε ένα πλαστικό δοχείο. Προστίθενται σταδιακά μικρές ποσότητες αποσταγμένου νερού και αναμιγνύονται με το έδαφος με τη βοήθεια σπάτουλας μέχρι περίπου τον κορεσμό του. Η πάστα του εδάφους καλύπτεται και αφήνεται για μισή περίπου ώρα προκειμένου να διαποτιστεί το έδαφος από το νερό. Στη συνέχεια προστίθεται νερό μέχρι τον κορεσμό της. Το σημείο κορεσμού έχει επιτευχθεί όταν η πάστα αποκτήσει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Η επιφάνεια της πάστας πρέπει να γυαλίζει, χωρίς όμως να εμφανίζει περίσσεια νερού.
2. Αν με τη σπάτουλα χαραχθεί ένα αυλάκι στην πάστα, τότε αυτό θα πρέπει να κλείνει σιγά-σιγά με μετακίνηση υγρής μάζας εδάφους.
3. Η πάστα πρέπει να γλιστρά ελεύθερα πάνω στη σπάτουλα, όταν

αφεθεί να πέσει από αυτή.

Στη συνέχεια η πάστα αφήνεται σε ηρεμία, κατά προτίμηση, για όλη τη νύχτα ή το λιγότερο για 4 ώρες. Γίνεται επανέλεγχος των χαρακτηριστικών της και αν διαπιστωθεί ότι η ποσότητα του νερού που προστέθηκε υπερβαίνει το νερό κορεσμού, προστίθεται ακόμα μια μικρή προζυγισμένη ποσότητα εδάφους προκειμένου να αποκτήσει η πάστα τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά.

Μετά την επίτευξη της ισορροπίας η πάστα φέρεται σε χωνί Buchner στη βάση του οποίου έχει τοποθετηθεί διηθητικό χαρτί, και με την εφαρμογή κενού επιτυγχάνεται η λήψη του εκχυλίσματος κορεσμού από το οποίο υπολογίστηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού νερού καθώς και η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου σε αυτό.

4.2.2 Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) των υδάτων αποτελεί μία πρώτη ασφαλή ένδειξη της ποιότητάς τους αλλά και μία γρήγορη ένδειξη της χημικής τους κατάστασης. Ως φυσικό μέγεθος, αποτελεί την ιδιότητα του νερού ως μέσου για τη μετάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος. Η ιδιότητα αυτή, καθώς και το μέγεθός της, καθορίζονται από τη χημική σύσταση του νερού. Δηλαδή, η συγκέντρωση των χημικών ιόντων που ενυπάρχουν στο νερό συνεισφέρουν ουσιαστικά στο εν λόγω μέγεθος (Καλλιώρας, 2008). Μονάδα αντίστασης είναι το Ohm και μονάδα αγωγιμότητας είναι το αντίστροφο του Ohm, δηλαδή το mho. Επειδή όμως η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός διαλύματος συνήθως είναι πολύ μικρή, για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιούνταν τα υποπολλαπλάσια του mho, δηλαδή το mmho και μmho. Σήμερα αποδεκτή μονάδα είναι το Siemens (S) ή τα υποπολλαπλάσιά του dS, mS, μS. Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενός διαλύματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά 1°C μεταβάλλει την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά 2% και γι' αυτό είναι επιβεβλημένη η αναγωγή της στους 25°C. Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα διαλύματος ορίζεται ως η αγωγιμότητα 1cm³ σε θερμοκρασία ίση με 25°C με τη βοήθεια δύο ηλεκτροδίων από λευκόχρυσο (Pt).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα επηρεάζεται από την ποιότητα του νερού και τον τρόπο αρδεύσεως, τη μηχανική σύσταση του εδάφους, το είδος και την ποσότητα των λιπαμμάτων καθώς και τις συνθήκες αποστραγγίσεως του

εδάφους.

Η αλατότητα του εδάφους μεταβάλλεται αενάως, ανάλογα με την έκπλυση και τη στράγγιση. Κατά συνέπεια σπανίως είναι σταθερή. Η κατανομή των αλάτων στην κατατομή του εδάφους σε ορισμένες περιπτώσεις είναι σταθερή και ομοιόμορφη, αλλά συνήθως μεταβάλλεται από τα άλατα του νερού άρδευσης, όπου στην επιφάνεια η αγωγιμότητα είναι περίπου η ίδια με εκείνη του νερού άρδευσης, ενώ στη ριζική ζώνη μπορεί να είναι πολλαπλάσια. Εξάλλου, εάν η υπόγεια στάθμη είναι πλησίον της επιφάνειας του εδάφους, τότε η μεν αλατότητα στην επιφάνεια του εδάφους είναι πολύ υψηλή και στη ριζική ζώνη χαμηλή λόγω της σχετικής αραιώσης των θρεπτικών από την παρουσία του νερού. Δηλαδή η ανυψωμένη υπόγεια στάθμη αντιστρέφει την κατανομή των αλάτων του προφίλ. Άλλη μεταβολή στην κατανομή των αλάτων στο προφίλ μπορεί να παρατηρηθεί, όταν ο χρόνος μεταξύ δύο αρδεύσεων είναι μεγάλος. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη εξατμισοδιαπνοή και στην κατ' ακολουθίαν συμπύκνωση των αλάτων στο προφίλ. Ενώ όταν ο χρόνος μεταξύ δύο αρδεύσεων είναι μικρός, παρατηρείται μείωση της αλατότητας λόγω αραιώσης από την παρουσία του νερού στο προφίλ.

