

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ-ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»



**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ
ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ
ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΜΕΣΩ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ
ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ**

Μπακογιάννης Κωνσταντίνος
Επιβλέπων : Επίκουρος Καθηγητής Α. Καλλιώρας

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Αθήνα, Νοέμβριος 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
1.ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	6
Εισαγωγή	
1.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης.....	6
1.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες.....	12
1.3 Γεωλογική περιγραφή	15
1.3.1 Γεωλογία περιοχής μελέτης.....	15
1.3.2 Γεωλογία πεδιάδας Μαραθώνα	18
1.3.3 Στρωματογραφία περιοχής μελέτης.....	19
1.3.4 Τεκτονισμός.....	21
1.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες	24
1.4.1 Υδρογεωλογικό καθεστώς Μαραθώνα	24
1.4.2 Καρστικό υδροφόρο σύστημα	24
1.4.3 Καρστικό υδροφόρο σύστημα μαρμάρων Μαραθώνα	24
1.4.4 Ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και χρήσεις υπογείου και επιφανειακού νερού	25
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ	30
2.1 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα	30
2.1.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	34
2.2 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο	35
2.2.2. Παρουσίαση μετρήσεων.....	38
3. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	39
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	59

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 διαδικασίες:

- Διερεύνηση βιβλιογραφικών στοιχείων, από την ελληνική και παγκόσμια βιβλιογραφία, σε θέματα που αφορούν μεθόδους έρευνας της ακόρεστης ζώνης.
- Συλλογή και επεξεργασία υπαρχόντων γεωμορφολογικών, γεωλογικών και υδρογεωλογικών στοιχείων της ευρύτερης περιοχής έρευνας.
- 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 αναλύσεις.
- Επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και παρουσίασή τους σε διαγράμματα προκειμένου να εξαχθούν τα συμπεράσματα.

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., τόσο για την βοήθειά της στη συλλογή των εδαφικών δειγμάτων όσο και στην τέλεση των εργαστηριακών αναλύσεων.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ βάθους καρδιάς την οικογένειά μου. Την μητέρα μου Κατερίνα, τον πατέρα μου Σωτήριο και την αδελφή μου Νικολία, χωρίς την αμέριστη στήριξη και βοήθεια αλλά κυρίως την αγάπη των οποίων δεν θα έφτανα ποτέ μέχρι εδώ.

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

Για τη διερεύνηση της ποιότητας των εδαφών της ακόρεστης ζώνης της πεδιάδας του Μαραθώνα, αναπτύχθηκε ένα δίκτυο 35 γεωτρήσεων, βάθους έως 3m σε διαστήματα των 0,5 m και συλλέχθηκαν αδιατάραχτοι πυρήνες διαμέτρου 50 mm. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του έτους 2018. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π.

Από 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 προσχωσιγενείς αποθέσεις της παράκτιας πεδιάδας στα οποία αναπτύσσονται δύο υδροφόρα συστήματα: το καρστικό και το προσχωματικό.
- Με βάση την ταξινόμηση των εδαφών κατά USDA προκύπτουν οι εδαφικοί τύποι της περιοχής με 50% των δειγμάτων να χαρακτηρίζονται ως αργιλώδη εδάφη, το 43% ως αργιλοαμμώδη εδάφη ενώ το 7% ως αμμοαργιλοπηλώδη εδάφη.

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 (35 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 July 2018.

The results of this investigation in the framework of the present Master thesis contribute in the characterization of the soil types of the area based on the USDA soil classification. 50% of the samples are characterized as clay soils, 43% as sandy clay and 7% as sandy soils.

1. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Εισαγωγή

Σ' ένα υδροφόρο στρώμα ακόρεστη ζώνη ονομάζεται η ενδιάμεση υδρολογική ζώνη (μεταξύ επιφανειακής και κορεσμένης) που παίζει καθοριστικό ρόλο κυρίως στον προσδιορισμό του φυσικού εμπλουτισμού των υπογείων νερών.

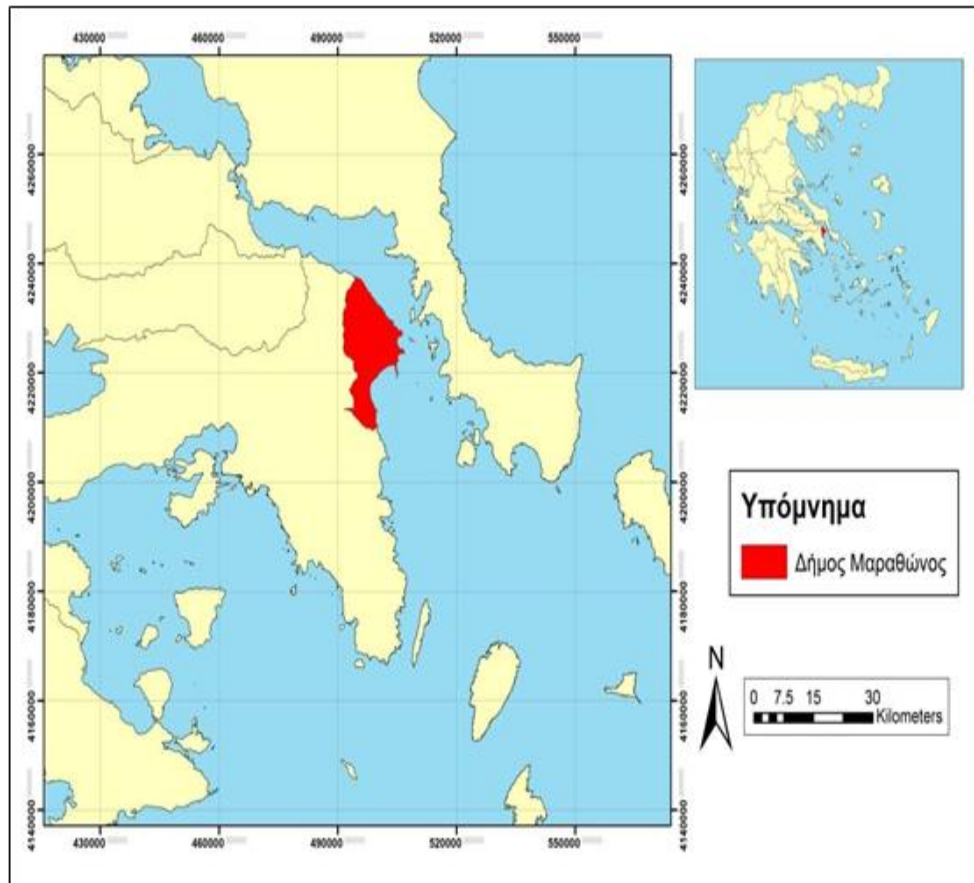
Η ακόρεστη ζώνη του εδάφους αποτελεί το συνδεδετικό κρίκο των δραστηριοτήτων στην επιφάνεια του εδάφους και των υπογείων νερών. Οι υδρολογικές έρευνες στην ακόρεστη ζώνη αφορούν στην ποιοτική και ποσοτική κατάσταση του εδαφικού νερού.

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”.

