

2019

Πανεπιστήμιο

Δυτικής Αττικής

Τμήμα Πολιτικών

Μηχανικών

**Διερεύνηση τεχνικογεωλογικών
χαρακτηριστικών δείγματος
μαργαϊκού σχηματισμού του
Ηρακλείου Κρήτης με
εργαστηριακές μεθόδους**

Κοροβέσης Παναγιώτης (39882)

Μάγκος Παναγιώτης (32976)

**Επιβλέπων : Δρ Αλεξάκης Δημήτριος ,
Αναπληρωτής Καθηγητής**

Αιγάλεω, 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή εργασία αυτή συντάχθηκε από τους φοιτητές Κοροβέση Παναγιώτη και Μάγκο Παναγιώτη υπό την επίβλεψη της εργαστηριακού συνεργάτιδας της εδαφομηχανικής Πλαστήρα Βιολλέττας και του Αναπληρωτή Καθηγητή Δρ Αλεξάκη Δημήτριου.

Σκοπός της εργασίας είναι η συμβολή στη γεωλογική και γεωτεχνική διερεύνηση της περιοχής Ηρακλείου Κρήτης μελετώντας ένα αργιλικό αδιατάραχτο δείγμα, πραγματοποιώντας εργαστηριακές δοκιμές. Το δείγμα αυτό έχει μήκος 1.20 m. και βρισκόταν σε βάθος 7.70 m. Ανακτήθηκε από γεώτρηση που έγινε στην περιοχή Ηρακλείου Κρήτης.

Παράλληλα, συλλέχτηκαν πληροφορίες από παλιότερες γεωτρήσεις που έχουν γίνει στην κοντινή και στην ευρύτερη περιοχή καθώς και από έναν γεωλογικό χάρτη από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.).

Εν συνεχεία, υπολογίστηκε η καθίζηση λόγω στερεοποίησης του στρώματος από την φόρτιση μίας θεωρητικής συμβατικής κατασκευής καθώς επίσης και η φέρουσα ικανότητα του εδάφους .

Οι τιμές που προσδιορίστηκαν από τις εργαστηριακές δοκιμές, συγκρίθηκαν με άλλες ελληνικές και διεθνείς έρευνες. Από τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών προκύπτει ότι το δείγμα που ερευνήθηκε αποτελείται από άργιλο, ιλύ, άμμο και καλά διαβαθμισμένα χαλίκια ,επιπρόσθετα είναι σκληρό και ανθεκτικό και ανήκει στην κατηγορία αργιλοπηλώδη. Επίσης, από δοκιμές προκύπτει ότι στο έδαφος δεν προκαλούνται μεγάλες και επικίνδυνες καθιζήσεις λόγω θεμελίωσης .

ABSTRACT

This thesis was written by Korovesis Panagiotis and Magkos Panagiotis under the supervision of Mrs Plastira Violetta, Laboratory Assistant of soil engineer and Dr. Alexakis Dimitrios, Associate Professor.

The purpose of this work is to contribute to the geological and geotechnical investigation of the Heraklion Crete area by studying a clay undisturbed sample, by performing laboratory tests. This sample is 1.20 m long and was at a depth of 7.70 m. Recovered from the drilling done in that area.

Information was collected from core drilling in the nearby and wider area as well as a from geological map published by the Institute for Geological and Mineral Exploration (IGME).

Estimation of the sedimentation due to the solidification of the layer by the charge of a theoretical conventional structure was performed as well as the bearing capacity of the investigated material.

The values obtained from the experimental procedure were compared with values given from the literature. The results of the experimental tests showed that the investigated sample consists of clay, silt, sand and well-grained pebbles, in addition it is tough and durable. It is classified in the clayey category.

Πίνακας Περιεχομένων

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1.ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΩΝ	10
1.2.ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	10
1.3.ΑΔΙΑΤΑΡΑΧΤΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ.....	11
1.4.ΑΥΤΟΧΘΟΝΑ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΕΔΑΦΗ	11
1.5.ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ.....	11
1.6.ΚΑΘΙΖΗΣΗ	11
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	13
2.1.ΣΥΛΛΟΓΗ ΑΡΓΙΛΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	14
2.2.ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ	15
2.2.1.ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	15
2.2.2.ΕΙΔΙΚΑ ΒΑΡΗ ΕΔΑΦΩΝ.....	16
2.2.3.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ , ΞΗΡΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ, ΔΕΙΚΤΗ ΚΕΝΩΝ, ΠΟΡΩΔΕΣ	17
2.2.4.ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ	18
2.2.4.1.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL)	19
2.2.4.2.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (LP).....	20
2.2.4.3.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ:	21
2.2.4.3.1.ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	21
2.2.4.3.2.ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ.....	21
2.2.4.3.3.ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	22
2.2.5.ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΔΑΦΩΝ	22
2.2.6.ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ	26
2.2.7ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ	29
2.2.8.ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ	31
2.2.9.ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ (ΤΑΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗ)	32
2.2.10.ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΛΟΓΩ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ	33
2.2.11.ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	36
3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	39
3.1ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΩΝ.....	40
3.2ΕΙΔΙΚΑ ΒΑΡΗ ΕΔΑΦΩΝ.....	40

3.3.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ , ΞΗΡΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ, ΔΕΙΚΤΗ ΚΕΝΩΝ, ΠΟΡΩΔΕΣ	41
3.4.ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ	42
3.4.1.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL)	42
3.4.2.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (LP).....	44
3.4.3.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ:	45
3.4.3.1.ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	45
3.4.3.2.ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ.....	45
3.4.3.3.ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	45
3.5.ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΔΑΦΩΝ	46
3.6.ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ	53
3.6.1.Κατάταξη κατά Α.Α.Σ.Η.Τ.Ο. :	53
3.6.2.Κατάταξη κατά Α.Σ.Τ.Μ.:	54
3.7.ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ	54
3.8.ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ	57
3.9.ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ (ΤΑΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗ)	58
3.10.ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΛΟΓΩ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ	72
3.10.1.ΔΟΚΙΜΗ 1 ^η	74
3.10.2.ΔΟΚΙΜΗ 2 ^η	75
3.10.3.ΔΟΚΙΜΗ 3 ^η	76
3.11.ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	77
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ.....	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79