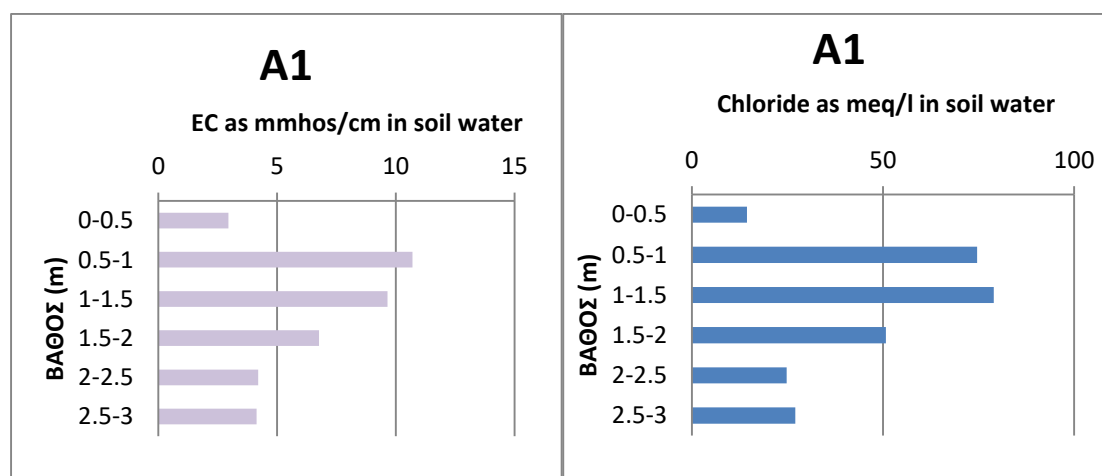
4.2.3 Προσδιορισμός των ιόντων χλωρίου

Τα ιόντα χλωρίου μπορεί να προέρχονται από τη φυσική αποδέσμευση των αλάτων τους τα οποία αποτελούν μέρος της ορυκτολογικής δομής ιζηματογενών πετρωμάτων όπως εβαπορίτες και αργιλικά πετρώματα θαλάσσιας γένεσης με συγκέντρωση $< 10 \text{ mg/l}$ σε υγρές περιοχές (Καλλέργης 2009). Επίσης από εισροή θαλάσσιου νερού σε παράκτιους υδροφόρους, από μεταφορά σταγονιδίων θαλάσσιου νερού στην ενδοχώρα μέσω ισχυρών ανέμων καθώς και της βροχής εάν το μετεωρικό νερό έχει υψηλή συγκέντρωση ιόντων χλωρίου (Χαρμανίδης 1998). Το χλώριο εμφανίζεται αυξημένο και σε νερά με υψηλή θερμοκρασία. Απορροφάται λίγο από τα αργιλικά ορυκτά και αποτελεί ιχνηθέτη της ανθρώπινης επίδρασης καθώς και της θαλάσσιας διείσδυσης. Ο προσδιορισμός των χλωριόντων έγινε με τη μέθοδο της τιτλοδότησης στο εκχύλισμα κορεσμού με τιτλοδότη AgNO_3 2,256N της HACH.

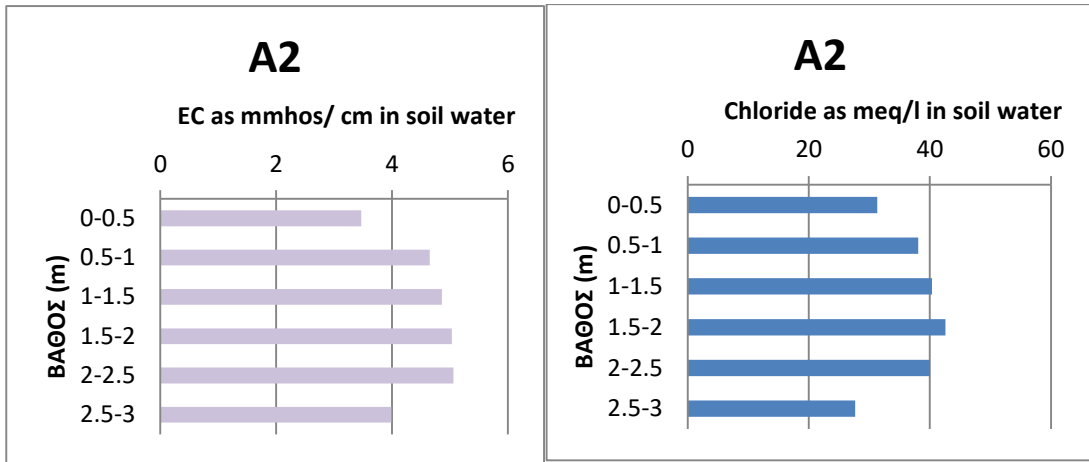
4.2.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων τόσο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας όσο και των ιόντων χλωρίου σχεδιάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα συναρτήσεως του βάθους. Όπως παρατηρούμε στην περιοχή έρευνας οι τιμές εμφανίζονται αρκετά υψηλές. Οι συγκεντρώσεις των ιόντων χλωρίου παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση σε σχέση με το βάθος. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν στην περιοχή Α (στήλη Α1 – Α11) ενώ στην περιοχή Β (στήλη Α12 – Α17) οι συγκεντρώσεις εμφανίστηκαν αρκετά χαμηλές με τις τιμές να αυξάνονται συναρτήσει του βάθους. Αυτό συμφωνεί και με το μοντέλο που περιγράφηκε από τον Gardner (1967) το οποίο υποστηρίζει ότι κάτω από σταθερές συνθήκες, όπου το έδαφος δέχεται ιόντα χλωρίου από το νερό της βροχής ετησίως, η συγκέντρωση των ιόντων στο πορώδες νερό αυξάνεται στο κάτω μέρος της ζώνης των ριζών και στη συνέχεια παραμένει σταθερό (Allison and Hughes, 1983). Επιπλέον, οι υψηλές τιμές στην περιοχή Α της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου οφείλεται και στις αρδεύσεις με νερό το οποίο περιέχει σημαντική περιεκτικότητα σε άλατα.

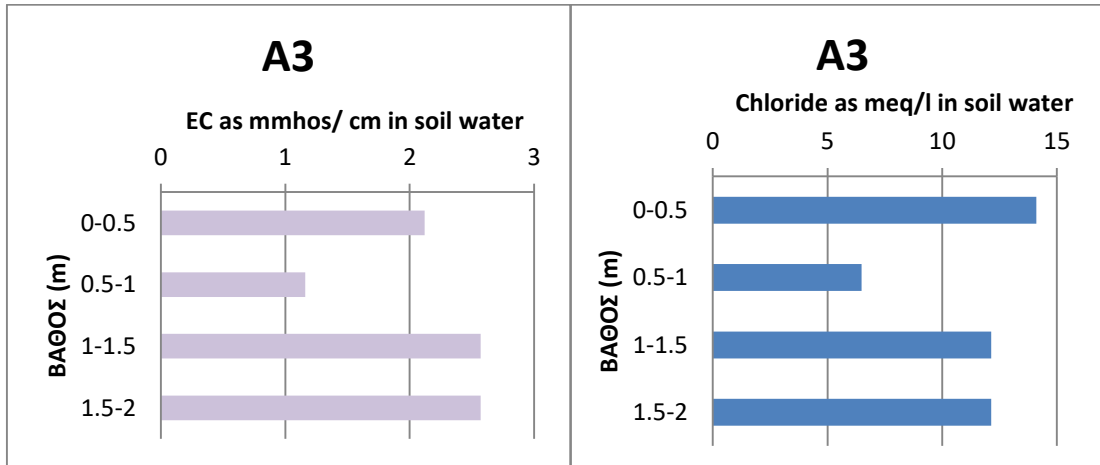
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) στην περιοχή Α κυμαίνεται από 0,4 mmhos/cm μέχρι 10,1 mmhos/cm και χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τους Dahnke and Whitney (1988) από μη υφάλμυρα μέχρι πάρα πολύ αλμυρά. Στην περιοχή Β οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από 0,2 mmhos/cm μέχρι 1,42 mmhos/cm και χαρακτηρίζονται από μη-υφάλμυρα έως ελαφρώς υφάλμυρα.



