



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Σχολή Τεχνολογίας
Τμήμα Περιβάλλοντος



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Εργαστηριακή διερεύνηση και προσδιορισμός φυσικών χαρακτηριστικών και μηχανικών ιδιοτήτων εδαφικών δειγμάτων προερχομένων από σχηματισμούς της Νήσου Σύρου”



ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΟΥ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ – Α.Μ. 3019122

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. Χριστοδούλου Δημήτριος – Επίκουρος Καθηγητής

Λάρισα, Σεπτέμβριος 2023

Ενυπόγραφη δήλωση μη λογοκλοπής

Ο/Η παρακάτω υπογράφων/ουσα δηλώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και ότι στο πλαίσιο αυτό έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λ.π., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Ημερομηνία: 26/9/2023

Ονοματεπώνυμο: Αποστολίδου Νικολέττα

Υπογραφή:



Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

.....
.....
.....

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η νήσος Σύρος, που βρίσκεται στο Αιγαίο Πέλαγος, στην Ελλάδα, χαρακτηρίζεται από ποικίλη γεωλογική σύσταση, που περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα εδαφικών σχηματισμών. Η κατανόηση των φυσικών χαρακτηριστικών και των μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών στην περιοχή αυτή είναι ζωτικής σημασίας για διάφορες εφαρμογές στη μηχανική, σε κατασκευές καθώς και σε περιβαλλοντικές εκτιμήσεις. Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζει μια προτυποποιημένη εργαστηριακή διερεύνηση που έχει στόχο τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων εδαφικών δειγμάτων που συλλέχθηκαν από διαφορετικούς σχηματισμούς στη νησί της Σύρου.

Η μελέτη ξεκινά με μια εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση για να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο για τη φυσικά χαρακτηριστικά και τις μηχανικές ιδιότητες τόσο των χονδρόκοκκων όσο και των λεπτόκοκκων εδαφών. Στη συνέχεια οι πειραματικές δοκιμές περιλαμβάνουν την επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από αντιπροσωπευτικά εδαφικά δείγματα από διάφορες τοποθεσίες του νησιού. Οι δοκιμές που διεξάχθηκαν για την αξιολόγηση των εδαφών περιλαμβάνουν τη κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα και τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg ή ορίων συνεκτικότητας.

Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για το χαρακτηρισμό και τη συμπεριφορά των εδαφών της Σύρου. Οι γνώσεις που αποκτήθηκαν από αυτή την έρευνα μπορούν να καθοδηγήσουν τις μελλοντικές προσπάθειες για τη βελτιστοποίηση των κατασκευαστικών πρακτικών και της περιβαλλοντικής διαχείρισης στο νησί της Σύρου και σε παρόμοια γεωλογικά περιβάλλοντα παγκοσμίως. Τέλος αναφέρεται η σχετική βιβλιογραφία και οι διαδικτυακές πηγές για τη κάθε μια.

SUMMARY

The island of Syros, located in the Aegean Sea, in Greece, is characterized by a diverse geological composition, including a wide range of soil formations. Understanding the physical characteristics and mechanical properties of the soils in this region is vital for various applications in engineering, construction as well as environmental assessments. This bachelor thesis presents a standardized laboratory investigation aimed at determining the physical characteristics and properties of soil samples collected from different formations on the island of Syros.

The study starts with an extensive literature review to establish a framework for the physical characteristics and mechanical properties of both coarse and fine-grained soils. Experimental tests then include the processing of data obtained from representative soil samples from different locations on the island. The tests carried out to evaluate the soils include sieve particle size analysis and determination of Atterberg or cohesivity limits.

The results of these tests provide valuable information on the characterisation and behaviour of Syros soils. The knowledge gained from this research can guide future efforts to optimize construction practices and environmental management on the island of Syros and in similar geological environments worldwide. Finally, the relevant literature and online resources for each are cited.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
Κεφάλαιο 1 : ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΩΝ	11
1.1 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	12
1.1.1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ.....	12
1.1.2 ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	16
1.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	17
1.2.1 ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ	18
Κεφάλαιο 2 : ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ	24
2.1 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ	25
2.1.1.ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ	32
2.1.2.ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ	38
2.2 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ.....	40
2.2.2 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ.....	43
2.2.3 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ	49
Κεφάλαιο 3 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	52
3.1 ΠΡΩΤΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ - ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΚΟΣΚΙΝΑ.....	52
3.1.1 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ.....	53
3.1.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ.....	54
3.1.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ- ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	55
3.2 ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ – ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ΑΤΤΕΒΕΡΓ	78
3.2.1 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ – ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ.....	78
3.2.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ – ΌΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	79
3.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	80
3.2.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΝΕΡΟ.....	81
3.2.5. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ – ΌΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ASTM D4318)	81
3.2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΌΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PL).....	82
3.2.7 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PI).....	82
3.2.8 ΔΟΚΙΜΕΣ	82
Κεφάλαιο 4 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	92

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	95
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	
ΕΙΚΟΝΑ 1.1 ΜΕΓΕΘΗ ΚΟΚΚΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	11
ΕΙΚΟΝΑ 1.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΚΟΣΚΙΝΑ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006).....	13
ΕΙΚΟΝΑ 1.3: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ, ΠΗΓΗ:(Μ. ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006).....	15
ΕΙΚΟΝΑ 1.4 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	19
ΕΙΚΟΝΑ 1.5 ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΩΝ, ΠΗΓΗ: (ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, 2021)	19
ΕΙΚΟΝΑ 1.6 ΣΥΣΚΕΥΗ CASAGRANDE ΓΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	21
ΕΙΚΟΝΑ 1.7 ΣΥΣΚΕΥΗ CASAGRANDE ΑΡΧΗ ΚΑΙ ΤΕΛΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ, ΠΗΓΗ: (ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, 2021)	21
ΕΙΚΟΝΑ 1.8 ΔΕΙΓΜΑ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΗ ΣΥΣΚΕΥΗ CASAGRANDE, ΠΗΓΗ: (ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, 2021)	21
ΕΙΚΟΝΑ 1.9 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΟΥ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ, ΠΗΓΗ: (ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, 2021)	22
ΕΙΚΟΝΑ 2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΟΥΣ ΟΡΟΥΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΤΟΥ DARCY, ΠΗΓΗ: (ΑΤΑΝΑΝΑ, 2018).....	26
ΕΙΚΟΝΑ 2.2 ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΡΟΗ ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.3 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΡΟΗΣ ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.4 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΥΨΟΥΣ ,ΠΗΓΗ: (GAWAN, 2020)	33
ΕΙΚΟΝΑ 2.5 . ΣΥΜΠΙΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟ ΚΑΛΟΥΠΙ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ, ΠΗΓΗ: (HOSSAIN, ET AL., 2021)	34
ΕΙΚΟΝΑ 2.6 ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΟΥ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΤΡΙΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ, ΠΗΓΗ: (HOSSAIN, ET AL., 2021)	35
ΕΙΚΟΝΑ 2.7 ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ ΑΡΧΙΖΕΙ ΝΑ ΓΙΝΕΤΑΙ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ , ΠΗΓΗ: (HOSSAIN, ET AL., 2021)	36
ΕΙΚΟΝΑ 2.8 ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ ΕΧΕΙ ΚΟΡΕΣΤΕΙ , ΠΗΓΗ: (HOSSAIN, ET AL., 2021).....	36
ΕΙΚΟΝΑ 2.9 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ , ΠΗΓΗ: (HOSSAIN, ET AL., 2021).....	37
ΕΙΚΟΝΑ 2.10 ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΨΟΥΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΚΟΡΥΦΗΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΕΞΟΔΟΥ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ, ΠΗΓΗ: (HOSSAIN, ET AL., 2021)	37
ΕΙΚΟΝΑ 2.11 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ (1), ΠΗΓΗ: (GAWAN, 2020).....	39
ΕΙΚΟΝΑ 2.12 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ (2) ,ΠΗΓΗ: (CARLESTON UNIVERSITY, 2018)	39
ΕΙΚΟΝΑ 2.13 ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006).....	42
ΕΙΚΟΝΑ 2.14 ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΟΡΤΙΟΥ- ΥΠΟΧΩΡΗΣΗΣ ΘΕΜΕΛΙΟΥ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	43
ΕΙΚΟΝΑ 2.15 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΚΚΩΝ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	44
ΕΙΚΟΝΑ 2.16 ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΚΟΚΚΟΥ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	45
ΕΙΚΟΝΑ 2.17 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟΥΣ ΚΟΚΚΟΥΣ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	46
ΕΙΚΟΝΑ 2.18 ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΠΟΡΩΔΕΣ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006).....	47
ΕΙΚΟΝΑ 2.19 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ ΑΣΤΟΧΙΑ COULOMB ΣΕ ΑΜΜΟΥΣ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	48
ΕΙΚΟΝΑ 2.20 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ ΑΣΤΟΧΙΑ COULOMB ΣΕ ΑΡΓΥΛΟΥΣ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	51
ΕΙΚΟΝΑ 3.1 ΣΥΣΚΕΥΗ ΔΟΝΗΣΗΣ, ΠΗΓΗ:(ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ 2021).....	54
ΕΙΚΟΝΑ 3.2 ΣΕΙΡΑ ΚΟΣΚΙΝΩΝ, ΠΗΓΗ: (ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ 2021)	54
ΕΙΚΟΝΑ 3.3 ΖΥΓΙΣΗ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ, ΠΗΓΗ: (ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ,2021).....	55
ΕΙΚΟΝΑ 3.4 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ(1), ΠΗΓΗ:(ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, 2021)	79
ΕΙΚΟΝΑ 3.5 ΔΕΙΓΜΑ ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ, ΠΗΓΗ:(ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, 2021)	79
ΕΙΚΟΝΑ 3.6 ΔΕΙΓΜΑ ΜΕΤΑ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ, ΠΗΓΗ:(ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, 2021)	80
ΕΙΚΟΝΑ 3.7 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (2), ΠΗΓΗ:(ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, 2021)	80
ΕΙΚΟΝΑ 3.8 ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ. ΠΗΓΗ:(ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, 2021).	81

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΒΡΕΤΑΝΙΚΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ, ΠΗΓΗ:(ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, Μ. ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006).....	12
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2 ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΟΠΗΣ ΚΟΣΚΙΝΩΝ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΗΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗΣ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	13
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ ΒΑΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ, ΠΗΓΗ:(Μ. ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006).....	17
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΟΡΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ, ΠΗΓΗ: (ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ, 2014)	17
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ, ΠΗΓΗ: (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2006)	27
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ, ΠΗΓΗ:(ΣΙΒΑΚΟΥΓΑΝ, 2005)	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΥΦΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ, ΠΗΓΗ:(FAO, 2015).....	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4 ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ,ΠΗΓΗ: (FAO, 2015).....	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ,ΠΗΓΗ: (FAO, 2015)	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΚΟΣΚΙΝΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ USCS ΚΑΙ BRITISH STANDARD, ΠΗΓΗ:(ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ Γ.,2022)...	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 1.....	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 1	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 1	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 2.....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 2	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 2	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.8 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 3.....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 3	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.10 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 3	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.11 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 4.....	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.12 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 4	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.13 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 4	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.14 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 5.....	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.15 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 5	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.16 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 5	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.17 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 6.....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.18 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 6	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.19 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 6	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.20 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 7.....	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.21 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 7	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.22 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 7	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.23 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 8.....	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.24 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 8	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.25 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 8	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.26 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 9.....	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.27 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 9	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.28 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 9	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.29 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 10.....	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.30 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 10	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.31 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 10.....	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.32 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (1)	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.33 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (2)	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.34 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΒΑΘΜΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ IP, ΠΗΓΗ: (ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ & ΧΑΙΚΑΛ,2017)	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.35 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 1	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.36 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 1	83

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.37 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 2	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.38 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 2	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.39 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 3	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.40 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 3	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.41 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 4	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.42 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 4	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.43 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 5	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.44 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 5	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.45 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 6	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.46 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 6	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.47 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 7	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.48 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 7	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.49 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ 8	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.50 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 8	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.51 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG (1)	91
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.52 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG (2)	91

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 1.....	58
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 2.....	60
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.3 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 3.....	62
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.4 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 4.....	64
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.5 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 5.....	66
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.6 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 6.....	68
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.7 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 7.....	70
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.8 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 8.....	72
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.9 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 9.....	74
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.10 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 10.....	76
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.11 Όριο Υδαροτητας ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 1.....	83
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.12 Όριο Υδαροτητας ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 2.....	84
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.13 Όριο Υδαροτητας ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 3.....	85
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.14 Όριο Υδαροτητας ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 4.....	86
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.15 Όριο Υδαροτητας ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 5.....	87
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.16 Όριο Υδαροτητας ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 6.....	88
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.17 Όριο Υδαροτητας ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 7.....	89
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.18 Όριο Υδαροτητας ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 8.....	90

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο φλοιός της Γης φιλοξενεί ένα πολύπλοκο πλέγμα γεωλογικών σχηματισμών, ο καθένας με τη δική του μοναδική σύνθεση και χαρακτηριστικά. Αυτοί οι σχηματισμοί παίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση των τοπίων και των περιβαλλόντων στα οποία ζούμε. Το νησί της Σύρου, που βρίσκεται στην καρδιά του Αιγαίου Πελάγους, δεν αποτελεί εξαίρεση σε αυτή τη γεωλογική ποικιλομορφία. Το νησί της Σύρου, μέρος του αρχιπελάγους των Κυκλάδων στην Ελλάδα, προσφέρει ένα συναρπαστικό γεωλογικό μωσαϊκό με ποικίλους εδαφικούς σχηματισμούς που έχουν κεντρίσει την προσοχή των ερευνητών εδώ και χρόνια.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ξεκινά ένα ταξίδι για να εξερευνήσει και να κατανοήσει τα περίπλοκα φυσικά χαρακτηριστικά και τις μηχανικές ιδιότητες των δειγμάτων εδάφους που προέρχονται από τους σχηματισμούς της νήσου Σύρου.

Το νησί της Σύρου, γνωστό για την πλούσια γεωλογική του κληρονομιά, αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα, ιζηματογενή στρώματα και ηφαιστειακές αποθέσεις. Η γεωλογική ιστορία του νησιού εκτείνεται σε εκατομμύρια χρόνια και περιλαμβάνει τεκτονικές δυνάμεις, ηφαιστειακή δραστηριότητα και ιζηματογενείς διεργασίες. Αυτές οι γεωλογικές διεργασίες είχαν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό μιας ποικιλίας διαφορετικών τύπων εδάφους, καθένας από τους οποίους έχει το μοναδικό σύνολο φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του.

Η κατανόηση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους είναι υψίστης σημασίας σε διάφορους τομείς. Στη γεωλογία, βοηθά στην αποκάλυψη της γεωλογικής ιστορίας του νησιού, ενώ στην πολιτική μηχανική, παίζει καθοριστικό ρόλο στο σχεδιασμό σταθερών θεμελίων για έργα υποδομής. Επιπλέον, στην περιβαλλοντική επιστήμη, τα χαρακτηριστικά του εδάφους είναι σημαντικά για την αξιολόγηση της γονιμότητας του εδάφους, της περιεκτικότητας σε θρεπτικά συστατικά και των επιπέδων μόλυνσης. Τα δείγματα εδάφους της Σύρου χρησιμεύουν ως μικρόκοσμος αυτών των διεπιστημονικών ενδιαφερόντων.

Οι μηχανικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων είναι εξίσου σημαντικές. Είναι χρήσιμες καθώς παρέχουν ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τη συμπίεστικότητα, τη διατμητική αντοχή και τη συμπεριφορά καθίζησης ενός εδάφους για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της σταθερότητας των κατασκευών που έχουν κατασκευαστεί σε αυτά τα εδάφη. Επιπλέον, η λεπτομερής κατανόηση των μηχανικών ιδιοτήτων μπορεί να βοηθήσει στο σχεδιασμό οικονομικά αποδοτικών και βιώσιμων τεχνικών κατασκευής, ιδίως σε νησιά όπως η Σύρος, όπου οι πόροι μπορεί να είναι περιορισμένοι.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επιδιώκει να εκπληρώσει διάφορους στόχους:

1. ****Φυσικά χαρακτηριστικά****: Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε το θεωρητικό υπόβαθρο των φυσικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων εδάφους. Οι ιδιότητες αυτές περιλαμβάνουν την κατανομή του μεγέθους των κόκκων, την σχετική πυκνότητα και τα όρια Atterberg ή τα όρια συνεκτικότητας.

2. ****Μηχανικές ιδιότητες****: Εδώ, θα εμβαθύνουμε στις μηχανικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων. Αυτό θα περιλαμβάνει τον προσδιορισμό παραμέτρων όπως η διατμητική αντοχή, και η διαπερατότητα για τα χονδρόκοκκα όσο και για τα λεπτόκοκκα εδάφη.

3. ****Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα****: Σε αυτή την ενότητα θα πραγματοποιηθούν οι πειραματικές δοκιμές με τα εδαφικά δείγματα που έχουν συλλεγεί από το νησί της Σύρου και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τις δοκιμές κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα καθώς και της δοκιμής προσδιορισμού ορίων συνεκτικότητας ή ορίων Atterberg.

4. ****Συμπεράσματα****: Στην τελευταία ενότητα θα γίνει παρουσίαση των συμπερασμάτων που προκύπτουν από του υπολογισμούς στο προηγούμενο κεφάλαιο καθώς και από όλη την εργασία.

Εν κατακλείδι, οι γεωλογικοί σχηματισμοί και οι τύποι εδάφους της Σύρου αποτελούν έναν συναρπαστικό καμβά για επιστημονική εξερεύνηση. Η παρούσα πτυχιακή εργασία προσπαθεί να διαλευκάνει τα μυστήρια που κρύβει το έδαφος, ρίχνοντας φως στα φυσικά χαρακτηριστικά και στις μηχανικές ιδιότητες που στηρίζουν τη γεωλογική και μηχανική σημασία του νησιού. Καθώς ξεκινάμε αυτό το ταξίδι, ελπίζουμε να συνεισφέρουμε πολύτιμες γνώσεις που μπορούν να αξιοποιηθούν για τη βελτίωση των υποδομών και του περιβάλλοντος του νησιού της Σύρου.

Κεφάλαιο 1 : ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΛΑΦΩΝ

Το έδαφος περιέχει κόκκους σε διάφορα μεγέθη και ποικίλες διατάξεις. Θα εξεταστούν ξεχωριστά τα φυσικά χαρακτηριστικά των άμμων και των χαλικιών, όπου είναι χονδρόκοκκα εδάφη χωρίς συνοχή, και ξεχωριστά τα χαρακτηριστικά των ιλύων και των αργίλων, που είναι λεπτόκοκκα εδάφη με συνοχή. (Σακελλαρίου, 2007).

Πιο αναλυτικά τα εδάφη, διακρίνονται σε χονδρόκοκκα (χάλικες και άμμοι) και λεπτόκοκκα (ιλείς και άργιλοι). Τα εδάφη αυτά διαφέρουν ως προς τον τρόπο σχηματισμού τους, το μέγεθος και σχήμα των κόκκων τους, τη μορφή της επιφάνειας και την διάταξη των κόκκων τους.

Ειδικότερα τα χονδρόκοκκα προέρχονται κατά κύριο λόγο από τη μηχανική αποσάθρωση των βράχων, ενώ τα λεπτόκοκκα από χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων. Σχετικά με το μέγεθος των κόκκων: εδάφη με κόκκους $>$ από 2 mm χαρακτηρίζονται ως χάλικες, εδάφη με κόκκους που κυμαίνονται από 0.06 mm έως 2mm χαρακτηρίζονται ως άμμοι, εδάφη με κόκκους που κυμαίνονται από 0.002 mm έως 0.06 mm χαρακτηρίζονται ως ιλείς και, τέλος, εδάφη με κόκκους $<$ από 0.002 mm χαρακτηρίζονται ως άργιλοι (Εικόνα 1.1).

Άργιλοι	Ιλείς			Άμμοι			Χάλικες						
	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές				
0.001	0.002	0.006	0.02	0.06	0.1	0.2	0.6	1	2	6	10	20	60

Διαστάσεις κόκκων (mm)

Εικόνα 1.1 Μεγέθη κόκκων εδαφικών υλικών, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)

Οι κόκκοι των χονδρόκοκκων εδαφών είναι κυρίως σφαιροειδείς και η μορφή της επιφάνειας τους κυμαίνεται μεταξύ λείας (σε περιπτώσεις εδαφών όπου η επιφάνεια των κόκκων έχει λειανθεί λόγω διάβρωσης) και γωνιώδους (σε περιπτώσεις πρόσφατων κλαστικών ιζημάτων).

Η διάταξη των σωματιδίων των χονδρόκοκκων εδαφών καθορίζεται από το μέγεθος, το βάρος, το σχήμα της επιφάνειας και τις δυνάμεις επαφής που ασκούνται μεταξύ των σωματιδίων. Η διάταξη των κόκκων παράγει μια δομή με πυκνότητα η τιμή της οποίας κυμαίνεται μεταξύ ενός ελάχιστου αριθμού (χαλαρή δομή) και ενός μέγιστου αριθμού (πυκνή δομή).

Αντίθετα, οι κόκκοι λεπτόκοκκων εδαφών είναι πεπλατυσμένοι και έχουν μορφή πλακιδίων μικρού πάχους που ανήκει στην ίδια τάξη μεγέθους με το μόνιό τους. Η μεγάλη διαφορά στην επιφάνεια των κόκκων μεταξύ των χονδρόκοκκων και των λεπτόκοκκων εδαφών καθορίζει την τελείως διαφορετική δομή τους και, κατά συνέπεια, τις διαφορές της συμπεριφοράς τους (Καββαδάς, 2006).

Τέλος τα εδάφη διαχωρίζονται σε:

- 1) μη συνεκτικά (χονδρόκοκκα) και
- 2) συνεκτικά (λεπτόκοκκα)

Τα μη συνεκτικά εδάφη χαρακτηρίζονται από την απουσία ελκτικών δυνάμεων μεταξύ των κόκκων, δηλαδή την απουσία συνοχής, ενώ αντίθετα στα συνεκτικά αναπτύσσονται δυνάμεις συνοχής και κατ'επέταση την παρουσία έλξης μεταξύ των κόκκων τους (Βουδούρης, 2016).

1.1 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Τα κυριότερα φυσικά χαρακτηριστικά των μή-συνεκτικών (χονδρόκοκκων) εδαφών είναι η κοκκομετρική διαβάθμιση, δηλαδή το ποσοστό στο οποίο περιέχονται κόκκοι συγκεκριμένης διαμέτρου, και η σχετική πυκνότητα, που μετράει το πόσο αραιή ή πυκνή είναι η διάταξη των κόκκων. Πιο αναλυτικά παρουσιάζονται στις παρακάτω υποενότητες (Σακελλαρίου, 2007).

1.1.1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ

Το μέγεθος των κόκκων και η κατανομή τους σε ένα εδαφικό δείγμα επηρεάζουν τη μηχανική συμπεριφορά των μή-συνεκτικών εδαφών και έτσι μελετώνται σε αυτό το κεφάλαιο των φυσικών χαρακτηριστικών. Στα εδάφη απαντώνται κόκκοι σε ευρεία ποικιλία μεγεθών. Οι χάλικες αποτελούνται από κόκκους που έχουν μέγεθος αρκετών εκατοστών, ενώ οι άργιλοι αποτελούνται από κόκκους μεγέθους $< 1 \mu\text{m}$, δηλαδή είναι 10000 φορές μικρότεροι από τους χάλικες.

Υπάρχουν ποικίλες μέθοδοι για την κατάταξη των εδαφών με κριτήριο το μέγεθος των κόκκων τους. Ο Πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει την κατάταξη των Βρετανικών Κανονισμών, η οποία αποσκοπεί να γίνει αποδεκτή στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα (Πίνακας 1.1):

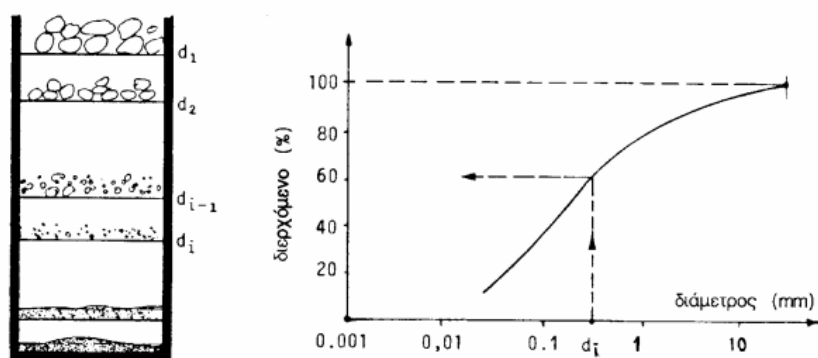
Πίνακας 1.1 Κατάταξη εδαφών σύμφωνα με μέγεθος κόκκων κατά τον Βρετανικό Κανονισμό, Πηγή: (Στοιχεία εδαφομηχανικής, Μ. Καββαδάς, 2006)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΩΝ (mm)	
		ΑΠΟ	ΕΩΣ
ΧΑΛΙΚΕΣ	ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟΙ	60	20
	ΜΕΣΟΚΟΚΚΟΙ	20	6
	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟΙ	6	2
ΑΜΜΟΙ	ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΕΣ	2	0,6
	ΜΕΣΟΚΟΚΚΕΣ	0,6	0,2
	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΕΣ	0,2	0,06
ΙΛΕΙΣ	ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΕΣ	0,06	0,02
	ΜΕΣΟΚΟΚΚΕΣ	0,02	0,006
	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΕΣ	0,006	0,002
ΑΡΓΙΛΟΙ	-	$< 0,002$	-

Η κατανομή των μεγεθών των κόκκων του εδάφους (κοκκομετρική διαβάθμιση) προσδιορίζεται γίνεται για τις άμμους και τους χάλικες με την επανομαζόμενη

"κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα", και για τους άργιλους και τις ιλείς με την "κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο του αραιομέτρου".

Η κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα γίνεται με μηχανική δόνηση του δείγματος εδαφικού υλικού μέσω μιας σειράς κοσκίων με διάσταση οπής που μικραίνει βαθμιαία και την μέτρηση του βάρους του υλικού που συγκρατείται σε κάθε κόσκινο (Εικόνα 1.2). Υπάρχουν ποικίλα πρότυπα μεγέθη (διαστάσεις οπής) για τα κόσκινα. Κόσκινα που ακολουθούν την Αμερικανική Προδιαγραφή ASTM D422-1980 χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα. Ο κωδικός και η διάσταση οπής των κοσκίων αυτών της Αμερικανικής Προδιαγραφής φαίνονται στον Πίνακα 1.2:



Εικόνα 1.2 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)

Πίνακας 1.2 Κωδικός και διάσταση οπής κοσκίων Αμερικανικής Προδιαγραφής, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)

Αριθμός κοσκίνου (No)	Διάσταση οπής (mm)
4	4,75
10	2
20	0,85
40	0,425
60	0,25
100	0,15
140	0,106
200	0,075

Ακόμη το κόσκινο No 200 αντιστοιχεί περίπου στο συμβατικό όριο μεταξύ άμμων και ιλύων (0.06 mm). Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν είναι πρακτική η κατασκευή και χρήση κοσκίων για την κοκκομέτρηση εδαφών με μεγέθη κόκκων < από το No 200. Γι αυτό τον λόγο, η κοκκομετρική διαβάθμιση των λεπτόκοκκων εδαφών (ιλύων και αργίλων) προσδιορίζεται με τη μέθοδο του αραιομέτρου, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στο νόμο του Stokes που αναφέρεται στην κίνηση των σφαιρών σε ιξώδες ρευστό με επίδραση της βαρύτητας, σύμφωνα με τον οποίο η

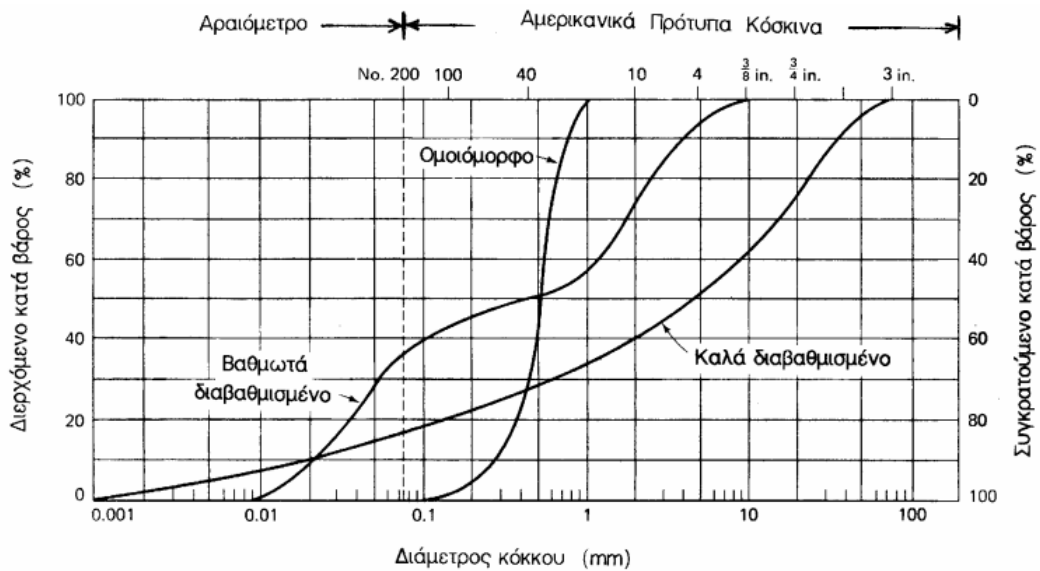
οριακή ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται από την πυκνότητα του ρευστού, τη διάμετρο και την πυκνότητα του υλικού των σφαιρών, και το ιξώδες του. Με τη μέθοδο του αραιομέτρου υπολογίζεται η πυκνότητα του μίγματος εδάφους και νερού σε διάφορους χρόνους και προσδιορίζεται η ταχύτητα με την οποία καταβυθίζονται οι κόκκοι του εδαφικού υλικού, όπου από αυτήν προκύπτει η κατανομή του μεγέθους των κόκκων (Καββαδάς, 2006).

Η κοκκομετρική διαβάθμιση ενός εδαφικού υλικού, ως επακόλουθο της κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα και του αραιόμετρου, παρουσιάζεται σε μια γραφική παράσταση που ονομάζεται Κοκκομετρική Καμπύλη και κατασκευάζεται σε ημιλογαριθμικό χαρτί, όπου στη δεκαδική κλίμακα εισάγεται το ποσοστό κ.β. των κόκκων που είναι λεπτότεροι από τη συγκεκριμένη διάμετρο κόκκων και στη λογαριθμική κλίμακα οι διάμετροι των κόκκων (Χριστοδούλου, 2021).

Στην Εικόνα 1.3 βλέπουμε ένα τέτοιο διάγραμμα όπου παρουσιάζονται και τυπικές κοκκομετρικές καμπύλες ενός καλά διαβαθμισμένου (δηλαδή με ποικιλία κόκκων) εδάφους και ενός εδάφους με ομοιόμορφους κόκκους (Καββαδάς, 2006). Αυτές οι καμπύλες δείχνουν το ποσοστό των κόκκων που έχουν ίσο ή μικρότερο μέγεθος από την αντίστοιχη τιμή της τετμημένης και μπορεί να έχει 1 από τις 3 χαρακτηριστικές μορφές που αναφέρονται παρακάτω :

- **Καμπύλη με ισχυρή κλίση:** Δείχνει ομοιόμορφο έδαφος με κόκκους που έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος.
- **Καμπύλη με ήπια κλίση:** Δείχνει μεγάλο εύρος διακύμανσης του μεγέθους των κόκκων δηλαδή ότι το έδαφος είναι καλά διαβαθμισμένο.
- **Καμπύλη με τμήματα διαφορετικής καμπυλότητας:** Δείχνει ότι το έδαφος αποτελεί μίγμα 2 ή περισσότερων ομοιόμορφων εδαφικών υλικών (λέγεται ότι το έδαφος είναι βαθμωτά διαβαθμισμένο) (Καραγιάννης , 2014).