1.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης

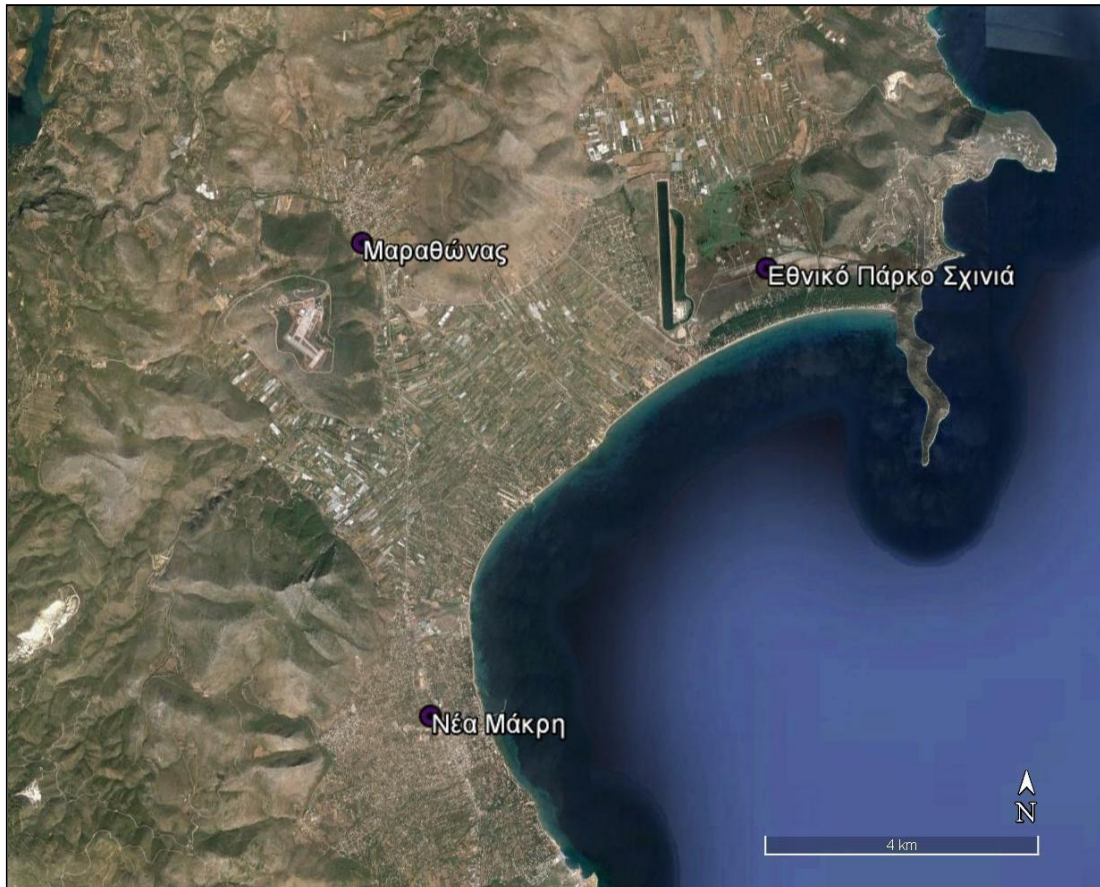
Έδρα του νέου Δήμου Μαραθώνος είναι ο Μαραθώνας, και περιλαμβάνει ακόμη τον πρώην δήμο Νέας Μάκρης και τις κοινότητες Βαρνάβα και Γραμματικού (Σχήμα 1.1).

Η έκταση του δήμου είναι 227 km² και ο μόνιμος πληθυσμός ανέρχεται στα 26.899 άτομα, σύμφωνα με τα στοιχεία που προέκυψαν από την απογραφή του 2011.



Σχήμα 1.1 Διοικητική έκταση Δήμου Μαραθώνα

Η στενότερη περιοχή μελέτης είναι η πεδιάδα του Μαραθώνα με έκταση περίπου 40km² (Σχήμα 1.2). 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 1.2 Η πεδιάδα του Μαραθώνα (Πηγή: Google Earth)

Μηχανική συμπίεση

Οι 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.

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.

Απόσταξη 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 φαμμίτη 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 ισότοπων 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 12m, ενώ υποπολλαπλάσια του ιζήματος (80-160 g) 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.

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 Ballesterο 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.

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.

Γεωφυσικές διασκοπίσεις

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.

1.2 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.

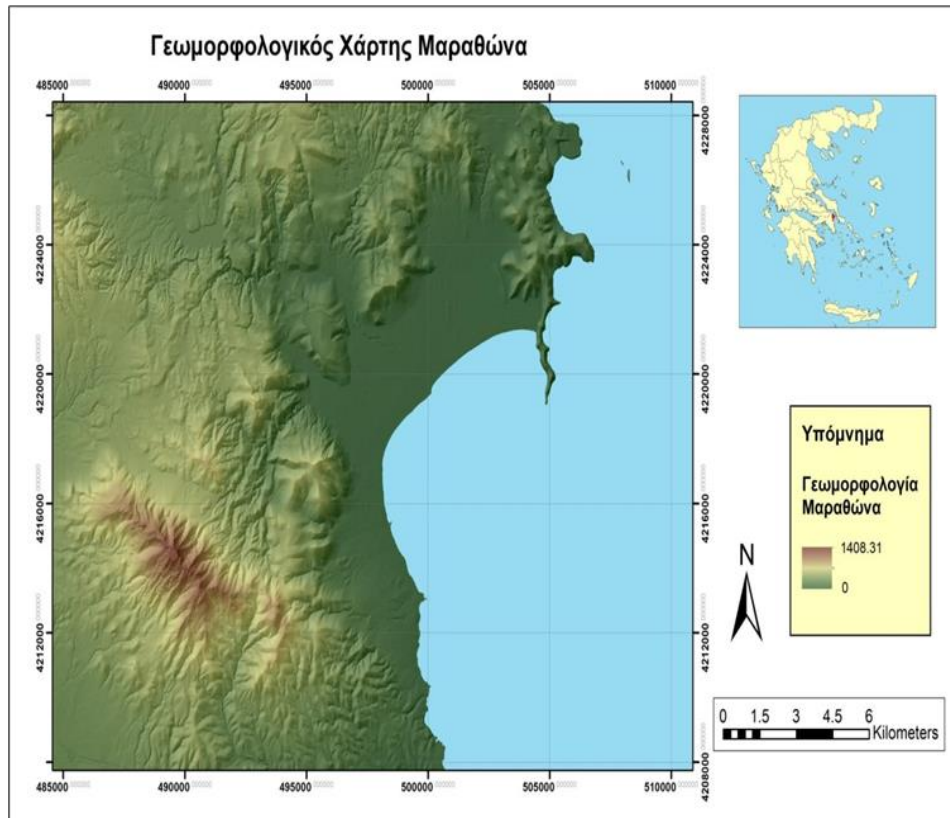
Γενικά, η περιοχή χαρακτηρίζεται ως πεδινή, με κλίση η οποία δεν υπερβαίνει το 4%, ενώ η έκταση του έλους έχει κλίση από 0 έως 2% (Σκούντζος, 1992).