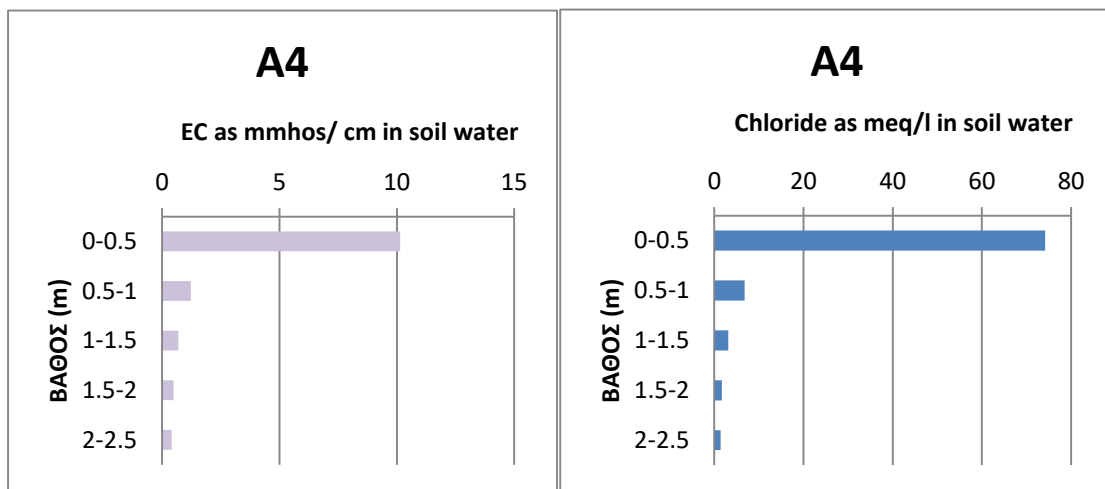
Σχήμα 4.2.2 : Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση Α1



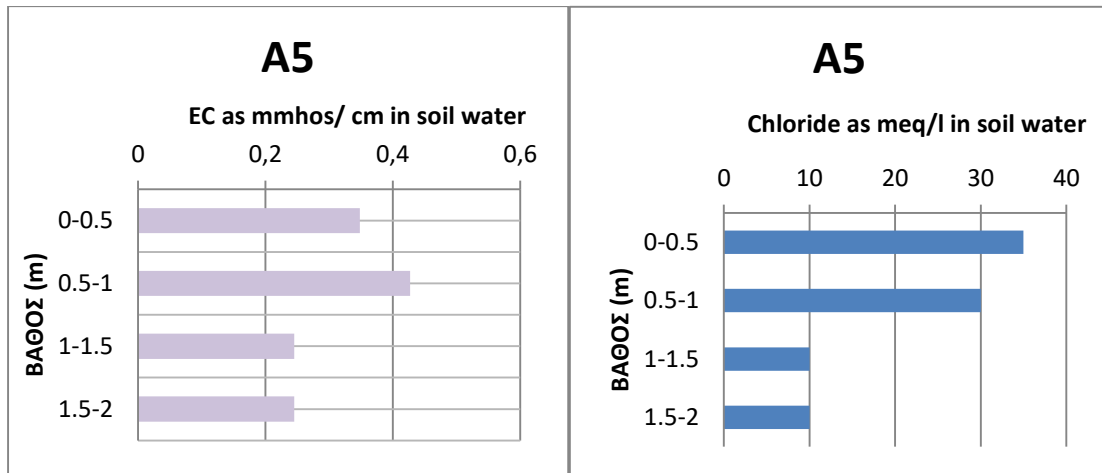
Σχήμα 4.2.3 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A2



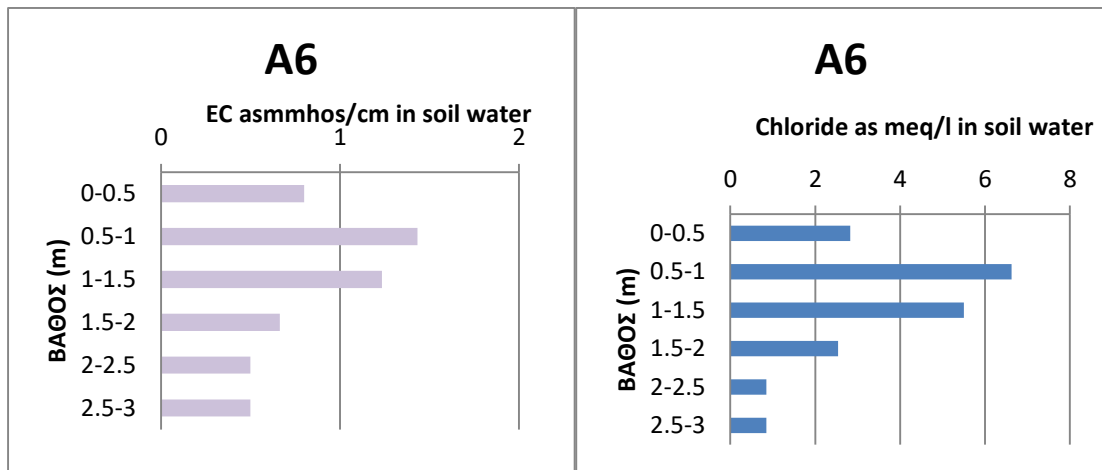
Σχήμα 4.2.4 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A3



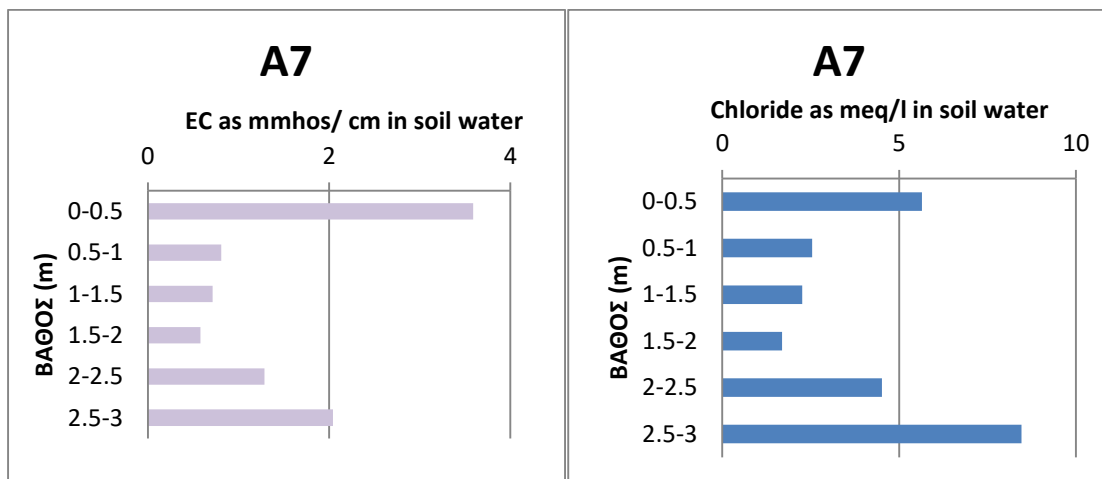
Σχήμα 4.2.5 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A4