Από τέτοιου τύπου διαγράμματα μπορούν να προσδιοριστούν ποσοτικά μεγέθη , όπως το ποσοστό του υλικού που είναι μικρότερο από κάποια συγκεκριμένη διάμετρο και το εύρος των διαμέτρων των κόκκων ενός εδαφικού υλικού. Ακόμη, υπολογίζονται η διάμετρος D10 (δηλαδή η διάμετρος κοσκίνου, από την οποία διέρχεται το 10% κ.β. του υλικού) και η διάμετρος D60 (δηλαδή η διάμετρος κοσκίνου, από την οποία διέρχεται το 60% κ.β. του υλικού) (Καββαδάς, 2006).



Εικόνα 1.3: Διάγραμμα κοκκομετρικής καμπύλης, Πηγή: (Μ. Καββαδάς, 2006)

Από την κλίση της κοκκομετρικής καμπύλης μεταξύ των διαμέτρων D10 και D60, μπορεί να προσδιοριστεί η ομοιογένεια του εδάφους. Σύμφωνα με τα παραπάνω, ορίζεται ο συντελεστής ομοιομορφίας:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

που εκφράζει την κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού.

Επομένως, όταν:

- $C_u < 5$, το έδαφος χαρακτηρίζεται ομοιόμορφο
- $C_u = 5-15$, το έδαφος χαρακτηρίζεται ανομοιόμορφο
- $C_u > 15$, το έδαφος χαρακτηρίζεται πολύ ανομοιόμορφο

Επίσης, από την κοκκομετρική καμπύλη μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής καμπυλότητας του εδαφικού υλικού, ο οποίος ορίζεται ως :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

και αποτελεί μέτρο της καμπυλότητας της γραμμής μεταξύ των σημείων D10 και D60.

Τέλος από το σχήμα της κοκκομετρικής καμπύλης μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες για τη διαβάθμιση του εδάφους. Ένα εδαφικό υλικό θεωρείται καλά διαβαθμισμένο όταν ικανοποιούνται τα παρακάτω κριτήρια:

$$1 \leq C_c \leq 3 \text{ και } C_u \geq 4 (\text{για χάλικες}) \text{ ή } C_u \geq 6 (\text{για άμμους})$$

όπου: C_c είναι ο συντελεστής καμπυλότητας και C_u είναι ο συντελεστής ομοιομορφίας. Αν το εδαφικό υλικό ικανοποιεί και τα δύο κριτήρια τότε θεωρείται καλά

διαβαθμισμένο ενώ αν δεν ικανοποιεί το 1 ή και τα 2 από τα κριτήρια που αναφέρονται παραπάνω θεωρείται μη διαβαθμισμένο (Χριστοδούλου, 2021).

Η καλή διαβάθμιση υποδηλώνει σχετική σταθερότητα, αντίσταση στη διάβρωση και μεγάλη αντοχή στη διάτμηση (Βουδούρης, 2016).

1.1.2 ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Ένα μη-συνεκτικό εδαφικό υλικό μπορεί να εμφανιστεί στη φύση με διάφορες τιμές του δείκτη πόρων (e), οι οποίες εξαρτώνται από την διάταξη των κόκκων του. Στην ελάχιστη πυκνότητα αντιστοιχεί η πιο χαλαρή διάταξη κόκκων με το μέγιστο ποσοστό κενών. Η ελάχιστη αυτή πυκνότητα μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά τη βραδεία απόθεση άμμου μέσα σε νερό με συνθήκες που αντιστοιχούν με αυτές της ιζηματογένεσης. Έτσι, οι πυκνότητες των πρόσφατων αποθέσεων άμμου προσεγγίζουν την ελάχιστη πυκνότητα.

Η μέγιστη πυκνότητα αντιστοιχεί στη πιο πυκνή διάταξη των κόκκων με το ελάχιστο ποσοστό κενών. Η μέγιστη πυκνότητα αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με συνεχόμενη και έντονη δόνηση της άμμου, η οποία προκαλεί συμπύκνωση επαναδιατάσσοντας τους κόκκους της σε πυκνότερη δομή. Προφανώς, η μέγιστη και η ελάχιστη πυκνότητα είναι συμβατικές ποσότητες, που αναφέρονται σε τυπικές εργαστηριακές δοκιμές (π.χ. σε συγκεκριμένο τρόπο δόνησης άμμου).

Έτσι, μια άμμος μπορεί να υπάρξει στη φύση με πυκνότητα μεγαλύτερη από τη μέγιστη ή μικρότερη από την ελάχιστη συμβατική. Ένα μέγεθος που χρησιμεύει στο χαρακτηρισμό της κατάστασης μιας άμμου σχετικά με την μέγιστη και τη ελάχιστη πυκνότητα είναι η επονομαζόμενη σχετική πυκνότητα (D_r), που ορίζεται ως:

$$D_r \equiv \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100 (\%)$$

όπου:

e : ο πραγματικός δείκτης πόρων άμμου

e_{max} : ο δείκτης πόρων που αναλογεί στην ελάχιστη συμβατική πυκνότητα (μέγιστη τιμή του δείκτη πόρων)

e_{min} : ο δείκτης πόρων που αναλογεί στη μέγιστη συμβατική πυκνότητα (ελάχιστη τιμή του δείκτη πόρων) (Χρηστάρας Β., 2011).

Οι τιμές της ελάχιστης και μέγιστης πυκνότητας άμμου εξαρτώνται από την ποικιλία των μεγεθών της και το σχήμα. Κατά συνέπεια, όσο πιο μεγάλη είναι η ποικιλία μεγεθών των κόκκων και όσο αυτοί είναι πιο σφαιρικοί σε έναν αμμόωδη σχηματισμό, η μέγιστη και η ελάχιστη πυκνότητα είναι πιο μεγάλες (Καββαδάς, 2006). Στον ακόλουθο Πίνακα 1.3 παρουσιάζεται ο τρόπος κατάταξης των αμμοδών εδαφών με βάση τη σχετική τους πυκνότητα:

Πίνακας 1.3 Κατάταξη εδαφών βάση σχετικής πυκνότητας, Πηγή: (Μ. Καββαδάς, 2006)

Σχετική πυκνότητα (%)	Περιγραφή μη-συνεκτικού εδάφους
0 – 15	Πολύ χαλαρό
15 – 35	Χαλαρό
35 – 65	Μέσης πυκνότητας
65 – 85	Πυκνό
85 – 100	Πολύ πυκνό

Ο δείκτης πόρων (e) ορίζεται ως:

$$e = \frac{V_n}{V_\sigma}$$

όπου:

V_n : ο όγκος των διακένων

V_σ : ο όγκος της στερεάς φάσης του εδάφους (Βουδούρης, 2016).

Τέλος ο δείκτης πόρων δεν μπορεί να υποδηλώσει από μόνος του την πυκνότητα απόθεσης εδαφικών υλικών, αφού στη φύση κυμαίνεται μεταξύ μιας ελάχιστης $e_{\min}$, και μιας μέγιστης, $e_{\max}$ τιμής. Η τιμή του δείκτη πόρων εξαρτάται κάθε φορά από τη διαδικασία απόθεσης αλλά και από την διαδρομή των τάσεων που έχουν δράσει στο εδαφικό υλικό. Στον ακόλουθο Πίνακα 1.4 παρουσιάζονται τιμές μέγιστης και ελάχιστης πυκνότητας δείκτη πόρων σύμφωνα με την περιγραφή του εδαφικού υλικού (Λουπασάκης, 2014).

Πίνακας 1.4 Μέγιστες και ελάχιστες τιμές πυκνότητας δείκτη πόρων ανάλογα με τη περιγραφή εδαφικού υλικού, Πηγή: (Λουπασάκης, 2014)

Περιγραφή εδαφικού υλικού	$e_{\max}$	$e_{\min}$
Καλά διαβαθμισμένη λεπτή ως χονδρόκοκκη άμμος	0,70	0,35
Ομοιόμορφη λεπτή έως μέση άμμος	0,85	0,50
Ιλυώδης άμμος και Χάλικες	0,80	0,25
Μαρμαρυγιακή άμμος με ίλυ	1,25	0,75

1.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα κύρια φυσικά χαρακτηριστικά των εδαφών χωρίς συνοχή είναι η κοκκομετρική διαβάθμιση και η σχετική πυκνότητα. Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά, μπορεί να γίνει μια αρχική εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους. Στα εδάφη με συνοχή (άργιλοι και ιλύες) δεν γίνεται να κοσκινιστούν λόγω του μεγέθους των κόκκων τους που είναι πολύ μικρό και έτσι ο προσδιορισμός των ανωτέρω φυσικών χαρακτηριστικών τους δεν είναι εύκολα εφικτός, και, επιπλέον, τα χαρακτηριστικά αυτά δεν συσχετίζονται άμεσα με τις μηχανικές ιδιότητες τους. Για αυτούς τους λόγους, σε αντιστοιχία με τα εδάφη χωρίς συνοχή, τα κύρια φυσικά χαρακτηριστικά των συνεκτικών εδαφών είναι τα όρια Atterberg και το ποσοστό υγρασίας (Βουδούρης, 2016), (Σακελλαρίου, 2007).

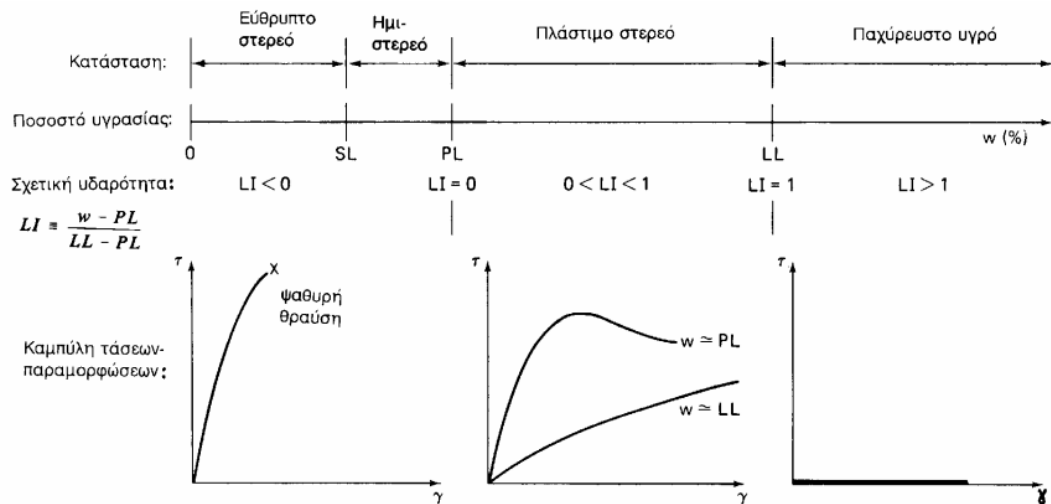
Η παρουσία νερού έχει καθοριστική επίδραση στη μηχανική συμπεριφορά των συνεκτικών εδαφών. Όταν μεταβάλλεται η περιεχόμενη υγρασία παρατηρείτε ότι με την αύξησή της μεταβάλλετε η κατάσταση του εδάφους από στερεή σε υδαρή κατάσταση. Αυτή η επιρροή ερμηνεύετε στην ιδιότητα που έχουν τα υλικά που είναι πολύ λεπτόκοκκα να προσροφούν νερό με ισχυρές δυνάμεις στην επιφάνεια των κόκκων τους, οι οποίοι έχουν πλακοειδές σχήμα. Παρακάτω θα δωθούν οι ορισμοί των ορίων Atterberg (Σακελλαρίου, 2007).

1.2.1 ΟΡΙΑ ATTERBERG

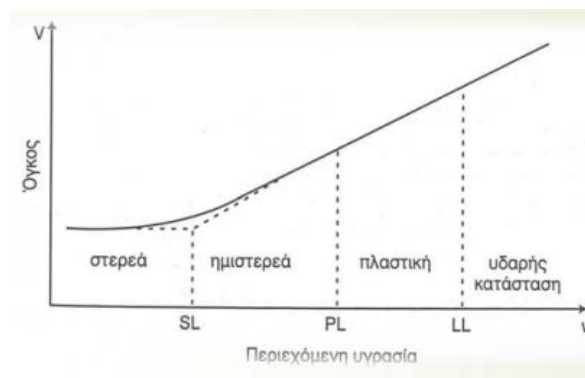
Παραπάνω αναφέρθηκε ήδη ότι η μηχανική συμπεριφορά ενός εδαφικού υλικού επηρεάζεται από την παρουσία νερού στους πόρους του. Αυτή η επιρροή είναι πολύ σημαντική στα εδάφη με συνοχή. Στην εικόνα 1.4 παρουσιάζετε η σταδιακή μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών ενός εδάφους με συνοχή καθώς αυξάνεται το ποσοστό της υγρασίας. Είναι ξεκάθαρο ότι, όσο το ποσοστό της υγρασίας αυξάνετε, τόσο η αλληλεπίδραση ανάμεσα στους κόκκους του εδαφικού υλικού μειώνεται και η συμπεριφορά του αρχίζει να μοιάζει με αυτή των ρευστών, ενώ όταν το ποσοστό της υγρασίας μειώνετε, το έδαφος συμπεριφέρεται σαν στερεό. Ανάλογα με την περιεχόμενη υγρασία, τα συνεκτικά εδάφη μεταπίπτουν στις ακόλουθες τέσσερις καταστάσεις: (Χριστοδούλου, 2021).

1. **Εύθρυπτο στερεό:** Σε αυτή τη κατάσταση το έδαφος εμφανίζει μεγάλο δείκτη δυσκαμψίας, δηλαδή δέχεται πολύ μικρές παραμορφώσεις, και καθώς και θραύση απότομη και ψαθυρή. Ποιοτικά, το έδαφος αυτό συμπεριφέρεται ανάλογα με άλλα ψαθυρά υλικά, όπως για παράδειγμα είναι το σκυρόδεμα.
2. **Ημιστερεό:** Αυτή η κατάσταση αποτελεί μια μεταβατική κατάσταση μεταξύ της προηγούμενης, δηλαδή του εύθρυπτου στερεού, και της επόμενης, δηλαδή του πλάστιμου στερεού, με κάποια ενδιάμεσα χαρακτηριστικά.
3. **Πλάστιμο στερεό:** Σε αυτή τη κατάσταση το έδαφος έχει την ικανότητα να πλάθεται, δηλαδή να δέχεται σημαντικές πλαστικές παραμορφώσεις χωρίς να υπάρχουν ρηγματώσεις και θραύση του υλικού. Με την αύξηση του ποσοστού υγρασίας στο εδαφικό υλικό, ο δείκτης δυσκαμψίας του μειώνεται βαθμιαία.
4. **Παχύρευστο υγρό:** Σε αυτή την κατάσταση το έδαφος δεν έχει την ικανότητα να αναλάβει διατμητικές τάσεις χωρίς να υφίσταται συνεχιζόμενη παραμόρφωση, δηλαδή ροή. Στο κάτω όριο της κατάστασης αυτής, δηλαδή εκεί που υπάρχουν μικρά ποσοστά υγρασίας, το έδαφος εμφανίζει χαρακτηριστικά ερπυσμού, όμως η συμπεριφορά του με καθώς αυξάνεται το ποσοστό υγρασίας εξελίσσεται με γοργούς ρυθμούς σε πραγματική ροή.

Στην εικόνα 1.5 βλέπουμε την συνεκτικότητα των εδαφών όπως αναφέρεται και παραπάνω.



Εικόνα 1.4 Μεταβολή συνεκτικότητας εδαφών ανάλογα με την περιεχόμενη υγρασία, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)



Εικόνα 1.5 Συνεκτικότητα εδαφών, Πηγή: (Χριστοδούλου, 2021)

Τα ποσοστά υγρασίας που αναλογούν στα όρια ανάμεσα στις τέσσερις καταστάσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω ονομάζονται:

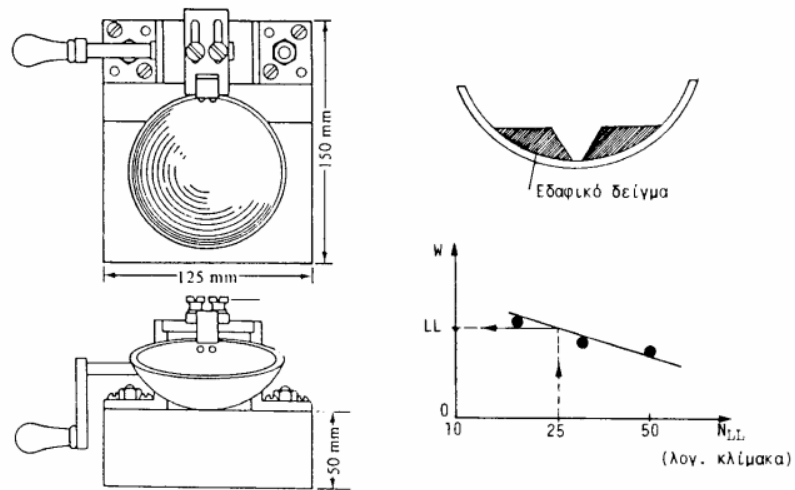
1. όριο συρρίκνωσης SL ή w_s : βρίσκεται ανάμεσα στη στερεά και ημιστερεά φάση,
2. όριο πλαστιμότητας PL ή w_p : βρίσκεται ανάμεσα στην ημιστερεά και πλαστική φάση
3. όριο υδαρότητας LL ή w_L : βρίσκεται ανάμεσα στην πλαστική και υδαρή φάση (βλέπε εικόνα 1.4 & 1.5).

Συνοπτικά τα όρια αυτά, λέγονται όρια συνεκτικότητας ή όρια Atterberg, και αποτελούν χαρακτηριστικές ιδιότητες των συνεκτικών υλικών και μπορούν να προσδιοριστούν με πρότυπες δοκιμές. Επομένως, το όριο υδαρότητας ορίζεται ως το ποσοστό υγρασίας, όπου μετά από 25 πτώσεις της κάρπας πάνω στην ειδική βάση, η εγκοπή που δημιουργήθηκε στο δείγμα εδαφικού υλικού στη συσκευή Casagrande (βλέπε εικόνα 1.6 & 1.7 & 1.8) κλείνει. Το όριο πλαστιμότητας ορίζεται ως το ποσοστό υγρασίας, όπου το εδαφικό υλικό που παίρνει τη μορφή επιμήκης πάστας καθώς πλάθεται με το χέρι πάνω σε γυάλινη επιφάνεια θρυμματίζεται όταν η διάμετρός του γίνει 3 mm (βλέπε εικόνα 1.9).

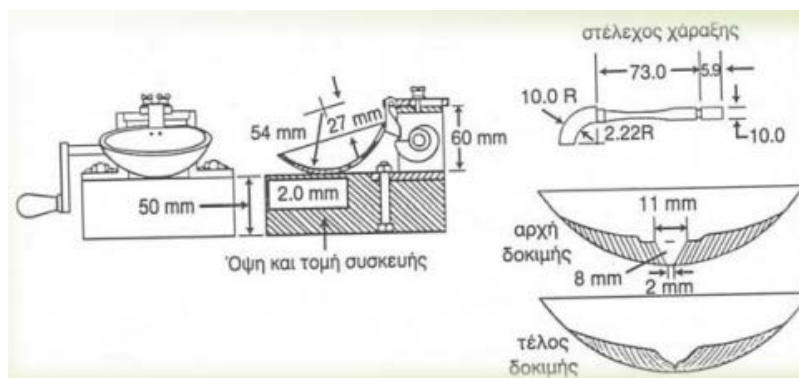
Τέλος, το όριο συρρίκνωσης ορίζεται ως το ποσοστό υγρασίας που είναι επαρκής για να γεμίσει τους πόρους όταν το έδαφος έχει τον ελάχιστο όγκο που μπορεί να αποκτήσει με ξήρανση του, δηλαδή το ποσοστό της υγρασίας όπου η περαιτέρω μείωση δεν μειώνει τον όγκο του συνεκτικού εδάφους.

Παρακάτω αναφέρονται δύο ακραίες καταστάσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν την δυνατότητα να μεταβάλετε η συμπεριφορά των αργιλικών εδαφών καθώς μεταβάλετε το ποσοστό υγρασίας:

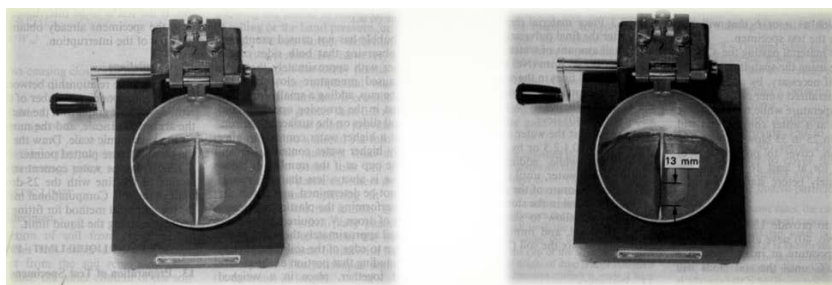
1. Αν αφαιρεθεί ολοκληρωτικά το νερό από τους πόρους μίας αργίλου, για παράδειγμα με θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες σε έναν κλίβανο, τότε η άργιλος αποκτά την συμπεριφορά ενός πραγματικού στερεού με μεγάλη αντοχή. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν τα κεραμικά είδη όπως τούβλα, κεραμίδια κ.α. Σε αυτή την κατάσταση της πλήρους αφαίρεσης του νερού απ' τους πόρους, τα πλακίδια της αργίλου πλησιάζουν αρκετά και αναπτύσσονται ανάμεσα τους δυνάμεις οι οποίες είναι ισχυρές ελκτικές ηλεκτροχημικές τύπου Van der Waals. Αυτές οι δυνάμεις είναι τόσο ισχυρές, έτσι ώστε να σταματήσουν να επιτρέπουν την προσρόφηση νερού στους πόρους της αργίλου και την διόγκωση του υλικού δηλαδή, την αύξηση του όγκου των κενών . Όντως, τα κεραμικά είδη δεν θρυμματίζονται και δεν χάνουν την αντοχή τους όταν εκτεθούν σε νερό.
2. Η δεύτερη ακραία κατάσταση που αναφέρετε είναι η υδαρής κατάσταση ενός μίγματος αργιλικού υλικού και νερού. Η κατάσταση αυτή συναντάται στον πάτο των θαλασσών πλησίον των εκβολών μεγάλων ποταμών και συγκροτεί το πρώτο στάδιο της ιζηματογένεσης. Στην κατάσταση αυτή τα πλακίδια της αργίλου αυτή καθιζάνουν βαθμιαία με την οριακή ταχύτητα σύμφωνα με το νόμο του Stokes. Εξαιτίας του μικρού μεγέθους που έχουν τα πλακίδια, η οριακή ταχύτητα είναι αρκετά μικρή και έτσι η διαδικασία αυτή είναι πιθανό να διαρκέσει εκατοντάδες χρόνια. Η φυσική σημασία των ορίων Atterberg συνίσταται στο γεγονός ότι τα εδάφη με συνοχή έχουν την ικανότητα να προσροφούν νερό στην επιφάνεια των αργιλικών τους πλακιδίων, το οποίο έχει ισχυρή σύνδεση με το συγκεκριμένο πλακίδιο χωρίς να παρουσιάζετε σημαντική μείωση στο βαθμό της ηλεκτροχημικής αλληλεπίδρασης ανάμεσα στα πλακίδια, με αποτέλεσμα ουσιαστικά η μηχανική τους αντοχή να μη μειώνεται .Είναι εμφανές ότι, η δυνατότητα προσρόφησης νερού χωρίς να υπάρχει σημαντική απώλεια αντοχής που αναφέρετε παραπάνω δεν είναι απερίοριστη. Αντιθέτως, το μεγαλύτερο ποσοστό νερού που μπορεί να απορροφηθεί στην επιφάνεια των πλακιδίων χωρίς να υπάρχει αλλαγή στην κατάσταση του εδαφικού υλικού (υδαρής, πλάστιμη, ημιστερεά, στερεά) προσδιορίζει τα όρια Atterberg. Άρα, αν ένα εδαφικό υλικό Α έχει πιο μεγάλη τάση να προσροφά νερό στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων του από ότι ένα εδαφικό υλικό Β, τότε το ποσοστό νερού στο οποίο το έδαφος Α μεταπίπτει στην υδαρή φάση είναι πιο μεγάλο από το ποσοστό νερού που αντιστοιχεί στο έδαφος Β, δηλαδή το έδαφος Β έχει μικρότερο όριο υδαρότητας από το Α. Η ίδια λογική μπορεί να εφαρμοστεί και στα υπόλοιπα όρια Atterberg.



Εικόνα 1.6 Συσκευή Casagrande για προσδιορισμό ορίου υδαρότητας, Πηγή: (Καβαδάς, 2006)



Εικόνα 1.7 Συσκευή Casagrande αρχή και τέλος δοκιμής, Πηγή: (Χριστοδούλου, 2021)



Εικόνα 1.8 Δείγμα πριν και μετά την δοκιμή στη συσκευή Casagrande, Πηγή: (Χριστοδούλου, 2021)



Εικόνα 1.9 Προσδιορισμός ορίου πλαστιμότητας, Πηγή: (Χριστοδούλου, 2021)

Με βάση τα όρια που αναφέρθηκαν παραπάνω, ορίζονται οι δείκτες συνεκτικότητας. Πιο συγκεκριμένα:

1. Δείκτης πλαστιμότητας:

$$PI \equiv I_p = w_L - w_p$$

εκφράζει το πλάτος της πλάστιμης περιοχής, δηλαδή το πλάτος της περιοχής όπου το εδαφικό υλικό συμπεριφέρεται ως πλάστιμο στερεό. Σαφώς όσο πιο ενεργά είναι τα αργιλικά πλακίδια του εκάστοτε εδαφικού υλικού, δηλαδή όσο μεγαλύτερη ποσότητα νερού μπορεί να προσροφηθεί στην επιφάνεια των πλακιδίων χωρίς να μειωθεί ιδιαίτερα ο βαθμός ηλεκτροχημικής αλληλεπίδρασης ανάμεσα στα πλακίδια τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο δείκτης πλαστιμότητας.

2. Δείκτης σχετικής υδαρότητας:

$$LI \equiv I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}$$

εκφράζει τη σχέση ανάμεσα στο πραγματικό ποσοστό υγρασίας (w) και στο όριο υδαρότητας. Όντως, αν το ποσοστό υγρασίας ισούται με το όριο υδαρότητας τότε $IL = 1$, ενώ αν ισούται με το όριο πλαστιμότητας $IL = 0$. Σε γενικές γραμμές, όταν οι τιμές του IL κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1 αντιστοιχούν στην πλάστιμη περιοχή. Αντιθέτως, όταν οι τιμές του IL είναι μικρότερες από 0 αντιστοιχούν στην ημιστερεά και στερεά κατάσταση, ενώ όταν οι τιμές του IL είναι μεγαλύτερες του 1 αντιστοιχούν στην υδαρή κατάσταση.

Πρέπει να αναφερθεί ότι τα όρια Atterberg και οι δείκτες συνεκτικότητας που προκύπτουν από αυτά έχουν οριστεί με εμπειρικό τρόπο και συνεπώς δεν έχουν ουσιώδη ποσοτική έννοια, δηλαδή δεν γίνεται να συσχετισθούν κατευθείαν, για παράδειγμα με το πάχος που έχει η στρώση του προσροφημένου νερού. Αυτό το μειονέκτημα, όμως, δεν περιορίζει καθόλου τη χρησιμότητά των ορίων και των δεικτών αυτών για την ποιοτική περιγραφή των συνεκτικών υλικών αλλά και για την κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι τα όρια Atterberg προσδιορίζονται σε αναμοχλευμένα δείγματα εδαφικού υλικού και έτσι δεν μπορούν να χρησιμεύσουν για να γίνει περιγραφή των ιδιοτήτων του υλικού οι οποίες εξαρτώνται από την παρουσία δομής για παράδειγμα προφόρτιση, ανισοτροπία, θιξοτροπικοί δεσμοί, σιμέντωση κ.α., εφόσον κατά την αναμόχλευση που προηγείται στις δοκιμές για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg ,η δομή του υλικού καταστρέφεται (Καββαδάς, 2006).

Κεφάλαιο 2 : ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

Τα εδάφη διαδραματίζουν θεμελιώδη ρόλο σε διάφορους κλάδους της μηχανικής, συμπεριλαμβανομένης της γεωτεχνικής μηχανικής, της πολιτικής μηχανικής και των κατασκευών. Η κατανόηση των μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό ασφαλών και αξιόπιστων κατασκευών, την αξιολόγηση της σταθερότητάς τους και την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του εδάφους υπό διαφορετικές συνθήκες φόρτισης και περιβάλλοντος. Οι μηχανικές ιδιότητες των εδαφών περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών που διέπουν την απόκρισή τους στις εφαρμοζόμενες δυνάμεις, την παραμόρφωση και τους μηχανισμούς αστοχίας.

Οι μηχανικές ιδιότητες των εδαφών επηρεάζονται από πολυάριθμους παράγοντες, όπως η κοκκομετρική κατανομή, η ορυκτολογία, το υλικό, η συμπίκνωση, η περιεκτικότητα σε υγρασία και η εντατική κατάσταση. Διαφορετικοί τύποι εδαφών, συμπεριλαμβανομένων των χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων εδαφών, παρουσιάζουν διακριτή μηχανική συμπεριφορά λόγω των εγγενών χαρακτηριστικών τους. Τα χονδρόκοκκα εδάφη, που αποτελούνται από μεγαλύτερα σωματίδια, όπως χαλίκι, άμμος και ιλύς, διαθέτουν συγκεκριμένες μηχανικές ιδιότητες που τα καθιστούν κατάλληλα για την υποστήριξη βαρέων φορτίων και την παροχή καλής αποστράγγισης. Από την άλλη πλευρά, τα λεπτόκοκκα εδάφη, όπως οι άργιλοι και οι ιλύες, παρουσιάζουν μοναδικές ιδιότητες που σχετίζονται με την πλαστικότητα, τη συμπιεστότητά τους και την ευαισθησία τους στην περιεκτικότητα σε υγρασία.

Οι βασικές μηχανικές ιδιότητες των εδαφών περιλαμβάνουν τη διατμητική αντοχή, τη διαπερατότητα, τη συμπιεστότητα, την καθίζηση, τη φέρουσα ικανότητα και τη σταθερότητα των πρανών. Η διατμητική αντοχή περιγράφει την ικανότητα ενός εδάφους να αντιστέκεται σε διατμητικές δυνάμεις και είναι ζωτικής σημασίας για την ανάλυση της ευστάθειας και τον σχεδιασμό των κατασκευών αντιστήριξης. Η διαπερατότητα ρυθμίζει τη ροή των ρευστών μέσα στο έδαφος, επηρεάζοντας τα χαρακτηριστικά αποστράγγισης και παγίωσης. Η συμπιεστότητα και η καθίζηση αναφέρονται στην τάση του εδάφους να υφίσταται μεταβολές όγκου και κατακόρυφη παραμόρφωση υπό την επίδραση φορτίων ή μεταβολών στην περιεκτικότητα σε υγρασία. Η φέρουσα ικανότητα καθορίζει το μέγιστο φορτίο που μπορεί να υποστηρίξει ένα έδαφος χωρίς υπερβολική καθίζηση ή αστοχία. Η ευστάθεια πρανών αξιολογεί την ευστάθεια φυσικών και τεχνητών πρανών, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η διατμητική αντοχή, η πίεση του νερού των πόρων και η γεωμετρία των πρανών.