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 58 km² κατάντη της λίμνης του Μαραθώνα. Ο δεύτερος αποστραγγίζει τις ΒΑ υπώρειες της Πεντέλης στη περιοχή της Ραπεντώσας, με έκταση λεκάνης απορροής 30,16 km² 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 Κιμπιπούγιου. 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 3,5 km περίπου και μέσο πλάτος 0,5 km. Οριοθετείται νότια από το δρόμο Μαραθώνα – Κάτω Σουλίου ενώ στις υπόλοιπες διευθύνεις 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 1 km² 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 1.3 Γεωμορφολογικός χάρτης περιοχής Μαραθώνα

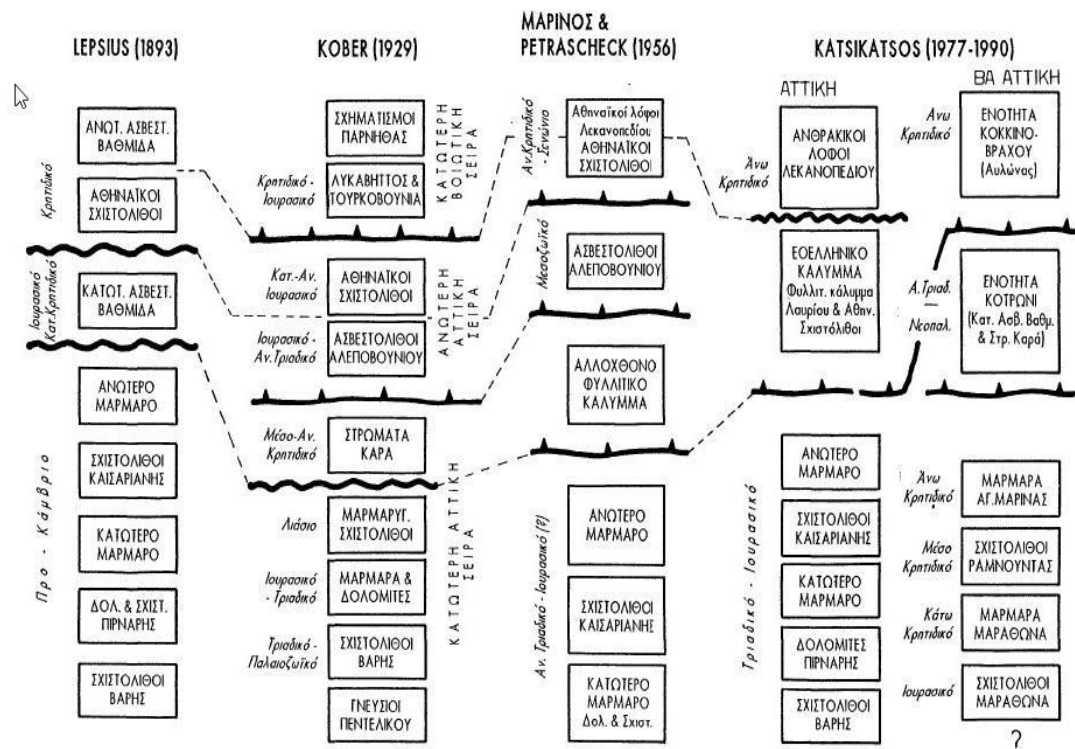
Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 1.3), παρουσιάζεται η γεωμορφολογία της περιοχής, όπως κατασκευάστηκε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που χορηγήθηκε από το Εθνικό Κτηματολόγιο, με κλίμακα 1:5000. Για την κατασκευή του χάρτη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcMap 10.1. Εξαιτίας της ύπαρξης πληθώρας στρατηγικών 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 διατριβής.

1.3 Γεωλογική περιγραφή

1.3.1 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 Αττικοκυκλαδικής 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 1.3.1).



Σχήμα 1.3.1 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 Κασιμάτος (1971,1977) παρουσιάζει τη λιθοστρωματογραφία της Αττικής- Ν. Ευβοίας, θεωρώντας για τη περιοχή δύο ζώνες τύπου «Εσωτερικών Ελληνίδων»:

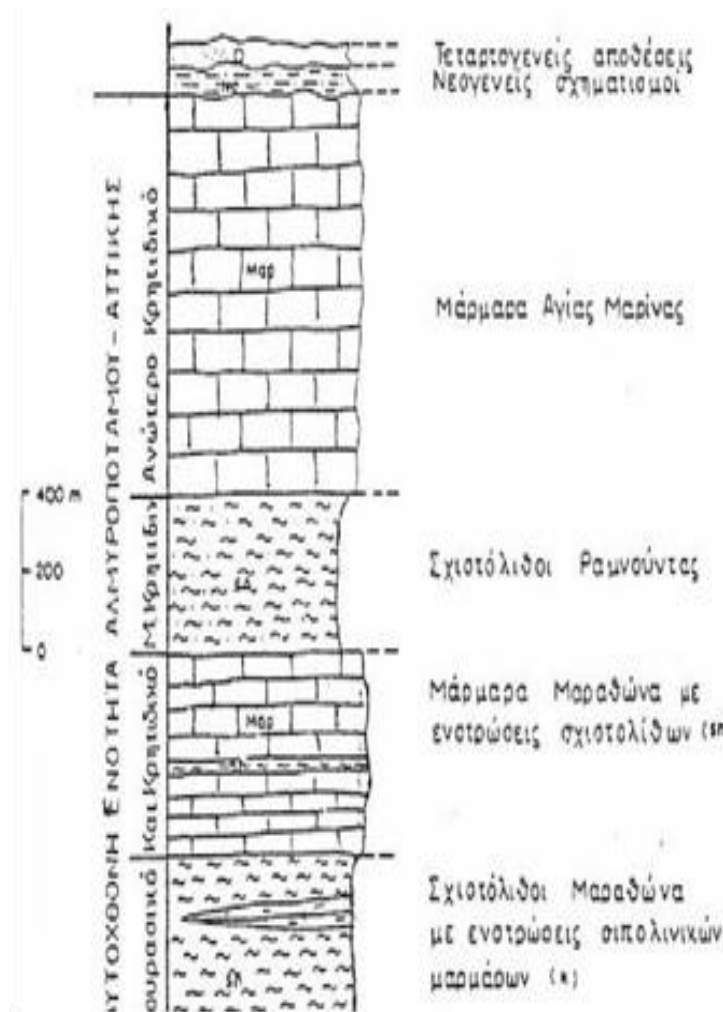
- **Ζώνη Αττικής:** αποτελεί τη βάση και τη σχετικά αυτόχθονη ζώνη και αποτελείται από το «Μεταμορφωμένο σύστημα Αττικής», τριαδικο-ιουρασικής ηλικίας με παραμόρφωση και μεταμόρφωση στο Αν. Ιουρασικό (κανονικά μεταμορφωμένα του Lepsius).
- **Ζώνη Αλμυροποτάμου:** εμφανίζεται σε Εύβοια και ΒΑ Αττική, 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 Κατσικάσος κ.ά. (1990), παραθέτουν με σχηματική απεικόνιση στους Γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. τη λιθοστρωματογραφική διάρθρωση της ΒΑ Αττικής – Νοτίου Ευβοίας (Σχήμα 1.3.2).



Σχήμα 1.3.2 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.

1.3.2 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.