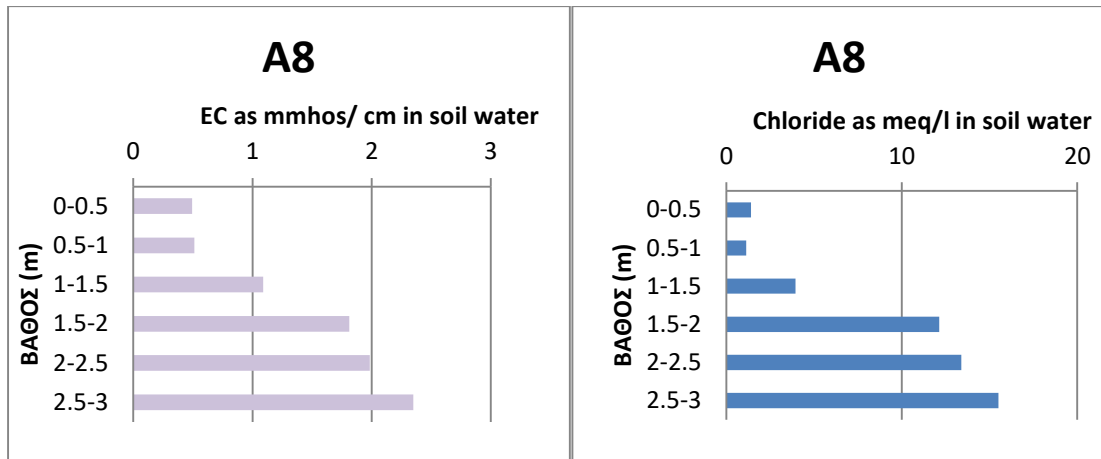
Σχήμα 4.2.6 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A5



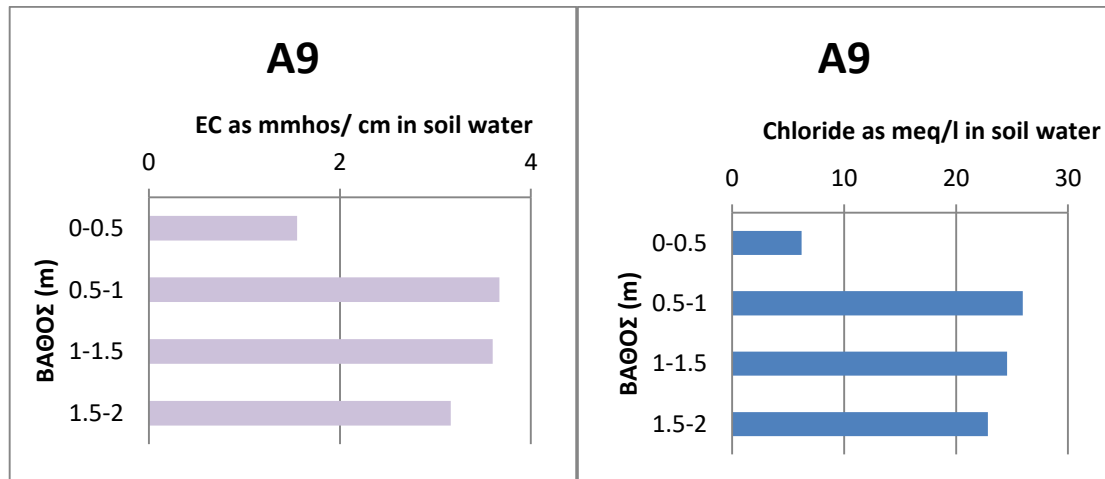
Σχήμα 4.2.7 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A6



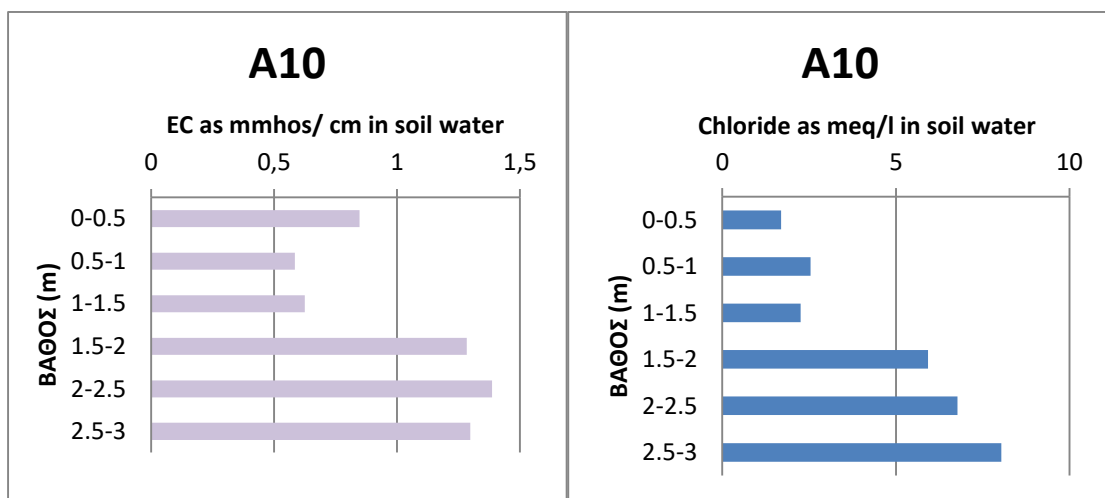
Σχήμα 4.2.8 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A7



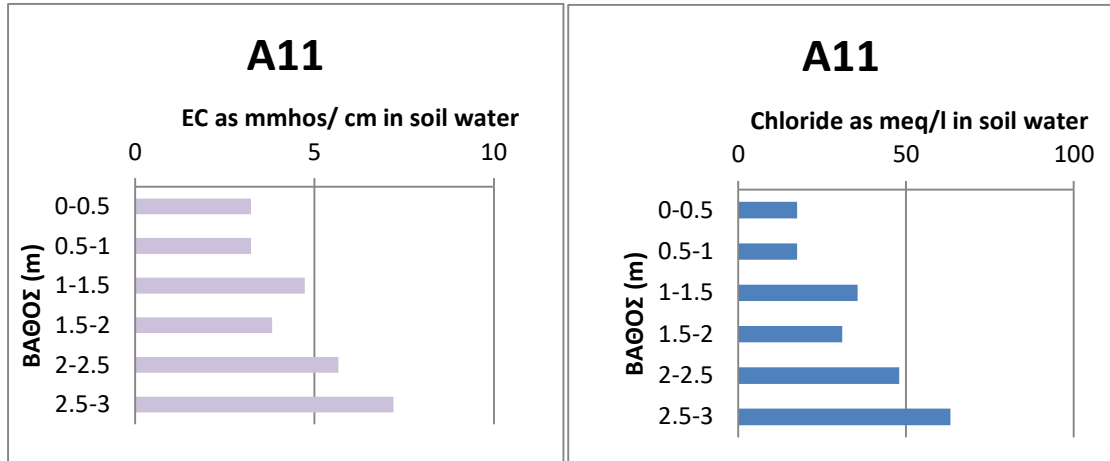
Σχήμα 4.2.9 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A8