Η κατανόηση των μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών είναι ζωτικής σημασίας για τους γεωτεχνικούς μηχανικούς, τους σχεδιαστές θεμελίων και τους επαγγελματίες των κατασκευών. Με τον χαρακτηρισμό και την ανάλυση αυτών των ιδιοτήτων, οι μηχανικοί μπορούν να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να αναπτύσσουν κατάλληλες μεθοδολογίες σχεδιασμού για να διασφαλίζουν τη σταθερότητα, την ασφάλεια και την ανθεκτικότητα των έργων υποδομής. Για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών διεξάγονται διάφορες εργαστηριακές δοκιμές και

δοκιμές πεδίου, οι οποίες παρέχουν πολύτιμα δεδομένα για μηχανολογικούς υπολογισμούς, προσομοιώσεις και εκτιμήσεις σχεδιασμού (Krishnan, 2014).

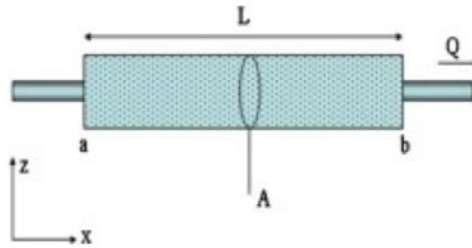
Αυτό το κεφάλαιο έχει ως στόχο να διερευνήσει τις μηχανικές ιδιότητες των εδαφών, και συγκεκριμένα την διατμητική αντοχή και τη διαπερατότητα των εδαφών, εστιάζοντας τόσο στα χονδρόκοκκα όσο και στα λεπτόκοκκα εδάφη. Αποκτώντας μια ολοκληρωμένη κατανόηση της μηχανικής του εδάφους, οι μηχανικοί μπορούν να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τις προκλήσεις που θέτουν τα εδάφη και να αναπτύξουν καινοτόμες λύσεις που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της βιώσιμης και ανθεκτικής ανάπτυξης υποδομών.

2.1 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Η υδατική ροή διαμέσου του εδάφους αποτελεί πρόβλημα που έχει τεράστιο ενδιαφέρον για το Γεωτεχνικό Μηχανικό. Σε κάποιες περιπτώσεις η ροή υδάτων ανάμεσα στο έδαφος είναι επιθυμητή (όπως στη περίπτωση άντλησης νερού για προμήθεια από τον υπόγειο ορίζοντα), ενώ σε άλλες δεν είναι (όπως στη περίπτωση υδατικής ροής ανάμεσα στον πυρήνα ενός φράγματος). Διαπερατά είναι όλα τα εδαφικά υλικά, αφού επικοινωνούν οι πόροι τους και σχηματίζουν συνεχείς διόδους. Τα διάφορα εδαφικά υλικά ως προς τη διαπερατότητά τους εμφανίζουν κάποιες διαφορές οι οποίες είναι καθαρά ποσοτικές, δηλαδή κάποια υλικά έχουν μεγάλη διαπερατότητα (όπως, χονδρόκοκκες άμμοι και χαλίκια), ενώ κάποια άλλα έχουν πολύ μικρή διαπερατότητα (όπως οι άργιλοι) (Καββαδάς, 2006).

Νόμος του Darcy:

Το 1856, ο Γάλλος υδραυλικός μηχανικός Henry Darcy δημοσίευσε μια έκθεση σχετικά με την παροχή νερού της πόλης Dijon στη Γαλλία. Σε αυτή την έκθεση, ο Darcy περιέγραψε το αποτέλεσμα ενός πειράματος που σχεδιάστηκε για να μελετήσει τη ροή του νερού μέσω ενός πορώδους μέσου. Το πείραμα του Darcy είχε ως αποτέλεσμα τη διατύπωση του μαθηματικού νόμου που περιγράφει τη ρευστή κίνηση σε πορώδη μέσα. Ο νόμος του Darcy δηλώνει ότι ο ρυθμός ροής ρευστού μέσω πορώδους μέσου είναι ανάλογος με τη δυνητική ενεργειακή κλίση μέσα σε αυτό το υγρό. Η σταθερά της αναλογικότητας είναι η *διαπερατότητα του εδάφους του Darcy*. Η διαπερατότητα του Darcy είναι μια ιδιότητα τόσο του πορώδους μέσου όσο και του υγρού που κινείται μέσω του πορώδους μέσου. Στην πραγματικότητα, ο νόμος του Darcy είναι το εμπειρικό ισοδύναμο της εξίσωσης Navier-Stokes. Η ταχύτητα ροής του Darcy για στρωτή ροή ορίζεται ως η ποσότητα ροής ρευστού κατά μήκος της υδραυλικής κλίσης ανά μονάδα επιφάνειας διατομής. Η ταχύτητα ροής μέσω πορώδους μέσου είναι ευθέως ανάλογη με την υδραυλική κλίση που είναι υπεύθυνη για τη ροή.



Εικόνα 2.1 Διάγραμμα που δείχνει τους όρους και τις κατευθύνσεις του νόμου του Darcy,
Πηγή: (Atangana, 2018)

Η εξίσωση που προκύπτει είναι η ακόλουθη:

$$V = Ki = K \times \frac{\Delta h}{L}$$

όπου, V = ταχύτητα εκκένωσης ή επιφανειακή ταχύτητα

k = συντελεστής διαπερατότητας ή υδραυλικής αγωγιμότητας

i = υδραυλική κλίση

Δh = πτώση της ολικού φορτίου

L = μήκος δείγματος εδάφους (Atangana, 2018).

Αναλυτικότερα στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζετε η μονοδιάστατη υδατική ροή ανάμεσα από εδαφικό στρώμα μήκους L . Αφού η στάθμη στις ανάντη και κατάντη δεξαμενές διατηρηθεί σταθερή, σε μικρό χρονικό διάστημα, στο εσωτερικό του εδαφικού στρώματος θα αποκατασταθούν συνθήκες μόνιμης ροής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το ζητούμενο είναι η διηθούμενη παροχή Q (δηλαδή η ποσότητα νερού που διηθείται ανά μονάδα χρόνου, σε m^3 / sec) και η εξάρτηση της από το μήκος L , τη διαφορά της στάθμης Δh των 2 δεξαμενών και το εμβαδόν A της διατομής του στρώματος του εδάφους. Αυτό το πρόβλημα μελετήθηκε για αμμώδεις σχηματισμούς από το Γάλλο Μηχανικό D' Arcy, (νόμος Darcy) που αναλύεται ως εξής:

$$Q = kA \times \frac{\Delta h}{L}$$

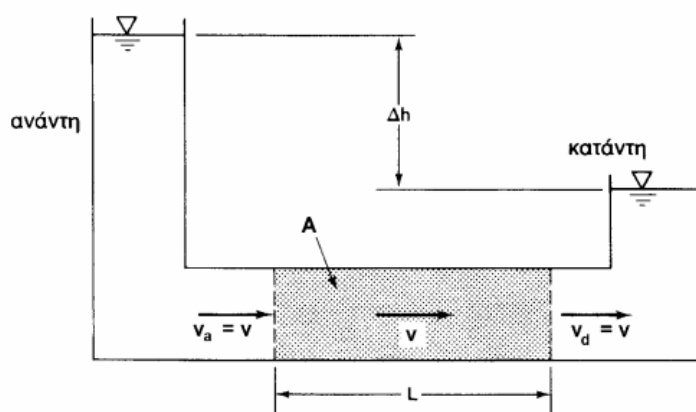
Η ποσότητα $i \equiv h/L$ λέγεται κλίση της πιεζομετρικής συνάρτησης ή υδραυλική κλίση. Ο συντελεστής k (που μετριέται με μονάδες ταχύτητας) χαρακτηρίζει το εδαφικό υλικό και ονομάζεται συντελεστής διαπερατότητας. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής αυτός, τόσο μεγαλύτερη και η παροχευτικότητα του εδαφικού υλικού, δηλαδή τόσο μεγαλύτερη παροχή θα περάσει μέσω του εδαφικού υλικού αν τα υπόλοιπα μεγέθη παραμείνουν σταθερά. Είναι εμφανές πως, ο συντελεστής διαπερατότητας εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων του εδαφικού υλικού και έτσι μεταβάλλεται όταν μεταβάλλεται ο βαθμός συμπύκνωσής του αφού δεν αποτελεί ιδιότητα του υλικού. Παραδείγματος χάριν, μια άμμος έχει πολύ μικρότερη διαπερατότητα όταν είναι συμπυκνωμένη με πολύ πυκνή δομή παρά όταν η δομή της είναι χαλαρή.

Ο συντελεστής διαπερατότητας εξαρτάται από τη σχετική πυκνότητα και το είδος του εδαφικού υλικού. Στον επόμενο Πίνακα δίνονται κάποιες τυπικές τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για διάφορους εδαφικούς σχηματισμούς:

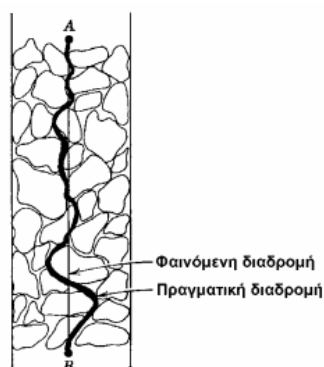
Πίνακας 2.1 Τυπικές τιμές συντελεστή διαπερατότητας, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)

ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	k (m/sec)
χάλικες	$1 - 10^{-2}$
καθαρές άμμοι	$10^{-2} - 10^{-5}$
λεπτόκοκκες άμμοι, ιλυώδεις άμμοι	$10^{-5} - 10^{-8}$
ιλείς, αργιλώδεις ιλείς	$10^{-6} - 10^{-9}$
άργιλοι	$10^{-8} - 10^{-11}$

Η ποσότητα: $v \equiv Q/A$ (με διαστάσεις ταχύτητας) ονομάζεται φαινόμενη ταχύτητα ροής και αντιπροσωπεύει την ευθύγραμμη απόσταση που διανύεται από τη ροή. Η φαινόμενη ταχύτητα της υδατικής ροής διαμέσου του εδάφους είναι μικρότερη από τη πραγματική ταχύτητα, επειδή η φαινόμενη διαδρομή της ροής είναι ευθύγραμμη και έτσι έχει μικρότερο μήκος από τη πραγματική που δεν είναι ευθύγραμμη (βλέπε Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.2 Μονοδιάστατη ροή διαμέσου του εδάφους, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)



Εικόνα 2.3 Διαδρομή ροής διαμέσου του εδάφους, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)

Αν θεωρηθεί ότι, προσεγγιστικά, η επιφάνεια A_v των πόρων σε διατομή (εμβαδού A) του εδαφικού υλικού είναι:

$$A_v = n \times A \text{ όπου } n: \text{πορώδες}$$

και ότι το κλάσμα της πραγματικής προς της φαινόμενης διαδρομής της ροής είναι ίσο με $\frac{A}{A_N}$, τότε υπάρχει σύνδεση μεταξύ πραγματικής ταχύτητας ροής $Vr = Q \times A_v$ με τη φαινόμενη ταχύτητα όπου δίνεται ως εξής:

$$vr = \frac{v}{n}$$

Ας σημειωθεί ότι επειδή $n < 1$, $vr > v$.

Συνδυάζοντας τις προηγούμενες σχέσεις προκύπτει μια άλλη μορφή του νόμου Darcy η:

$$v = ki$$

Ο ορισμός της υδραυλικής κλίσης i γενικεύεται, ώστε να μπορεί να έχει εφαρμογή και σε πολυπλοκότερες συνθήκες ροής, όπως στη μελέτη της πολυδιάστατης ροής. Ορίζεται, έτσι η πιεζομετρική συνάρτηση (με διαστάσεις μήκους):

$$h(x, y, z) \equiv z + \frac{u}{r_w \times g}$$

όπου

z : κατακόρυφη απόσταση από καθορισμένο οριζόντιο επίπεδο αναφοράς,

u : η υδατική πίεση,

ρ_w : η πυκνότητα του νερού και

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Στη συνέχεια, ορίζεται η κλίση της συνάρτησης h : $i \equiv \nabla h$ όπου είναι κι αυτή συνάρτηση της θέσης (x, y, z) . Στη γενική του μορφή ο νόμος του Darcy γράφεται:

$$v = -k \cdot i$$

για την περίπτωση τανυστικής ή ανισότροπης διαπερατότητας k , και για για την περίπτωση βαθμωτής ή ισότροπης διαπερατότητας k γράφεται: $v = -ki$.

Όταν οι υδατικές πιέσεις είναι υδροστατικές, το νερό στους εδαφικούς πόρους είναι ήρεμο (και κατά συνέπεια η ταχύτητα ροής μηδενίζεται), η πιεζομετρική συνάρτηση είναι σταθερή (και ίση με τη στάθμη ελεύθερης επιφάνειας) τότε η υδραυλική κλίση είναι μηδέν, δηλαδή μια τιμή που ικανοποιεί το νόμο του Darcy.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο νόμος Darcy δεν αποτελεί ένα φυσικό νόμο (δηλαδή ένα νόμο με γενική εφαρμογή) αλλά ένα καταστατικό νόμο, δηλαδή μια απλή προσέγγιση της πραγματικής συμπεριφοράς. Πιο συγκεκριμένα, είναι ο πιο απλός

καταστατικός νόμος για τη ροή διαμέσου ενός εδαφικού υλικού εξαιτίας της γραμμικής του μορφής (Καββαδάς, 2006).

Σχετικά με την σημασία της διαπερατότητας του εδάφους:

- Η διαπερατότητα επηρεάζει το ρυθμό καθίζησης ενός κορεσμένου εδάφους υπό φορτίο.
- Η σταθερότητα των πρανών και των κατασκευών αντιστήριξης μπορεί να επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τη *διαπερατότητα* που εμπλέκεται.
- Ο σχεδιασμός των χωμάτων των φραγμάτων βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη *διαπερατότητα του εδάφους* που χρησιμοποιείται.
- Τα φίλτρα από εδάφη σχεδιάζονται με βάση τη διαπερατότητά τους.

Σχετικά με τις ιδιότητες της διαπερατότητας του εδάφους:

- Επίλυση προβλημάτων άντλησης νερού διαρροής από εκσκαφές κατασκευών.
- Εκτίμηση της ποσότητας της υπόγειας διαρροής.
- Ανάλυση ευστάθειας χωμάτων κατασκευών και τοίχων αντιστήριξης της γης που υπόκεινται σε δυνάμεις διαρροής (Everson, 2019).

Στη συνέχεια ακολουθούν **παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπερατότητα του εδάφους**.

Η διαπερατότητα ενός εδάφους σχετίζεται στενότερα με το πορώδες του (δηλαδή τα κενά μεταξύ των σωματιδίων του εδάφους), αλλά το σχήμα των πόρων και ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται (ή όχι) μεταξύ τους επηρεάζουν επίσης τη διαπερατότητα.

Στα φυσικά εδάφη, η στρωματοποίηση του εδάφους μπορεί επίσης να έχει σημαντική επιρροή. Καθώς τα στρώματα του εδάφους δημιουργούνται με την πάροδο του χρόνου από διάφορες γεωλογικές διεργασίες, είναι σύνηθες τα στρωματοποιημένα εδάφη (εδάφη που εναποτίθενται σε στρώματα) να έχουν πολύ υψηλότερη διαπερατότητα στην οριζόντια κατεύθυνση από ό, τι κάθετα, μερικές φορές με συντελεστή 10 ή περισσότερο. Αυτό σημαίνει ότι το νερό μπορεί να ρέει οριζόντια μέσω του εδάφους γρηγορότερα από ό, τι ρέει κάθετα (Abg, Creative Geosynthetic Engineering, 2020).

Οι παράγοντες αυτοί αναλύονται περαιτέρω παρακάτω:

- Μέγεθος κόκκων ή μέγεθος σωματιδίων:

$$K = CD_{10}^2$$

Η παραπάνω εξίσωση δίνεται από τον Alan Hazen. Η διαπερατότητα εξαρτάται από το σχήμα και το υλικό των εδαφικών σωματιδίων και επίσης μεταβάλλεται ανάλογα με το τετράγωνο της διαμέτρου του μεγέθους των σωματιδίων.

- Λόγος κενών: Εάν η παρουσία κενών είναι μεγαλύτερη, τότε η διαπερατότητα είναι επίσης μεγαλύτερη.

$$K = \frac{e^3}{1 + 3}$$

- Σύνθεση: Για χαλίκια, άμμο και λάσπη παρουσία μαρμαρυγίας μπορεί να μειώσει τη διαπερατότητα του εδάφους. Για την άργιλο, το νερό που έλκεται μεταξύ των σωματιδίων της αργίλου μειώνει τη διαπερατότητα.
- Δομική διάταξη: Η αναδιαμόρφωση του φυσικού εδάφους μειώνει τη διαπερατότητα. Εάν το έδαφος περιέχει περισσότερα στρογγυλεμένα σωματίδια, η διαπερατότητα είναι μεγαλύτερη.
- Στρωματοποίηση: Όταν η ροή του νερού είναι παράλληλη με τις στρώσεις, η διαπερατότητα θα είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με τη ροή κάθετα στις στρώσεις.
- Παρουσία ξένων σωματιδίων και παγιδευμένου αέρα: Αυτό επηρεάζει τη διαπερατότητα καθώς μειώνει τον κενό χώρο και εμποδίζει τη διασύνδεση μεταξύ των πόρων.
- Βαθμός κορεσμού: Εάν το έδαφος είναι ξηρό ή μερικώς κορεσμένο, η διαπερατότητα του εδάφους είναι πάντα μικρότερη (Everson, 2019).

Οι τυπικές τιμές διαπερατότητας για τους συνήθεις τύπους εδαφών, και τι σημαίνουν αυτές όσον αφορά τα χαρακτηριστικά αποστράγγισης, συνοψίζονται στον Πίνακα 2.2. Όταν το k είναι μικρότερο από 10^{-6} cm/s, το έδαφος είναι πρακτικά αδιαπέραστο (Sivakugan, 2005).

Πίνακας 2.2 Χαρακτηριστικά διαπερατότητας και αποστράγγισης των εδαφών, Πηγή: (Sivakugan, 2005)

Διαπερατότητα (m/s)												
	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Αποστράγγιση	Καλή						Κακή			Πρακτικά αδιαπέραστα		
Τύποι εδαφών	Καθαρά χαλίκια	Καθαρές άμμοι, μίγματα καθαρής άμμου και χαλικιών				Πολύ λεπτή άμμος, οργανικές και ανόργανες ιλύες, μίγματα άμμου ιλύος και αργίλου, παγετώδεις αποθέσεις, στρωματοποιημένες αργλικές αποθέσεις κ.λπ.				Αδιαπέραστα εδάφη π.χ. ομοιογενείς άργιλοι κάτω από τη ζώνη διάβρωσης		
					"Αδιαπέραστα" εδάφη τροποποιημένα από τις επιδράσεις της βλάστησης & της διάβρωσης							

Διακύμανση διαπερατότητας ανάλογα με την υφή του εδάφους

Συνήθως, όσο λεπτότερη είναι η υφή του εδάφους, τόσο πιο αργή είναι η διαπερατότητα, όπως φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 2.3 Διαπεραρότητα σε σχέση με τη υφή του εδάφους, Πηγή: (FAO, 2015)

Εδάφη	Υφή	Διαπερατότητα
Αργιλώδη εδάφη (Clayey soils)	Λεπτόκοκκο	Από πολύ αργή σε πολύ γρήγορη
Πηλώδη εδάφη (Loamy soils)	Μέτρια λεπτόκοκκο	
	Μέτρια χονδρόκοκκο	
Αμμώδη εδάφη (Sandy soils)	Χονδρόκοκκο	

Παρακάτω αναφέρεται ένα παράδειγμα όπου παρουσιάζει την μέση διαπερατότητα για διαφορετικές εδαφικές συστάσεις σε cm/ώρα

Πίνακας 2.4 Μέση μηνιαία διαπερατότητα για διαφορετικές εδαφικές συστάσεις ,Πηγή: (FAO, 2015)

Άμμος(Sand)	5.0
Αμμώδης ιλύς(Sandy loam)	2.5
Ιλύς(loam)	1.3
Αργιλώδης ιλύς(Clay loam)	0.8
Αμμώδης άργιλος(Silty clay)	0.25
Αργιλος(clay)	0.05

Διακύμανση διαπερατότητας ανάλογα με τη δομή του εδάφους

Η δομή μπορεί να τροποποιήσει σημαντικά τα ποσοστά διαπερατότητας που φαίνονται παραπάνω, ως εξής:

Πίνακας 2.5 Διαπεραρότητα σε σχέση με τη δομή του εδάφους ,Πηγή: (FAO, 2015)

Τύπος δομής		Διαπερατότητα
Λεπτές, επίπεδες πλάκες εδάφους που βρίσκονται οριζόντια (Platy)	Μεγάλη επικάλυψη (Greatly overlapping)	Από πολύ αργή έως πολύ γρήγορη
Ελαφρά επικαλυπτόμενη(Slightly overlapping)		
Συμπαγής(Blocky)		
Πρισματικό(Prismatic)		
Κοκκώδης(Granular)		

(FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015).

2.1.1. ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ

Η διαπερατότητα στα χονδρόκοκκα εδάφη αναφέρεται στην ικανότητα των εδαφών με μεγαλύτερα μεγέθη σωματιδίων, όπως η άμμος και το χαλίκι, να επιτρέπουν τη ροή ρευστών μέσα από αυτά. Τα χονδρόκοκκα εδάφη παρουσιάζουν συνήθως υψηλότερη διαπερατότητα σε σύγκριση με τα λεπτόκοκκα εδάφη, λόγω των μεγαλύτερων πόρων τους και ενός πιο διασυνδεδεμένου λόγου κενών.

Η υψηλότερη διαπερατότητα των χονδρόκοκκων εδαφών αποδίδεται κυρίως στα μεγαλύτερα μεγέθη των σωματιδίων και στα μεγαλύτερα κενά που προκύπτουν ανάμεσα στα σωματίδια. Αυτά τα μεγαλύτερα κενά παρέχουν μονοπάτια για την κίνηση των ρευστών, επιτρέποντας στο νερό ή άλλα ρευστά να ρέουν ευκολότερα μέσα στο έδαφος.

Η διαπερατότητα των χονδρόκοκκων εδαφών μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες όπως η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων, το σχήμα των σωματιδίων, η συμπίεση και η δομή του εδάφους. Οι καλά διαβαθμισμένες άμμοι με ένα εύρος κοκκομετρικών διαστάσεων έχουν γενικά υψηλότερη διαπερατότητα σε σύγκριση με τις κακώς διαβαθμισμένες ή ομοιόμορφες άμμους. Επιπλέον, ταγωνιώδη ή ακανόνιστου σχήματος σωματίδια μπορούν να ενισχύσουν τη διαπερατότητα προωθώντας μια πιο ανοικτή και διασυνδεδεμένη δομή σε σύγκριση με τα στρογγυλεμένα σωματίδια.

Η διαπερατότητα των χονδρόκοκκων εδαφών συνήθως προσδιορίζεται ποσοτικά με την έννοια της υδραυλικής αγωγιμότητας. Η υδραυλική αγωγιμότητα αντιπροσωπεύει τον ρυθμό με τον οποίο τα ρευστά μπορούν να ρέουν μέσα από το έδαφος υπό υδραυλική κλίση. Εκφράζεται συνήθως σε μονάδες ταχύτητας, όπως μέτρα ανά δευτερόλεπτο ή εκατοστά ανά ώρα.

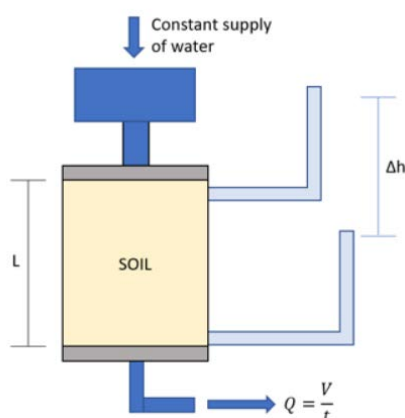
Για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας των χονδρόκοκκων εδαφών διεξάγονται συνήθως εργαστηριακές δοκιμές, όπως οι δοκιμές διαπερατότητας σταθερού φορτίου και η δοκιμή διαπερατότητας μεταβλητού φορτίου. Η μέθοδος δοκιμής σταθερού φορτίου χρησιμοποιείται για εδάφη χωρίς συνοχή και περισσότερο διαπερατά εδάφη ($k > 10^{-4}$ cm/s) και η δοκιμή μεταβλητού φορτίου χρησιμοποιείται κυρίως για συνεκτικά ή λιγότερο διαπερατά εδάφη ($K < 10^{-4}$ cm/s). Οι δοκιμές αυτές περιλαμβάνουν τη μέτρηση της ροής του νερού μέσω ενός εδαφικού δείγματος υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτές τις δοκιμές παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τον μηχανολογικό σχεδιασμό και την ανάλυση, όπως ο σχεδιασμός συστημάτων αποστράγγισης, η αξιολόγηση των χαρακτηριστικών διαρροής και η εκτίμηση της ροής των υπόγειων υδάτων.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, παρόλο που τα χονδρόκοκκα εδάφη έχουν γενικά μεγαλύτερη διαπερατότητα, οι πραγματικές τιμές διαπερατότητας μπορεί να διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό εντός αυτής της κατηγορίας εδαφών. Παράγοντες όπως το σχήμα των σωματιδίων, η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων, η συμπίεση και η παρουσία λεπτόκοκκων υλικών μπορούν να επηρεάσουν τα χαρακτηριστικά διαπερατότητας. Ως εκ τούτου, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ειδικές συνθήκες της

τοποθεσίας και να διεξάγονται κατάλληλες δοκιμές για τον ακριβή προσδιορισμό της διαπερατότητας των χονδρόκοκκων εδαφών για μηχανικές εφαρμογές.

ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

Αυτή η δοκιμή, όπως προαναφέρθηκε, συνιστάται όταν έχουμε ένα χονδρόκοκκο έδαφος, όπως η άμμος, όπου η ποσότητα εκροής του υγρού μέσω του δείγματος είναι μεγάλη. Είναι δυνατή η δοκιμή διαταραγμένων και αδιατάρακτων δειγμάτων. Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση ενός οργάνου που ονομάζεται διαπερατόμετρο σταθερού ύψους, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4 Διαπερατόμετρο σταθερού ύψους, Πηγή: (Gawan, 2020)

Υπάρχει μια δεξαμενή νερού επαφής και το νερό απελευθερώνεται στο δείγμα. Το πρώτο βήμα είναι ο πλήρης κορεσμός του εδάφους έως ότου από τον πυθμένα του διαπερατόμετρου προέρχεται μια σταθερή ροή (Q).

Είναι σημαντικό να αφήσετε το νερό να ρέει για κάποιο χρονικό διάστημα, ώστε να επιτευχθεί σταθερός ρυθμός ροής Q . Όταν το νερό απελευθερωθεί και το δείγμα κορεστεί, το νερό θα ανέλθει σε ένα ορισμένο ύψος στα πιεζόμετρα. Η διαφορά ύψους (Δh) αντιπροσωπεύει τη διαφορά της ενέργειας του νερού σε δύο διαφορετικά επίπεδα, που ονομάζεται επίσης "απώλεια ύψους". Η διαφορά της ενέργειας οδηγεί επίσης τη ροή.

Είναι ζωτικής σημασίας να διατηρείται σταθερή η απώλεια ύψους κατά τη διάρκεια αυτής της δοκιμής, ώστε η υδραυλική κλίση να είναι σταθερή, και για να επιτευχθεί αυτό, η παροχή νερού πρέπει να είναι σταθερή. Σημειώστε ότι το L είναι η διαδρομή ροής και όχι απαραίτητα το μήκος του εδαφικού δείγματος (Gawan, 2020).

Παρακάτω αναγράφονται αναλυτικά τα βήματα της μεθόδου:

1. Γίνεται μέτρηση της αρχικής μάζας του ταψιού μαζί με το ξηρό χώμα (M_1). Έπειτα αφαιρείται το καπάκι και ο άνω θάλαμος του διαπερατόμετρου, με ξεβίδωμα των παξιμαδιών με τα κοχλιωτά καπάκια και με ανασήκωσή τους από τις ράβδους σύνδεσης. Γίνεται μέτρηση της εσωτερικής διαμέτρου του άνω και του κάτω θαλάμου και υπολογίζεται η μέση εσωτερική διάμετρος του διαπερατόμετρου (D).

2. Κατόπιν τοποθετείται μια πορώδη πέτρα στον εσωτερικό δακτύλιο στήριξης στη βάση του θαλάμου και, στη συνέχεια, τοποθετείται ένα διηθητικό χαρτί πάνω στην πορώδη πέτρα.
3. Το χώμα αναμειγνύεται με αρκετό αποσταγμένο νερό ώστε να αποφευχθεί ο διαχωρισμός των μεγεθών των σωματιδίων κατά την τοποθέτησή τους στο διαπερατόμετρο. Έπειτα προστίθεται αρκετό νερό ώστε το μείγμα να μπορεί να ρέει ελεύθερα. Χρησιμοποιώντας μια σέσουλα με κυκλική κίνηση για να σχηματιστεί ένα ομοιόμορφο στρώμα, το προετοιμασμένο χώμα τοποθετείται στον κάτω θάλαμο, γεμίζοντάς τον σε βάθος 1,5 cm.
4. Γίνεται χρήση της συσκευής συμπίεσης για να συμπιεστεί το στρώμα του εδάφους, εφαρμόζοντας περίπου δέκα εμβολισμούς της τάμπας ανά στρώμα και να υπάρξει ομοιόμορφη κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους. Η διαδικασία συμπίκνωσης επαναλαμβάνεται έως ότου το έδαφος βρίσκεται σε απόσταση 2 cm από την κορυφή του τμήματος του κάτω θαλάμου.



Εικόνα 2.5 . Συμπίεση του δείγματος εδάφους στο καλούπι διαπερατότητας, Πηγή: (Hossain, et al., 2021)

5. Γίνεται αντικατάσταση του ανωτέρου τμήματος του θαλάμου, με προσοχή για να τοποθετηθεί το ελαστικό παρέμβυσμα (δακτύλιο) μεταξύ των τμημάτων του θαλάμου. Προσοχή να μην διαταραχθεί το έδαφος που έχει ήδη συμπιεστεί. Η διαδικασία τοποθέτησης συνεχίζεται μέχρι το επίπεδο του εδάφους να βρίσκεται περίπου 2 cm κάτω από το χείλος του άνω θαλάμου. Γίνεται ομαλοποίηση της επάνω επιφάνειας του εδάφους, και τοποθέτηση ενός διηθητικού χαρτιού και στη συνέχεια η άνω πορώδη πέτρα τοποθετείται από πάνω.