1.3.3 Στρωματογραφία περιοχής μελέτης

Λαμβάνοντας υπόψη τη στρωματογραφική στήλη που παρατίθεται στο σχήμα 3, στη στενότερη περιοχή μελέτης απαντώνται τα παρακάτω στρώματα (από κάτω προς τα πάνω):

- Μάρμαρα Πεντέλης: αποτελούν τον κατώτερο ορίζοντα της σειράς σχηματισμών της βορειοανατολικής Αττικής. Πρόκειται για μάρμαρα λευκά ή λευκότεφρα ή κυανού χρώματος, χονδροκρυσταλλικά, μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη και κατά θέσεις δολομιτικά.
- Σχιστόλιθοι Διονύσου: εμφανίζονται στη περιοχή της Πεντέλης και το πάχος τους κυμαίνεται από 250 μέτρα (στα Δυτικά της Πεντέλης) μέχρι και 1000 μέτρα (στα Ανατολικά). Πρόκειται για μεταμορφωμένα πετρώματα χαμηλού έως μέσου βαθμού μεταμόρφωσης. Τέτοια πετρώματα είναι οι επιδοτικοί- κερροστιλβικοί γνεύσιοι, επιδοτικοί αμφιβολίτες, επιδοτικοί- αλβιτικοί- χώριτικοί σχιστολιθοί, μοσχοβιτικοί γνεύσιοι και μοσχοβιτικοί σχιστόλιθοι.
- Μάρμαρα Γραμματικού: Είναι ανεπτυγμένα στη δυτική πλαγιά της Πεντέλης, με πάχος πάνω από 200 μέτρα, ενώ στα ανατολικά μηδενίζεται. Τα μάρμαρα αυτά εμφανίζονται και βορειότερα στη περιοχή Διονύσου- Γραμματικού με κυμαινόμενο πάχος, ενώ στη περιοχή της λίμνης Μαραθώνα φτάνουν πάχος μερικών δεκάδων μέτρων. Τα μάρμαρα αυτά είναι λεπτοστρωματώδη έως μεσοστρωματώδη, τεφρόλευκα, αδροκρυσταλλικά μέτριας καρστικότητας, ενώ κατά θέσεις μεταπίπτουν σε σιπολιτικά μάρμαρα και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους.

- Σχιστόλιθοι Μαραθώνα: στη περιοχή της πόλης του Μαραθώνα έχουν πάχος περίπου 100 μέτρα και αυξάνεται βαθμιαία προς τα βόρεια, μέχρι και τα 1500 μέτρα μεταξύ Γραμματικού και ακτής Νότιου Ευβοϊκού κόλπου. Πρόκειται για χλωριτικούς και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους με ενστρώσεις μαρμάρων μικρού πάχους.
- Μάρμαρα Μαραθώνα: αναπτύσσονται κυρίως στη περιοχή μεταξύ Μαραθώνα και Κάτω Σουλίου. Το πάχος τους κυμαίνεται από μερικές δεκάδες έως 500 μέτρα. Είναι μικροκρυσταλλικοί σχηματισμοί με φακούς ή και λεπτές στρώσεις πυριτολίθων και συχνά με παρεμβολές δολομιτικών μαρμάρων και σχιστολιθικές ενστρώσεις.
- Σχιστόλιθοι Ραμνούνας: εμφανίζονται με μορφή μεγάλης ένστρωσης μεταξύ των Μαρμάρων Μαραθώνα και Αγίας Μαρίνας. Είναι μοσχοβιτικοί, χλωριτικοί, χαλαζιακοί και ανθρακικοί με μικρές ενστρώσεις σιπολιτικών μαρμάρων. Το πάχος τους φτάνει τα 400 μέτρα.
- Μάρμαρα Αγίας Μαρίνας: βρίσκονται στη περιοχή της Αγίας Μαρίνας και η συνέχεια τους διακόπτεται από τη θάλασσα του Ευβοϊκού κόλπου. Αποτελούν τα ανώτερα μέρη της σειράς των αυτόχθονων μεταμορφωμένων σχηματισμών (Ενότητα Αλμυροποτάμου). Τα μάρμαρα αυτά είναι τεφρά έως υπόλευκα και κατά θέσεις λευκά. Το πάχος τους, από την επιφάνεια, φτάνει τα 1000 μέτρα.

Οι χαλαροί σχηματισμοί που εντοπίζονται στη πεδιάδα του Μαραθώνα έχουν μέγιστο πάχος 80m (ΙΓΜΕ, 2010) και αποτελούνται από τα εξής στρώματα:

Οι σχηματισμοί του Νεογενούς περιλαμβάνουν πληθώρα κλαστικών ιζημάτων (κροκαλοπαγή, λατυποπαγή, αργίλους, άμμους) και μη κλαστικών ιζημάτων (μαργαϊκών και τραβερτινοειδών ασβεστόλιθων). Τα ιζήματα αυτά αποτελούν χερσοποτάμιες, ποταμολιμναίες και λιμναίες αποθέσεις.

Οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από

- παράκτιους σχηματισμούς: άμμοι, χαλίκια, κροκάλες, συνεκτικοί ψαμμίτες),
- αλλουβιακές αποθέσεις: χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά από άμμους και κροκαλολατύπτες στις κοίτες των χειμάρων
- πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων
- χερσαίες αποθέσεις: κυρίως παλαιές προσχώσεις και υλικά των παλιών κώνων κορημάτων. Πρόκειται για λεπτομερή υλικά με διάσπαρτες κροκαλολατύπτες, ποικίλου μεγέθους και κυρίως ερυθρού χρώματος.

1.3.4 Τεκτονισμός

Το αλπικό υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται αποκλειστικά από μεταμορφωμένα πετρώματα τα οποία έχουν υποστεί δύο φάσεις πλαστικής παραμόρφωσης και μία φάση εύθραυστης (Λόζιος, 1993).

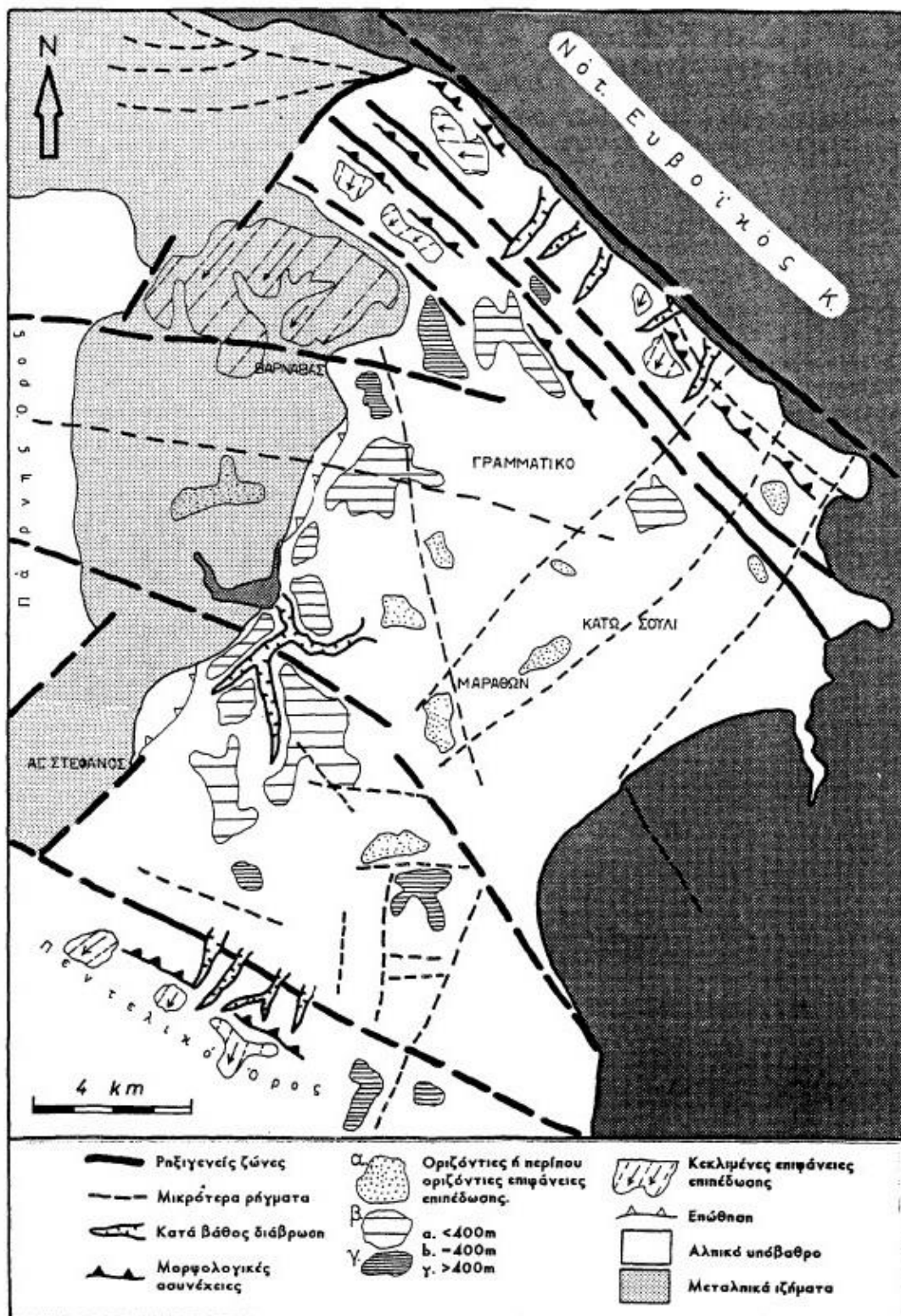
Σύμφωνα με τους Παπανικολαου et al. (2007), η περιοχή της ΒΑ αττικής αποτελεί ένα ρηξιτέμαχος το οποίο οριοθετείται από το ρήγμα των Αιφιδνών στα νότια και το ρήγμα του Ωρωπού στα βόρεια, ενώ περιστρέφεται προς τα νότια-νοτιοδυτικά. Το ρηξιτέμαχος διαιρείται μέσω ενός ρήγματος αποκόλλησης, με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ, σε ένα ανατολικό τμήμα με μεταμορφωμένα πετρώματα και σε ένα δυτικό με αμεταμόρφωτα. Αυτό το ρήγμα αποκόλλησης, προκάλεσε μία καθοδική κίνηση της μη μεταμορφωμένης και την ανοδική κίνηση της μεταμορφωμένης ενότητας από ένα βαθύτερο επίπεδο της λιθόσφαιρας, όπου πραγματοποιήθηκε η μεταμόρφωση κατά το Ηώκαινο- Ολιγόκαινο.