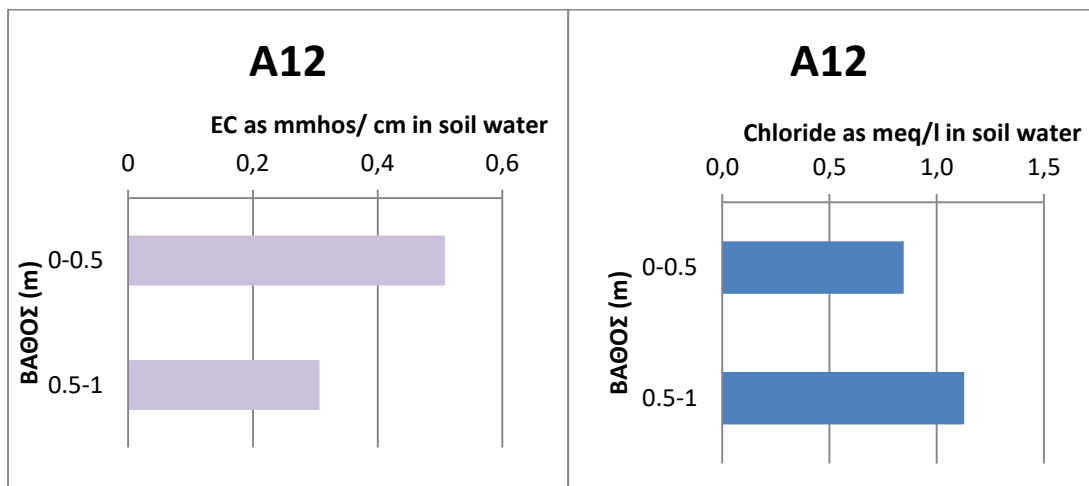
Σχήμα 4.2.10 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A9



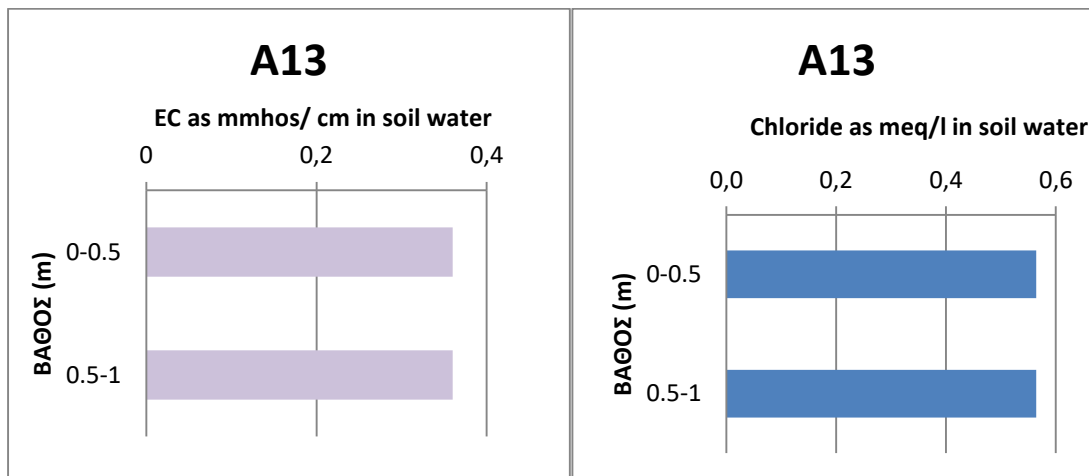
Σχήμα 4.2.11 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A10



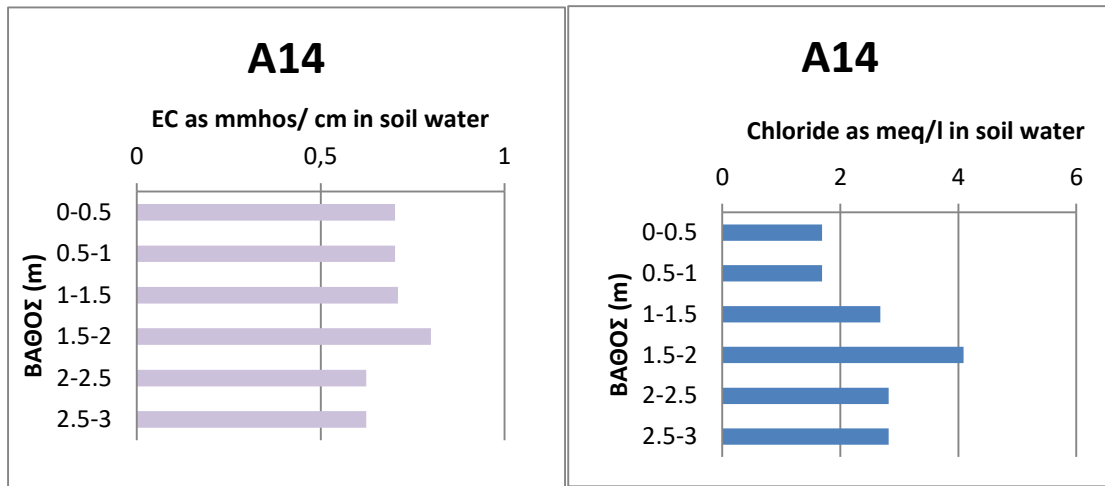
Σχήμα 4.2.12 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A11