Εικόνα 2.6 Πλήρωση του καλουπιού διαπερατότητας σε τρία στρώματα, Πηγή: (Hossain, et al., 2021)

6. Γίνεται τοποθέτηση του ελατηρίου συμπίεσης στην πορώδη πέτρα και επανατοποθετείται το καπάκι του θαλάμου και το παρέμβυσμά του. Έπειτα γίνεται καλή σταθεροποίηση του καπακιού με τα παξιμάδια του.
7. Κατόπιν πρέπει να μετρηθεί το μήκος του δείγματος σε τέσσερις θέσεις γύρω από την περιφέρεια του διαπερατόμετρου, να υπολογιστεί το μέσο μήκος και να καταγραφεί ως μήκος του δείγματος.
8. Το ταψί με το υπόλοιπο χώμα διατηρείται στο φούρνο ξήρανσης.
9. Ακολουθεί ρύθμιση της στάθμης του χωνιού ώστε η σταθερή στάθμη του νερού σε αυτό να παραμένει μερικά εκατοστά πάνω από την κορυφή του εδάφους.
10. Ακόμη συνδέεται ο εύκαμπτος σωλήνας από την ουρά του χωνιού στην κάτω έξοδο του διαπερατόμετρου και οι βαλβίδες παραμένουν ανοικτές στο πάνω μέρος του διαπερατόμετρου. Σωληνάκι τοποθετείται από την επάνω έξοδο προς το νεροχύτη για συλλογή τυχόν νερών που απορρέουν. Έπειτα ανοίγει η κάτω βαλβίδα και επιτρέπει στο νερό να εισέλθει στο διαπερατόμετρο.



Εικόνα 2.7 Το εδαφικό δείγμα αρχίζει να γίνεται κορεσμένο , Πηγή: (Hossain, et al., 2021)

11. Μόλις το νερό αρχίσει να ρέει από την επάνω βαλβίδα ελέγχου (αφαίρεσης αέρα), κλείνει η βαλβίδα ελέγχου, αφήνοντας το νερό να ρέει από την έξοδο για κάποιο χρονικό διάστημα. Κλείνει και η κάτω βαλβίδα εξόδου και αποσυνδέεται η σωλήνωση στο κάτω μέρος. Ακολουθεί σύνδεση του σωλήνα του χωνιού στην επάνω πλευρική θύρα.



Εικόνα 2.8 Το εδαφικό δείγμα έχει κορεστεί , Πηγή: (Hossain, et al., 2021)

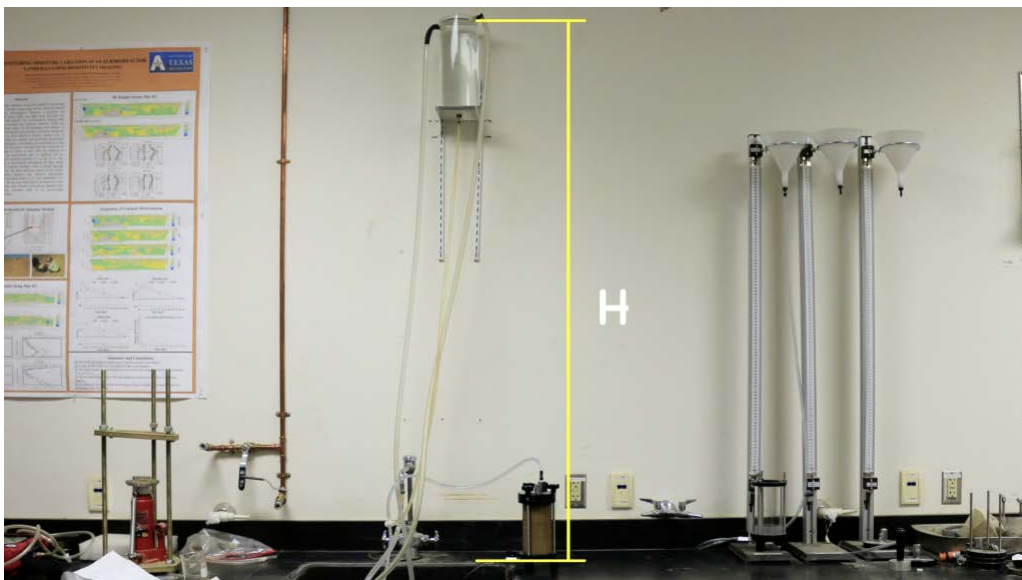
12. Κατόπιν ακολουθεί ανοιγμα της κάτω βαλβίδας εξόδου και ανύψωση του χωνιού σε κατάλληλο ύψος ώστε να υπάρχει μια αρκετά σταθερή ροή νερού. Πρέπει να αφιερεί επαρκής χρόνος για να σταθεροποιηθεί η ροή.
13. Στη συνέχεια γίνεται χρονομέτρηση του χρόνου που χρειάζεται για να γεμίσει ένας όγκος 750 - 1000 mL με τη χρήση του διαβαθμισμένου κυλίνδρου και στη συνέχεια

ακολουθεί υπολογισμός της θερμοκρασίας του νερού. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται τρεις φορές και έπειτα υπολογίζεται ο μέσος χρόνος, ο μέσος όγκος και η μέση θερμοκρασία. Καταγραφή των τιμών ως t , Q και T , αντίστοιχα.



Εικόνα 2.9 Μέτρηση του όγκου του νερού σε σχέση με το χρόνο , Πηγή: (Hossain, et al., 2021)

14. Υπολογισμός της κατακόρυφης απόστασης μεταξύ της στάθμης της κεφαλής του χωνιού και της στάθμης εκροής του θαλάμου και καταγραφή της απόστασης ως H .



Εικόνα 2.10 Διαφορά ύψους μεταξύ της κορυφής της πηγής νερού και του σημείου εξόδου της συσκευής διαπερατότητας, Πηγή: (Hossain, et al., 2021)

15. Τέλος το ταγί αφαιρείται από τον κλίβανο ξήρανσης και μετριέται η τελική του μάζα μαζί με το ξηρό χώμα (M2) (Hossain, et al., 2021).

2.1.2.ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ

Η διαπερατότητα σε λεπτόκοκκα εδάφη, όπως η άργιλος και η ιλύς, διαφέρει από εκείνη σε χονδρόκοκκα εδάφη λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών τους. Τα λεπτόκοκκα εδάφη παρουσιάζουν γενικά χαμηλή διαπερατότητα, που σημαίνει ότι έχουν μειωμένη ικανότητα μεταφοράς ρευστών μέσω των πόρων τους.

Η χαμηλή διαπερατότητα των λεπτόκοκκων εδαφών αποδίδεται κυρίως στα μικρά μεγέθη των σωματιδίων τους και στην υψηλή επιφάνειά τους. Τα σωματίδια στα λεπτόκοκκα εδάφη είναι πυκνά στοιβαγμένα μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερους χώρους πόρων και περιορισμένη συνδεσιμότητα μεταξύ τους. Αυτή η περιορισμένη δομή των πόρων εμποδίζει την κίνηση των ρευστών, καθιστώντας δύσκολη τη ροή του νερού ή του αέρα μέσα στο έδαφος.

Η διαπερατότητα των λεπτόκοκκων εδαφών μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με παράγοντες όπως η ορυκτολογία του εδάφους, ο βαθμός συμπίεσης, η παρουσία αργιλικών ορυκτών ή οργανικής ύλης και η περιεκτικότητα σε νερό. Για παράδειγμα, τα έντονα συμπιεσμένα αργιλικά εδάφη μπορεί να παρουσιάζουν χαμηλότερη διαπερατότητα σε σύγκριση με τα ελαφρά συμπιεσμένα ή αναδιαμορφωμένα αργιλικά εδάφη.

Η μέτρηση της διαπερατότητας σε λεπτόκοκκα εδάφη μπορεί να αποτελέσει πρόκληση λόγω των χαμηλών τιμών διαπερατότητάς τους. Για την εκτίμηση της διαπερατότητας των λεπτόκοκκων εδαφών χρησιμοποιούνται συνήθως εργαστηριακές δοκιμές, όπως η δοκιμή διαπερατότητας μεταβλητού φορτίου ή η δοκιμή διαπερατότητας παγίωσης. Οι δοκιμές αυτές περιλαμβάνουν την υποβολή ενός εδαφικού δείγματος σε υδραυλική κλίση και τη μέτρηση της ροής του νερού μέσω του δείγματος.

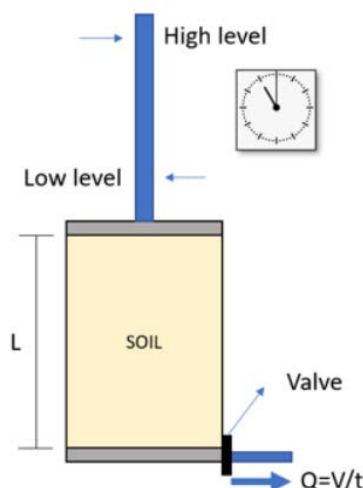
Στη γεωτεχνική μηχανική, η χαμηλή διαπερατότητα των λεπτόκοκκων εδαφών έχει σημαντικές επιπτώσεις σε διάφορες εφαρμογές. Επηρεάζει τα χαρακτηριστικά αποστράγγισης, τη συμπεριφορά εξυγίανσης και την ανάλυση διαρροής αυτών των εδαφών. Τα λεπτόκοκκα εδάφη συχνά απαιτούν ειδικές εκτιμήσεις στα τεχνικά σχέδια για τον μετριασμό πιθανών προβλημάτων που σχετίζονται με τη ροή του νερού, όπως η εφαρμογή συστημάτων αποστράγγισης, τεχνικών βελτίωσης του εδάφους (π.χ. προφόρτιση, κατακόρυφες αποστραγγίσεις) ή η χρήση γεωσυνθετικών υλικών για την ενίσχυση της διαπερατότητας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, αν και τα λεπτόκοκκα εδάφη έχουν γενικά χαμηλή διαπερατότητα, ορισμένοι σχηματισμοί πλούσιοι σε άργιλο μπορούν να παρουσιάσουν ένα ορισμένο επίπεδο διαπερατότητας σε συγκεκριμένες συνθήκες. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω της παρουσίας δευτερογενών μακροπόρων, σχισμών ή προτιμησιακών διαδρομών ροής στο έδαφος. Ωστόσο, η διαπερατότητα των λεπτόκοκκων εδαφών είναι συνήθως πολύ χαμηλότερη σε σύγκριση με εκείνη των χονδρόκοκκων εδαφών.

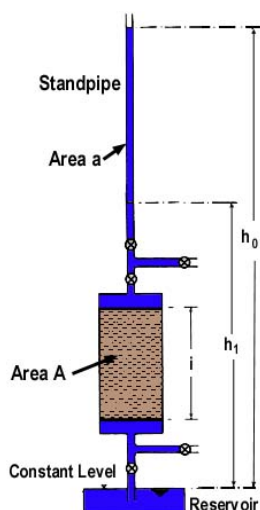
ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

Η μέθοδος αυτή, που ονομάζεται δοκιμή διαπερατότητας μεταβλητού φορτίου, είναι κατάλληλη για λεπτόκοκκα εδάφη με ενδιάμεση-χαμηλή διαπερατότητα, όπως άργιλοι και ιλύες.

Στις εικόνες 2.11 και 2.12 παρουσιάζεται μια σχηματική αναπαράσταση της δοκιμής, η οποία ουσιαστικά λειτουργεί όπως και η δοκιμή διαπερατότητας σταθερού ύψους, με τη μόνη διαφορά ότι το ύψος του νερού δεν θα είναι σταθερό, αλλά θα μειώνεται με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 2.11 Σχηματική αναπαράσταση της δοκιμής διαπερατότητας μεταβλητού φορτίου (1), Πηγή: (Gawan, 2020)



Εικόνα 2.12 Σχηματική αναπαράσταση της δοκιμής διαπερατότητας μεταβλητού φορτίου (2), Πηγή: (Carleston university, 2018)

Η δοκιμή αυτή περιλαμβάνει τη ροή του νερού μέσω ενός εδαφικού δείγματος. Στην κορυφή του δείγματος υπάρχει ένας σωλήνας που παρέχει το ύψος του νερού και επιτρέπει τη μέτρηση του όγκου του νερού που διέρχεται από το δείγμα. Η διάμετρος του σωλήνα εξαρτάται από τη διαπερατότητα του εδάφους. Αυτός ο τύπος δοκιμής

μπορεί να διεξαχθεί σε μια δεξαμενή οιδήμετρου (oedometer cell) ή σε μια ειδική δεξαμενή διαπερατότητας με μεταβλητό ύψος.

Παρακάτω αναφέρεται η διαδικασία της μεθόδου

Πριν από την έναρξη των μετρήσεων ροής, το εδαφικό δείγμα είναι κορεσμένο και οι στάσιμοι σωλήνες γεμίζουν με νερό που έχει υποστεί αφαίρεση αέρα μέχρι ένα δεδομένο επίπεδο. Στη συνέχεια, η δοκιμή ξεκινά αφήνοντας το νερό να ρέει μέσα από το δείγμα μέχρι το νερό στον στάσιμο αγωγό να φτάσει σε ένα δεδομένο κατώτερο όριο.

Ο χρόνος που απαιτείται για να πέσει το νερό στο στάσιμο σωλήνα από το ανώτερο στο κατώτερο επίπεδο είναι καταγεγραμμένος. Συχνά, ο σωλήνας επανατροφοδοτείται και η δοκιμή επαναλαμβάνεται για μερικές φορές. Ο καταγεγραμμένος χρόνος πρέπει να είναι ο ίδιος για κάθε δοκιμή εντός μιας επιτρεπόμενης απόκλισης περίπου 10%, διαφορετικά η δοκιμή αποτυγχάνει.

Σύμφωνα με τη δοκιμή αυτή, η τιμή της διαπερατότητας μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$K = [(2.3 a \times L)/(A \times \Delta t)] \times \log \frac{h_U}{h_L}$$

Όπου,

a: είναι το εμβαδόν της διατομής του στάσιμου σωλήνα,

L: είναι το ύψος της στήλης του εδαφικού δείγματος,

A: είναι το εμβαδόν της διατομής του δείγματος,

Δt : είναι ο καταγεγραμμένος χρόνος για τη ροή της στήλης νερού μέσα στο δείγμα

h_U και h_L : η ανώτερη και η κατώτερη στάθμη του νερού στο στάσιμο σωλήνα που μετράται με τη χρήση της ίδιας αναφοράς ύψους νερού (Carleston Univercity , Department of Civil Environmental Engineering, 2018), (Gawan, 2020).

2.2 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η διατμητική αντοχή των εδαφών είναι μια θεμελιώδης ιδιότητα που διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη γεωτεχνική μηχανική και την εδαφομηχανική. Αναφέρεται στην ικανότητα του εδάφους να αντιστέκεται σε διατμητικές δυνάμεις και να διατηρεί τη σταθερότητά του υπό συνθήκες φόρτισης. Η κατανόηση της διατμητικής αντοχής των εδαφών είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό ασφαλών και αξιόπιστων κατασκευών, όπως κτίρια, γέφυρες, φράγματα και τοίχοι αντιστήριξης.

Τα εδάφη παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά διατμητικής αντοχής ανάλογα με τη σύστασή τους, την κατανομή του μεγέθους των κόκκων, την ορυκτολογία, τη συμπίεση και την περιεκτικότητά τους σε υγρασία. Δύο βασικές

παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση της διατμητικής αντοχής είναι η συνοχή και η γωνία εσωτερικής τριβής.

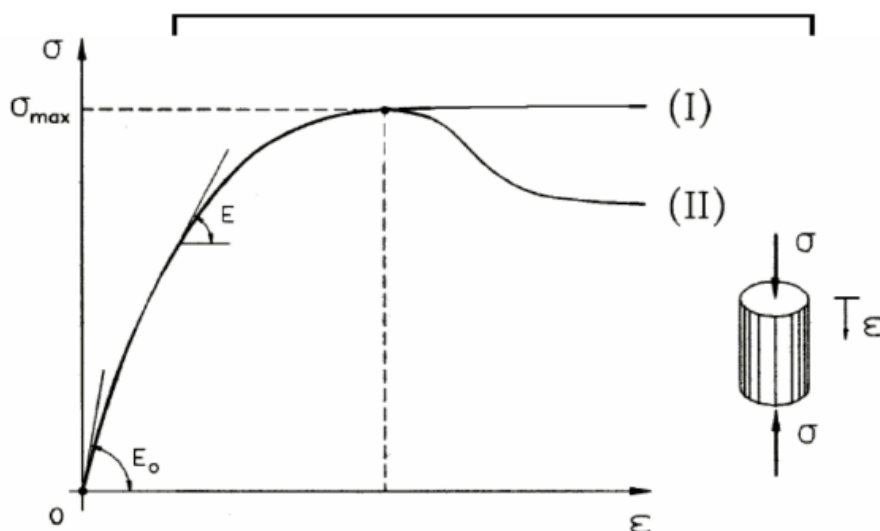
1. Η συνοχή c ανάμεσα στους εδαφικούς κόκκους, η οποία αποτελεί ένα μέτρο της διατμητικής αντοχής σε συνεκτικά εδάφη, που αποτελούνται κυρίως από λεπτόκοκκα σωματίδια όπως οι άργιλοι. Αντιπροσωπεύει τις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των εδαφικών σωματιδίων και είναι υπεύθυνη για την ικανότητα του εδάφους να αντιστέκεται σε διατμητικές τάσεις ακόμη και ελλείψει εξωτερικού φορτίου. Η συνοχή μετράται συνήθως σε μονάδες δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας, όπως τα kilopascals (kPa).
2. Η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ , η οποία έχει σημασία για τα εδάφη χωρίς συνοχή, όπως η άμμος και τα χαλίκια, που δεν έχουν συνεκτικές ιδιότητες. Αντικατοπτρίζει την αντίσταση στη διάτμηση που παρέχουν οι δυνάμεις τριβής μεταξύ των εδαφικών σωματιδίων. Η γωνία εσωτερικής τριβής εκφράζεται σε μοίρες και δείχνει τη μέγιστη γωνία στην οποία μια εδαφική μάζα μπορεί να παραμείνει σταθερή χωρίς να υποστεί διατμητική αστοχία.

Για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής των εδαφών διεξάγονται εργαστηριακές δοκιμές με τη χρήση εξειδικευμένων συσκευών και τεχνικών. Οι συνήθεις δοκιμές περιλαμβάνουν την άμεση δοκιμή διάτμησης, την τριαξονική δοκιμή και τη δοκιμή απλής διάτμησης. Οι δοκιμές αυτές υποβάλλουν δείγματα εδάφους σε ελεγχόμενες διατμητικές τάσεις και μετρούν τις αντίστοιχες διατμητικές παραμορφώσεις ή παραμορφώσεις. Αναλύοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών, οι μηχανικοί μπορούν να προσδιορίσουν τη συνοχή και τη γωνία εσωτερικής τριβής, επιτρέποντάς τους να αξιολογήσουν τη σταθερότητα και τη συμπεριφορά των εδαφών υπό διαφορετικές συνθήκες φόρτισης.

Η διατμητική αντοχή των εδαφών επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως το ιστορικό των τάσεων, η κατάσταση των τάσεων, η πραγματική τάση, η πίεση του νερού των πόρων, η δομή του εδάφους και η παρουσία υλικών ενίσχυσης. Είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη αυτοί οι παράγοντες κατά την ανάλυση και τον σχεδιασμό γεωτεχνικών κατασκευών, ώστε να διασφαλίζεται η ευστάθεια και η μακροπρόθεσμη απόδοσή τους (Miedema, 2019).

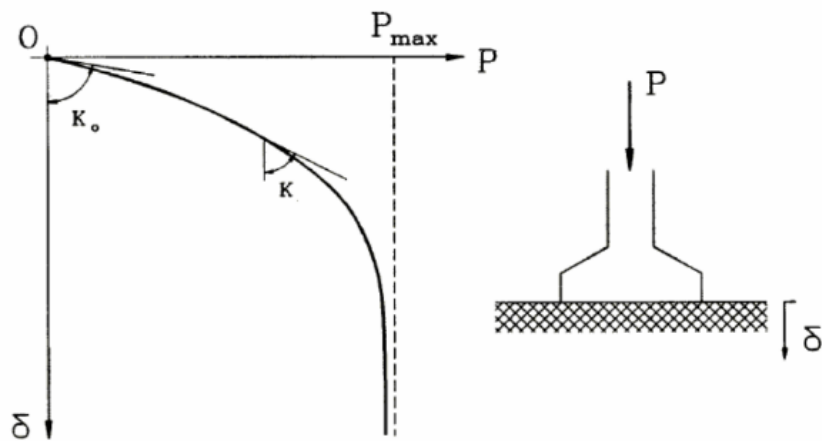
Όπως προαναφέρθηκε όταν ένα εδαφικό υλικό δεχτεί εξωτερική φόρτιση, αναπτύσσονται παραμορφώσεις και εσωτερικές τάσεις. Στην εικόνα 2.13 παρουσιάζετε η μορφή μιας τυπικής καμπύλης τάσεων – η οποία προκύπτει κατά τη μονοαξονική θλίψη ενός κυλινδρικού δοκιμίου αργίλου. Η καμπύλη αυτή είναι όμοια με καμπύλες που αντιστοιχούν σε άλλα υλικά όπως ο χάλυβας, τα πλαστικά υλικά, το σκυρόδεμα κ.α. Το αρχικό της τμήμα είναι πρακτικά ευθύγραμμο με (E_0) ως μέτρο ελαστικότητας, ενώ προχωρώντας αυξάνει βαθμιαία η θλιπτική τάση με μειούμενο ρυθμό, με αποτέλεσμα το μέτρο ελαστικότητας (E) να μικραίνει. Με περαιτέρω αύξηση της παραμόρφωσης, το υλικό καταλήγει σε μία κατάσταση όπου η παραμόρφωση παύει να συνοδεύεται από αύξηση της τάσης, αλλά αυτή ή παραμένει σταθερή (I) ή μειώνεται βαθμιαία (II). Αυτή η κατάσταση λέγεται κατάσταση αστοχίας και ισοδυναμεί με την μέγιστη φόρτιση που μπορεί το υλικό να δεχτεί. Τα εδαφομηχανικά έργα

αντιμετωπίζουν καταστροφικές συνέπειες εξαιτίας της κατάστασης αστοχίας του εδάφους, διότι συνοδεύεται από εμφανής παραμορφώσεις που ξεπερνούν τις ανοχές που διαθέτουν οι συνήθεις κατασκευές (Καββαδάς, 2006).



Εικόνα 2.13 Καμπύλη φόρτισης αργίλου, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)

Στην εικόνα 2.14 παρουσιάζετε η καμπύλη φορτίου ενός θεμελίου με αξονική φόρτιση που θεμελιώνεται σε αμμόδες εδαφικό υλικό. Η μορφή αυτής της καμπύλης είναι όμοια της καμπύλης τάσεων στην εικόνα 2.13. Καθώς αυξάνεται το φορτίο αυξάνει και η υποχώρηση με ρυθμό συνεχώς αυξανόμενο, αυτό σημαίνει ότι μειώνεται η κλίση (K) της καμπύλης. Όταν το φορτίο φθάσει τελικά την τιμή P_{max} , αστοχεί το έδαφος θεμελίωσης, δηλαδή αυξάνει ανεξέλεγκτα η υποχώρηση και έτσι "βυθίζεται" το θεμέλιο στο έδαφος. Στο παράδειγμα της εικόνας 2.13 η αστοχία σχετίζεται με ένα εδαφικό στοιχείο που επιβάλλεται σε αυτό μία συγκεκριμένη εντατική κατάσταση ($\sigma' = \sigma_{max}$, $\sigma'_{xx} = \sigma'_{yy} = \sigma'_{xy} = \sigma'_{yz} = \sigma'_{xz} = 0$) ή καλύτερα, η αστοχία σχετίζεται με όλα τα εδαφικά στοιχεία στο δοκίμιο γιατί έχουν την ίδια εντατική κατάσταση. Στο παράδειγμα της εικόνας 2.14 η φόρτιση του θεμελίου οδηγεί στην ανάπτυξη τάσεων στο έδαφος που βρίσκεται κάτω από το θεμέλιο, όμως υπάρχει ποικιλία της έντασης των αναπτυσσόμενων τάσεων από τη μια θέση στην άλλη. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει σύνδεση μεταξύ της αστοχίας του εδάφους και της αστοχίας πολλών εδαφικών στοιχείων σε μια περιοχή που εκτείνεται κάτω απ' το θεμέλιο. Αυτά τα στοιχεία έχουν διαφορετικές εντατικές καταστάσεις, που όμως αποτελούν όλες καταστάσεις αστοχίας, δηλαδή κάθε στοιχείο εδάφους στη ζώνη αστοχίας δεν είναι ικανό να δεχτεί μεγαλύτερες τάσεις αλλά παρουσιάζει απεριόριστη παραμόρφωση με το συγκεκριμένο συνδυασμό τάσεων της κατάστασης όπου βρίσκεται (Καββαδάς, 2006).



Εικόνα 2.14 Καμπύλη φορτίου- υποχώρησης θεμελίου, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)

2.2.2 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ

Στα χονδρόκοκκα εδάφη, όπως η άμμος και τα χαλίκια, η διατμητική αντοχή διέπεται κυρίως από τη γωνία εσωτερικής τριβής. Σε αντίθεση με τα συνεκτικά εδάφη, τα χονδρόκοκκα εδάφη γενικά δεν διαθέτουν σημαντική συνοχή. Αντ' αυτού, βασίζονται στην αντίσταση τριβής μεταξύ των εδαφικών σωματιδίων για να αντισταθούν στις διατμητικές δυνάμεις.

Η γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ) είναι μια βασική παράμετρος που χαρακτηρίζει τη διατμητική αντοχή των χονδρόκοκκων εδαφών. Αντιπροσωπεύει τη μέγιστη γωνία στην οποία τα εδαφικά σωματίδια μπορούν να διατηρήσουν σταθερότητα χωρίς να υποστούν διατμητική αστοχία. Η γωνία εσωτερικής τριβής επηρεάζεται από παράγοντες όπως το μέγεθος των κόκκων, το σχήμα, η επιφανειακή τραχύτητα και η αλληλοσύνδεση των σωματιδίων.

Συνήθως, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος και η γωνίωση των σωματιδίων, τόσο μεγαλύτερη είναι η γωνία εσωτερικής τριβής. Άμμοι και χαλίκια με καλά διαβαθμισμένα και γωνιώδη σωματίδια τείνουν να έχουν υψηλότερες γωνίες εσωτερικής τριβής σε σύγκριση με εδάφη με στρογγυλεμένα ή κακώς διαβαθμισμένα σωματίδια. Η γωνία εσωτερικής τριβής μπορεί να κυμαίνεται από περίπου 25 μοίρες για καλά διαβαθμισμένες άμμους έως πάνω από 40 μοίρες για χαλίκια.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η γωνία εσωτερικής τριβής μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες όπως η τάση περιορισμού, η πυκνότητα, το σχήμα των σωματιδίων, η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων και η συμπίεση του εδάφους. Εργαστηριακές δοκιμές, όπως η τριαξονική δοκιμή ή η δοκιμή άμεσης διάτμησης, διεξάγονται συχνά για τον προσδιορισμό της συγκεκριμένης γωνίας εσωτερικής τριβής για ένα δεδομένο χονδρόκοκκο έδαφος υπό καθορισμένες συνθήκες (Miedema, 2019).

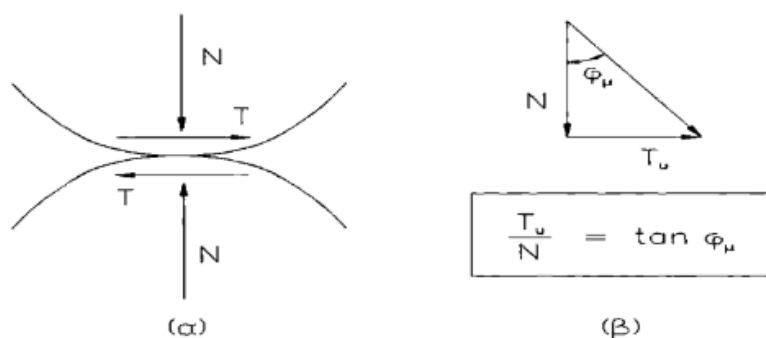
Παρακάτω γίνεται αναφορά στους νόμους τριβής αλλά και στην εφαρμογή τους στα χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά. Πιο συγκεκριμένα τα χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά αποτελούνται από χαλαρά συνδεδεμένους ή ασύνδετους στερεούς κόκκους που σχηματίζουν τον σκελετό του εδάφους. Τα φορτία που επιβάλλονται εξωτερικά αναλαμβάνονται από τον σκελετό του εδάφους με την ανάπτυξη διατμητικών και ορθών δυνάμεων μεταξύ των κόκκων και προκαλούν παραμορφώσεις που οφείλονται κυρίως σε κυλίσεις και ολισθήσεις μεταξύ τους. Είναι προφανές ότι η παραμόρφωση των εδαφικών υλικών επηρεάζεται από την τριβή μεταξύ των κόκκων.

Ακόμη ένας παράγοντας που συντελεί επίσης στην εδαφική παραμόρφωση είναι η πραγματική συνοχή, δηλαδή η ``συγκόλληση`` των κόκκων εξαιτίας ηλεκτροχημικών ή άλλων δυνάμεων. Στα αμμώδη εδαφικά υλικά ο κύριος παράγοντας παραμορφώσεων είναι η τριβή, διότι είναι αμελητέα η επιρροή της πραγματικής συνοχής, όμως οι "σιμεντωμένες" άμμοι αποτελούν εξαίρεση. Στην εικόνα 2.15 παρουσιάζετε η επαφή ανάμεσα σε δύο κόκκους αμμώδους υλικού και των ορθών (N) και διατμητικών (T) δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ αυτών. Σύμφωνα με τον θεμελιώδη νόμο της μηχανικής τριβής ορίζεται η διατμητική αντοχή (T_u) της επαφής μεταξύ των κόκκων για κάθε τιμή της ορθής δύναμης (N) από τη σχέση :

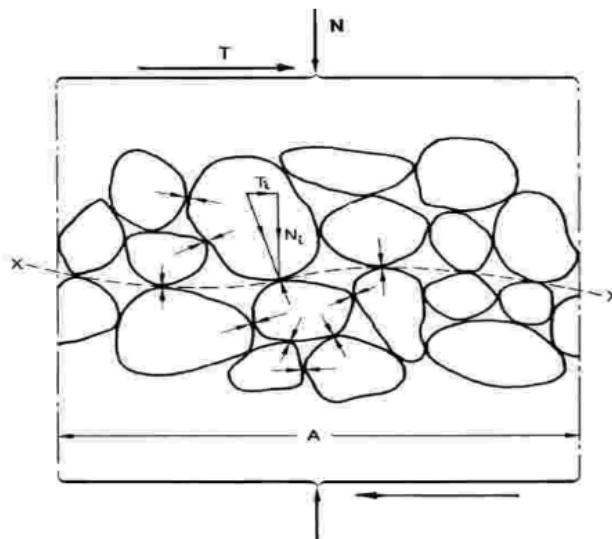
$$T_u = N \tan \varphi_\mu$$

ώστε, εαν η πραγματική διατμητική δύναμη (T) είναι πιο μικρή από τη διατμητική αντοχή (T_u), υπάρχει ευστάθεια στην επαφή μεταξύ των κόκκων, ενώ, εαν η T είναι ίση με την T_u διακρίνεται ολίσθηση μεταξύ των κόκκων (γεγονός που σημαίνει υπέρβαση της διατμητικής αντοχής) και αναδιάταξή αυτών σε μία δομή νέα όπου η διατμητική δύναμη είναι πιο μικρή από τη διατμητική αντοχή.