Κατάλογος Πινάκων

Πιν.2.1. Ενδεικτικές τιμές πορώδους και λόγου κενών για διαφορετικά εδάφη (Johnson and De Graff,1988).....	18
Πιν.2.2. Ο βαθμός πλαστικότητας σε σχέση με δείκτη πλαστικότητας IP	21
Πιν.2.3. Ελάχιστο βάρος στο κόσκινο Νο10.....	23
Πιν.2.4. Αμερικάνικα πρότυπα κόσκινα τετραγωνικής οπής (A.S.T.M.)	24
Πιν.2.5. Σύστημα κατάταξης εδαφών κατά A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials).....	27
Πιν.2.6. Σύστημα κατάταξης εδαφών κατά A.A.S.H.T.O.(American Association of State Highway Officials).....	28
Πιν.2.7. Η συνεκτικότητα σε σχέση με την ανεμπόδιση θλίψη.	31
Πιν.2.8. Συντελεστές φέρουσας ικανότητας.....	37
Πιν.3.1. Πίνακας προσδιορισμού περιεχόμενης υγρασίας δείγματος H1.....	40
Πιν.3.2. Πίνακας προσδιορισμού ειδικού βάρους δείγματος H1	41
Πιν.3.3. Πίνακας προσδιορισμού ορίου υδαρότητας δείγματος H1.....	42
Πιν.3.4. Πίνακας προσδιορισμού ορίου πλαστικότητας δείγματος H1.....	44
Πιν.3.5. Σύνθετες διορθώσεις των ενδείξεων του πυκνομέτρου κατά A.A.S.H.O.....	46
Πιν.3.6. Ανάλυση με πυκνόμετρο.....	47
Πιν.3.7. Εύρεση συντελεστή KL	48
Πιν.3.8. Εύρεση συντελεστή KG και KN.....	49
Πιν.3.9. Υπολογισμός D από τον τύπο: $D = D' * K_L * K_G * K_N$	50
Πιν.3.10. Τιμές του a για διάφορα εδάφη.....	50
Πιν.3.11. Ανάλυση του λεπτόκοκκου κλάσματος δείγματος H1.....	51
Πιν.3.12. Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης και σύγκριση με παρόμοια Αργιλικά εδάφη.....	52
Πιν.3.13. Δεδομένα κατάταξης εδαφών	53
Πιν.3.14. Πίνακας ανεμπόδισης θλίψης δείγματος H1.....	55
Πιν.3.15. Πίνακας ειδών εδάφους (Γκούμα ,2017).....	57
Πιν.3.16. Πίνακας πρώτης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.1.....	59
Πιν.3.17. Πίνακας δεύτερης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.1.....	61
Πιν.3.18. Πίνακας τρίτης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.1.....	63
Πιν.3.19. Πίνακας πρώτης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.2.....	65

Πιν.3.20. Πίνακας δεύτερης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.2.....	67
Πιν.3.21. Πίνακας τρίτης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.2.....	69
Πιν.3.22. Πίνακας δεδομένων ορθών τάσεων.....	72
Πιν.3.23. Πίνακας μέγιστων διατμητικών τάσεων για το υπόδειγμα H1.1.....	72
Πιν.3.24. Πίνακας μέγιστων διατμητικών τάσεων για το υπόδειγμα H1.2.....	72

Κατάλογος Σχημάτων

Σχ.2.1. Χάρτης απεικόνισης θέσης συλλογής αργιλικού δείγματος H1 από την γεωτεχνική γεώτρηση.....	14
Σχ.2.2. Νομογράφημα για τον υπολογισμό του συντελεστή επιρροής.....	35
Σχ.2.3. Νομογράφημα Terzaghi	38
Σχ.3.1. Διάγραμμα προσδιορισμού περιεχόμενης υγρασίας δείγματος H1.....	43
Σχ.3.2. Διάγραμμα κοκκομετρικής καμπύλης	51
Σχ.3.3. Διάγραμμα τρίγωνο μηχανικής ανάλυσης	52
Σχ.3.4. Δοκίμιο υλοποίησης της πειραματικής διαδικασίας	54
Σχ.3.5. Διάγραμμα ανεμπόδιστης θλίψης ($\sigma - \epsilon$).....	56
Σχ.3.6. Δοκίμιο υλοποίησης της πειραματικής διαδικασίας	58
Σχ.3.7. Διάγραμμα πρώτης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.1.....	60
Σχ.3.8. Διάγραμμα δεύτερης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.1.....	62
Σχ.3.9. Διάγραμμα τρίτης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.1.....	64
Σχ.3.10. Διάγραμμα πρώτης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.2.....	66
Σχ.3.11. Διάγραμμα δεύτερης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.2.....	68
Σχ.3.12. Διάγραμμα τρίτης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.2.....	70
Σχ.3.13. Διάγραμμα κύκλου του Mohr (σ - τ)	71
Σχ.3.14. Τομή πεδίου δοκιμής καθίζησης	73

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την υλοποίηση της πτυχιακής μας εργασίας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την εργαστηριακή συνεργάτιδα της εδαφομηχανικής Πλαστήρα Βιολλέττα για την πολύτιμη βοήθειά της κατά την διάρκεια των εργαστηριακών δοκιμών καθώς και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Δρ Αλεξάκη Δημήτριο του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, για την βοήθεια, την στήριξη, τις ιδέες και τις γνώσεις που μας παρείχε καθ' όλη την διάρκεια της συγγραφής της.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τη τεχνική εταιρεία J&P ΑΒΑΞ για την παροχή του αδιατάραχτου δείγματος εδάφους που ερευνήθηκε καθώς και για τις πληροφορίες της γεωτεχνικής γεώτρησης .