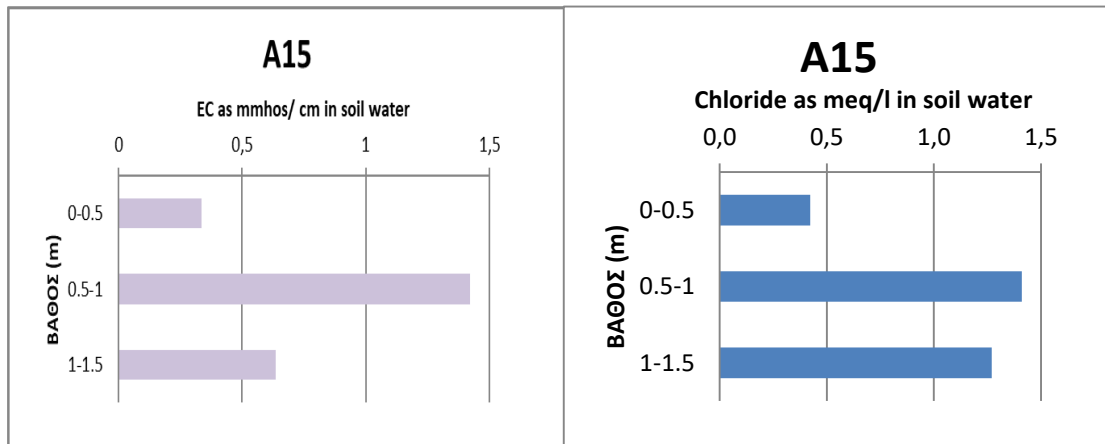
Σχήμα 4.2.13 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A12



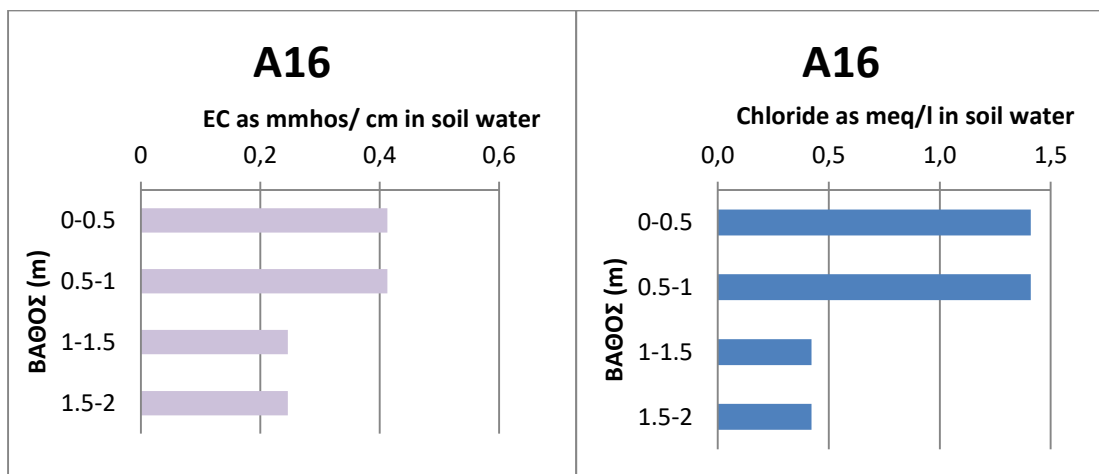
Σχήμα 4.2.14 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A13



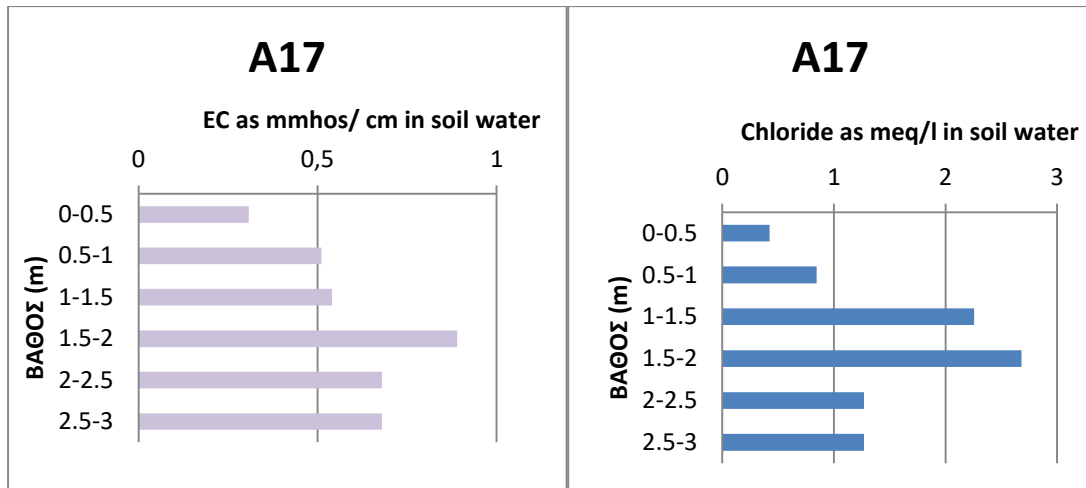
Σχήμα 4.2.15 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A14



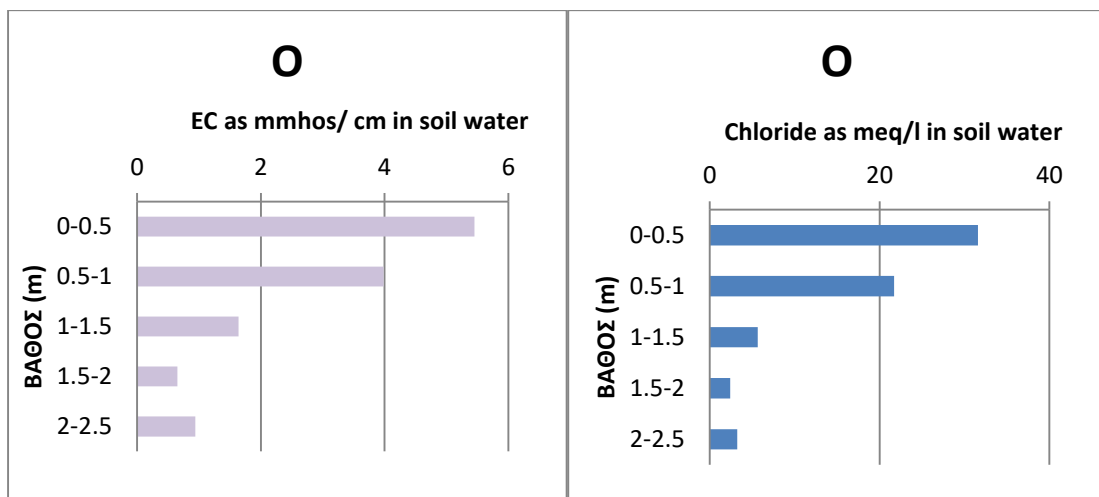
Σχήμα 4.2.16 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A15