Στη στενότερη περιοχή μελέτης, οι μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες της αυτόχθονης ενότητας έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και διατάσσονται παράλληλα με την ακτογραμμή του νότιου Ευβοϊκού. Η κλίση των ρηξιγενών επιφανειών παρουσιάζει συνήθως φορά προς τα ΒΑ, δημιουργώντας μία σταδιακή κλιμακωτή καταβύθιση προς αυτήν τη κατεύθυνση.

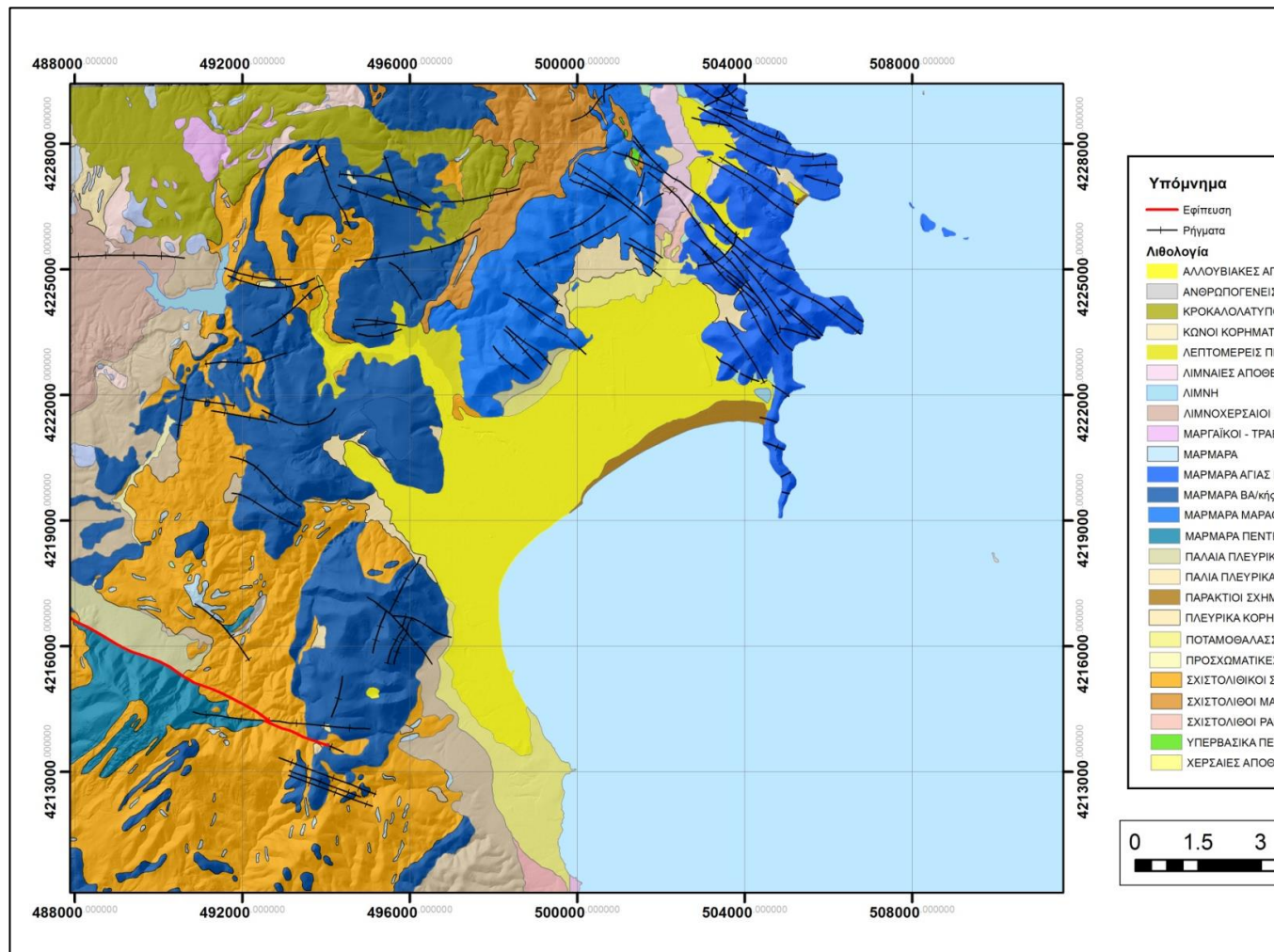
Στη περιοχή, αναπτύσσονται επίσης και μικρότερα ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ, διαχωρίζοντας τη περιοχή σε μικρότερα ρηξιτεμάχη (σχήμα 4.4).

Η έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα έχει επιδράσει καθοριστικά στη διαμόρφωση του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης, χαρακτηρίζοντας το από ασύμμετρη ανάπτυξη και απότομες αλλαγές στη διεύθυνση των κλάδων του καθώς και τη κατεύθυνση αυτών σε ορισμένες μόνο διευθύνσεις.