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας και το ευρύτερο φιλικό μας περιβάλλον για τη συμπαράστασή τους και τη συνεχή ηθική και οικονομική υποστήριξη.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Εδαφομηχανική αποτελεί ιδιαίτερο κλάδο της μηχανικής. Διαφέρει από άλλους κλάδους από το γεγονός ότι τα εδάφη παρουσιάζουν σύνολα ύλης από στερεά, υγρά και αέρια καθώς και οργανισμών, η μελέτη των οποίων δεν μπορεί να γίνει χωριστά.

Η επιστήμη αυτή ασχολείται με τις φυσικές μηχανικές ιδιότητες του εδάφους ως υλικό. Επίσης, είναι η επιστήμη που ασχολείται με την γεωτεχνική συμπεριφορά του εδάφους σε φυσικές δομές και τεχνητές κατασκευές που θεμελιώνονται ή δομούνται εντός εδαφικών σχηματισμών καθώς και αυτών που κατασκευάζονται από εδαφικά υλικά (Λουπασάκης, 2013).

Η Εδαφομηχανική εξετάζει τη συμπεριφορά του εδάφους με την υποβολή φορτίων και προβλέπει κι δίνει λύσεις στα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από διάφορες κατασκευές (Πλαστήρα, 2010).

Για να προβλεφθεί τη συμπεριφορά του εδάφους, υπάρχει ανάγκη κατανόησης και ποσοτικοποίησης του πως το έδαφος συμπεριφέρεται ως μηχανολογικό υλικό. Αυτό συνεπάγεται στην εκτέλεση τυπικών προκαθορισμένων δοκιμών για την ταξινόμηση των εδαφών και για τον ορισμό ορισμένων μηχανικών ιδιοτήτων για την ανάπτυξη μίας "αίσθησης" του εδάφους και των ιδιοτήτων του (Yaski, 2008).

Ανεπαρκείς γεωτεχνικές έρευνες, ελαττωματική ερμηνεία των αποτελεσμάτων ή αδυναμία απεικόνισης μπορεί να οδηγήσει σε ακατάλληλο σχεδιασμό, καθυστερήσεις στα χρονοδιαγράμματα κατασκευής, δαπανηρές τροποποιήσεις κατασκευών, τη χρήση των κατώτερων υλικών καθώς και την περιβαλλοντική καταστροφή (Hirasa, 2015).

1.1.ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

Τα εδάφη διακρίνονται σε συνεκτικά και μη συνεκτικά. Ανάλογα με την διάμετρο των κόκκων τους.

Τα συνεκτικά εδάφη είναι: άργιλος $< 0,002 \text{ mm}$ και $0,002 \text{ mm} < \text{ιλύς} < 0,075 \text{ mm}$. Τα μη συνεκτικά εδάφη είναι: $0,075 \text{ mm} < \text{άμμος} < 2 \text{ mm}$ και χαλίκια $> 2 \text{ mm}$. Τα συνεκτικά ονομάζονται και λεπτόκοκκα, επειδή παρουσιάζουν συνοχή μεταξύ των κόκκων τους. Αντίστοιχα, τα μη-συνεκτικά ονομάζονται και χονδρόκοκκα, επειδή δεν παρουσιάζουν συνοχή μεταξύ των κόκκων τους (Καββαδάς, 2009).

1.2.ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το έδαφος είναι ένα μη-συμπαγές πολυφασικό υλικό, που αποτελείται από ασύνδετους ή ελαφρά συνδεδεμένους στερεούς κόκκους, τα κενά μεταξύ των οποίων (πόροι) περιέχουν υγρά (συνήθως νερό) ή και αέρια (συνήθως αέρα). Τα εδαφικά υλικά προέρχονται από τη μηχανική ή και χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων (Καββαδάς, 2009).

1.3.ΑΔΙΑΤΑΡΑΧΤΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ

Η μηχανική συμπεριφορά των εδαφών εξαρτάται από τη δομή τους, η οποία όμως μπορεί να καταστραφεί κατά την δειγματοληψία. Συνεπώς, πρέπει να λαμβάνεται κάθε προσοχή ώστε η διατάραξη κατά την δειγματοληψία να είναι ελάχιστη. Εδαφικά δείγματα που έχουν υποστεί την ελάχιστη δυνατή διατάραξη ονομάζονται αδιατάραχτα (Καββαδάς, 2009).

1.4.ΑΥΤΟΧΘΟΝΑ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΕΔΑΦΗ

Με βάση τον τρόπο μεταφοράς και τελικής απόθεσης των προϊόντων της αποσάθρωσης, τα εδάφη διακρίνονται σε αυτόχθονα και σε ιζηματογενή. Τα αυτόχθονα εδάφη προέρχονται από την επιτόπου απόθεση των προϊόντων αποσάθρωσης, χωρίς να μεσολαβήσει μεταφορά τους μακριά από την περιοχή της αποσάθρωσης. Αντίθετα, τα ιζηματογενή εδάφη προέρχονται από την μεταφορά των προϊόντων αποσάθρωσης με τα νερά των ποταμών μακριά από την αρχική τους θέση και την επακόλουθη απόθεση τους στην περιοχή των εκβολών (Καββαδάς, 2009).