Σχήμα 4.2.17 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A16



Σχήμα 4.2.18 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση A17



Σχήμα 4.2.19 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου στη θέση O

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ως προς τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των πρωτογενών δεδομένων υπαίθρου που παράχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής στο παράκτιο τμήμα του Μαραθώνα προέκυψαν, τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η πεδιάδα του Μαραθώνα αποτελεί ουσιαστικά ένα καρστικό-τεκτονικό βύθισμα της λοφώδους ζώνης της ΒΑ Αττικής
- Από γεωτεκτονικής άποψης αποτελεί τμήμα της Αττικοκυκλαδικής μάζας
- Οι γεωλογικοί σχηματισμοί Μαραθώνα, διακρίνονται σε υδροπερατούς και αδιαπέρατους. Στους αδιαπέρατους σχηματισμούς εντάσσονται οι σχιστόλιθοι και τα στρώματα αργίλων και αργιλοπηλών. Στα υδροπερατά στρώματα κατατάσσονται τα μάρμαρα και οι προσχλωσιγενείς αποθέσεις της παράκτιας πεδιάδας στα οποία αναπτύσσονται δύο υδροφόρα συστήματα: το καρστικό και το προσχωματικό.
- Από τις κοκκομετρικές αναλύσεις διακρίνονται δύο διαφορετικά συστήματα εδαφών. Τα εδαφικά δείγματα στην περιοχή Α χαρακτηρίζονται λεπτόκοκκα με σημαντικό το ποσοστό της άμμου και της ιλύος μέχρι το 1m ενώ από κάτω από το 1 m εντοπίζεται ένα στρώμα 1,5 m με μεγάλο ποσοστό κυρίως από χάλικες και άμμο. Στα εδαφικά δείγματα της περιοχής Β το ποσοστό της άμμου και της ιλύος ξεπερνά το 80% σε όλο το εδαφικό προφίλ.
- Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου που προέκυψαν από την μελέτη των εδαφικών εκυλισμάτων (μέθοδος Buchner) των 17 θέσεων δειγματοληψίας στην περιοχή του Μαραθώνα είναι αρκετά υψηλές.
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) στην περιοχή Α κυμαίνεται από 0,4 mmhos/cm μέχρι 10,1 mmhos/cm και χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τους Dahnke and Whitney (1988) από μη υφάλμυρα μέχρι πάρα πολύ υφάλμυρα. Στην περιοχή Β οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από 0,2 mmhos/cm μέχρι 1,42 mmhos/cm και χαρακτηρίζονται από μη-υφάλμυρα έως ελαφρώς υφάλμυρα.
- Ως προς την εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων χλωριόντων στο άμεσα παράκτιο τμήμα της περιοχής έρευνας, παρατηρείται άμεση συσχέτιση

αυτών με την κοκκομετρία, γεγονός που καθιστά τα εν λόγω ιόντα κατάλληλους ιχνηθέτες για παρόμοιες έρευνες.

Ως προς την εφαρμογή των τεχνικών και τεχνολογιών εργασιών ανάκτησης υδρολογικής πληροφορίας, τα βασικά συμπεράσματα συνοψίζονται στα εξής:

- Η μέθοδος της κρουστικής διάτρησης, αποδείχθηκε αποτελεσματική ως προς το βάθος διάτρησης και την ανάκτηση αδιατάραχτου εδαφικού δείγματος,
- Το γεγονός ότι η εν λόγω τεχνική είναι απαλλαγμένη από σχετικά λιπαντικά υγρά που χρησιμοποιούνται σε άλλες διατρητικές τεχνολογίες, την καθιστά ως την πλέον κατάλληλη για έρευνες που στοχεύουν σε ανάκτηση εδαφικού νερού,
- Η μέθοδος Buchner αποδεικνύεται αρκετά αποτελεσματική -κυρίως ως προς το χρόνο εξαγωγής του δείγματος- σε δείγματα σχετικά χονδρόκοκκων εδαφικών δειγμάτων, ενώ στην περίπτωση των λεπτόκοκκων ο χρόνος εκτέλεσης της δοκιμής σχεδόν διπλασιάζεται.
- Η εγκατάσταση των δειγματοληπτών εδαφικού νερού, πραγματοποιήθηκε μετά από διαδοχικές εκτέλεσεις δοκιμαστικών διατρήσεων με στόχο: (α) τη βέλτιστη επαφή του δειγματολήπτη με το εδαφικό υλικό, (β) την ελάχιστη καταπόνηση της κεραμικής κεφαλής, (γ) το συνδυασμό αυτών με την κατάλληλη έκφραξη της στήλης της γεώτρησης με σκοπό την αποφυγή της κατακόρυφης επιλεκτικής ροής του κατεισδύοντως εδαφικού νερού.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βαφειάδης Π. (1999), Η Τεχνική των Ερευνητικών – Δειγματοληπτικών Γεωτρήσεων και Τσιμεντενέσεων, Θεσσαλονίκη
- Κομιώτης Δ., Μαντά Σ.(2014), Οργανική Χημεία (Εργαστηριακός Οδηγός), Τμήμα Βιοχημείας – Βιοτεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Λόζιος, Σ. (1993). Τεκτονική ανάλυση των μεταμορφωμένων σχηματισμών
- Σταματάκη Σ. (2006), Δειγματοληπτικές Γεωτρήσεις – Εφαρμογή στη Μεταλλευτική Έρευνα, Ε.Μ.Π. Αθήνα
- Χρηστάρας Β,(2006) Εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές εδαφομηχανικής, Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας σελ,25
- Αλεξίου Δ. (2013). Η εξέλιξη της λεκάνης του Μαραθώνα: Φυσικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Βουδούρης Κ., 2009. Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Υπόγεια νερά και Περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- Καλλέργης, Γ. (2000). Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Τόμος Β'. Εκδόσεις ΤΕΕ, Αθήνα
- Κατσικάτσος Γ., Primolinsilva L, Kollmann H., Zapfe, H., Sauvage I., Bruijn,de,H., Meulen,der,V., Brother P. (1990): Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας σε κλίμακα 1:50.000. Φύλλο "Αλιβέρι". Εκδ. ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Κατσικάτσος Γ.,Kollmann H., Zapfe H., Brother P. (1990): Γεωλογικό χάρτη της Ελλάδας σε κλίμακα 1:50.000. Φύλλο "Ραφήνα". Εκδ. ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Κουμαντάκης Ι., Γεωργαλάς Λ., Μορφόπουλος ζ. (1993). Ποιοτική υποβάθμιση υπόγειων νερών πεδιάδας Μαραθώνα και τάσεις διαφοροποίησής της. 2ο Υδρογεωλογικό συνέδριο, Πάτρα.
- Λόζιος, Σ. (1993). Τεκτονική ανάλυση των μεταμορφωμένων σχηματισμών της Νοτιοανατολικής Αττικής. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μαργώνη, Σ., Περιβαλλοντική εξέλιξη – συγκρότηση της περιοχής Σχοινιά της πεδιάδας του Μαραθώνα κατά το Ολόκαινο και ανθρωπογενείς επεμβάσεις για τη διαχείριση αυτής (2002). Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας , Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη,
- Μελισσάρης Π., Σταυρόπουλος Ξ. (1999), Υδρογεωλογική Μελέτη Κάμπου Μαραθώνα Ν.Αττικής, Υπουργείο Γεωργίας, Γεν. Δ/ση Εγγ/κων Έργων & Γ.Δ., Αθήνα.
- Ντρίνια Χ.(2012). Σημειώσεις Ιζηματολογίας. Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Γεωλογίας και Περιβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α.