Στον χάρτη του σχήματος 4.5, παρουσιάζεται η γεωλογία και ο τεκτονισμός της ευρύτερης περιοχής της παράκτιας πεδιάδας του Μαραθώνα, βάσει των γεωλογικών φύλλων «Ραφήνα» και «Κηφισιά» του ΙΓΜΕ.



Σχήμα 1.3.3 Τεκτονικά στοιχεία περιοχής μελέτης (Λόζιος, 1993)



Σχήμα 1.3.4 Γεωλογικός χάρτης Μαραθώνα

1.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες

1.4.1 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 οι υδραυλικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

1.4.2 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 Μαρίνας 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.

1.4.3 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 $11,3 \times 10^6$ m³/έτος από τα οποία τα 6,2 m³/έτος τροφοδοτούν τον υδροφόρο.

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 μS/cm και συγκέντρωση χλωριόντων από 40 έως 1.000 mg/L. Ο υδροφόρος 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 υδροφόρος εκδηλώνεται και επιφανειακά μέσω της Μακαρίας πηγής που αναβλύζει στο N-NA 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. Σύμφωνα με τις διαθέσιμες μετρήσεις, που παρέχονται από τη υδρομετρήσεις του Υπουργείου Γεωργίας (Μελλισάρης και Σταυρόπουλος, 1999) για τα έτη 1997-1998, η μέση παροχή της πηγής ανέρχεται στα 1548 m³/h , δηλαδή $13,5 \times 10^6$ m³/έτος.

1.4.4 Ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και χρήσεις υπογείου και επιφανειακού νερού

Η ευρύτερη περιοχή του Μαραθώνα, εξαιτίας της έντονης μορφολογίας που παρουσιάζει λόγω του ορεινού όγκου της Πεντέλης, είναι μία περιοχή με έντονη τη παρουσία του νερού, επιφανειακού αλλά και υπόγειου. Το επιφανειακό νερό εκδηλώνεται μέσα από χειμάρρους οι οποίοι εκβάλλουν στον όρμο του Μαραθώνα και το υπόγειο προκύπτει από τη κατείσδυση βρόχινου νερού σε καρστικούς και προσχωσιγενείς υδροφορείς της Πεντέλης και του πεδινού τμήματος της περιοχής έρευνας.

Από την αρχαιότητα ακόμη, οι άνθρωποι προσπάθησαν να εκμεταλλευτούν τους μεγάλους όγκους νερού που απέρρεαν ανεκμετάλλευτοι στη θάλασσα αλλά και να προστατευτούν από πλημμύρες που δημιουργούνταν από τη δράση των χειμάρρων. Κατά αυτό τον τρόπο στην πεδιάδα του Μαραθώνα αλλά και στους ορεινούς όγκους της περιοχής καταγράφονται πολυάριθμα έργα για αποθήκευση, άντληση νερού και προστασία από τις πλημμύρες. Τα έργα και οι χρήσεις τους περιγράφονται στις ακόλουθες επιμέρους ενότητες (§3.2.1 - §3.4.2).

Φράγμα Μαραθώνα

Η συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού της Αθήνας, ιδιαίτερα μετά τη μικρασιατική καταστροφή, δημιούργησε νέες υδρευτικές ανάγκες. Το 1926, ξεκίνησε η κατασκευή του φράγματος του Μαραθώνα προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες της πρωτεύουσας σε νερό. Το έργο αναλήφθηκε από την αμερικάνικη εταιρεία Ulen and Company και ολοκληρώθηκε το 1929 δημιουργώντας τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα.

Η λίμνη του Μαραθώνα βρίσκεται στην περιοχή της βορειοανατολικής Αττικής σε απόσταση 30 km από την Αθήνα, στα σύνορα μεταξύ των Καλλικρατικών δήμων Μαραθώνα και Ωρωπού. Το φράγμα έχει κατασκευαστεί στη συμβολή πολλών ρεμάτων που συγκεντρώνουν της απορροές της περιβάλλουσας λεκάνης, με κυριότερα το ρέμα Βαρνάβα και τον ποταμό Χάραδρο, που πηγάζει από την Πάρνηθα. Ο πλησιέστερος στη λίμνη οικισμός είναι ο Βόθωνας Αττικής στα ανατολικά, ενώ 6 km νοτιότερα βρίσκεται η κωμόπολη του Μαραθώνα.

Σύμφωνα με στοιχεία της «Ελληνικής Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων» (2013), ο τύπος του φράγματος είναι “Βαρύτητας Λιθοδέματος”, δηλαδή είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα, ενώ επενδύθηκε με πεντελικό μάρμαρο, κάτι που το καθιστά μοναδικό σε παγκόσμιο επίπεδο. Το μέγιστο ύψος του φράγματος είναι 54m από τη θεμελίωση του, το μέγιστο πλάτος στη βάση είναι 48m ενώ το πλάτος της στέψης (στο επίπεδο του δρόμου κυκλοφορίας) είναι 4,5m. Το μήκος της στέψης είναι 285m.

Η επιφάνεια του τεχνητού ταμιευτήρα του Μαραθώνα είναι 2,45km στη στάθμη υπερχειλίσης. Η μέγιστη χωρητικότητα του είναι $41 \times 10^6 \text{ m}^3$, ενώ ο μέγιστος ωφέλιμος όγκος είναι $34 \times 10^6 \text{ m}^3$. Για τη διανομή του νερού στη πρωτεύουσα, κατασκευάστηκε και υδραγωγείο από τη λίμνη του Μαραθώνα έως την Αθήνα συνολικού μήκους 21,5 km (σήραγγα Μπογατίου). Το 1959, λόγω της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού στην Αθήνα, το σύστημα της λίμνης του Μαραθώνα συνδέθηκε με το υδραγωγείο της Υλίκης προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες σε νερό.

Μετά την κατασκευή του φράγματος του Μόρνου (1979), το φράγμα του Μαραθώνα λειτουργεί κυρίως ως μια δεξαμενή αποθήκευσης των υδάτων που έρχονται από τους ταμιευτήρες της Υλίκης και του Μόρνου-Εύηνου, για λόγους ασφαλείας λόγω της εγγύτητάς του με την Πρωτεύουσα.

Κατάντη του φράγματος, τοποθετείται ο Καλλικρατικός δήμος του Μαραθώνα. Είναι προφανές, ότι η κατασκευή ενός τέτοιου έργου επηρεάζει τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά σε πολύ μεγαλύτερη έκταση από τη λεκάνη κατάκλισης του φράγματος. Ανεξάρτητα από τον τύπο του φράγματος, το μέγεθος του και άλλα χαρακτηριστικά του, το κύριο αποτέλεσμα είναι η μόνιμη ή η προσωρινή διακοπή της απορροής. Ως επακόλουθο αυτού, επηρεάζονται

τα ίδια τα πετρώματα, οι χρήσεις γης, οι φυσικοί πόροι και γενικότερα η ανθρώπινη δραστηριότητα της κατάντη περιοχής.



Σχήμα 1.4.1 Το φράγμα του Μαραθώνα (Φωτογραφικό αρχείο ΕΥΔΑΠ).