1.5.ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ

Οι συνήθως χρησιμοποιούμενες μονάδες στο Διεθνές Σύστημα (Καββαδάς, 2009):

- Μονάδες θεμελιωδών μεγεθών:
 - Μάζα: το χιλιόγραμμα (kg) και ο τόνος (Mg), που ισούνται με 1000 χιλιόγραμμα
 - Χρόνος: το δευτερόλεπτο (sec)
 - Μήκος: το μέτρο μήκους (m)
- Μονάδες παράγωγων μεγεθών:
 - Δύναμη: Το (kN) και το πολλαπλάσιο του MN=1000 kN
 - Πίεση, τάση: Το(kPa) και το πολλαπλάσιο τουMPa=1000 kPa

1.6.ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Οι καθιζήσεις είναι κατακόρυφες μετακινήσεις εδαφικών μαζών προς τα κάτω που έχουν σαν αποτέλεσμα ένα τμήμα της επιφάνειας του εδάφους να βυθίζεται. Το μέγεθος μιας καθίζησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Μπορεί να είναι το ίδιο σε όλη την έκταση που προσβάλλεται από την καθίζηση ή να διαφέρει από θέση σε θέση. Στην δεύτερη περίπτωση μιλάμε για ανομοιόμορφη βύθιση ή διαφορεική καθίζηση.

Οι διαφορετικές καθιζήσεις σαν φυσικά φαινόμενα μπορούμε να πούμε, ότι είναι ακίνδυνες. Όταν όμως σχετίζονται με τεχνικά έργα και εκδηλώνονται στο χώρο αυτών, γίνονται αρκετά επικίνδυνες.

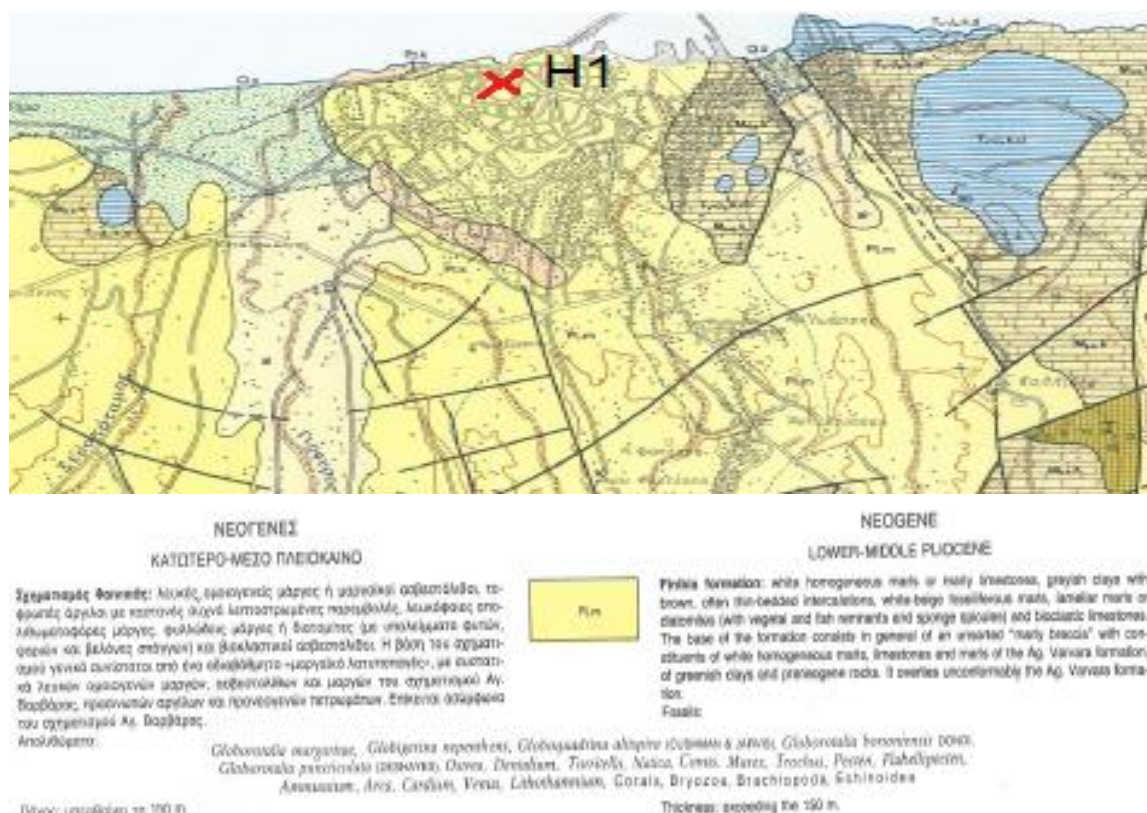
Αιτίες καθιζήσεων είναι (Πλαστήρα, 2010; Stiegler, 1985):

- Άμεσες
- Από στερεοποίηση
- Από δευτερεύουσα συμπίεση

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1.ΣΥΛΛΟΓΗ ΑΡΓΙΛΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Το αργιλικό δείγμα που χρησιμοποιήθηκε για να γίνουν οι παρακάτω δοκιμές, πάρθηκε από τα θεμέλια ενός κτιρίου που λειτουργεί ως σχολείο στο Ηράκλειο Κρήτης. Η συγκεκριμένη αλλά και η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από μία πολύπλοκη γεωλογική δομή με την παρουσία αλλητάλληλων διαδοχικών τεκτονικών καλυμμάτων. Η στρωματολογική σειρά αποτελείται από νεογενείς αποθέσεις (μάργες, άργιλοι, άμμοι, ιλυόλιθοι, ασβεστόλιθοι) και από τεταρτογενής κλαστικά ιζήματα. Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής είναι ορεινό. Αναλυτικά η κατανομή του σε κατηγορίες έχει ως εξής (Corine Bossard, 2000): 33% πεδινό, 26% ημιορεινό και 41% ορεινό. Η δειγματοληψία έγινε με την κατάλληλη γεώτρηση. Υπάρχουν δύο κατηγορίες γεωτρήσεων, που είναι οι εξής: χειροκίνητες και μηχανοκίνητες. Το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε, μήκους 1.20 m, ανακτήθηκε με μηχανοκίνητη γεώτρηση από βάθος 7.70 m και θα φέρει την ονομασία Ηράκλειο1 (H1).