- Καραγιάννης Ν.(2003). Μαθηματική προσομοίωση υπόγειου υδροφορέα περιοχής Σχινιά Μαραθώνα, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Δ.Π.Μ.Σ. Επιστήμης και Τεχνολογίας Υδατικών Πόρων, Ε.Μ.Π. Αθήνα
- Παπαδέας Γ. (1987). Γεωλογική - Τεκτονική εξέλιξη στην Αττική και η βαρίσκιος μεταλλοφορία μικτών θειούχων και άλλων ορυκτών στην Ελλάδα. Πρακτ.Ακαδ.Αθηνών.
- Παπαδέας Γ. (1991). Νεότερα πορίσματα στη γεωλογική – τεκτονική εξέλιξη των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Αττικής και στη βαρίσκια μεταλλοφορία, Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών, τομ. 66, Αθήνα
- Παπαζώτος Π. (2015), Υδρογεωλογικό καθεστώς στη λεκάνη του Μαραθώνα με έμφαση στη πεδινή ζώνη. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π.
- Παπανικολάου Δ., Σίδερης Χ. (2005). Γεωλογία: η επιστήμη της Γης. Εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα.
- Παυλόπουλος Κ., Καρύμπαλης Ε. & Μαρουκιάν Χ.(2002), Γεωμορφολογική εξέλιξη της λεκάνης απορροής του Οινόη ποταμού (Β. Αττική) κατά το Τεταρτογενές. Πρακτικά του 6ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Ι: 287-295, Θεσσαλονίκη
- Περδικάκη Μ. (2016). Εννοιολογικό υδρογεωλογικό μοντέλο κοκκώδους παράκτιου υδροφορέα. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Ε.Μ.Π.
- Σιέμος Ν. (2010). Αξιολόγηση Υδατικών Πόρων Αττικής και νησων Αργοσαρωνικού. Στρατηγικά αποθέματα (υ.δ. 06, τμ. 03). Γ' ΚΠΣ Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών ερευνών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος Διεύθυνση Υδρογεωλογίας, Αθήνα, 2010, σελ. 148
- Σκούντζος Φ. (1992), Υδρογεωλογική Μελέτη περιοχής Μαραθώνα Αττικής. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών Ε.Μ.Π.
- Φωτόπουλος Φ. (2004), Υδρογεωλογικό καθεστώς πεδιάδας Μαραθώνα και επιδράσεις από τα ολυμπιακά έργα. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Χατζημπίρος Κ. (2005), Παράκτιο Πάρκο Σχινιά Μαραθώνα. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου «Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών», Ε.Μ.Π., Αθήνα, σ. 503-516.
- Allison, G.B., Hughes, M.W. (1983): The use of natural tracers as indicators of soil-water movement in a temperate semi-arid region. *Journal of Hydrology*, 60, 157-173.
- Araguas-Araguas L., Rozanski, K., Gonfiantini, R., Louvat, D. (1995): Isotope effects accompanying vacuum extraction of soil water for stable isotope analyses. *Journal of Hydrology*, 168, 159-171.

- ASTM (2002): Standard Practice for Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells in Aquifers, American Society for Testing & Materials, D5092-02, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, Philadelphia, PA, 14 p.
- ASTM (2004c): Standard Test Method for Water Content of Soil and Rock in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth), ASTM Standard D 3017, ASTM International, West Conshohocken, PA, 6 p.
- ASTM (2004e): Standard Guide for the Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigations, ASTM Standard D 5777, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (2004f): Standard Guide for Comparison of Field Methods for Determining Hydraulic Conductivity in the Vadose Zone, ASTM Standard D 5126, ASTM International, West Conshohocken, PA, 10 p.
- Baligh, M.M., Levadoux, J.N. (1980): Pore pressure dissipation after cone penetration. Report R80-11, Dept. of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Ballesterro, T., Herzog, B., Thompson, G. (2006): Monitoring and Sampling the Vadose Zone. In: Nielsen, D.M. (ed.), Environmental Site Characterization and Groundwater Monitoring, Taylor and Francis Group LLC, 2nd Edition, 207-247.
- Beck, F.P., Clark, P.J., Puls, R.W. (2000): Location and characterization of subsurface anomalies using a soil conductivity probe. Ground Water Monitoring and Remediation, 20, 55-59.
- Dietrich, P., Butler, J.J. Jr., Yaramanci, U., Wittig, V., Tiggelmann, T., Schoofs, S. (2003): Field comparison of direct-push approaches for determination of K-profiles. Eos, 84, F661.
- Dietrich, P., Leven, C. (2009): Direct-push technologies. In: Kirsch (ed.), Groundwater geo-physics - A tool for hydrogeology, 2nd Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 347-366.
- Farrar, J.A. (1996): Research and standardization needs for direct push technology applied to environmental site characterization. In: Morgan, J.H. (ed.), Sampling Environmental Media, ASTM Special Technical Publication 1282, American Society for Testing and Materials, Philadelphia: 93-107.
- Figuroa-Johnson, M.A., Tindall, J.A., Friedel, and M. (2007): A Comparison of ^{18}O Composition of Water Extracted from Suction Lysimeters, Centrifugation and Azeotropic Distillation. Water, Air, and Soil Pollution, 184, 63-75.
- Kallioras, A., Piepenbrink, M., Khan, A., Reshid, M., Rausch, R., Dietrich, P., Schüth, C. (2012): Investigation of isotopic signals in the unsaturated zone

with the use of direct push technology and azeotropic distillation. *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater*, 1 (No. 2/129), 019-026.

Komor, S.C., Emerson, D.G. (1994): Movement of water, solutes, and stable isotopes in the unsaturated zones of two sand plains in the upper Midwest. *Water Resources Research*, 30, 253-267.

Landon, M.K., Delina, G.N., Komorb, S.C., and Regan, C.P. (1999): Comparison of the stable-isotopic composition of soil water collected from suction lysimeters, wick samplers, and cores in a sandy unsaturated zone. *Journal of Hydrology*, 224, 45-54.

Lowry, W., Mason, N., Chipman, V., Kisiel, K., Stockton, J. (1999): In-situ permeability measurements with direct push techniques: Phase II topical report. SEASFTR-98-207 Report to DOE Federal Energy Tech Center.

Mason, N., Lowry, W. (1999): In-situ permeability measurements with direct push techniques: Phase III topical report. SEASF-TR-99-223 DOE Fed. Energy Tech. Center.