Ο συντελεστής ($\tan \varphi_\mu$) είναι μια σταθερά, που χαρακτηρίζει το υλικό των κόκκων, και εξαρτάται από την ομαλότητα και τον τύπο της επιφάνειας επαφής που βρίσκεται μεταξύ των κόκκων και η γωνία φ_μ λέγεται πραγματική γωνία τριβής του υλικού των κόκκων. Η πραγματική γωνία τριβής του υλικού των κόκκων σύμφωνα με εργαστηριακές μετρήσεις έχει αποδειχθεί ότι εξαρτάται και από το μέγεθος των κόκκων. Η εικόνα 2.16 προβάλλει τυπικές τιμές της πραγματικής γωνίας τριβής κόκκων χαλαζία ως προς τη διάστασή τους (Καββαδάς, 2006).



Εικόνα 2.15 Δυνάμεις μεταξύ των κόκκων, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)



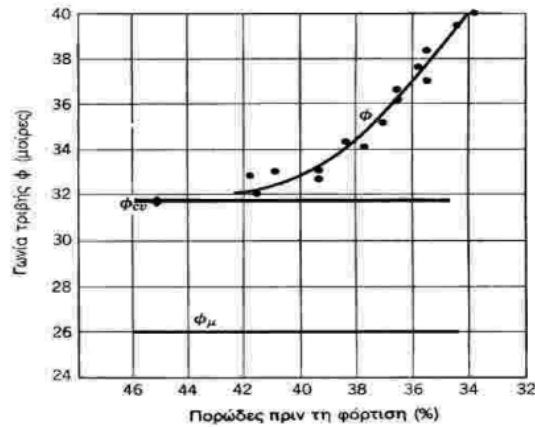
Εικόνα 2.17 Δυνάμεις ανάμεσα στους κόκκους, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)

Όταν αυξάνεται ο λόγος T/N , αυξάνει και το ποσοστό των επαφών των κόκκων που ολισθαίνουν και μακροσκοπικά η παραμόρφωση του εδάφους παρουσιάζει μία διατμητική συνιστώσα (στρέβλωση), η συμμετοχή της οποίας αυξάνεται διαρκώς και μία ισότροπη συνιστώσα (συμπίεση). Τελικά, για κάποια τιμή του λόγου T/N ένα σημαντικό ποσοστό των επαφών μεταξύ των κόκκων ολισθαίνει, έτσι ώστε η μακροσκοπική παραμόρφωση του υλικού να παρουσιάζεται σαν γενικευμένη ολίσθηση (διατμητική παραμόρφωση). Σε αυτή την κατάσταση το δοκίμιο έχει αστοχήσει μακροσκοπικά δηλαδή δεν μπορεί να αναλάβει μεγαλύτερη διατμητική δύναμη. Η διατμητική δύναμη (T_u) που επιβάλλεται εξωτερικά στην κατάσταση αστοχίας λέγεται διατμητική αντοχή και εξαρτάται από την ορθή δύναμη (N) (Καββαδάς, 2006).

Σύμφωνα με πειραματικές μετρήσεις αποδεικνύεται ότι ο λόγος T_u/N κατά την αστοχία είναι σταθερός και γράφεται με τη μορφή :

$$T_u = N \tan \varphi$$

όπου η γωνία (φ) λέγεται μακροσκοπική γωνία τριβής του εδαφικού υλικού. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η γωνία τριβής (φ) εξαρτάται από την πραγματική γωνία τριβής του υλικού των κόκκων (φ_m), χωρίς όμως να ισούται με αυτή. Συγκεκριμένα, όσο πιο μεγάλη είναι η πραγματική γωνία τριβής του υλικού των κόκκων (φ_m), τόσο πιο μεγάλη είναι και η γωνία τριβής του εδαφικού υλικού (φ) όταν είναι ίδιες οι υπόλοιπες συνθήκες. Τέλος, η γωνία (φ) δεν αποτελεί ιδιότητα του υλικού γιατί εξαρτάται και από την επιτόπου κατάσταση του υλικού, για παράδειγμα αυξάνει, όταν αυξάνεται η σχετική πυκνότητα (D_r) ή όταν το πορώδες του κοκκώδους εδαφικού υλικού μειώνεται. Στην εικόνα 2.18 παρουσιάζετε η μεταβολή της γωνίας τριβής (φ) με το πορώδες για μια άμμο που είναι μεσόκοκκη. Στην ίδια εικόνα φαίνονται η πραγματική γωνία τριβής του υλικού των κόκκων (φ_m) και η χαρακτηριστική γωνία τριβής (φ_{CV}) η οποία αντιστοιχεί στην όσο το δυνατόν χαλαρότερη διάταξη των κόκκων (Καββαδάς, 2006).



Εικόνα 2.18 Γωνία τριβής σχετικά με το πορώδες, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)

Σύμφωνα με το νόμο του Coulomb η αστοχία των κοκκωδών εδαφών καθορίζεται από τα γνωστά χαρακτηριστικά των νόμων της μηχανικής τριβής. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε επίπεδο του εδαφικού στοιχείου ορίζεται η διαθέσιμη διατμητική αντοχή τ_u σε αυτό το επίπεδο από τη σχέση :

$$\tau_u = \sigma \tan \varphi$$

και έτσι όταν σε κάποιο επίπεδο (επίπεδο αστοχίας) η διατμητική τάση (τ) ισούτε με τη διαθέσιμη διατμητική αντοχή (τ_u), το εδαφικό στοιχείο αστοχεί. Η εδαφική αστοχία εμφανίζεται με μορφή γενικευμένης ολίσθησης στο συγκεκριμένο επιπέδο αστοχίας. Αντιθέτως, όταν σε όλα τα επίπεδα η διαθέσιμη διατμητική αντοχή είναι πιο μεγάλη από την διατμητική τάση που υπάρχει ήδη, ένα εδαφικό στοιχείο δεν αστοχεί. Κατά το νόμο του Coulomb για τα χονδρόκοκκα εδάφη, το έδαφος δεν αστοχεί κατά μήκος του επιπέδου όπου αναπτύσσεται η μεγαλύτερη διατμητική τάση (όπως ήταν αναμενόμενο) αλλά κατά μήκος ενός επιπέδου όπου ο λόγος διατμητικής τάσης (τ) προς την ορθή τάση (σ') έχει ορισμένη τιμή (ισούται με $\tan \varphi$) (Καβουσάνος, 2003).

Ακόμη μια συνέπεια του νόμου του Coulomb για τα χονδρόκοκκα εδάφη είναι ότι η διατμητική αντοχή τους γίνεται μηδέν όταν η ορθή τάση μηδενιστεί. Κατά τη ρευστοποίηση των κοκκωδών εδαφών μηδενίζονται οι ενεργές τάσεις και έτσι και η διατμητική αντοχή τους μηδενίζεται και άρα τα ρευστοποιημένα εδάφη έχουν συμπεριφορά ρευστών (δεν είναι ικανά να αναλάβουν διατμητικές τάσεις). Η μορφή του νόμου αστοχίας όπως προαναφέρθηκε δίνεται από τη σχέση:

$$\tau_u = \sigma \tan \varphi$$

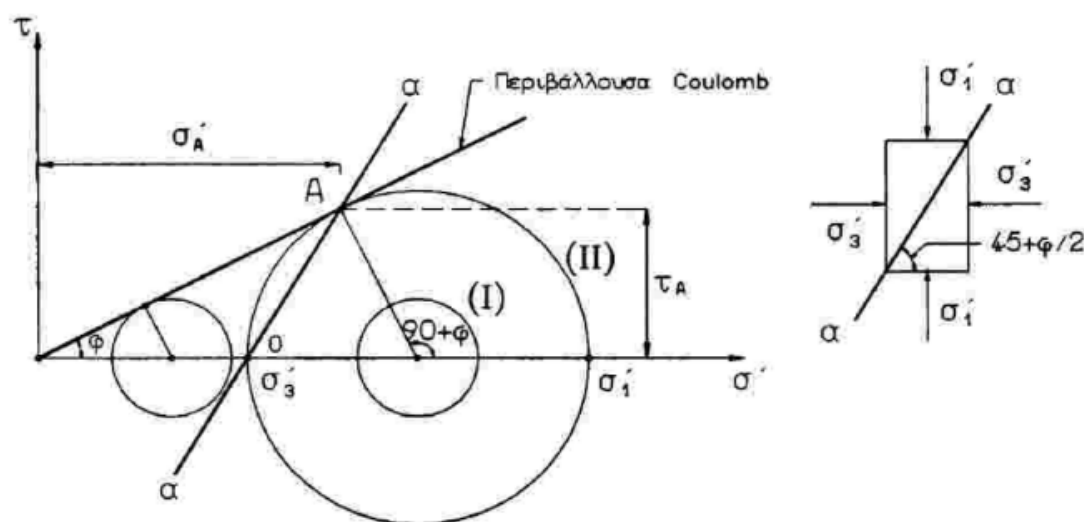
Κατά τον έλεγχο της αστοχίας χρειάζεται ο υπολογισμός των διατμητικών και ορθών τάσεων του εδαφικού στοιχείου σε όλες τις διευθύνσεις επιπέδων (Καβουσάνος, 2003).

Στην εικόνα 2.19 φαίνεται η γραφική παράσταση του νόμου αστοχίας του Coulomb, η οποία είναι μια ευθεία με κλίση φ και λέγεται περιβάλλουσα αστοχίας ή περιβάλλουσα Coulomb. Από την εξίσωση που αναφέρθηκε παραπάνω προκύπτει ότι, όταν ο κύκλος Mohr ο οποίος παριστάνει την εντατική κατάσταση σε ένα σημείο του

εδάφους έρχεται σε επαφή με την περιβάλλουσα Coulomb (κύκλος II), τότε η εντατική κατάσταση σε αυτό το σημείο είναι μια κατάσταση αστοχίας. Όντως, το επίπεδο που αντιστοιχεί στο σημείο A του κύκλου Mohr έχει διατμητικές (τ_A) και ορθές τάσεις (σ'_A), ώστε να ισχύει :

$$\tau_A = \sigma'_A \tan \varphi$$

δηλαδή τάσεις οι οποίες ικανοποιούν την περιβάλλουσα Coulomb. Διατμητική αντοχή στο επίπεδο ονομάζεται η διατμητική τάση (τ_A) στο επίπεδο αστοχίας κατά την αστοχία του εδαφικού στοιχείου (Καββαδάς, 2006).



Εικόνα 2.19 Περιβάλλουσα αστοχίας Coulomb σε άμμους, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)

Γενικά, η περιβάλλουσα αστοχίας παρουσιάζει τις παρακάτω ιδιότητες (Καββαδάς, 2006) :

1. Η κατάσταση του εδαφικού στοιχείου είναι ευσταθής, όταν η εντατική κατάσταση σε ένα σημείο του εδάφους παριστάνεται με κύκλο Mohr που δεν τέμνει την περιβάλλουσα Coulomb (όπως για παράδειγμα ο κύκλος I).
2. Το εδαφικό στοιχείο αστοχεί, όταν η εντατική κατάσταση σε ένα σημείο του εδάφους παριστάνεται με κύκλο Mohr όπου εφάπτεται στην περιβάλλουσα Coulomb (ο κύκλος II), και μάλιστα η ολίσθηση γίνεται κατά μήκος ενός επιπέδου (αα) που παριστάνεται στον κύκλο Mohr με το σημείο (A), που είναι το σημείο επαφής του κύκλου με την περιβάλλουσα Coulomb.
3. Είναι ανέφικτη η εντατική κατάσταση στην οποία ο κύκλος Mohr τέμνει την περιβάλλουσα, διότι αντιστοιχεί σε διατμητικές τάσεις που είναι πιο μεγάλες από τη διατμητική αντοχή του εδάφους στα επίπεδα πάνω από την περιβάλλουσα Coulomb που παριστάνονται με σημεία του κύκλου Mohr.

Τέλος η αντοχή των χονδρόκοκκων εδαφών εξαρτάται μόνο από το αν υπάρχουν ορθές ενεργές τάσεις και έτσι γίνεται μηδέν όταν μηδενισθούν οι ενεργές τάσεις.

Όντως, μία άμμος δεν είναι ικανή να δημιουργήσει κατακόρυφο πρυνές διότι η ορθή πίεση στο μέτωπό του είναι μηδενική (ατμοσφαιρική), άρα η αντοχή του είναι μηδενική και καταρρέει το πρυνές. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται σε πλήρως κορεσμένες άμμους (για παράδειγμα κάτω από τη στάθμη της θάλασσας) και ξηρές άμμους. Αντιθέτως, μια υγρή άμμος μπορεί συχνά να σταθεί με κατακόρυφο μέτωπο. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στις τριχοειδείς δυνάμεις που δημιουργούνται από τους μηνίσκους του νερού στα κενά της άμμου που είναι μερικώς κορεσμένη (Καββαδάς, 2006).

2.2.3 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ

Στα λεπτόκοκκα εδάφη, όπως οι άργιλοι και οι ιλύες, η διατμητική αντοχή διέπεται κυρίως από τη συνοχή και όχι από την τριβή. Σε αντίθεση με τα χονδρόκοκκα εδάφη, τα λεπτόκοκκα εδάφη διαθέτουν ιδιότητες συνοχής λόγω της παρουσίας αργλικών ορυκτών και της ικανότητάς τους να συγκρατούν υμένα νερού μεταξύ των σωματιδίων.

Η συνοχή είναι ένα μέτρο της διατμητικής αντοχής σε συνεκτικά εδάφη και αντιπροσωπεύει τις δυνάμεις συνοχής μεταξύ των εδαφικών σωματιδίων. Είναι υπεύθυνη για την ικανότητα του εδάφους να αντιστέκεται σε διατμητικές τάσεις ακόμη και ελλείψει εξωτερικού φορτίου. Η συνοχή μετράται συνήθως σε μονάδες δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας, όπως τα kilopascals (kPa).

Τα λεπτόκοκκα εδάφη παρουσιάζουν διαφορετικούς βαθμούς συνοχής ανάλογα με παράγοντες όπως η ορυκτολογία της αργίλου, η σύσταση των ορυκτών, η πλαστικότητα, η περιεκτικότητα σε υγρασία και η δομή του εδάφους. Αυτές οι δυνάμεις συνοχής προκύπτουν από την ηλεκτροχημική έλξη και τις φυσικές δυνάμεις μεταξύ των σωματιδίων αργίλου, με αποτέλεσμα την αντοχή συνοχής της εδαφικής μάζας.

Επιπλέον, η διατμητική αντοχή των λεπτόκοκκων εδαφών μπορεί επίσης να επηρεαστεί από τη γωνία εσωτερικής τριβής, αν και η συμβολή της είναι σχετικά μικρή σε σύγκριση με τη συνεκτική αντοχή. Η γωνία εσωτερικής τριβής στα λεπτόκοκκα εδάφη είναι συνήθως χαμηλή και μπορεί να κυμαίνεται από λίγες μοίρες έως περίπου 30 μοίρες, ανάλογα με τις συγκεκριμένες ιδιότητες και συνθήκες του εδάφους.

Για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής των λεπτόκοκκων εδαφών, διεξάγονται συνήθως εργαστηριακές δοκιμές όπως η δοκιμή άμεσης διάτμησης, η τριαξονική δοκιμή ή η δοκιμή διάτμησης με περύγια. Οι δοκιμές αυτές εφαρμόζουν ελεγχόμενες διατμητικές τάσεις σε εδαφικά δείγματα και μετρούν τις αντίστοιχες διατμητικές παραμορφώσεις ή παραμορφώσεις. Μέσω της ανάλυσης των αποτελεσμάτων των δοκιμών, οι μηχανικοί μπορούν να προσδιορίσουν την αντοχή συνάφειας (συνοχή) και, σε μικρότερο βαθμό, τη γωνία εσωτερικής τριβής για το λεπτόκοκκο έδαφος (Miedema, 2019).

Πιο συγκεκριμένα στα αργιλικά ή συνεκτικά εδάφη η διατμητική αντοχή αφενός οφείλεται στη μηχανική τριβή μεταξύ των κόκκων, και αφετέρου στην συνοχή των κόκκων. Αυτή η συνοχή αναπτύσσεται ή εξαιτίας της ``σιμέντωσης`` μεταξύ των

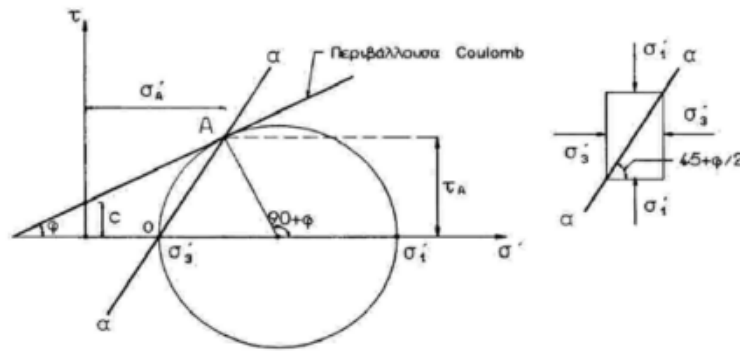
κόκκων ή εξαιτίας ηλεκτροχημικών δυνάμεων συνάφειας ανάμεσα στις προσροφημένες διπλές στρώσεις και στα αργιλικά πλακίδια. Αντιθέτως στα χονδρόκοκκα εδάφη όπως προαναφέρθηκε η διατμητική αντοχή οφείλεται μόνο στη μηχανική τριβή μεταξύ των κόκκων. Η διαφορετική συμπεριφορά των αργίλων και των άμμων κατά την αστοχία εξηγείται λόγω των παραπάνω. Συγκεκριμένα η ύπαρξη αποκλειστικά και μόνο της ορθής ενεργού τάσης (πίεσης) κάνει τη διατμητική αντοχή των αμμοδών εδαφών να εξαρτάται από αυτή, οπότε όταν η τάση αυτή γίνει μηδέν θα και η αντοχή τους θα μηδενιστεί. Αντιθέτως, τα αργιλικά εδάφη παρουσιάζουν πραγματική συνοχή με αποτέλεσμα ακόμη και όταν η ορθή τάση είναι μηδενική να εμφανίζουν διατμητική αντοχή, για παράδειγμα τα κατακόρυφα πρηνή με ύψος αρκετών μέτρων σε αργιλικά εδάφη (Καββαδάς, 2006).

Ο νόμος αστοχίας των αργιλικών εδαφών σύμφωνα με εργαστηριακές μετρήσεις της διατμητικής αντοχής συνεκτικών εδαφών εκφράζεται ως εξής:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

όπου c είναι η πραγματική συνοχή του υλικού και φ είναι η γωνία τριβής. Παράμετροι διατμητικής αντοχής ονομάζονται η συνοχή και η γωνία τριβής. Όπως η γωνία τριβής δεν είναι ιδιότητα του υλικού έτσι δεν είναι και η πραγματική συνοχή και άρα δεν είναι σταθερή όμως εξαρτάται από την προϊστορία των φορτίσεων αλλά και άλλους παράγοντες. Όπως συμβαίνει στις άμμους συμβαίνει και στις αργίλους, δηλαδή όταν σε όλα τα επίπεδα ενός εδαφικού στοιχείου η διατμητική τάση (τ) είναι πιο μικρή από την αντίστοιχη διαθέσιμη διατμητική αντοχή ($\tau = c + \sigma \tan \varphi$), τότε το εδαφικό στοιχείο δεν αστοχεί. Αντιθέτως εάν η διατμητική τάση σε κάποιο επίπεδο του εδαφικού στοιχείου ισούται με τη διαθέσιμη διατμητική αντοχή, τότε το εδαφικό στοιχείο αστοχεί και συγκεκριμένα η αστοχία εκφράζεται με ολίσθηση κατά μήκος του επιπέδου αυτού (Καβουσάνος, 2003).

Στην εικόνα 2.20 παριστάνεται η γραφική παράσταση του νόμου αστοχίας (περιβάλλουσα Coulomb) για συνεκτικά (λεπτόκοκκα) εδάφη. Στην ίδια εικόνα διακτύνεται και ο κύκλος Mohr ο οποίος παριστάνει την εντατική κατάσταση στο εδαφικό στοιχείο. Ο κύκλος Mohr εφάπτεται στην περιβάλλουσα Coulomb και άρα αστοχεί το εδαφικό στοιχείο. Πιο συγκεκριμένα, στο επίπεδο (αα), όπου παριστάνεται από το σημείο Α του κύκλου του Mohr, εμφανίζεται ο συνδυασμός ορθής και διατμητικής τάσης που είναι κρίσιμος και ικανοποιεί τη σχέση $\tau = c + \sigma \tan \varphi$ και άρα αυτό το επίπεδο αποτελεί επίπεδο αστοχίας (Καβουσάνος, 2003).



Εικόνα 2.20 Περιβάλλουσα αστοχία Coulomb σε αργύλους, Πηγή: (Καββαδάς, 2006)

Σχετικά με τις τιμές της γωνίας τριβής και της συνοχής, δηλαδή των παραμέτρων διατμητικής αντοχής των αργιλικών εδαφών, παρατηρούνται τα ακόλουθα (Καββαδάς, 2006):

- Οι κανονικά στερεοποιημένες άργιλοι, αυτές δηλαδή που στο παρελθόν δεν έχουν υποστεί ισχυρότερη "συμπύεση" από αυτή που υποβάλλονται στη διάρκεια της δοκιμής για το προσδιορισμό των παραμέτρων διατμητικής αντοχής, συνηθίζουν να εμφανίζουν μηδενική συνοχή ($c = 0$), άρα η περιβάλλουσα Coulomb αυτών των υλικών διέρχεται από την αρχή των αξόνων και είναι ευθύγραμμη. Η κλίση της περιβάλλουσας Coulomb είναι σταθερή ϕ_{NC} (Normal Consolidated) και λέγεται γωνία τριβής της κανονικά στερεοποιημένης άργιλου.
- Οι υπερστερεοποιημένες άργιλοι, αυτές δηλαδή που στο παρελθόν έχουν υποστεί "συμπύεση" ισχυρότερη από αυτή που υποβάλλονται στη διάρκεια της δοκιμής για τον προσδιορισμό των παραμέτρων διατμητικής αντοχής, συνηθίζουν να εμφανίζουν μη μηδενική συνοχή και γωνία τριβής ϕ_{OC} (Over Consolidated) πιο μικρή από τη γωνία ϕ_{NC} του ίδιου υλικού. Η γωνία ϕ_{OC} για μια συγκεκριμένη άργιλο είναι πρακτικά σταθερή, δηλαδή δεν εξαρτάται από την τιμή της τάσης προστερεοποίησης. Αντιθέτως η συνοχή είναι εξαρτώμενη από τον εκάστοτε δείκτη πόρων (e) και συγκεκριμένα αυξάνετε όσο μειώνεται ο δείκτης πόρων. Οι εξής παραδοχές γίνονται συνήθως στις πρακτικές εφαρμογές:

α) Κανονικά στερεοποιημένες άργιλοι : $c = 0$, $\phi = \phi_{NC} = \text{σταθερό}$

β) Υπερστερεοποιημένες άργιλοι : $c = \text{σταθερό}$, $\phi = \phi_{OC} = \text{σταθερό}$ και $\phi_{OC} < \phi_{NC}$ (Καββαδάς, 2006).

Κεφάλαιο 3 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η ανάγκη μιας κοινής γλώσσας για το χαρακτηρισμό των εδαφών οδήγησε στην ανάπτυξη συστημάτων ταξινόμησης τα οποία οδηγούν και σε μια προσεγγιστική εκτίμηση της γεωτεχνικής συμπεριφοράς τους. Ο μεγαλύτερος αριθμός των συστημάτων ταξινόμησης χρησιμοποιούν ως κριτήρια διαχωρισμού τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής διαβάθμισης και των ορίων Atterberg (Καραγιάννης, 2014).

Στη παρούσα εργασία ακολουθείται το βρετανικό πρότυπο οπών κοσκίνων. Έτσι στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα όρια των τιμών των διαμέτρων σε mm (χιλιοστά) των κόκκων, σχετικά με το χαρακτηρισμό τους κατά USCS και British Standard (Γεωργόπουλος, 2010).

*Πίνακας 3.1 Διάμετροι κοσκίνων σύμφωνα με USCS και British standard,
Πηγή: (Παπαθανασίου Γ., 2022)*

Υλικό	USCS	British standards
	Διάμετρος (mm) / κόσκινο	
Κροκάλες	76,2mm / (3 in)	63mm
Χαλίκια χονδρά	76,2 – 19mm / (3/4 in)	63-20 mm
Χαλίκια λεπτά	19 – 4,76mm / (No 4)	20-2mm
Άμμος χονδρή	4,76 – 2mm / (No 10)	2 – 0,6mm
Άμμος μέση	2 – 0,425mm / (No 40)	0,6 – 0,212mm
Άμμος λεπτή	0,425 – 0,075mm / (No 200)	0,212 – 0,063mm
Ιλύς	0,075-0,002mm	0,063-0,002mm
Άργιλος	<0,002mm	<0,002mm

3.1 ΠΡΩΤΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ - ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΚΟΣΚΙΝΑ

Για την κοκκομετρική ανάλυση ενός εδαφικού υλικού εφαρμόζονται οι μέθοδοι που αναγράφονται παρακάτω:

- **Μηχανική μέθοδος:** Περιλαμβάνει τη κοσκίνηση του υλικού με κόσκινα που διαθέτουν οπές συγκεκριμένων διαστάσεων και χρησιμοποιείται για εδαφικά υλικά με μέγεθος κόκκων που είναι μεγαλύτερο από 0,063 mm. Η μέθοδος αυτή υποδιαιρείται στις ακόλουθες μεθόδους:
 - ο Πρότυπη μέθοδος προσδιορισμού κοκκομετρικής ανάλυσης χαλίκων και άμμων με κόσκινα (ξηρή μέθοδος): Εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται όταν το εδαφικό δείγμα αποτελείται από άμμους ή/και χαλίκια χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες σειρές κόσκινων για το καθένα.
 - ο Πρότυπη μέθοδος προσδιορισμού λεπτόκοκκου υλικού με κόσκινα (υγρή μέθοδος): Εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται για τον προσδιορισμό του ποσοστού του λεπτόκοκκου υλικού στο εδαφικό δείγμα.
- **Υδρομετρική μέθοδος:** Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει καθίζηση του εδαφικού υλικού σε υγρό περιβάλλον και χρησιμοποιείται για εδάφη που διαθέτουν μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0,063mm και περίπου μέχρι διάμετρο 0,001mm. Εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται όταν το 10% τουλάχιστον του βάρους των κόκκων του εδάφους έχουν μέγεθος μικρότερο από 0,063 mm.

Συνδυασμός των τριών παραπάνω μεθόδων για την κοκκομετρική ανάλυση ενός εδαφικού δείγματος απαιτείται αυτό αποτελείται από κόκκους που έχουν διαφορετικά μεγέθη.

- Με την πρότυπη μέθοδο προσδιορισμού λεπτόκοκκου υλικού (υγρή μέθοδος), το εδαφικό υλικό αρχικά χωρίζεται σε χαλίκια, άμμους και λεπτόκοκκα και προσδιορίζονται τα ποσοστά τους στο αρχικό δείγμα.
- Με την πρότυπη μέθοδο προσδιορισμού κοκκομετρικής ανάλυσης χαλίκων και άμμων (ξηρή μέθοδος), γίνεται ξεχωριστά η κοκκομετρική ανάλυση για αυτά τα δύο κλάσματα του υλικού (όπου είναι απαλλαγμένα από το λεπτόκοκκο υλικό αλλά κυρίως απαλλαγμένα από τυχόν συσσωματώματα τα οποία οφείλονται σε αυτό) και τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις ανάγονται σε αυτά της υγρής μεθόδου.
- Με την πρότυπη μέθοδο κοκκομετρικής ανάλυσης λεπτόκοκκου υλικού με υδρόμετρο, γίνεται η κοκκομετρική ανάλυση του λεπτόκοκκου υλικού και τα αποτελέσματα ανάγονται σε αυτά της υγρής μεθόδου (Καραγιάννης , 2014).

Στη παρούσα εργασία γίνεται χρήση μόνο της πρότυπης μεθόδου προσδιορισμού κοκκομετρικής ανάλυσης χαλίκων και άμμων με κόσκινα (ξηρή μέθοδος).

3.1.1 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Παρακάτω αναγράφονται τα υλικά και οι απαραίτητες συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για την κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα των εδαφικών δειγμάτων.

1. Σειρά κοσκίνων
2. Συλλέκτης και καπάκι για τα κόσκινα
3. Βούρτσα
4. Ζυγαριά (ακρίβεια 0,1 gr)
5. Φούρνος
6. Συσκευές ξήρανσης και διαχωρισμού δειγμάτων (κλίβανος ξήρανσης 110oC)
7. Δοχείο
8. Ελαστικό σφυρί
9. Δονητής κοσκίνων (Χριστοδούλου, 2021).



Εικόνα 3.1 Συσκευή δόνησης, Πηγή:(Χριστοδούλου 2021)



Εικόνα 3.2 Σειρά κοσκίων, Πηγή: (Χριστοδούλου 2021)

3.1.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ

Επιλέγεται η σειρά κοσκίων που θα χρησιμοποιηθεί ανάλογα με τον τύπο του εξεταζόμενου εδάφους. Ζυγίζεται κάθε κόσκινο που θα χρησιμοποιηθεί (και ο συλλέκτης) με ακρίβεια 0,1 γραμμαρίων (gr) και καταγράφεται το βάρος τους.

Αν το εξεταζόμενο έδαφος περιέχει «συσσωματώματα», λειοτριβείται ώσπου να διαχωριστούν όλοι οι κόκκοι του. Ζυγίζεται με ακρίβεια 0,1 gr η απαραίτητη ποσότητα ξηρού εδαφικού δείγματος και καταγράφεται το βάρος του.

Τα κόσκινα ταξινομούνται κατά φθίνουσα (από πάνω προς τα κάτω) τάξη μεγέθους διαμέτρου οπών και τέλος ο συλλέκτης τοποθετείται κάτω από το τελευταίο κόσκινο. Έπειτα τοποθετείται το εδαφικό δείγμα, το οποίο πρώτα θα πρέπει να είναι πλυμένο και ξηρό, στο πρώτο κόσκινο από πάνω και ύστερα τοποθετείται το καπάκι από πάνω. Στη συνέχεια με προσοχή τοποθετούνται τα κόσκινα πάνω στο δονητή κοσκίων όπου εκεί δονούνται για 5-10 min ανάλογα με το μέγεθος του δείγματος που εξετάζεται και το μέγεθος που διαθέτουν οι κόκκοι του.

Ακολουθεί η μετακίνηση των κοσκίων από το δονητή και το ζύγισμα τους πάλι ένα προς ένα με ακρίβεια 0,1 gr, καταγράφοντας το βάρος τους. Όλοι οι χειρισμοί γίνονται με μεγάλη προσοχή ώστε να μην υπάρχει απώλεια εδαφικού δείγματος. Τέλος τα τα κόσκινα καθαρίζονται βουρτσίζοντάς τα ελαφρά για να απομακρυνθεί η παιπάλη που έχει μείνει με την βοήθεια ενός πινέλου (Ρούτουλας, 2010), (Χριστοδούλου, 2021).



Εικόνα 3.3 Ζύγιση ξηρού εδαφικού δείγματος, Πηγή: (Χριστοδούλου, 2021).