Σχ.2.1.Χάρτης απεικόνισης θέσης συλλογής αργιλικού δείγματος H1 από την γεωτεχνική γεώτρηση (ΙΓΜΕ, 1983).

2.2.ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Τα λογισμικά πακέτα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της έρευνας είναι τα AUTOCAD, MICROSOFT WORD, MICROSOFT EXCEL.

2.2.1.ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

Το έδαφος στην φυσική του κατάσταση είναι υγρό. Οι μορφές νερού που συναντάμε στο έδαφος είναι (Πλαστήρα, 2011; Γκαζέτας, 2004):

- Νερό βαρύτητας
- Νερό τριχοειδές
- Νερό υγροσκοπικό

Το νερό βαρύτητας και το τριχοειδές απομακρύνονται από το έδαφος στους 20° C περίπου. Το υγροσκοπικό νερό, που εξαρτάται κυρίως από την μοριακή έλξη, στους 110 ± 5°C.

Με τον όρο περιεχόμενη υγρασία εδάφους ορίζεται ο λόγος του βάρους του νερού που περιέχεται στο έδαφος προς το βάρος του ξηρού εδάφους.

$$W = \frac{B_{\text{νερ}}}{B_{\text{ξηρ.εδ.}}} \quad (2.1)$$

Ο σκοπός της δοκιμής είναι ο προσδιορισμός της αναλογίας του νερού μέσα στο έδαφος. Η αναλογία αυτή επιδρά σημαντικά στις μηχανικές ιδιότητες ορισμένων τύπων εδαφών. Τέτοια εδάφη είναι τα λεγόμενα συνεκτικά, τα οποία μπορούν να μεταβούν με την αύξηση της αναλογίας του νερού, από την ξηρή και ανθεκτική κατάσταση στην υδαρή και δίχως αντοχές κατάσταση.

Για την ολοκλήρωση της δοκιμής χρησιμοποιήθηκαν:

- Κάψες αλουμινίου
- Ζυγός ευαισθησίας με ακρίβεια 1/10 του γραμμαρίου
- Κλίβανος ξήρανσης ρυθμιζόμενος στους 110 ± 5°C

Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των διαδοχικών ζυγίσεων. Δηλαδή το δείγμα του εδάφους που αναλύθηκε είναι αντιπροσωπευτικό και αδιατάραχτο εφόσον υπολογίστηκε η φυσική υγρασία. Το βάρος του μπορεί να είναι από 10 gr έως 1000 gr. Όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το έδαφος τόσο λιγότερη ποσότητα χρειάζεται (Πλαστήρα, 2011; Γ.Γ.Δ.Ε., 2006; Γκαζέτας, 2004).

Βήματα εκτέλεσης πειράματος προσδιορισμού της περιεχόμενης υγρασίας

Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα του εδάφους. Ζυγίζεται η κάψα (B_k). Ζυγίζεται η κάψα με το υγρό έδαφος ($B_{k+υ}$). Η ζύγιση πρέπει να γίνεται γρήγορα για να μην έχουμε επιφανειακή ξήρανση του δείγματος. Το δείγμα με την κάψα τοποθετείται μέσα στον κλίβανο, που είναι ρυθμισμένος στους 110 ± 5°C. Παραμένει στον κλίβανο μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος του (γίνονται διαδοχικές ζυγίσεις μέχρις ότου δύο τελευταίες να είναι ίδιες). Αυτή η τελευταία ζύγιση σημειώνεται ως βάρος κάψας και ξηρού δείγματος ($B_{k+ξ}$). Η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί και να βρεθεί ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων για την μείωση του σφάλματος (Πλαστήρα, 2011; Γ.Γ.Δ.Ε., 2006; Γραμματικόπουλος, 2015).

2.2.2.ΕΙΔΙΚΑ ΒΑΡΗ ΕΔΑΦΩΝ

Με τον όρο ειδικό βάρος στερεών συστατικών ορίζεται ο λόγος του ξηρού βάρους του εδαφικού δείγματος προς τον όγκο των κόκκων του.

$$\gamma_s = B_{\xi} / V_s \quad (2.2)$$

Το ειδικό βάρος στερεών συστατικών ενός εδάφους, χρησιμοποιείται για τον συσχετισμό του βάρους του εδάφους προς τον όγκο του. Συνήθως οι τιμές κυμαίνονται από 2,2 gr/cm³ – 2,9 gr/cm³ (Πλαστήρα, 2011; Γραμματικόπουλος, 1999).

Για την ολοκλήρωση της δοκιμής χρησιμοποιήθηκαν:

- Κλίβανος
- Κάψες αλουμινένιες
- Γουδί, γουδοχέρι
- Ζυγός ακριβείας 0,01 gr
- Κόσκινο N_o 10
- Πυκνόμετρο χωρητικότητας 100 ml ή λήκυθος χωρητικότητας 50 ml
- Αποσταγμένο νερό
- Αντλία κενού

Βήματα εκτέλεσης πειράματος προσδιορισμού του ειδικού βάρους

Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα του εδάφους. Ξηραίνεται στον κλίβανο και κατόπιν λειοτριβείται στο γουδί με το γουδοχέρι. Το υλικό αυτό κατόπιν κοσκινίζεται στο κόσκινο N_o 10 (2mm). Από το διερχόμενο από το κόσκινο υλικό (που θεωρείται λεπτόκοκκο), λαμβάνεται δείγμα περίπου 50 gr. Αυτή η ποσότητα θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους. (Το συγκρατούμενο υλικό στο N_o 10 θεωρείται χοντρόκοκκο και ο υπολογισμός του ειδικού βάρους γίνεται με άλλη μέθοδο. Αν το έδαφος περιέχει και χονδροκόκκο και λεπτόκοκκο υλικό προσδιορίζονται χωριστά τα δύο ειδικά βάρη και κατόπιν υπολογίζεται ο μέσος όρος) (Πλαστήρα, 2011; Γ.Γ.Δ.Ε., 2006).