Φράγμα Ραπεντώσας

Ένα άλλο φράγμα που έχει κατασκευαστεί στην ευρύτερη περιοχή έρευνας είναι αυτό της Ραπεντώσας. Το συγκεκριμένο φράγμα κατασκευάστηκε για την αντιπλημμυρική προστασία της λεκάνης Ραπεντώσας από το χείμαρο Καμπιτούγιο. Η Λεκάνη Ραπεντώσας ξεκινά από την περιοχή Διονύσου και καταλήγει στα βόρεια της Νέας Μάκρης . Το έργο, στην περιοχή του Βρανά, ολοκληρώθηκε το 2004 από την Ε.ΥΔ.Α.Π.. Το ύψος του φράγματος είναι 39m, το μήκος στέψης του 145 m, ο όγκος του $155,5 \times 10^3 \text{ m}^3$ και η χωρητικότητά του είναι $1,285 \times 10^6 \text{ m}^3$. Το εμβαδόν της λεκάνης απορροής στην οποία βρίσκεται έχει έκταση $24,94 \text{ km}^2$, ενώ η παροχή σχεδιασμού του υπερχειλιστή είναι $165 \text{ m}^3/\text{sec}$. Το φράγμα είναι κατασκευασμένο από λιθορριπή με πλάκες στεγανοποίησης ενωμένες με αρμούς (που λειτουργούν ως μεμβράνη στεγανοποίησης) στην ανάντη παρειά και μετωπικό υπερχειλιστή πλάτους 20m και ύψους 3m.

Το φράγμα λειτούργησε αποτελεσματικά για πρώτη φορά μετά τη κατασκευή του σε ένα πλημμυρικό επεισόδιο το Νοέμβριο του 2005. Κατά την πλημμύρα, στο πεδινό τμήμα προέκυψε παροχή αιχμής $14 \text{ m}^3/\text{s}$. Εάν δεν υπήρχε το φράγμα η πλημμυρική αιχμή θα έφτανε τα $40 \text{ m}^3/\text{s}$.

Τάφροι αποστράγγισης

Η ύπαρξη των ελωδών εκτάσεων στη πεδιάδα του Μαραθώνα (έλος Σχινιά, έλος Μπρεξίζας) κατέστησε αναγκαία την κατασκευή αποστραγγιστικών τάφρων στην περιοχή από την εποχή της αρχαιότητας. Ο Σωτηριάδης (1932), αναφέρει ότι κατά τις ανασκαφές του Μαραθώνα εντοπίστηκαν τα αποστραγγιστικά έργα του έλους της Μπρεξίζας. Η στρατηγικής σημασίας περιοχή της Μπρεξίζας, εξαιτίας της ένωσης της πεδιάδας του Μαραθώνα με την υπόλοιπη Αττική, οδήγησε στην κατασκευή αποστραγγιστικής τάφρου με έξοδο προς τη θάλασσα από τον Ηρώδη τον Αττικό. Κατά τα νεότερα χρόνια, η αποστράγγιση του έλους, φαίνεται να επιτεύχθηκε με τη κατασκευή μεγάλης τάφρου, με διεύθυνση Α-Δ, η οποία οδηγούσε τα νερά της πηγής Μάτι και τα νερά του έλους προς τη θάλασσα.

Σήμερα, στις ελώδεις εκτάσεις, έχουν κατασκευαστεί τάφροι αποστράγγισης. Το έλος του Σχινιά, αποστραγγίζεται από τάφρο μήκους 17 km και το έλος της Μπρέξιζας από τάφρο 2.8km. Τα νερά των τάφρων οδηγούνται στη θάλασσα.

Κατακόρυφα υδρομαστευτικά έργα

Στο πεδίο του Μαραθώνα, αναπτύσσονται δύο υδροφόρα στρώματα. Το ένα σύστημα αναπτύσσεται στις προσχωσιγενείς αποθέσεις της πεδιάδας του Μαραθώνα, ενώ στο υπόβαθρο του βρίσκεται ο υπόγειος καρστικός υδροφόρας ο οποίος αποτελεί συνέχεια του καρστικού συστήματος της Πεντέλης. Η πλούσια υδροφορία των δύο στρωμάτων εκμεταλλεύεται με πολυάριθμα κατακόρυφα πηγάδια και γεωτρήσεις από τους κατοίκους της περιοχής. Η συνεχόμενη και ανεξέλεγκτη άντληση, κυρίως για γεωργικούς σκοπούς, έχει οδηγήσει σε σοβαρή μείωση των αποθεμάτων αλλά και ρύπανση και των δύο υδροφορέων, κυρίως από το φαινόμενο της θαλάσσιας διείσδυσης. Τα σημεία που καταγράφηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, φαίνονται στο χάρτη του σχήματος 3.4.

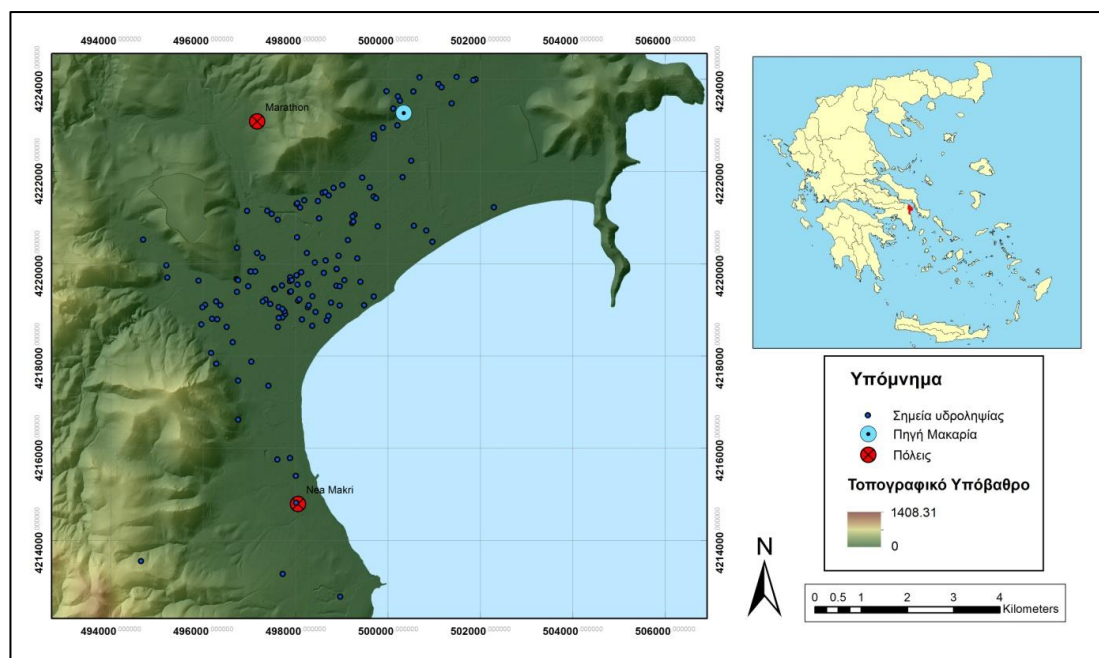
Αντλιοστάσιο Μακαρίας πηγής

Σημαντικό και αναπόσπαστο κομμάτι για το οικοσύστημα του Πάρκου του Σχινιά αλλά και για την ευρύτερη περιοχή του Μαραθώνα, αποτελεί η πηγή της Μακαρίας. Πρόκειται για καρστική πηγή, η οποία εκδηλώνεται στην επαφή των μαρμάρων του Μαραθώνα με τις σύγχρονες αργιλοαμμώδεις αποθέσεις τις ελώδους περιοχής του Σχινιά. Η Μακαρία, αναβλύζει σε ύψος 2,5m στη περιοχή του Κάτω Σουλίου και εκδηλώνεται σε δύο λίμνες γλυκού έως υφάλμυρου νερού (σχήμα 3.4).