3.1.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ- ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από την κοκκομετρική καμπύλη που προκύπτει μπορεί να διακριθεί ο κύριος τύπος του εδάφους και οι υπάρχουσες προσμίξεις. Ως κύριο έδαφος χαρακτηρίζεται εκείνο το έδαφος στο οποίο κυριαρχεί το μεγαλύτερο ποσοστό βάρους. Τρεις βασικές παράμετροι των εδαφών υπολογίζονται από την κοκκομετρική καμπύλη:

- η ενεργός διάμετρος D_{10}
- ο συντελεστής ομοιομορφίας C_u
- ο συντελεστής καμπυλότητας C_c

Η ενεργός διάμετρος D_{10} είναι ιδιαίτερα χρήσιμη λόγω της σύνδεσής της με τη δυνατότητα ροής του νερού μέσα στο έδαφος. Μικρή τιμή της ενεργού διαμέτρου D_{10} υποδηλώνει ότι το έδαφος περιέχει λεπτόκοκκα συστατικά σε μεγάλο ποσοστό.

Επίσης, από την κοκκομετρική καμπύλη μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής καμπυλότητας C_c του εδαφικού υλικού, ο οποίος ορίζεται ως το πηλίκο:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10}) \times (D_{60})}$$

και αποτελεί ένα μέτρο της καμπυλότητας της γραμμής μεταξύ των σημείων D_{60} και D_{10} .

Παρακάτω αναγράφονται οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν στη παρούσα εργασία:

- ❖ Αθροιστικό βάρος συγκρατούμενου υλικού σε κάθε κόσκινο = άθροισμα των ποσοστών που συγκρατήθηκαν στο υπόψη κόσκινο και σε όλα τα κόσκινα που έχουν άνοιγμα βρόγχου μεγαλύτερο από αυτό.
- ❖ Αθροιστικό βάρος διερχόμενου υλικού = 100% - αθροιστικό βάρος συγκρατούμενου υλικού σε κάθε κόσκινο.
- ❖ Ποσοστό παιπάλης f διερχόμενο στα 0,063 mm = [(Ξηρό βάρος υλικού - Ξηρό βάρος πλυμένου υλικού)+ Παιπάλη] / Ξηρό βάρος υλικού *100.
- ❖ Έλεγχος αποτελέσματος = [Ξηρό βάρος πλυμένου υλικού -(Αθροισμα βάρους συγκρατούμενου υλικού Ri+ Παιπάλη)/ Ξηρό βάρος πλυμένου υλικού]/ Ξηρό βάρος πλυμένου υλικού *100. Το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα πρέπει να είναι μικρότερο του 1 (<1).
- ❖ Ο υπολογισμός του ποσοστού των χαλικιών και της άμμου έγινε ως εξής:
 - ✓ % χαλίκια χονδρά = άθροισμα του βάρους συγκρατούμενου υλικού Ri/M1 από το κόσκινο με διάσταση οπών 63 mm έως το κόσκινο με διάσταση οπών 20mm.
 - ✓ % χαλίκια λεπτά = άθροισμα του βάρους συγκρατούμενου υλικού Ri/M1 από το κόσκινο με διάσταση οπών 20 mm έως το κόσκινο με διάσταση οπών 2mm.
 - ✓ % άμμος = άθροισμα του βάρους συγκρατούμενου υλικού Ri/M1 από το κόσκινο με διάσταση οπών 2 mm έως το κόσκινο με διάσταση οπών 0,063 mm.

Ακολουθεί περιγραφή της παρουσίασης αποτελεσμάτων:

- Κοκκομετρική καμπύλη
- Προσδιορισμός των ενεργών διαμέτρων κόκκων D10, D30, D60 και των συντελεστών ομοιομορφίας και καμπυλότητας
- Περιγραφή εδαφών σύμφωνα με το σχήμα της κοκκομετρικής καμπύλης τους (Χριστοδούλου, 2021).

3.1.4 ΔΟΚΙΜΕΣ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι δοκιμές κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα που πραγματοποιήθηκαν για 10 διαφορετικά εδαφικά δείγματα από το νησί της Σύρου.

Δείγμα 1

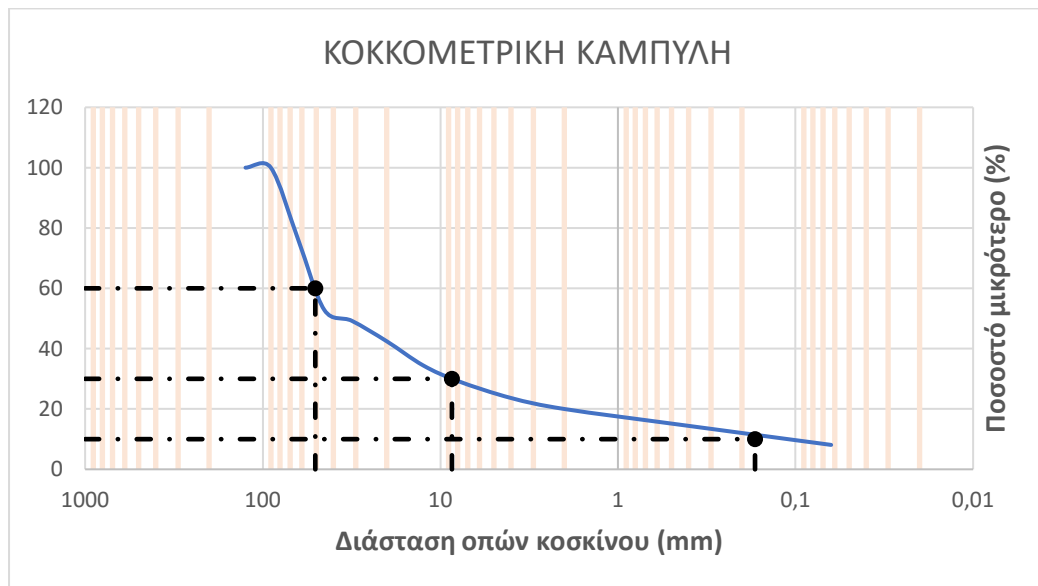
Πίνακας 3.2 Δεδομένα εδαφικού δείγματος 1

Μάζα Υλικού (Δ)	(g)	10757
Ξηρό Βάρος Υλικού (M1)	(g)	10668
Βάρος Φυσικής Υγρασίας Υλικού (Δ-M1)	(g)	89
Ξηρό Βάρος Πλυμένου Υλικού (M2)	(g)	9813
Παιπάλη Πλυσίματος (M1-M2)	(g)	855

Πίνακας 3.3 Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 1

Διάσταση Οπών Κοσκίνου	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i /M1	Αθροιστικό Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού	Αθροιστικό Βάρος Διερχόμενου Υλικού	
(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)	
125	0	0,00%	0,00%	100,00%	
90	0	0,00%	0,00%	100,00%	
63	2562	24,02%	24,02%	75,98%	
45	2470	23,15%	47,17%	52,83%	
31,5	384	3,60%	50,77%	49,23%	
20	727	6,81%	57,58%	42,42%	
12,5	850	7,97%	65,55%	34,45%	
8	548	5,14%	70,69%	29,31%	
4	605	5,67%	76,36%	23,64%	
2	389	3,65%	80,01%	19,99%	
0,425	574	5,38%	85,39%	14,61%	
0,063	696	6,52%	91,91%	8,09%	
Άθροισμα Σ	9805				
Παιπάλη P	9				
Ποσοστό παιπάλης f διερχόμενο στα 0,063 mm: [(M1- M2)+P]/M1* 100	8,10	ΣR _i +P	9814	Ελεγχος αποτελέσματος: [M2- (ΣR _i +P)/M2]/M2 *100 <1%	0,0

Διάγραμμα 3.1 Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος Ι



Πίνακας 3.4 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος Ι

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
% χαλίκια χονδρά	33,56%	D60	50,57	Cu= D60/D10	299,18
% χαλίκια λεπτά	22,43%	D30	8,60	Cc= D30^2/D10*D60	8,66
% άμμος	11,90%	D10	0,17		
		Cu>15		πολύ ανομοιόμορφο	
Δεν ισχύει		1<Cc<3		μη διαβαθμισμένο	
Ισχύει		Cu>4			
ΑΡΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ:				Μη διαβαθμισμένο	

Διαχωρισμός κατά BS

Δείγμα 2

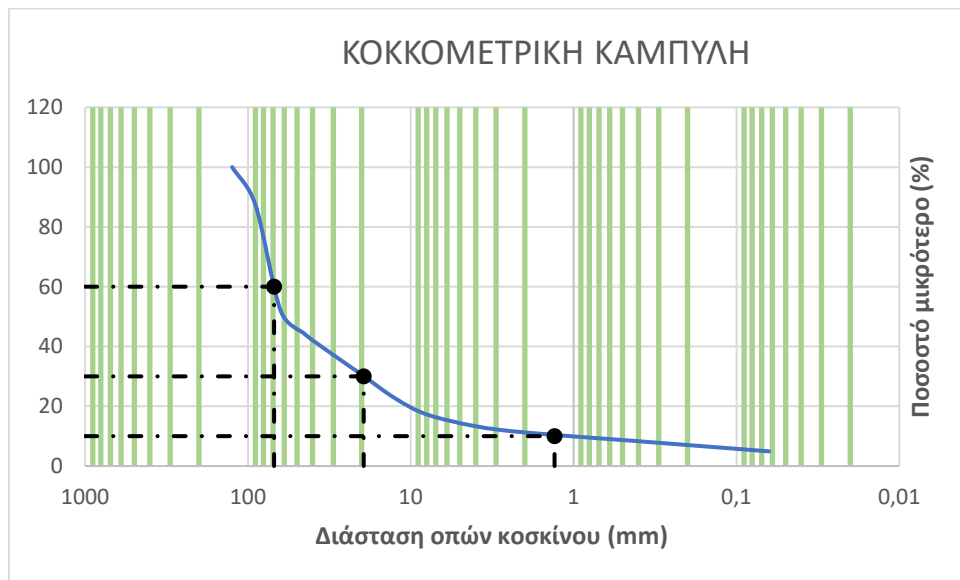
Πίνακας 3.5 Δεδομένα εδαφικού δείγματος 2

Μάζα Υλικού (Δ)	(g)	12783
Ξηρό Βάρος Υλικού (M1)	(g)	12717
Βάρος Φυσικής Υγρασίας Υλικού (Δ-M1)	(g)	66
Ξηρό Βάρος Πλυμένου Υλικού (M2)	(g)	12104
Παιπάλη Πλυσίματος (M1-M2)	(g)	613

Πίνακας 3.6 Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 2

Διάσταση Οπών Κοσκίνου	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i /M1	Αθροιστικό Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού	Αθροιστικό Βάρος Διερχόμενου Υλικού	
(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)	
125	0	0,00%	0,00%	100,00%	
90	1601	12,59%	12,59%	87,41%	
63	4507	35,44%	48,03%	51,97%	
45	983	7,73%	55,76%	44,24%	
31,5	789	6,20%	61,96%	38,04%	
20	951	7,48%	69,44%	30,56%	
12,5	1002	7,88%	77,32%	22,68%	
8	685	5,39%	82,71%	17,29%	
4	505	3,97%	86,68%	13,32%	
2	264	2,08%	88,76%	11,24%	
0,425	360	2,83%	91,59%	8,41%	
0,063	445	3,50%	95,09%	4,91%	
Άθροισμα Σ	12092				
Παιπάλη P	12				
Ποσοστό παιπάλης f διερχόμενο στα 0,063 mm: [(M1- M2)+P]/M1* 100	4,91	ΣRi+P	12104	Ελεγχος αποτελέσματος: [M2- (ΣRi+P)/M2]/M2 *100 <1%	0,0

Διάγραμμα 3.2 Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος 2



Πίνακας 3.7 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 2

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
% χαλίκια χονδρά	21,41%	D60	69,12	Cu= D60/D10	52,77
% χαλίκια λεπτά	19,32%	D30	19,47	Cc= D30^2/D10*D60	4,19
% άμμος	6,33%	D10	1,31		
		Cu>15		πολύ ανομοιόμορφο	
Δεν ισχύει		1<Cc<3		μη διαβαθμισμένο	
Ισχύει		Cu>4			
ΑΡΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ:				Μη διαβαθμισμένο	

Διαχωρισμός κατά BS

Δείγμα 3

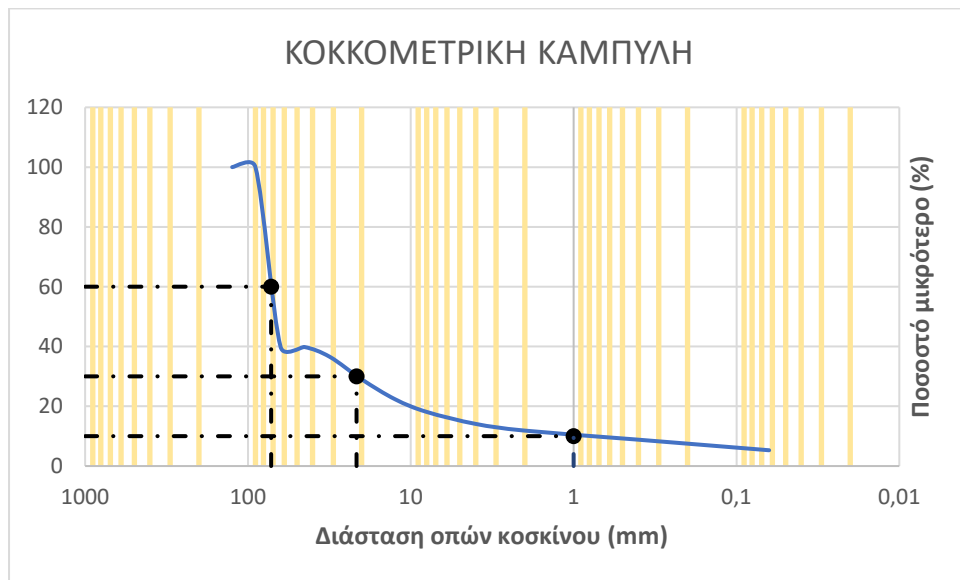
Πίνακας 3.8 Δεδομένα εδαφικού δείγματος 3

Μάζα Υλικού (Δ)	(g)	11204
Ξηρό Βάρος Υλικού (M1)	(g)	11138
Βάρος Φυσικής Υγρασίας Υλικού (Δ-M1)	(g)	66
Ξηρό Βάρος Πλυμένου Υλικού (M2)	(g)	10560
Παιπάλη Πλυσίματος (M1-M2)	(g)	578

Πίνακας 3.9 Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 3

Διάσταση Οπών Κοσκίνου	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i /M1	Αθροιστικό Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού	Αθροιστικό Βάρος Διερχόμενου Υλικού	
(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)	
125	0	0,00%	0,00%	100,00%	
90	0	0,00%	0,00%	100,00%	
63	6703	60,18%	60,18%	39,82%	
45	0	0,00%	60,18%	39,82%	
31,5	363	3,26%	63,44%	36,56%	
20	843	7,57%	71,01%	28,99%	
12,5	740	6,64%	77,65%	22,35%	
8	471	4,23%	81,88%	18,12%	
4	448	4,02%	85,90%	14,10%	
2	250	2,24%	88,14%	11,86%	
0,425	326	2,93%	91,07%	8,93%	
0,063	407	3,65%	94,72%	5,28%	
Άθροισμα Σ	10551				
Παιπάλη P	6				
Ποσοστό παιπάλης f διερχόμενο στα 0,063 mm: $[(M1-M2)+P]/M1 \cdot 100$	5,24	ΣRi+P	10557	Ελεγχος αποτελέσματος: $[M2-(\Sigma Ri+P)]/M2 \cdot 100 < 1\%$	0,0

Διάγραμμα 3.3 Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος 3



Πίνακας 3.10 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 3

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
% χαλίκια χονδρά	10,83%	D60	72,05	Cu= D60/D10	72,04
% χαλίκια λεπτά	17,13%	D30	21,53	Cc= D30^2/D10*D60	6,43
% άμμος	6,58%	D10	1,00		
		Cu>15		πολύ ανομοιόμορφο	
Δεν ισχύει		1<Cc<3		μη διαβαθμισμένο	
Ισχύει		Cu>4			
ΑΡΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ:				Μη διαβαθμισμένο	

Διαχωρισμός κατά BS

Δείγμα 4

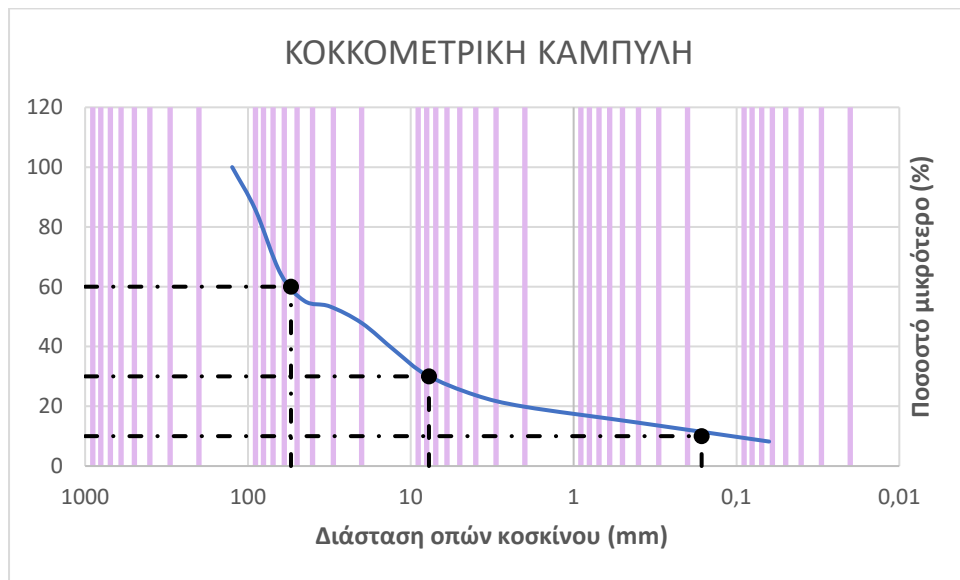
Πίνακας 3.11 Δεδομένα εδαφικού δείγματος 4

Μάζα Υλικού (Δ)	(g)	11072
Ξηρό Βάρος Υλικού (M1)	(g)	10970
Βάρος Φυσικής Υγρασίας Υλικού (Δ-M1)	(g)	102
Ξηρό Βάρος Πλυμένου Υλικού (M2)	(g)	10074
Παιπάλη Πλυσίματος (M1-M2)	(g)	896

Πίνακας 3.12 Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 4

Διάσταση Οπών Κοσκίνου	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i /M1	Αθροιστικό Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού	Αθροιστικό Βάρος Διερχόμενου Υλικού	
(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)	
125	0	0,00%	0,00%	100,00%	
90	1565	14,27%	14,27%	85,73%	
63	2346	21,39%	35,66%	64,34%	
45	999	9,11%	44,77%	55,23%	
31,5	200	1,82%	46,59%	53,41%	
20	612	5,58%	52,17%	47,83%	
12,5	1016	9,26%	61,43%	38,57%	
8	891	8,12%	69,55%	30,45%	
4	742	6,76%	76,31%	23,69%	
2	422	3,85%	80,16%	19,84%	
0,425	564	5,14%	85,30%	14,70%	
0,063	714	6,51%	91,81%	8,19%	
Άθροισμα Σ	10071				
Παιπάλη P	3				
Ποσοστό παιπάλης f διερχόμενο στα 0,063 mm: [(M1- M2)+P]/M1* 100	8,20	ΣRi+P	10074	Ελεγχος αποτελέσματος : [M2- (ΣRi+P)/M2]/M 2*100 <1%	0,0

Διάγραμμα 3.4 Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος 4



Πίνακας 3.13 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
% χαλίκια χονδρά	16,51%	D60	54,42	Cu= D60/D10	332,57
% χαλίκια λεπτά	27,99%	D30	7,73	Cc= D30^2/D10*D60	6,72
% άμμος	11,65%	D10	0,16		
		Cu>15	πολύ ανομοιόμορφο		
Δεν ισχύει		1<Cc<3	μη διαβαθμισμένο		
Ισχύει		Cu>4			
ΑΡΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ:			Μη διαβαθμισμένο		

Διαχωρισμός κατά BS

Δείγμα 5

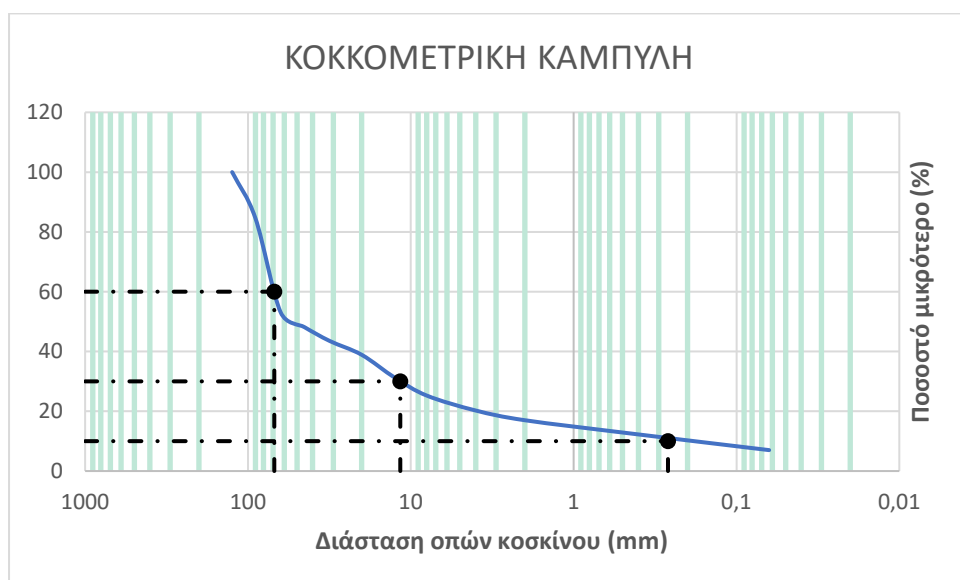
Πίνακας 3.14 Δεδομένα εδαφικού δείγματος 5

Μάζα Υλικού (Δ)	(g)	7434
Ξηρό Βάρος Υλικού (M1)	(g)	7378
Βάρος Φυσικής Υγρασίας Υλικού (Δ-M1)	(g)	56
Ξηρό Βάρος Πλυμένου Υλικού (M2)	(g)	6868
Παιπάλη Πλυσίματος (M1-M2)	(g)	510

Πίνακας 3.15 Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 5

Διάσταση Οπών Κοσκίνου	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i /M1	Αθροιστικό Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού	Αθροιστικό Βάρος Διερχόμενου Υλικού	
(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)	
125	0	0,00%	0,00%	100,00%	
90	1138	15,42%	15,42%	84,58%	
63	2322	31,47%	46,89%	53,11%	
45	367	4,97%	51,86%	48,14%	
31,5	341	4,62%	56,48%	43,52%	
20	343	4,65%	61,13%	38,87%	
12,5	567	7,69%	68,82%	31,18%	
8	436	5,91%	74,73%	25,27%	
4	370	5,01%	79,74%	20,26%	
2	240	3,25%	82,99%	17,01%	
0,425	339	4,59%	87,58%	12,42%	
0,063	400	5,42%	93,00%	7,00%	
Άθροισμα Σ	6863				
Παιπάλη P	5				
Ποσοστό παιπάλης f διερχόμενο στα 0,063 mm: [(M1- M2)+P]/M1* 100	6,98	ΣRi+P	6868	Ελεγχος αποτελέσματος: [M2- (ΣRi+P)/M2]/M2 *100 <1%	0,0

Διάγραμμα 3.5 Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος 5



Πίνακας 3.16 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
% χαλίκια χονδρά	14,24%	D60	68,91	Cu= D60/D10	261,65
% χαλίκια λεπτά	21,86%	D30	11,60	Cc= D30^2/D10*D60	7,42
% άμμος	10,01%	D10	0,26		
		Cu>15		πολύ ανομοιόμορφο	
Δεν ισχύει		1<Cc<3		μη διαβαθμισμένο	
Ισχύει		Cu>4			
ΑΡΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ:				Μη διαβαθμισμένο	

Διαχωρισμός κατά BS

Δείγμα 6

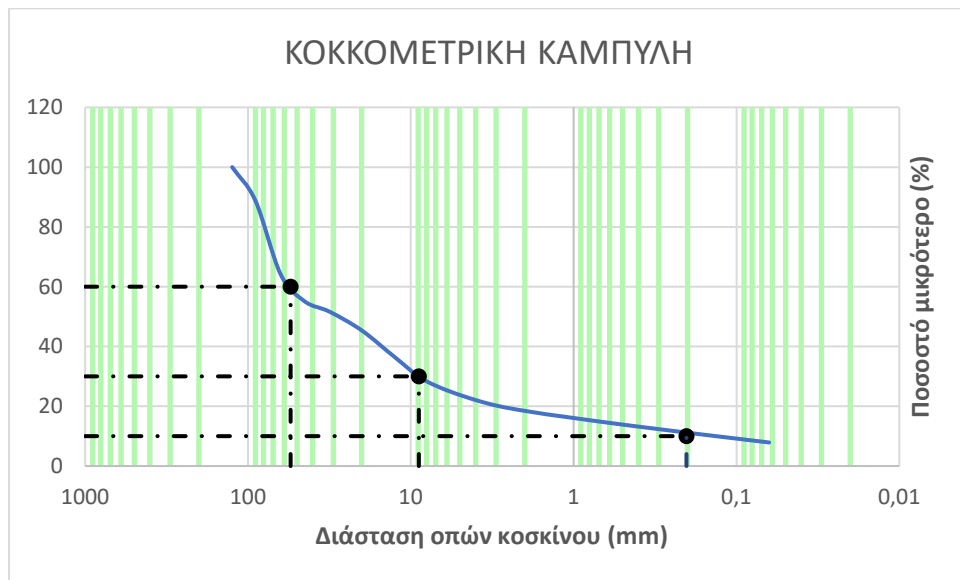
Πίνακας 3.17 Δεδομένα εδαφικού δείγματος 6

Μάζα Υλικού (Δ)	(g)	11067
Ξηρό Βάρος Υλικού (M1)	(g)	10998
Βάρος Φυσικής Υγρασίας Υλικού (Δ-M1)	(g)	69
Ξηρό Βάρος Πλυμένου Υλικού (M2)	(g)	10139
Παιπάλη Πλυσίματος (M1-M2)	(g)	859

Πίνακας 3.18 Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 6

Διάσταση Οπών Κοσκίνου	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i /M1	Αθροιστικό Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού	Αθροιστικό Βάρος Διερχόμενου Υλικού	
(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)	
125	0	0,00%	0,00%	100,00%	
90	1235	11,23%	11,23%	88,77%	
63	2709	24,63%	35,86%	64,14%	
45	989	8,99%	44,85%	55,15%	
31,5	388	3,53%	48,38%	51,62%	
20	688	6,26%	54,64%	45,36%	
12,5	989	8,99%	63,63%	36,37%	
8	882	8,02%	71,65%	28,35%	
4	690	6,27%	77,92%	22,08%	
2	398	3,62%	81,54%	18,46%	
0,425	560	5,09%	86,63%	13,37%	
0,063	604	5,49%	92,12%	7,88%	
Άθροισμα Σ	10132				
Παιπάλη P	5				
Ποσοστό παιπάλης f διερχόμενο στα 0,063 mm: [(M1- M2)+P]/M1* 100	7,86	ΣRi+P	10137	Ελεγχος αποτελέσματος: [M2- (ΣRi+P)/M2]/M2 *100 <1%	0,0

Διάγραμμα 3.6 Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος 6



Πίνακας 3.19 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
% χαλίκια χονδρά	18,78%	D60	54,71	Cu= D60/D10	269,79
% χαλίκια λεπτά	26,90%	D30	8,93	Cc= D30^2/D10*D60	7,18
% άμμος	10,58%	D10	0,20		
		Cu>15		πολύ ανομοιόμορφο	
Δεν ισχύει		1<Cc<3		μη διαβαθμισμένο	
Ισχύει		Cu>4			
ΑΡΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ:				Μη διαβαθμισμένο	

Διαχωρισμός κατά BS

Δείγμα 7

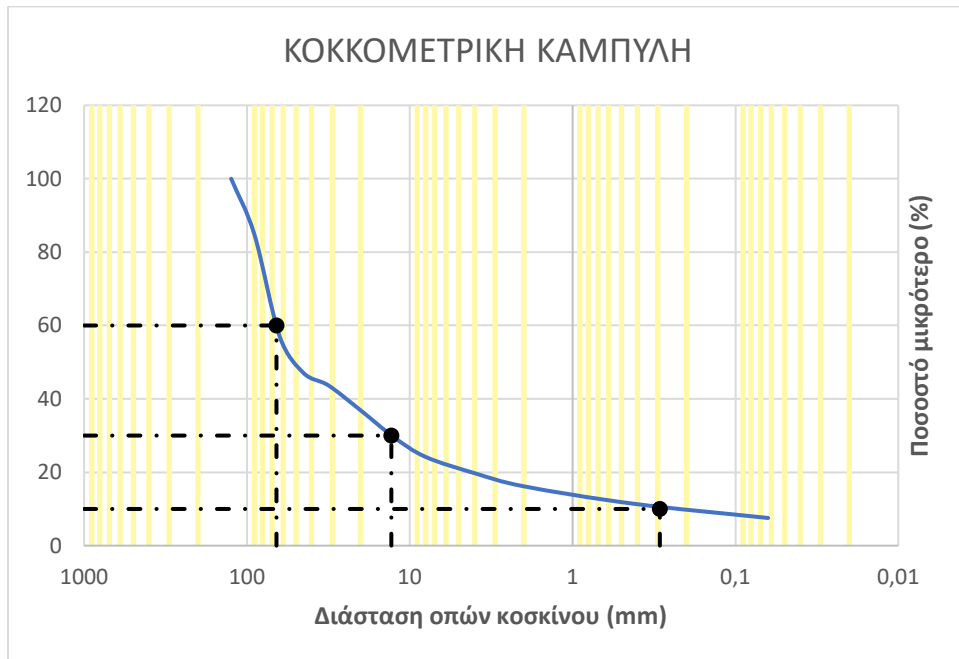
Πίνακας 3.20 Δεδομένα εδαφικού δείγματος 7

Μάζα Υλικού (Δ)	(g)	10800
Ξηρό Βάρος Υλικού (M1)	(g)	10715
Βάρος Φυσικής Υγρασίας Υλικού (Δ-M1)	(g)	85
Ξηρό Βάρος Πλυμένου Υλικού (M2)	(g)	9915
Παιπάλη Πλυσίματος (M1-M2)	(g)	800

Πίνακας 3.21 Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 7

Διάσταση Οπών Κοσκίνου	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i /M1	Αθροιστικό Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού	Αθροιστικό Βάρος Διερχόμενου Υλικού	
(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)	
125	0	0,00%	0,00%	100,00%	
90	1630	15,21%	15,21%	84,79%	
63	2973	27,75%	42,96%	57,04%	
45	1067	9,96%	52,92%	47,08%	
31,5	370	3,45%	56,37%	43,63%	
20	726	6,78%	63,15%	36,85%	
12,5	784	7,32%	70,47%	29,53%	
8	572	5,34%	75,81%	24,19%	
4	476	4,44%	80,25%	19,75%	
2	383	3,57%	83,82%	16,18%	
0,425	508	4,74%	88,56%	11,44%	
0,063	418	3,90%	92,46%	7,54%	
Άθροισμα Σ	9907				
Παιπάλη P	4				
Ποσοστό παιπάλης f διερχόμενο στα 0,063 mm: $[(M1-M2)+P]/M1 \cdot 100$	7,50	ΣRi+P	9911	Ελεγχος αποτελέσματος: $[M2-(\Sigma Ri+P)/M2]/M2 \cdot 100 < 1\%$	0,0