Το πυκνόμετρο καθαρίζεται, ξηραίνεται και ζυγίζεται (B_{π}). Στην συνέχεια, τοποθετείται το ξηρό εδαφικό δείγμα, (τα 50 gr του λεπτόκοκκου), μέσα στο πυκνόμετρο και ξαναζυγίζεται μαζί με το πυκνόμετρο ($B_{\pi+\xi}$). Κατόπιν προστίθεται αποσταγμένο νερό περίπου μέχρι τα % της φιάλης. Ο αέρας, που έχει παγιδευτεί στο μίγμα νερού - εδάφους, απομακρύνεται με την βοήθεια αντλίας κενού. Στη συνέχεια συμπληρώθηκε με αποσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή της φιάλης και ζυγίστηκε ξανά ($B_{\pi+\xi+v}$). Ξεπλένεται καλά το πυκνόμετρο και το γεμίζεται μόνο με αποσταγμένο νερό μέχρι την χαραγή, και ξαναζυγίζεται ($B_{\pi+v}$) (Πλαστήρα, 2011; Γ.Γ.Δ.Ε., 2006).

Το ειδικό βάρος υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\gamma_s = B_{\xi} / B_{\xi} + (B_{\pi+v} - B_{\pi+\xi+v}) \quad (2.3)$$

2.2.3.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ , ΞΗΡΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ, ΔΕΙΚΤΗ ΚΕΝΩΝ, ΠΟΡΩΔΕΣ

Με τον όρο υγρό φαινόμενο βάρος ορίζεται ο λόγος του βάρους του υγρού εδαφικού δείγματος προς τον συνολικό του όγκο.

$$\gamma = B_{\text{υγρ}} / V_{\text{ολ}} \quad (2.4)$$

Για την ολοκλήρωση της δοκιμής μας χρησιμοποιήθηκαν :

- Ζυγός ακριβείας 0,01 gr
- Ογκομετρικός σωλήνας 200 ml
- Δοχείο τήξεως παραφίνης
- Παραφίνη

Βήματα εκτέλεσης πειράματος προσδιορισμού υγρού φαινόμενου βάρους , ξηρού φαινόμενου βάρους , δείκτη κενών και πορώδες

Καθαρίζεται καλά ο ογκομετρικός σωλήνας και γεμίζεται κατά $\frac{3}{4}$ περίπου με αποσταγμένο νερό, καταγράφοντας ακριβώς τη στάθμη του νερού. Λαμβάνεται ένα κομμάτι του εδαφικού δείγματος βάρους περίπου 100 gr και σχήματος που χωράει στον ογκομετρικό σωλήνα. Ζυγίζεται με ακρίβεια και στη συνέχεια βαπτίζεται στο δοχείο με τη λειωμένη παραφίνη μέχρι να επικαλυφθεί όλη η επιφάνεια του δείγματος. Στη συνέχεια ζυγίζεται παραφινωμένο το δείγμα και εισάγετε με προσοχή μέσα στον ογκομετρικό σωλήνα με το νερό. Καταγράφεται κατόπιν η νέα ένδειξη της στάθμης του νερού. Από τη διαφορά της αρχικής και της τελικής ανάγνωσης της στάθμης του νερού μέσα στο σωλήνα, βρίσκεται ο όγκος του παραφινωμένου δείγματος. Από τον όγκο αυτό αφαιρείται ο όγκος της παραφίνης που βρίσκεται, διαιρώντας το βάρος της με το ειδικό της βάρος ($0,89 \text{ gr/cm}^3$). Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζεται ο όγκος του εδαφικού δείγματος ($V_{\text{ολ}}$) (Πλαστήρα, 2011; Γ.Γ.Δ.Ε., 2006; Χρηστάρας, 2001).

Με τον όρο ξηρό φαινόμενο βάρος εδάφους ορίζεται ο λόγος του βάρους του ξηρού εδαφικού δείγματος προς τον συνολικό του όγκο .

$$\gamma_d = B_{\text{ξηρ}} / V_{\text{ολ}} \quad (2.5)$$

Αφού προσδιοριστεί το υγρό φαινόμενο βάρος του δείγματος με την παραπάνω μέθοδο λαμβάνεται ένα κομμάτι από το εδαφικό δείγμα που χρησιμοποιείται στη δοκιμή και υπολογίζεται η περιεχόμενη υγρασία w με την μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων. Με την βοήθεια του τύπου υπολογίζεται το ξηρό φαινόμενο βάρος του εδάφους (Πλαστήρα, 2011; Γ.Γ.Δ.Ε., 2006; Χρηστάρας, 2001).

$$\gamma_d = \gamma / 1+w \quad (2.6)$$

Με τον όρο δείκτη ή λόγο κενών ορίζεται ο λόγος του όγκου των κενών του εδαφικού δείγματος προς τον όγκο των στερεών κόκκων.

$$e = V_k / V_s \quad (2.7)$$

Επειδή θεωρείται, ότι οι κόκκοι παραμένουν απαραμόρφωτοι, η μεταβολή του δείκτη κενών χαρακτηρίζει την παραμόρφωση του εδάφους.