Στο παρελθόν, το νερό της Μακαρίας τροφοδοτούσε κυρίως το έλος του Πάρκου Σχινιά. Εκτιμάται ότι προ του 1923 ο βιότοπος δεχόταν ετησίως

ποσότητα νερού της τάξης των 6 έως $7 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Χατζημπίρος, 2005). Σήμερα, μέρος των εκφορτίσεων κατεισδύει στον προσχωσιγενή υδροφορέα της περιοχής. Το μεγαλύτερο ποσοστό όμως του νερού της πηγής, μετά την κατασκευή του κωπηλατοδρομίου (2004), παροχετεύεται μέσω καναλιού στις Ολυμπιακές εγκαταστάσεις του Σχινιά, εξασφαλίζοντας το νερό των δύο στίβων του κωπηλατοδρομίου.

Κατά την περίοδο 1974-1982, στο χώρο της Μακαρίας είχε κατασκευαστεί αντλιοστάσιο από την ΕΥΔΑΠ. Το νερό της πηγής χρησιμοποιούνταν για την ενίσχυση της ύδρευσης της Αθήνας. Οι ποσότητες νερού που αντλούνταν κατά αυτή τη περίοδο έφταναν τα $7 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως. Η μέση ωριαία παροχή έφτανε τα 830 m^3 ($500 \text{ m}^3/\text{h}$ το καλοκαίρι και $1660 \text{ m}^3/\text{h}$ το χειμώνα). Το αντλιοστάσιο υπάρχει στο χώρο της Μακαρίας μέχρι και σήμερα, αν και έχει εγκαταληφθεί.



Σχήμα 1.4.2. Σημεία υδροληψίας και η Μακαρία πηγή στην πεδιάδα του Μαραθώνα.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

2.1 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα

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

Η μεθοδολογία εκτέλεσης των εργαστηριακών δοκιμών Εδαφομηχανικής είναι επακριβώς και σαφώς προδιαγραμμένη σε κανονισμούς και οδηγίες οι πιο σημαντικοί των οποίων είναι: A.S.T.M. (American Society for testing and Materials), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), B.S. (Βρετανικά Πρότυπα) καθώς και οι αντίστοιχες Ελληνικές προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ε105- 86).

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

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

Πίνακας 2.1: 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 (0.075mm) .
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)	

Για την πραγματοποίηση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος εξοπλισμός:

1. Συσκευή κοσκίνισματος (Σχήμα 2.1)

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



Σχήμα 2.1 Συσκευή κοσκίνισματος και κόσκινα

2. Σειρά κοσκίνων

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

3. Γουδί και γουδοχέρι (Σχήμα 2.2)

Χρησιμοποιείται για τη σύνθλιψη του εδαφικού υλικού.



Σχήμα 2.2. 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 2.3 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 κοσκίνων με διαφορετική διάμετρο. Το τελευταίο κόσκινο με $d = 0.075\text{mm}$ (No. 200) αντιπροσωπεύει το τελευταίο κλάσμα της άμμου.
- Μεταφέρουμε ολόκληρη τη στήλη σε αυτόματη συσκευή κοσκινίσματος και κοσκινίζουμε για 15' περίπου.
- Το υλικό που έχει μείνει σε κάθε κόσκινο ζυγίζεται και μετατρέπεται σε ποσοστό % του συνολικού βάρους του δείγματος.
- Στο τέλος ζυγίζουμε και το περιεχόμενο του δίσκου που βρίσκεται κάτω από το τελευταίο κόσκινο και περιέχει τα λεπτόκοκκα υλικά (ιλύς και άργιλος). Η διαφορά βάρους ανάμεσα στο αρχικό ζύγισμα και στο σύνολο των συγκρατούμενων υλικών των διαφορετικών κοσκινών δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 1% του αρχικού βάρους.

2.1.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης περιγράφονται: (α) με τα % ποσοστά που συγκρατούνται σε κάθε κόσκινο και (β) με τα % ποσοστά που διέρχονται από κάθε κόσκινο. Τα ποσοστά υπολογίζονται με βάση το ολικό βάρος του δείγματος συμπεριλαμβανομένου και του υλικού του λεπτότερου του κοσκινού No 200.

Η κοκκομετρική διαβάθμιση παριστάνεται με την κοκκομετρική καμπύλη που είναι μια αθροιστική καμπύλη των μερών εκείνων που παίρνουμε με τη μέθοδο των κοσκίνων εκφρασμένα σε ποσοστά % αθροιστικά επί του συνόλου του δείγματος.

Τα αθροιστικά αυτά ποσοστά μεταφέρονται μαζί με τις αντίστοιχες διαμέτρους των κόκκων σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα (η διάμετρος στη λογαριθμική κλίμακα). Η καμπύλη αυτή κινείται πάντοτε από κάτω αριστερά προς τα πάνω δεξιά και αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος για να χαρακτηρίσουμε ένα έδαφος.

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

2.2 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 (Σχήμα 2.3). Η κλίμακά του έχει υποδιαιρέσεις από 0-60 gr/lit και η βαθμονόμησή του έγινε με βάση την παραδοχή ότι το αποσταγμένο νερό έχει ειδικό βάρος 1,000 στους 20° C και ότι το ειδικό βάρος του εδάφους που βρίσκεται σε διασπορά είναι 2,65 gr/cm³.

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

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



Σχήμα 2.3 Αραιόμετρο και ογκομετρικοί κύλινδροι

2.2.1 Περιγραφή διαδικασίας:

- Το δείγμα που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή αυτή περιλαμβάνει όλο το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No. 10 (2 mm). Η ποσότητά του ανέρχεται περίπου στα 50 gr για τα περισσότερα εδάφη ή 100 gr για τα αμμώδη εδάφη.
- Μια μικρή ποσότητα δείγματος, περίπου 50 gr, από το κλάσμα του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο No. 10, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της φυσικής του υγρασίας.
- Έπειτα το δείγμα τοποθετείται σε ποτήρι των 250 ml και καλύπτεται με 125 ml από το έτοιμο διάλυμα του παράγοντα διασποράς που έχει επιλεγεί (πολυφωσφορικό νάτριο $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$, 21.6 gr/l). Αναδεύεται καλά με γυάλινη ράβδο και αφήνεται να διαβραχεί για 12 τουλάχιστον ώρες για την 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/l των 1, 2, 5, 30, 60, 250 και 1440 min από την έναρξη της κατακάθισης. Αμέσως μετά κάθε ανάγνωσης του αραιομέτρου μετρείται 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 2.5 Φωτογραφίες κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών μας δοκιμών

2.2.2. Παρουσίαση μετρήσεων

Κατά την κοκκομετρική ανάλυση του υλικού που πλύθηκε στο κόσκινο No. 200, τα ποσοστά % του δείγματος που συγκρατούνται πάνω σε κάθε κόσκινο, υπολογίζονται δια διαιρέσεως του βάρους αυτών με το βάρος του εδάφους που υποβλήθηκε σε διασπορά και έχει ξηρανθεί σε κλίβανο και πολ/σμού επί 100. Τα ποσοστά επί του συνολικού δείγματος δοκιμής που περιλαμβάνει και το συγκρατούμενο κόσκινο No. 10 κλάσμα υπολογίζονται δια του πολ/σμού των πιο πάνω τιμών με την έκφραση:

(100-ποσοστό συγκρατούμενο στο κόσκινο No. 10) / 100.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα με τη μορφή κοκκομετρικής καμπύλης.