Διάγραμμα 3.7 Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος 7



Πίνακας 3.22 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 7

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
% χαλίκια χονδρά	20,19%	D60	65,88	Cu= D60/D10	226,13
% χαλίκια λεπτά	20,67%	D30	12,98	Cc= D30^2/D10*D60	8,78
% άμμος	8,64%	D10	0,29		
		Cu>15		πολύ ανομοιομόρφο	
Δεν ισχύει		1<Cc<3		μη διαβαθμισμένο	
Ισχύει		Cu>4			
ΑΡΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ:				Μη διαβαθμισμένο	

Διαχωρισμός κατά BS

Δείγμα 8

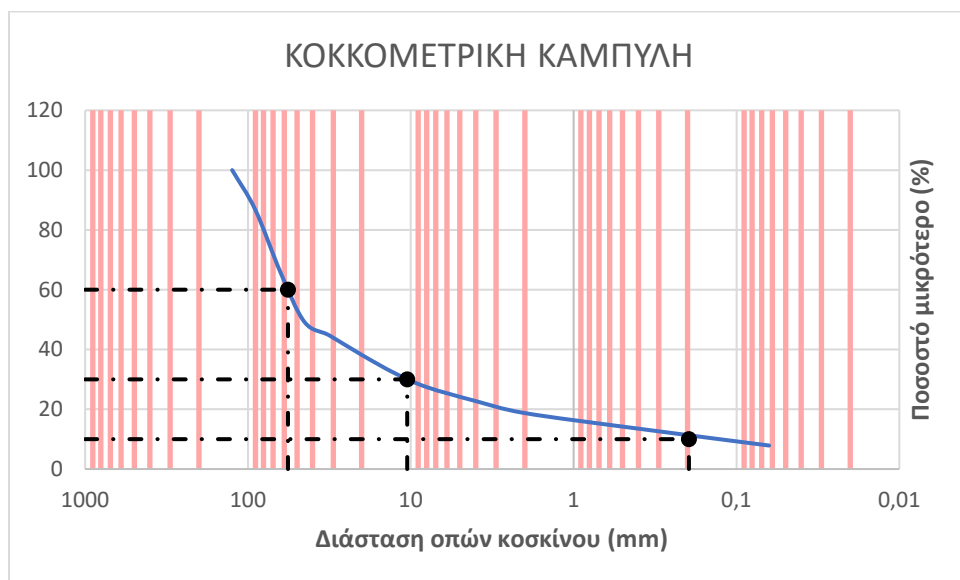
Πίνακας 3.23 Δεδομένα εδαφικού δείγματος 8

Μάζα Υλικού (Δ)	(g)	10602
Ξηρό Βάρος Υλικού (M1)	(g)	10518
Βάρος Φυσικής Υγρασίας Υλικού (Δ-M1)	(g)	84
Ξηρό Βάρος Πλυμένου Υλικού (M2)	(g)	9704
Παιπάλη Πλυσίματος (M1-M2)	(g)	814

Πίνακας 3.24 Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 8

Διάσταση Οπών Κοσκίνου	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i /M1	Αθροιστικό Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού	Αθροιστικό Βάρος Διερχόμενου Υλικού	
(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)	
125	0	0,00%	0,00%	100,00%	
90	1403	13,34%	13,34%	86,66%	
63	2207	20,98%	34,32%	65,68%	
45	1731	16,46%	50,78%	49,22%	
31,5	481	4,57%	55,35%	44,65%	
20	682	6,48%	61,83%	38,17%	
12,5	647	6,15%	67,98%	32,02%	
8	483	4,59%	72,57%	27,43%	
4	492	4,68%	77,25%	22,75%	
2	423	4,02%	81,27%	18,73%	
0,425	530	5,04%	86,31%	13,69%	
0,063	613	5,83%	92,14%	7,86%	
Άθροισμα Σ	9692				
Παιπάλη P	7				
Ποσοστό παιπάλης f διερχόμενο στα 0,063 mm: $[(M1-M2)+P]/M1 \cdot 100$	7,81	ΣRi+P	9699	Ελεγχος αποτελέσματος: $[M2-(\Sigma Ri+P)]/M2 \cdot 100 < 1\%$	0,0

Διάγραμμα 3.8 Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος 8



Πίνακας 3.25 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 8

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
% χαλίκια χονδρά	27,51%	D60	56,79	Cu= D60/D10	289,92
% χαλίκια λεπτά	19,44%	D30	10,52	Cc= D30^2/D10*D60	9,95
% άμμος	10,87%	D10	0,20		
		Cu>15	πολύ ανομοιόμορφο		
Δεν ισχύει		1<Cc<3	μη διαβαθμισμένο		
Ισχύει		Cu>4			
ΑΡΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ:			Μη διαβαθμισμένο		

Διαχωρισμός κατά BS

Δείγμα 9

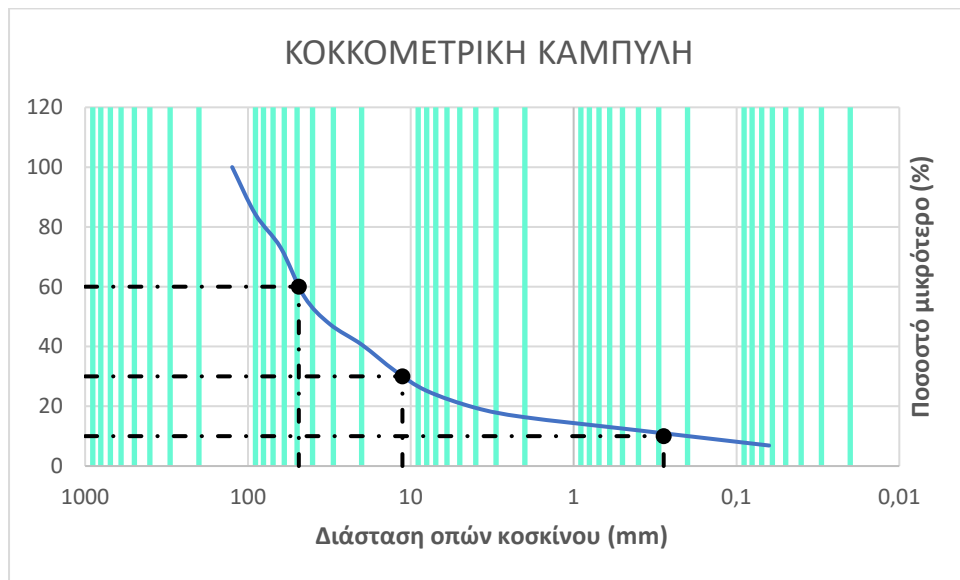
Πίνακας 3.26 Δεδομένα εδαφικού δείγματος 9

Μάζα Υλικού (Δ)	(g)	11209
Ξηρό Βάρος Υλικού (M1)	(g)	11101
Βάρος Φυσικής Υγρασίας Υλικού (Δ-M1)	(g)	108
Ξηρό Βάρος Πλυμένου Υλικού (M2)	(g)	10349
Παιπάλη Πλυσίματος (M1-M2)	(g)	752

Πίνακας 3.27 Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 9

Διάσταση Οπών Κοσκίνου	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i /M1	Αθροιστικό Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού	Αθροιστικό Βάρος Διερχόμενου Υλικού	
(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)	
125	0	0,00%	0,00%	100,00%	
90	1752	15,78%	15,78%	84,22%	
63	1238	11,15%	26,93%	73,07%	
45	1828	16,47%	43,40%	56,60%	
31,5	1007	9,07%	52,47%	47,53%	
20	769	6,93%	59,40%	40,60%	
12,5	973	8,76%	68,16%	31,84%	
8	739	6,66%	74,82%	25,18%	
4	634	5,71%	80,53%	19,47%	
2	347	3,13%	83,66%	16,34%	
0,425	471	4,24%	87,90%	12,10%	
0,063	582	5,24%	93,14%	6,86%	
Άθροισμα Σ	10340				
Παιπάλη P	7				
Ποσοστό παιπάλης f διερχόμενο στα 0,063 mm: [(M1- M2)+P]/M1* 100	6,84	ΣRi+P	10347	Ελεγχος αποτελέσματος: [M2- (ΣRi+P)/M2]/M2 *100 <1%	0,0

Διάγραμμα 3.9 Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος 9



Πίνακας 3.28 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 9

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
% χαλίκια χονδρά	32,47%	D60	48,72	Cu= D60/D10	174,03
% χαλίκια λεπτά	24,26%	D30	11,26	Cc= D30^2/D10*D60	9,29
% άμμος	9,48%	D10	0,28		
		Cu>15		πολύ ανομοιομόρφο	
Δεν ισχύει		1<Cc<3		μη διαβαθμισμένο	
Ισχύει		Cu>4			
ΑΡΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ:				Μη διαβαθμισμένο	

Διαχωρισμός κατά BS

Δείγμα 10

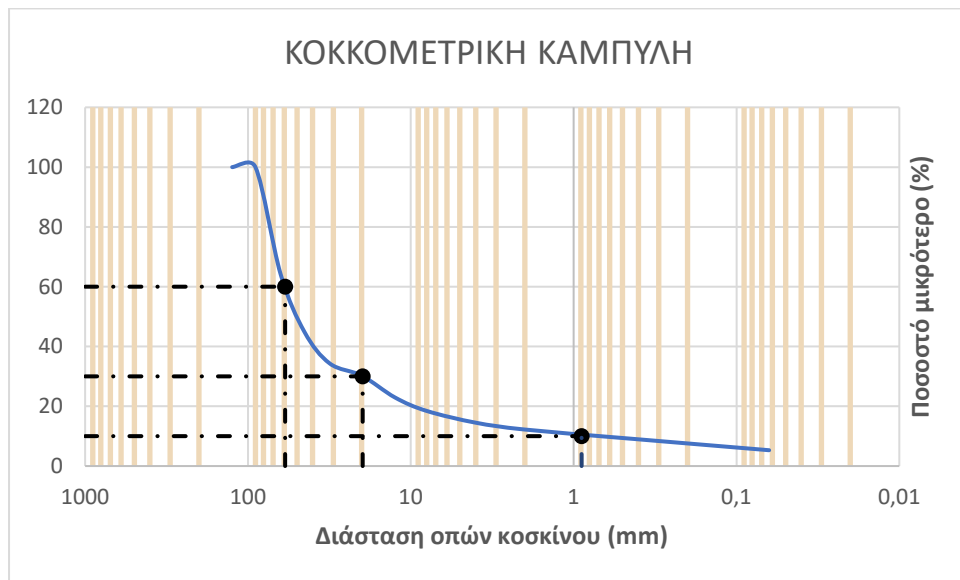
Πίνακας 3.29 Δεδομένα εδαφικού δείγματος 10

Μάζα Υλικού (Δ)	(g)	9151
Ξηρό Βάρος Υλικού (M1)	(g)	9092
Βάρος Φυσικής Υγρασίας Υλικού (Δ-M1)	(g)	59
Ξηρό Βάρος Πλυμένου Υλικού (M2)	(g)	8622
Παιπάλη Πλυσίματος (M1-M2)	(g)	470

Πίνακας 3.30 Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 10

Διάσταση Οπών Κοσκίνου	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i	Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού R _i /M1	Αθροιστικό Βάρος Συγκρατούμε νου Υλικού	Αθροιστικό Βάρος Διερχόμενου Υλικού	
(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)	
125	0	0,00%	0,00%	100,00%	
90	0	0,00%	0,00%	100,00%	
63	3259	35,84%	35,84%	64,16%	
45	1753	19,28%	55,12%	44,88%	
31,5	958	10,54%	65,66%	34,34%	
20	373	4,10%	69,76%	30,24%	
12,5	665	7,31%	77,07%	22,93%	
8	407	4,48%	81,55%	18,45%	
4	358	3,94%	85,49%	14,51%	
2	208	2,29%	87,78%	12,22%	
0,425	287	3,16%	90,94%	9,06%	
0,063	343	3,77%	94,71%	5,29%	
Άθροισμα Σ	8611				
Παιπάλη P	4				
Ποσοστό παιπάλης f διερχόμενο στα 0,063 mm: $[(M1-M2)+P]/M1 \cdot 100$	5,21	ΣRi+P	8615	Ελεγχος αποτελέσματος: $[M2-(\Sigma Ri+P)/M2]/M2 \cdot 100 < 1\%$	0,0

Διάγραμμα 3.10 Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος 10



Πίνακας 3.31 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 10

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
% χαλίκια χονδρά	33,92%	D60	59,12	Cu= D60/D10	66,16
% χαλίκια λεπτά	18,02%	D30	19,75	Cc= D30^2/D10*D60	7,39
% άμμος	6,93%	D10	0,89		
		Cu>15		πολύ ανομοιομόρφο	
Δεν ισχύει		1<Cc<3		μη διαβαθμισμένο	
Ισχύει		Cu>4			
ΑΡΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ:				Μη διαβαθμισμένο	

Διαχωρισμός κατά BS

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για κοκκομετρική ανάλυση:

Πίνακας 3.32 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα δειγμάτων κοκκομετρικής ανάλυσης (1)

Παράμετρος	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5
% χαλίκια χονδρά	33,56%	21,41%	10,83%	16,51%	14,24%
% χαλίκια λεπτά	22,43%	19,32%	17,13%	27,99%	21,86%
% άμμος	11,90%	6,33%	6,58%	11,65%	10,01%
Συντελεστής κυρτότητας (Cc)	8,66	4,19	6,43	6,72	7,42
Συντελεστής ομοιομορφίας (Cu)	299,18	52,77	72,04	332,57	261,65
Περιγραφή εδάφους	ΧΑΛΙΚΕΣ				
Αποτέλεσμα	μη διαβαθμισμένο				
Προδιαγραφές	Καλά διαβαθμισμένο:	$1 \leq Cc \leq 3$	Cu > 4 (για χάλικες)		
			Cu > 6 (για άμμους)		

Πίνακας 3.33 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα δειγμάτων κοκκομετρικής ανάλυσης (2)

Παράμετρος	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10
% χαλίκια χονδρά	18,78%	20,19%	27,51%	32,47%	33,92%
% χαλίκια λεπτά	26,90%	20,67%	19,44%	24,26%	18,02%
% άμμος	10,58%	8,64%	10,87%	9,48%	6,93%
Συντελεστής κυρτότητας (Cc)	7,18	8,78	9,95	9,29	7,39
Συντελεστής ομοιομορφίας (Cu)	269,79	226,13	289,92	174,03	66,16
Περιγραφή εδάφους	ΧΑΛΙΚΕΣ				
Αποτέλεσμα	μη διαβαθμισμένο				
Προδιαγραφές	Καλά διαβαθμισμένο:	$1 \leq Cc \leq 3$	Cu > 4 (για χάλικες)		
			Cu > 6 (για άμμους)		

3.2 ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ – ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ATTEBERG

Τα συνεκτικά εδάφη, ανάλογα με την υγρασία που περιέχουν αλλάζουν δραματικά κατάσταση. Ο λόγος είναι ότι τα εδάφη αυτά κρατάνε στο εσωτερικό τους το νερό, δεν στραγγίζουνε δηλαδή όπως τα χοντρόκοκκα. Γι' αυτό το λόγο θεωρούνται πρακτικά αδιαπέρατα. Με την αφαίρεση της υγρασίας μπορούν να περιέλθουν από μία ρευστή κατάσταση, σε μία κατάσταση σκληρού στερεού με μεγάλη αντοχή. Ενδιάμεσα μπορούν να βρίσκονται σε μία πλαστική κατάσταση, δηλαδή να μπορούν να παραμορφώνονται μόνιμα (να πλάθονται), χωρίς να θραύονται. Επίσης μπορούν να περιέλθουν σε ημιστερεή κατάσταση, που είναι παρόμοια με την πλαστική, με τη διαφορά ότι σε αυτή ενώ πλάθονται παρουσιάζουν ρωγμές. Έτσι η περιεχόμενη υγρασία στα συνεκτικά εδάφη καθορίζει και τις μηχανικές τους ιδιότητες. Οι υγρασίες που αποτελούν τα όρια ανάμεσα στις καταστάσεις αυτές είναι τα όρια Atterberg.

- Όριο Υδαρότητας LL
- Όριο Πλαστικότητας LP
- Όριο Συρρίκνωσης SW

Σχετικά με το Όριο Υδαρότητας, αυτό ορίζεται ως η περιεχόμενη υγρασία κατά την οποία το έδαφος αφού έχει χάσει νερό, μεταφέρεται από την υδαρή στην πλαστική κατάσταση.

Τέλος ο Δείκτης Πλαστικότητας IP αντιπροσωπεύει το φάσμα των υγρασιών, για τις οποίες το έδαφος θεωρείτε πως μένει σε πλαστική κατάσταση. Όσο πιο μεγάλος είναι ο δείκτης αυτός, τόσο πιο πλαστικό θεωρείται πως είναι ένα έδαφος.

Πίνακας 3.34 Συσχέτιση βαθμού πλαστικότητας και δείκτη πλαστικότητας IP, Πηγή: (Διαμαντής & Χάικαλ, 2017)

ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ IP
Έδαφος μικρής πλαστικότητας	<5
Έδαφος μέσης πλαστικότητας	5-15
Έδαφος μεγάλης πλαστικότητας	>15

Ο προσδιορισμός των παραπάνω έχει σαν σκοπό την κατάταξη των λεπτόκοκκων εδαφών (Διαμαντής & Χάικαλ, 2017).

3.2.1 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ – ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

Παρακάτω αναγράφονται τα υλικά και οι απαραίτητες συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για το προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας (LL).

1. Συσκευή ορίου υδαρότητας και εργαλείο διαμόρφωσης εγκοπής (συσκευή Casagrande)
2. Γυάλινη πλάκα
3. Σπάτουλα
4. Δοχείο ανάμιξης
5. Δοχείο ξήρανσης

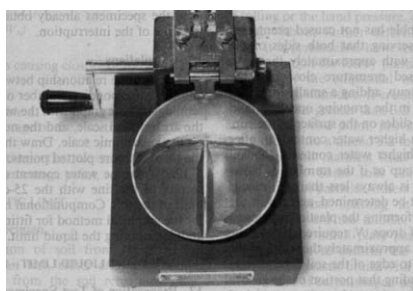
6. Φούρνος
7. Ζυγαριά (ευαισθησία 0,01 gr)
8. Κόσκινο Νο 40 (0,42 mm)
9. Νερό (Χριστοδούλου, 2021).



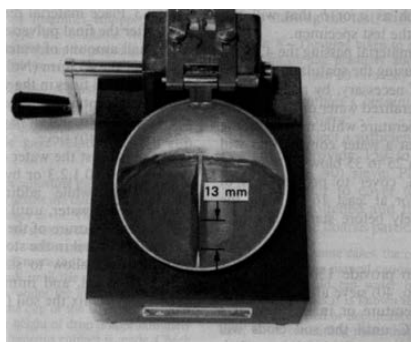
*Εικόνα 3.4 Εργαστηριακός εξοπλισμός προσδιορισμού ορίου υδαρότητας(1),
Πηγή: (Χριστοδούλου, 2021)*

3.2.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ – ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

Το ξηρό έδαφος προς εξέταση λειοτριβείται και στη συνέχεια διαχωρίζεται με χρήση του κοσκίνου Νο. 40. Το τμήμα του εδαφικού δείγματος που διέρχεται από το κόσκινο Νο. 40 αποτελεί το δείγμα που θα χρησιμοποιηθεί στη δοκιμή. Γίνεται ανάμειξη περίπου 100–200 gr ξηρού δείγματος με αποσταγμένο νερό μέχρι να σχηματιστεί μία ομοιόμορφη πάστα. Μέρος της πάστας τοποθετείται στη συσκευή του ορίου υδαρότητας (συσκευή Casagrande) με μέγιστο βάθος 13 mm - το βάθος αυτό ελέγχεται με το εργαλείο διαμόρφωσης εγκοπής. Σχηματίζεται λοιπόν μια εγκοπή με το εργαλείο αυτό μετακινώντας το από το πάνω τμήμα της κυψέλης της συσκευής προς το χαμηλότερο σημείο της. Η λαβή περιστροφής περιστρέφεται με ρυθμό 2 στροφές ανά δευτερόλεπτο και μετρώνται οι κτύποι που χρειάζονται για να κλείσει η εγκοπή σε μήκος ίσο με 13 mm.



Εικόνα 3.5 Δείγμα πριν τη δοκιμή, Πηγή: (Χριστοδούλου, 2021)



Εικόνα 3.6 Δείγμα μετά τη δοκιμή, Πηγή: (Χριστοδούλου, 2021)

Αν ο αριθμός των κτύπων ξεπερνάει τους 35, το δείγμα αναμιγνύεται επιπλέον με νερό και επαναλαμβάνεται η διαδικασία από το σημείο της τοποθέτησης στη συσκευή Casagrande μέχρι τη καταμέτρηση των κτύπων που χρειάζονται για να κλείσει η εγκοπή. Αν ο αριθμός κτύπων είναι μικρότερος από 15, ή προστίθεται ξηρό έδαφος και το δείγμα αναμιγνύεται πάλι ή το δείγμα ξηραίνεται ελαφρά με θερμό αέρα και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι τη καταμέτρηση των κτύπων. Αν ο αριθμός των κτύπων βρίσκεται μεταξύ 15 και 35, καταγράφεται η τιμή αυτή και τοποθετούνται 10 gr περίπου από το δείγμα που βρίσκονται κοντά στην κλειστή εγκοπή σε μεταλλικό δοχείο ξήρανσης για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε νερό του δείγματος. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία 2-7 έως ότου αποκτηθούν συνολικά 4 τιμές κτύπων, από τις οποίες μία να βρίσκεται μεταξύ 15- 20, μία μεταξύ 20-25, μία μεταξύ 25-30 και μία μεταξύ 30-35. Είναι προτιμότερο να γίνει η έναρξη των δοκιμών από το μεγαλύτερο αριθμό κτύπων (πιο ξηρό δείγμα) και να προστίθεται νερό στη συνέχεια νερό παρά το αντίθετο (Χριστοδούλου, 2021).



Εικόνα 3.7 Εργαστηριακός εξοπλισμός προσδιορισμού ορίου υδαρότητας (2), Πηγή: (Χριστοδούλου, 2021)

3.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

- ❖ Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε νερό όλων των δειγμάτων. Παρακάτω αναφέρεται η προτεινόμενη εργαστηριακή διαδικασία προσδιορισμού της και οι υπολογισμοί.
- ❖ Σχεδίαση διαγράμματος περιεκτικότητας σε νερό – αριθμού κτύπων σε ημιλογαριθμικό χαρτί. Σχεδίαση μίας ευθείας γραμμής που ταιριάζει όσο το δυνατόν καλύτερα στα σημεία του διαγράμματος.
- ❖ Προσδιορισμός του ορίου υδαρότητας από το διάγραμμα που σχεδιάστηκε στη προηγούμενη κουκίδα. Το όριο υδαρότητας LL είναι η περιεκτικότητα σε νερό

που αντιστοιχεί σε 25 κτύπους (ακρίβεια 1%) και αναφέρεται σε ακέραιες μονάδες (Χριστοδούλου, 2021).

3.2.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΝΕΡΟ

Απαραίτητες Συσκευές και Υλικά

1. Ζυγαριά (ευαισθησία 0,01 gr)
2. Φούρνος
3. Δοχεία ξήρανσης

Εκτέλεση Δοκιμής (Πρότυπο ASTM D2216)

Ζυγίζεται το δοχείο ξήρανσης στο πλησιέστερο 0,01 gr. Έπειτα τοποθετείται στο δοχείο ξήρανσης η ποσότητα υγρού εδαφικού δείγματος που απαιτείται και ζυγίζεται το δοχείο μαζί με το υγρό δείγμα στο πλησιέστερο 0,01 gr. Στη συνέχεια γίνεται τοποθέτηση του δοχείου ξήρανσης με το υγρό δείγμα στο φούρνο σε θερμοκρασία ίση με 110°C και αφήνεται μέχρι το εδαφικό δείγμα να ξηρανθεί, συνήθως χρειάζονται 16-20 ώρες. Τέλος εξάγεται το δοχείο ξήρανσης που περιέχει το ξηρό εδαφικό δείγμα από το φούρνο και έπειτα ζυγίζεται στο πλησιέστερο 0,01 gr.

Υπολογισμός Περιεκτικότητας σε Νερό

1. Βάρος νερού = (βάρος δοχείου + υγρού εδάφους) – (βάρος δοχείου + ξηρού εδάφους)
2. Βάρος στερεών = (βάρος δοχείου + ξηρού εδάφους) – (βάρος δοχείου)
3. Περιεκτικότητα σε νερό (%) = (Βάρος νερού) / (Βάρος στερεών) * 100 (Χριστοδούλου, 2021).

3.2.5. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ – ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ASTM D4318)

Το εδαφικό δείγμα που χρησιμοποιείται είναι το ίδιο με αυτό του ορίου υδαρότητας. Έτσι αναμιγνύονται 30 gr περίπου ξηρού εδαφικού δείγματος με αποσταγμένο νερό μέχρι να σχηματιστεί μία ομοιόμορφη πάστα. Στη γυάλινη επιφάνεια κυλίεται , περίπου μία ποσότητα 10 gr υγρού εδαφικού δείγματος χρησιμοποιώντας την παλάμη με ρυθμό 80-90 στροφές το λεπτό, μέχρι το δείγμα να αρχίσει να θρυμματίζεται όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.8 Θρυμματισμός εδαφικού δείγματος. Πηγή: (Χριστοδούλου, 2021).

Το δείγμα θα πρέπει να αρχίσει να θρυμματίζεται όταν θα έχει αποκτήσει διάμετρο ίση με 3,2 mm. Αν η διάμετρος αυτή είναι πιο μικρή όταν θρυμματιστεί (δηλαδή αν είναι λεπτότερο), ενώνεται και η κύλιση γίνεται από την αρχή. Αν η διάμετρος αυτή είναι πιο μεγάλη όταν θρυμματιστεί, προστίθεται νερό στο εδαφικό δείγμα, αναμιγνύεται από την αρχή και επαναλαμβάνονται τα παραπάνω βήματα. Εν τέλει το δείγμα με διάμετρο 3,2 mm που θρυμματίστηκε τοποθετείται στο μεταλλικό δοχείο ξήρανσης και προσδιορίζεται η περιεκτικότητα του σε νερό. Τέλος η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται άλλες δύο φορές (Χριστοδούλου, 2021).

3.2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PL)

- ❖ Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε νερό όλων των δειγμάτων. Παραπάνω αναφέρεται η προτεινόμενη εργαστηριακή διαδικασία προσδιορισμού της και οι υπολογισμοί.
- ❖ Ο μέσος όρος των τριών τιμών της περιεκτικότητας σε νερό είναι το όριο πλαστικότητας (ακρίβεια 1%).

3.2.7 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PI)

Ως δείκτης πλαστικότητας λέγεται η περιοχή που βρίσκεται ανάμεσα στο όριο υδαρότητας και στο όριο πλαστικότητας ($PI = LL - PL$), όπου εκεί το υλικό παραμένει εύπλαστο. Τα συνεκτικά εδάφη παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό πλαστικότητας, ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων τους (όσο πιο χονδρόκοκκο είναι το έδαφος τόσο μικρότερος είναι ο δείκτης πλαστικότητας και το αντίστροφο) και από την πετρογραφική τους σύσταση (Χριστοδούλου, 2021).

3.2.8 ΔΟΚΙΜΕΣ

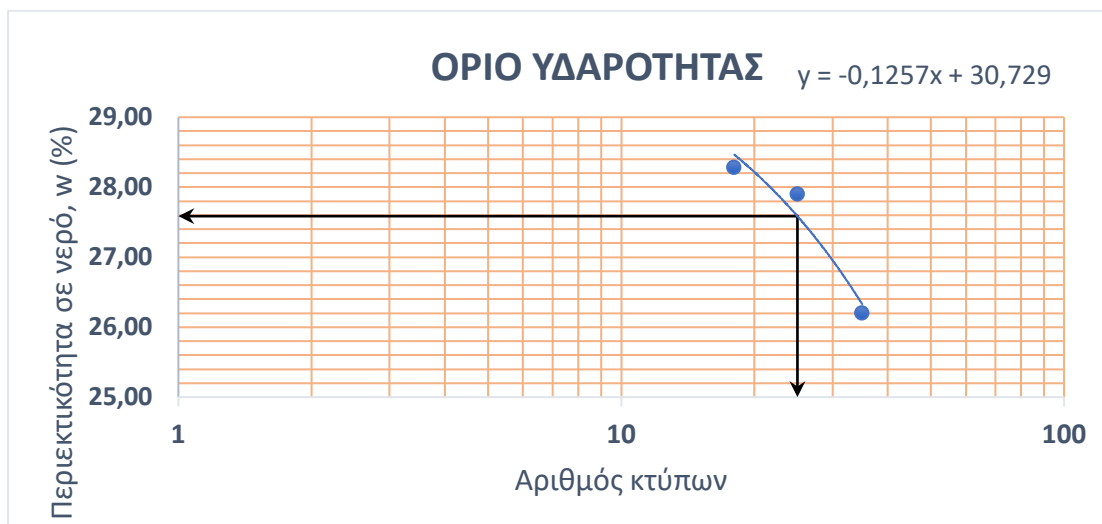
Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι δοκιμές προσδιορισμού ορίων συνεκτικότητας - Atterberg που πραγματοποιήθηκαν για 8 διαφορετικά εδαφικά δείγματα της νήσου Σύρου.