Με τον όρο πορώδες ορίζεται ο λόγος του όγκου των κενών προς τον ολικό όγκο του εδάφους.

$$n = V_k / V_{ολ} \quad (2.8)$$

Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί, ότι το πορώδες δεν εκφράζει την διαπερατότητα ενός εδάφους και αυτό γιατί για να είναι δυνατή η ροή του νερού μέσα από τα κενά του εδάφους, θα πρέπει τουλάχιστον μερικά από τα κενά να είναι συνεχή. Στην περίπτωση που το πορώδες και ο δείκτης κενών ελαττώνονται η αντοχή αυξάνει (Πλαστήρα, 2011; Λαγιώτης, 1996).

Πιν.2.1. Ενδεικτικές τιμές πορώδους και λόγου κενών για διαφορετικά εδάφη (Johnson and De Graff,1988).

	Λόγος κενών		Πορώδες (%)	
	e_{max}	e_{min}	n_{max}	n_{min}
	χαλαρή	πυκνή	χαλαρή	πυκνή
Μικτές φάσεις:				
Αμμώδης ή ιλυώδης άργιλος	1,8	0.25	64	20
Καλά διαβαθμισμένη χάλικες, άμμος, ιλύς και άργιλος	0.70	0,13	41	11
Αργιλικά εδάφη				
Άργιλος (30%-50 % μεγέθη αργίλου)	2.4	0.50	71	33
Κολλοειδής άργιλος (-0.002 mm: 50%)	12.0	0.60	92	37
Οργανικά εδάφη				
Οργανική ιλύς	3.0	0.55	7.5	35
Οργανική άργιλος (30%-50% μεγέθη αργίλου)	4.4	0.70	81	41

2.2.4.ΟΡΙΑ ATTERBERG

Ο σκοπός της εύρεσης των ορίων ATTERBERG είναι ο προσδιορισμός της κατάταξης των λεπτόκοκκων υλικών (Barnes, 2005).

Η μηχανική συμπεριφορά των συνεκτικών – αργιλωδών εδαφών επηρεάζεται από την περιεχόμενη υγρασία. Με την βαθμιαία μείωση της περιεχόμενης υγρασίας από την υδαρή κατάσταση, στην οποία βρίσκεται, μεταπίπτει στην πλαστική, μετά στην ημιστερεή και στο τέλος στην στερεή κατάσταση. Οι τιμές της περιεχόμενης υγρασίας στις οποίες τα διάφορα είδη αργιλωδών εδαφών μεταπίπτουν από την μια κατάσταση στην άλλη ποικίλουν σημαντικά.

Η υγρασία στην οποία αλλάζει κατάσταση το έδαφος είναι σημαντική για την διάκριση και σύγκριση διάφορων αργίλων (Καββαδάς, 2009).

Σύμφωνα με το σύστημα ATTERBERG καθορίστηκαν αυθαίρετα 4 καταστάσεις.

- Ρευστή (υδαρή) : το έδαφος δεν έχει διατμητική αντοχή
- Πλαστική: παραμορφώνεται χωρίς θραύση και διατηρεί το σχήμα του ακόμη και μετά την απομάκρυνση του αιπίου
- Ημιστερεή: θραύεται ενώ παραμορφώνεται
- Στερεή : συμπεριφέρεται σαν στερεό σώμα και έχει διατμητική αντοχή.

Οι περιεχόμενες υγρασίες οι οποίες αντιστοιχούν στα όρια μεταξύ των διαφόρων καταστάσεων συνεκτικότητας ονομάζονται όρια ATTERBERG (Καββαδάς, 2009):

- Όριο υδαρότητας (LL)
- Όριο πλαστικότητας (LP)
- Όριο συρρίκνωσης (SW)

2.2.4.1.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL)

Με τον όρο όριο υδαρότητας ορίζεται η περιεχόμενη υγρασία κατά την οποία το έδαφος αφού χάσει νερό, μεταφέρεται από την υδαρή κατάσταση στην πλαστική.

Για την ολοκλήρωση της δοκιμής μας χρησιμοποιήθηκαν (Καββαδάς, 2009):

- Δοχείο από πορσελάνη με διάμετρο 12 cm
- Σπάτουλα με διαστάσεις 8 cm × 2 cm
- Συσκευή CASAGRANDE με προδιαγεγραμμένες διαστάσεις
- Όργανο για την χάραξη
- Δοχεία
- Ζυγαριά με ανάγνωση 0,01 gr
- Κλίβανο 110°C
- Κάψες αλουμινίου
- Κόσκινο N_o 40 (0,42 mm)

Βήματα εκτέλεσης πειράματος προσδιορισμού ορίου υδαρότητας

Το δείγμα μαργαϊκού σχηματισμού H1:

Ξηραίνεται σε θερμοκρασία μικρότερη των 60°C, λειοτριβείται προσεκτικά ώστε να μην μειωθεί το μέγεθος των κόκκων, τετραμερίζεται και κοσκινίζεται με το κόσκινο N_o 40. Λαμβάνονται 100 gr από το υλικό που περνάει από το κόσκινο N_o 40 και αναμιγνύεται με αποσταγμένο νερό. Η ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το έδαφος το οποίο θα υποβληθεί σε δοκιμή. Η ανάμιξη γίνεται με την σπάτουλα. Αν χρειαστεί παραπάνω νερό προσθέτεται 1 έως 3 ml. Όταν ολοκληρωθεί η ανάμιξη και δημιουργηθεί μια πηχτή ομοιόμορφη μάζα το δείγμα τοποθετείται στον υγραντήρα για μισή ώρα. Έπειτα τοποθετείται στο καπέλο της συσκευής, πιέζεται και απλώνεται με αργές κατά το δυνατόν κινήσεις της σπάτουλας ώστε να μην εγκλωβιστούν φυσαλίδες αέρα μέσα στη μάζα. Η μάζα πρέπει να έχει 1 cm βάθος στο σημείο μέγιστου πάχους. Χωρίζεται στα δύο, με όργανο χάραξης, κατά τον άξονα της συσκευής. Η χαραγή πρέπει να είναι καθαρή και να φτάνει μέχρι