Δείγμα 1

Πίνακας 3.35 Δεδομένα και Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 1

Προσδιορισμός Ορίων Atterberg		Όριο Υδαρότητας (LL)			Όριο Πλαστιμότητας (PL)
Αριθμός δοκιμής	(α/α)	1	2	3	1
Αριθμός κάψας	-	122	125	500	118
Αριθμός κτύπων	-	18	25	35	-
Βάρος υγρού δείγματος & κάψας (Α)	(g)	27,73	28,97	24,22	21,91
Βάρος ξηρού δείγματος & κάψας (Β)	(g)	25,64	26,66	22,8	21,21
Βάρος νερού (Γ=Α-Β)	(g)	2,09	2,31	1,42	0,7
Βάρος κάψας (Δ)	(g)	18,25	18,38	17,38	18,28
Βάρος υγρού δείγματος (Ε=Α-Δ)	(g)	9,48	10,59	6,84	3,63
Βάρος ξηρού δείγματος (Ζ=Β-Δ)	(g)	7,39	8,28	5,42	2,93
Ποσοστό Υγρασίας w (Γ/Ζ)	(%)	28,28	27,90	26,20	23,89

Διάγραμμα 3.11 Όριο Υδαρότητας εδαφικού δείγματος 1



Πίνακας 3.36 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 1

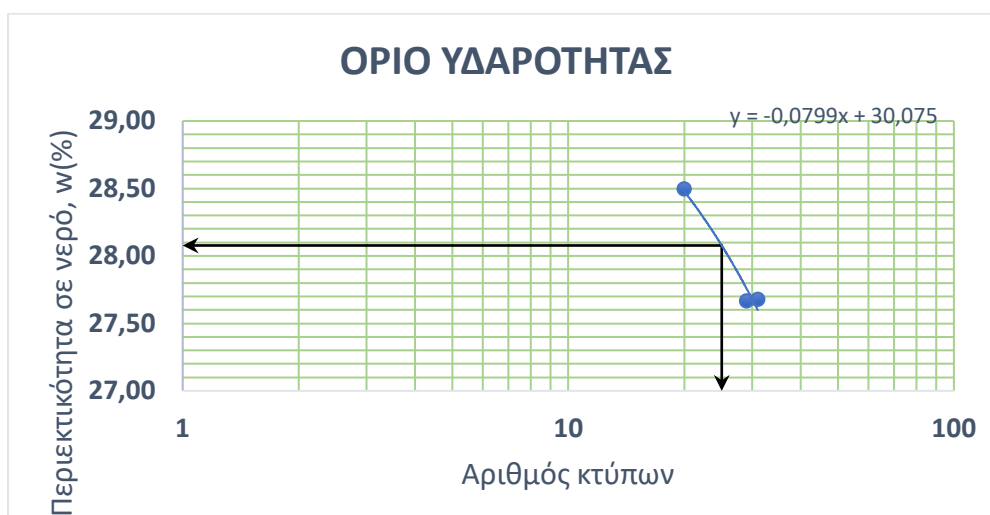
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
Όριο υδαρότητας, LL(%)=	27,59	Δείκτης πλαστικότητας : PI= LL- PL=	4,59
Όριο πλαστικότητας, PL(%)=	23		
PI < 5	ΑΡΑ ΕΔΑΦΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ		

Δείγμα 2

Πίνακας 3.37 Δεδομένα και Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 2

Προσδιορισμός Ορίων Atterberg		Όριο Υδαρότητας (LL)			Όριο Πλαστιμότητας (PL)
Αριθμός δοκιμής	(a/a)	1	2	3	1
Αριθμός κάψας	-	118	120	510	122
Αριθμός κτύπων	-	20	29	31	-
Βάρος υγρού δείγματος & κάψας (A)	(g)	27,76	27,16	14,57	21,39
Βάρος ξηρού δείγματος & κάψας (B)	(g)	25,66	25,24	12,94	20,8
Βάρος νερού ($\Gamma=A-B$)	(g)	2,10	1,92	1,63	0,59
Βάρος κάψας (Δ)	(g)	18,29	18,3	7,05	18,2
Βάρος υγρού δείγματος ($E=A-\Delta$)	(g)	9,47	8,86	7,52	3,19
Βάρος ξηρού δείγματος ($Z=B-\Delta$)	(g)	7,37	6,94	5,89	2,6
Ποσοστό Υγρασίας w (Γ/Z)	(%)	28,49	27,67	27,67	22,69

Διάγραμμα 3.12 Όριο Υδαρότητας εδαφικού δείγματος 2



Πίνακας 3.38 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 2

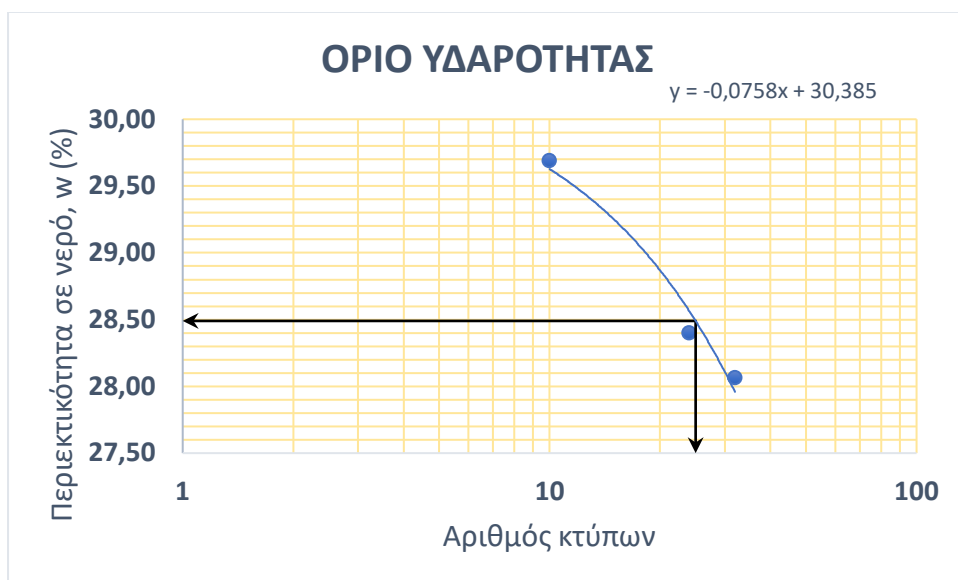
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
Όριο υδαρότητας, LL(%)=	28,08	Δείκτης πλαστικότητας : PI= LL- PL=	6,08
Όριο πλαστικότητας, PL(%)=	22		
5<PI<15	ΑΡΑ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕΣΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ		

Δείγμα 3

Πίνακας 3.39 Δεδομένα και Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 3

Προσδιορισμός Ορίων Atterberg		Όριο Υδαρότητας (LL)			Όριο Πλαστιμότητας (PL)
Αριθμός δοκιμής	(α/α)	1	2	3	1
Αριθμός κάψας	-	119	124	127	118
Αριθμός κτύπων	-	10	24	32	-
Βάρος υγρού δείγματος & κάψας (A)	(g)	28,16	25,61	26,11	21,29
Βάρος ξηρού δείγματος & κάψας (B)	(g)	25,88	23,96	24,37	20,7
Βάρος νερού ($\Gamma=A-B$)	(g)	2,28	1,65	1,74	0,59
Βάρος κάψας (Δ)	(g)	18,2	18,15	18,17	18,28
Βάρος υγρού δείγματος ($E=A-\Delta$)	(g)	9,96	7,46	7,94	3,01
Βάρος ξηρού δείγματος ($Z=B-\Delta$)	(g)	7,68	5,81	6,2	2,42
Ποσοστό Υγρασίας w (Γ/Z)	(%)	29,69	28,40	28,06	24,38

Διάγραμμα 3.13 Όριο Υδαρότητας εδαφικού δείγματος 3



Πίνακας 3.40 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 3

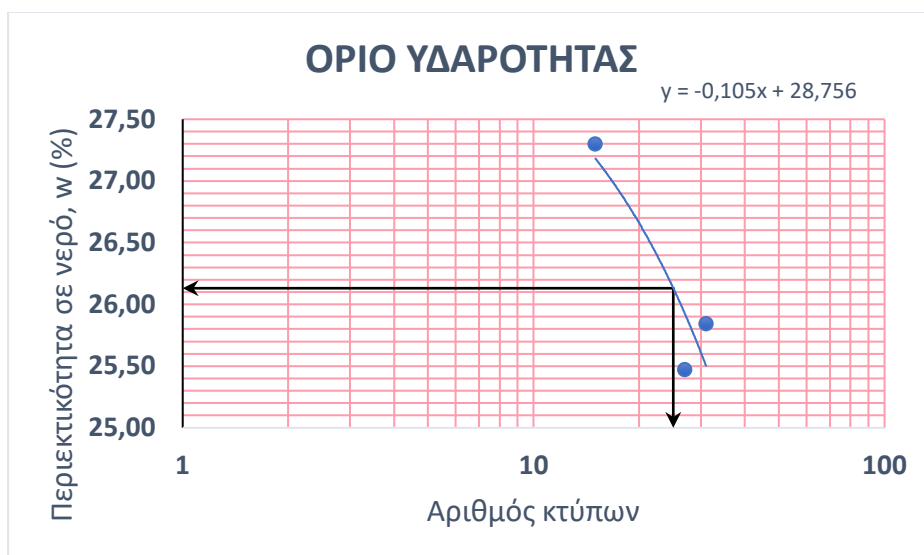
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
Όριο υδαρότητας, LL(%)=	28,49	Δείκτης πλαστικότητας : PI= LL- PL=	4,11
Όριο πλαστικότητα, PL(%)=	24		
PI < 5		ΑΡΑ ΕΔΑΦΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	

Δείγμα 4

Πίνακας 3.41 Δεδομένα και Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 4

Προσδιορισμός Ορίων Atterberg		Όριο Υδαρότητας (LL)			Όριο Πλαστιμότητας (PL)
Αριθμός δοκιμής	(α/α)	1	2	3	1
Αριθμός κάψας	-	118	123	122	119
Αριθμός κτύπων	-	15	27	31	-
Βάρος υγρού δείγματος & κάψας (A)	(g)	23,42	27,58	24,86	19,9
Βάρος ξηρού δείγματος & κάψας (B)	(g)	22,32	25,68	23,48	19,58
Βάρος νερού (Γ=A-B)	(g)	1,10	1,90	1,38	0,32
Βάρος κάψας (Δ)	(g)	18,29	18,22	18,14	18,26
Βάρος υγρού δείγματος (Ε=A-Δ)	(g)	5,13	9,36	6,72	1,64
Βάρος ξηρού δείγματος (Ζ=B-Δ)	(g)	4,03	7,46	5,34	1,32
Ποσοστό Υγρασίας w (Γ/Ζ)	(%)	27,30	25,47	25,84	24,24

Διάγραμμα 3.14 Όριο Υδαρότητας εδαφικού δείγματος 4



Πίνακας 3.42 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 4

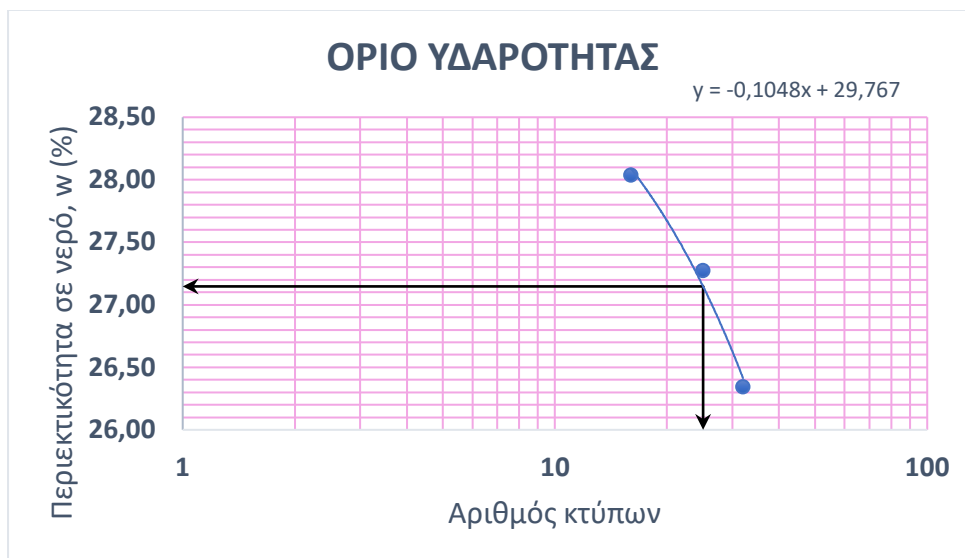
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
Όριο υδαρότητας, LL(%)=	26,13	Δείκτης πλαστικότητας : PI= LL- PL=	1,89
Όριο πλαστικότητας, PL(%)=	24		
PI < 5		ΑΡΑ ΕΔΑΦΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	

Δείγμα 5

Πίνακας 3.43 Δεδομένα και Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 5

Προσδιορισμός Ορίων Atterberg		Όριο Υδαρότητας (LL)			Όριο Πλαστιμότητας (PL)
Αριθμός δοκιμής	(α/α)	1	2	3	1
Αριθμός κάψας	-	124	121	116	119
Αριθμός κτύπων	-	16	25	32	-
Βάρος υγρού δείγματος & κάψας (A)	(g)	25,35	22,66	25,47	21,76
Βάρος ξηρού δείγματος & κάψας (B)	(g)	23,78	21,7	23,95	21,12
Βάρος νερού (Γ=A-B)	(g)	1,57	0,96	1,52	0,64
Βάρος κάψας (Δ)	(g)	18,18	18,18	18,18	18,21
Βάρος υγρού δείγματος (E=A-Δ)	(g)	7,17	4,48	7,29	3,55
Βάρος ξηρού δείγματος (Z=B-Δ)	(g)	5,60	3,52	5,77	2,91
Ποσοστό Υγρασίας w (Γ/Z)	(%)	28,04	27,27	26,34	21,99

Διάγραμμα 3.15 Όριο Υδαρότητας εδαφικού δείγματος 5



Πίνακας 3.44 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 5

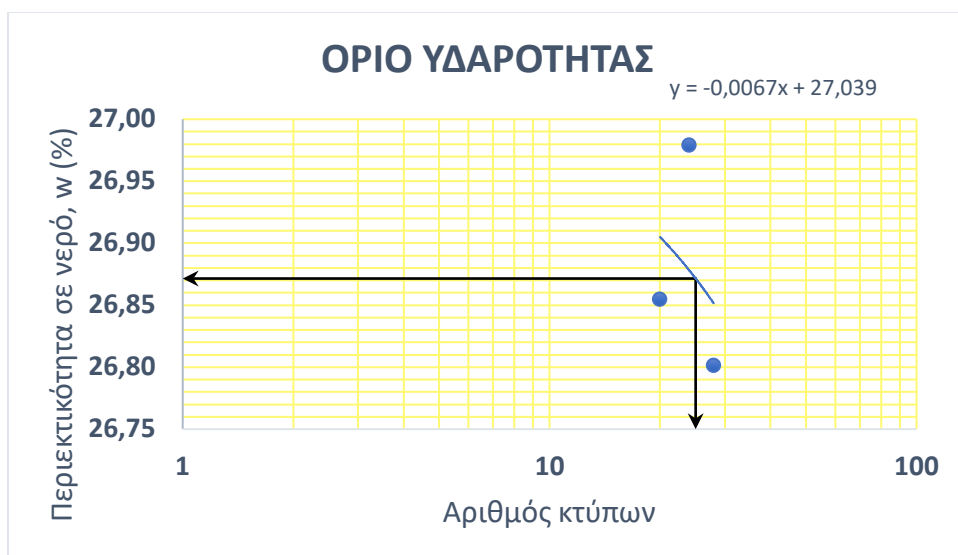
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
Όριο υδαρότητας, LL(%)=	27,15	Δείκτης πλαστικότητας : PI= LL- PL=	6,15
Όριο πλαστικότητας, PL(%)=	21		
5<PI<15	ΑΡΑ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕΣΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ		

Δείγμα 6

Πίνακας 3.45 Δεδομένα και Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 6

Προσδιορισμός Ορίων Atterberg		Όριο Υδαρότητας (LL)			Όριο Πλαστιμότητας (PL)
Αριθμός δοκιμής	(α/α)	1	2	3	1
Αριθμός κάψας	-	117	126	510	121
Αριθμός κτύπων	-	20	24	28	-
Βάρος υγρού δείγματος & κάψας (A)	(g)	26,79	26,06	11,48	21,06
Βάρος ξηρού δείγματος & κάψας (B)	(g)	24,98	24,39	10,55	20,54
Βάρος νερού ($\Gamma=A-B$)	(g)	1,81	1,67	0,93	0,52
Βάρος κάψας (Δ)	(g)	18,24	18,2	7,08	18,21
Βάρος υγρού δείγματος ($E=A-\Delta$)	(g)	8,55	7,86	4,40	2,85
Βάρος ξηρού δείγματος ($Z=B-\Delta$)	(g)	6,74	6,19	3,47	2,33
Ποσοστό Υγρασίας w (Γ/Z)	(%)	26,85	26,98	26,80	22,32

Διάγραμμα 3.16 Όριο Υδαρότητας εδαφικού δείγματος 6



Πίνακας 3.46 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 6

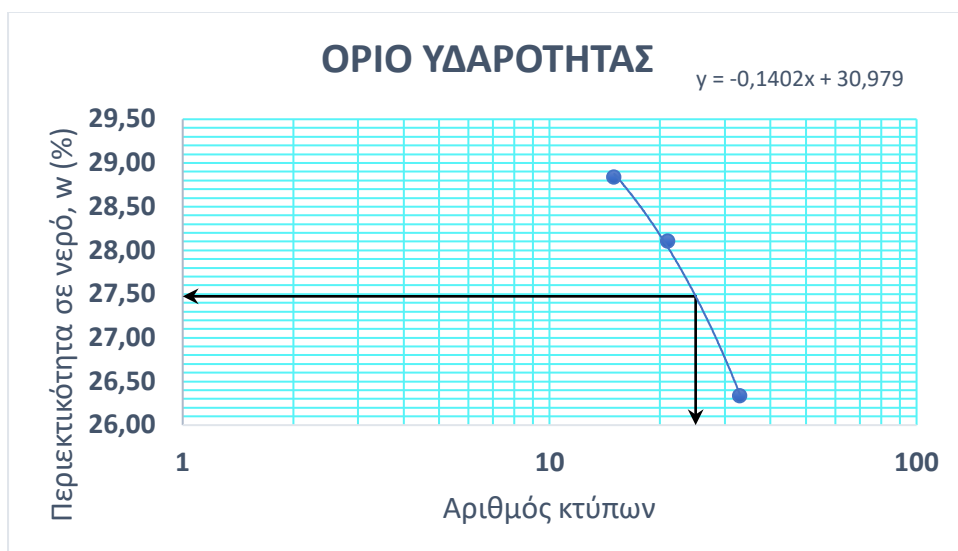
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
Όριο υδαρότητας, LL(%)=	26,87	Δείκτης πλαστικότητας : PI= LL- PL=	4,55
Όριο πλαστικότητα, PL(%)=	22		
PI < 5		ΑΡΑ ΕΔΑΦΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	

Δείγμα 7

Πίνακας 3.47 Δεδομένα και Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 7

Προσδιορισμός Ορίων Atterberg		Όριο Υδαρότητας (LL)			Όριο Πλαστιμότητας (PL)
Αριθμός δοκιμής	(α/α)	1	2	3	1
Αριθμός κάψας	-	127	123	120	126
Αριθμός κτύπων	-	15	21	33	-
Βάρος υγρού δείγματος & κάψας (A)	(g)	28,76	26,36	27,32	20,52
Βάρος ξηρού δείγματος & κάψας (B)	(g)	26,39	24,57	25,44	20,08
Βάρος νερού (Γ=A-B)	(g)	2,37	1,79	1,88	0,44
Βάρος κάψας (Δ)	(g)	18,17	18,2	18,3	18,17
Βάρος υγρού δείγματος (Ε=A-Δ)	(g)	10,59	8,16	9,02	2,35
Βάρος ξηρού δείγματος (Ζ=B-Δ)	(g)	8,22	6,37	7,14	1,91
Ποσοστό Υγρασίας w (Γ/Ζ)	(%)	28,83	28,10	26,33	23,04

Διάγραμμα 3.17 Όριο Υδαρότητας εδαφικού δείγματος 7



Πίνακας 3.48 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 7

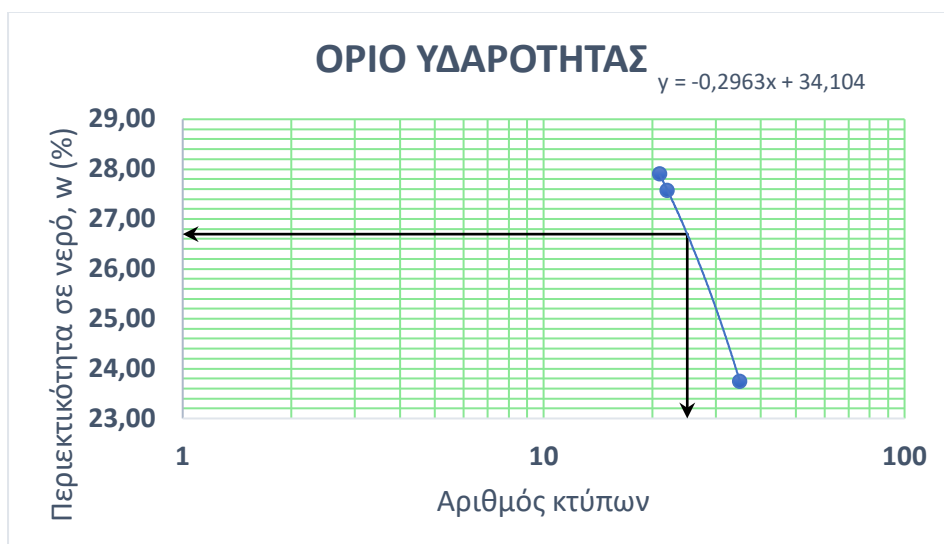
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
Όριο υδαρότητας, LL(%)=	27,47	Δείκτης πλαστικότητας : PI= LL- PL=	4,44
Όριο πλαστικότητα, PL(%)=	23		
PI < 5		ΑΡΑ ΕΔΑΦΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	

Δείγμα 8

Πίνακας 3.49 Δεδομένα και Υπολογισμοί για το εδαφικό δείγμα 8

Προσδιορισμός Ορίων Atterberg		Όριο Υδαρότητας (LL)			Όριο Πλαστιμότητας (PL)
Αριθμός δοκιμής	(α/α)	1	2	3	1
Αριθμός κάψας	-	125	124	118	125
Αριθμός κτύπων	-	21	22	35	-
Βάρος υγρού δείγματος & κάψας (A)	(g)	27,54	27,1	26,12	20,07
Βάρος ξηρού δείγματος & κάψας (B)	(g)	25,54	25,17	24,62	19,76
Βάρος νερού (Γ=A-B)	(g)	2,00	1,93	1,50	0,31
Βάρος κάψας (Δ)	(g)	18,37	18,17	18,3	18,4
Βάρος υγρού δείγματος (Ε=A-Δ)	(g)	9,17	8,93	7,82	1,67
Βάρος ξηρού δείγματος (Ζ=B-Δ)	(g)	7,17	7	6,32	1,36
Ποσοστό Υγρασίας w (Γ/Ζ)	(%)	27,89	27,57	23,73	22,79

Διάγραμμα 3.18 Όριο Υδαρότητας εδαφικού δείγματος 8



Πίνακας 3.50 Αποτελέσματα εδαφικού δείγματος 8

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
Όριο υδαρότητας, LL(%)=	26,70	Δείκτης πλαστικότητας : PI= LL- PL=	4,70
Όριο πλαστικότητας, PL(%)=	22		
PI < 5		ΑΡΑ ΕΔΑΦΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg:

Πίνακας 3.51 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα δειγμάτων ορίων atterberg (1)

Παράμετρος	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4
Όριο Υδαρότητας (LL)	27,59	28,08	28,49	26,13
Όριο Πλαστικότητας (PL)	23	22	24	24
Δείκτης Πλαστικότητας(PI)	4,59	6,08	4,11	1,89
Αποτέλεσμα	PI < 5	5<PI<15	PI < 5	PI < 5
	Μικρής	Μέσης	Μικρής	Μικρής
	Πλαστικότητας έδαφος			
Προδιαγραφές	IP<5	5<PI<15		IP>15
	Μικρής	Μέσης		Μεγάλης
	Πλαστικότητας έδαφος			

Πίνακας 3.52 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα δειγμάτων ορίων atterberg (2)

Παράμετρος	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8
Όριο Υδαρότητας (LL)	27,15	26,87	27,47	26,70
Όριο Πλαστικότητας (PL)	21	22	23	22
Δείκτης Πλαστικότητας(PI)	6,15	4,55	4,44	4,70
Αποτέλεσμα	5<PI<15	PI < 5	PI < 5	PI < 5
	Μέσης	Μικρής	Μικρής	Μικρής
	Πλαστικότητας έδαφος			
Προδιαγραφές	IP<5	5<PI<15		IP>15
	Μικρής	Μέσης		Μεγάλης
	Πλαστικότητας έδαφος			

Κεφάλαιο 4 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας έλαβε χώρα, αρχικά, εκτενής βιβλιογραφική επισκόπηση με αντικείμενο τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων εδαφικών δειγμάτων με την εκτέλεση προτυποποιημένων πειραματικών δοκιμών εργαστηριακής κλίμακας.

Συγκεκριμένα, δόθηκε έμφαση στην κοκκομετρική διαβάθμιση και τα όρια Atterberg των εδαφικών (μη συνεκτικών και συνεκτικών) υλικών. Για τις συγκεκριμένες δοκιμές παρουσιάζονται αναλυτικά θεωρητικά στοιχεία και εκτελούνται σχετικά πειράματα σε εδαφικά δείγματα.

Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών αναλύθηκαν με τη χρήση υπολογιστικών φύλλων Excel και την παραγωγή σχετικών γραφημάτων που απαιτούνται για την ερμηνεία των μετρήσεων και τη συσχέτισή τους με νομογραφήματα και πίνακες που επιτρέπουν την κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων και την λεπτομερή περιγραφή τους.

Από την κοκκομετρική ανάλυση που διενεργήθηκε στα προαναφερθέντα δείγματα, προέκυψε ότι το σύνολο των δειγμάτων αυτών εντάσσεται στην κατηγορία των χαλίκων και μάλιστα πρόκειται για μη διαβαθμισμένους εδαφικούς σχηματισμούς. Επειδή λοιπόν το έδαφος είναι μη διαβαθμισμένο δεν υποδηλώνει σταθερότητα, δεν παρουσιάζει αντίσταση στη διάβρωση και έχει μικρή αντοχή σε διάτμηση. Όμως χαρακτηρίζεται από καλή αποστράγγιση οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποστράγγιση γεωργικών εκτάσεων όπου θα μειώσει την αλατότητα του εδάφους και θα βοηθήσει στη βελτίωση απόδοσης των καλλιεργειών ή ακόμη και στην αποστράγγιση υπόγειων υδάτων.

Τέλος, από την ανάλυση των πειραματικών ευρημάτων που προέκυψαν από τη δοκιμή των ορίων Atterberg σε λεπτόκοκκα εδάφη, διαπιστώθηκε η ύπαρξη εδαφικών σχηματισμών μέσης ή χαμηλής πλαστικότητας, πρακτικά δηλαδή παραμορφώνονται εύκολα και θραύονται απότομα. Γενικά τα λεπτόκοκκα εδάφη έχουν μικρότερη ικανότητα έδρασης φορτίου σχετικά με τα χονδρόκοκκα και έτσι έχουν μεγαλύτερο βαθμό συμπιεστότητας.

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βουδούρης, Κ., 2016. Ιδιότητες εδάφους. Στο: *Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος*. Θεσσαλονίκη: s.n.
2. Γεωργόπουλος, Ι.-Ο., 2010. *Εδαφομηχανική Ι, Φυσικά χαρακτηριστικά εδαφών*. Βόλος: s.n.
3. Διαμαντής, Α. & Χάικαλ, Σ., 2017. *ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΣΤΟ ΣΟΥΣΑΚΙ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ*. ΠΕΙΡΑΙΑΣ: s.n.
4. Καββαδάς, Μ., 2006. Φυσικά χαρακτηριστικά των εδαφών. Στο: *Στοιχεία Εδαφομηχανικής*. s.l.:s.n.
5. Καβουσάνος, Ε., 2003. *Αξιολόγηση Γεωτρητικών Δεδομένων και Εξαγωγή Γεωτεχνικών Παραμέτρων για την Αριθμητική Προσομοίωση Ευστάθειας Πρανών*. Χανιά: s.n.
6. Καραγιάννης, Κ., 2014. *Αποτίμηση των γεωτεχνικών συνθηκών στην ευρύτερη περιοχή λιμένος Ηρακλείου-Διπλωματική εργασία*. Χανιά: s.n.
7. Λουπασάκης, Κ., 2014. Φυσικές ιδιότητες εδαφών. Στο: *Εδαφομηχανική και στοιχεία θεμελιώσεων*. Αθήνα: s.n.
8. Ρούτουλας, Α., 2010. *Έλεγχος ποιότητας και τεχνολογία δομημένων υλικών*. s.l.:s.n.
9. Σακελλαρίου, Μ., 2007. Κατάταξη εδαφών. Στο: *Εδαφομηχανική-Θεμελιώσεις*. Αθήνα: s.n.
10. Χρηστάρας Β., Χ. Μ., 2011. Τυπολόγιο εδαφομηχανικής. Στο: *Απλά βήματα στην εδαφομηχανική*. Θεσσαλονίκη: s.n.
11. Χριστοδούλου, Δ., 2021. Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα. Στο: *Εδαφομηχανική*. s.l.:s.n.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

12. Hossain, S., Islam, A., Badhon, F. F. & Imtiaz, T., 2021. In: *PROPERTIES AND BEHAVIOR OF SOIL – ONLINE LAB MANUAL*. Arlington: Mavs Open Press.
13. Abg, Creative Geosynthetic Engineering, 2020. *Permeability*. s.l.:s.n.
14. Atangana, A., 2018. Principle of Groundwater Flow. In: *Fractional Operators with Constant and Variable Order with Application to Geo-Hydrology*. s.l.:s.n.
15. Carlestone University, Department of Civil Environmental Engineering, 2018. *Hydraulic Contuctivity*. s.l.:s.n.
16. Everson, V., 2019. *Permeability of Soil- Definition, Properties, Darcy's Law*. s.l.:s.n.

17. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015. *Soil Permeability*, s.l.: s.n.
18. Gawan, P., 2020. *Introduction to Permeability Testing*. s.l.:s.n.
19. Krishnan, A., 2014. MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS. In: *Mechanics of Tillage and Traction*. s.l.:s.n.
20. Miedema, S. A., 2019. Basic Soil Mechanics. In: *The Delft Sand, Clay and Rock Cutting Model*. s.l.:s.n.
21. Sivakugan, N., 2005. *Permeability and Seepage*. s.l.:s.n.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

1. [ΠΤΥΧΙΑΚΗ-ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ-ΧΑΙΚΑΛ.pdf \(puas.gr\)](#)
2. [Κόσκινο κατά ASTM ή διάσταση - PDF ΔΩΡΕΑΝ Λήψη \(docplayer.gr\)](#)
3. [Διαφάνειες εδαφομηχανικής \(1-4\)](#)
4. [ΑΣΚΗΣΗ 5 - ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ \(teipir.gr\)](#)
5. [Αξιολόγηση γεωτρητικών δεδομένων και εξαγωγή γεωτεχνικών παραμέτρων για την αριθμητική προσομοίωση ευστάθειας πρανών - Ιδρυματικό Αποθετήριο \(tuc.gr\)](#)
6. [Typologio Edafomixanikis.pdf \(auth.gr\)](#)
7. [Soil Permeability | ABG Geosynthetics Technical Soil Properties Notes \(abg-geosynthetics.com\)](#)
8. [Principle of Groundwater Flow - ScienceDirect](#)
9. [Permeability Test – Properties and Behavior of Soil – Online Lab Manual \(pressbooks.pub\)](#)
10. [Permeability of Soil- Definition, Properties, Darcy's Law \(civilengineeringnotes.com\)](#)
11. [MT&T: LESSON 6. MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS \(iasri.res.in\)](#)
12. [Microsoft Word - XYTA_2.doc \(auth.gr\)](#)
13. [Microsoft Word - k4.doc \(ntua.gr\)](#)
14. [Microsoft Word - k2.doc \(ntua.gr\) \(\(Microsoft Word - ch01.doc \(ntua.gr\)\)\)](#)
15. [Microsoft Word - ch09.doc \(ntua.gr\)](#)
16. [Karagiannis Konstantinos Dip_2014 \(1\).pdf](#)
17. [Introduction to Permeability Testing \(vjtech.co.uk\)](#)
18. [Falling head permeability test \(geotechdata.info\)](#)
19. [Chapter 3 \(geoengineer.org\)](#)
20. [9. Soil Permeability \(fao.org\)](#)
21. [2.4: Soil Mechanical Parameters - Engineering LibreTexts](#)
22. [2 \(ntua.gr\)](#)
23. [<4D6963726F736F667420506F776572506F696E74202D20325FC5E4E1F6EFECE7F7E1EDE9EADE20EAE1E920D3F4EFE9F7E5DFE120C8E5ECE5EBE9FEF3E5F9ED5FD6F5F3E9EADDF220C9E4E9FCF4E7F4E5F25F47> \(ntua.gr\)](#)