τον πάτο της συσκευής. Ο στρόφαλος της συσκευής περιστρέφεται με δύο στροφές το δευτερόλεπτο. Οι στροφές καταμετρούνται μέχρι τα δύο τμήματα του εδάφους να έρθουν σε επαφή σε μήκος 1,27 cm. Ο αριθμός στροφών καταγράφεται. Το τμήμα του εδαφικού δείγματος που βρίσκεται κάθετα προς την χαραγή, αφαιρείται με την σπάτουλα, ζυγίζεται, ξηραίνεται, επαναζυγίζεται και προσδιορίζεται η υγρασία του με την μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται σε δύο ακόμη τμήματα του εδάφους ώστε σε κάθε μια από τις δοκιμές να ενώνονται κατά 1,27 cm σε αριθμό κτύπων, που ανήκουν στις παρακάτω περιοχές (Πλαστήρα, 2011; Γ.Γ.Δ.Ε., 2006; Χρηστάρας, 2001) :

- 1^η δοκιμή : 25 – 35 κτύπους
- 2^η δοκιμή : 20 – 30 κτύπους
- 3^η δοκιμή : 15 – 25 κτύπους

Σε ένα ημιλογαριθμικό χαρτί, απεικονίζονται τα ζεύγη των τιμών των κτύπων με τις αντίστοιχες περιεχόμενες υγρασίες. Στον άξονα των τετμημένων τοποθετούνται οι αριθμοί των κτύπων και στον άξονα των τεταγμένων οι περιεχόμενες υγρασίες. Σχεδιάζεται ένα ευθύγραμμο τμήμα, όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις ανωτέρω συντεταγμένες.

2.2.4.2.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

(LP)

Με τον όρο όριο πλαστικότητας ορίζεται η πιο χαμηλή περιεχόμενη υγρασία κατά την οποία το έδαφος παραμένει πλαστικό (Barnes, 2005).

Για την ολοκλήρωση της δοκιμής μας χρησιμοποιήθηκαν:

- Δοχείο από πορσελάνη με διάμετρο 12 cm
- Σπάτουλα με διαστάσεις 8 cm × 2 cm
- Γυάλινη επιφάνεια για κυλίνδρωση
- Δοχεία
- Ζυγαριά με ανάγνωση 0,01 gr

Βήματα εκτέλεσης πειράματος προσδιορισμού ορίου πλαστικότητας

Το δείγμα μαργαϊκού σχηματισμού H1:

Ξηραίνεται σε θερμοκρασία μικρότερη των 60°C, λειοτριβείται προσεκτικά ώστε να μην μειωθεί το μέγεθος των κόκκων, τετραμερίζεται και κοσκινίζεται με το κόσκινο N_ο 40. Λαμβάνονται 20 gr από το υλικό που περνάει από το κόσκινο N_ο 40 και αναμιγνύεται καλά με αποσταγμένο νερό ώστε να σχηματιστεί μια αρκετά πλαστική μάζα που να μορφώνεται εύκολα ως σβόλος. Από αυτή την πλαστική μάζα λαμβάνονται 8 gr και του λαμβάνεται σχήμα ελλειψοειδές. Το δείγμα κυλινδρώνεται ανάμεσα στα δάχτυλα και την γυάλινη πλάκα ώστε να σχηματιστεί ραβδίσκος με την ίδια διάμετρο σε όλο το μήκος του. Πραγματοποιούνται 80 – 90 κυλινδρώσεις το λεπτό. Η πλήρης

κυλίνδρωση ολοκληρώνεται με την επιστροφή του χεριού – ραβδίσκου στην αρχική θέση. Όταν η διάμετρος γίνει 3 mm χωρίς ρηγματώσεις, ο ραβδίσκος τεμαχίζεται σε 6 ή 8 τεμάχια. Τα τεμάχια συμπιέζονται με τα δάχτυλα σε ομοιόμορφη μάζα με ελλειψοειδές σχήμα και επαναλαμβάνεται η κυλίνδρωση για τον σχηματισμό νέου ραβδίσκου με διάμετρο 3 mm. Όταν ο ραβδίσκος θρυμματιστεί σε διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με 3 mm η διαδικασία σταματάει. Ο θρυμματισμός εμφανίζεται διαφορετικός σε διαφορετικούς τύπους εδαφών. Η μάζα του ραβδίσκου τοποθετείται σε κάψα στον κλίβανο, αφού ζυγιστεί και προσδιορίζεται η υγρασία του με την μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων. Η υγρασία αυτή θα είναι το όριο πλαστικότητας του εδάφους. Γίνονται δύο δοκιμές και σαν όριο πλαστικότητας ορίζεται ο μέσος όρος (Πλαστήρα, 2011; Γ.Γ.Δ.Ε., 2006; Χρηστάρας, 2001).

2.2.4.3.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ATTERBERG:

2.2.4.3.1.ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Με τον όρο δείκτη πλαστικότητας ορίζεται το φάσμα των υγρασιών για τις οποίες το έδαφος παραμένει σε πλαστική κατάσταση και είναι η διαφορά του ορίου υδαρότητας μείον το όριο πλαστικότητας.

$$IP=LL-LP \quad (2.9)$$

Η κατάταξη των εδαφών κατά τον Atterberg , με βάση την πλαστικότητα είναι η εξής (Καββαδάς, 2009):

Πιν.2.2. Ο βαθμός πλαστικότητας σε σχέση με τον δείκτη πλαστικότητας IP .

Βαθμός Πλαστικότητας	Δείκτης Πλαστικότητας IP
Έδαφος μη πλαστικό	0
Έδαφος ελαφράς πλαστικότητας	1 - 5
Έδαφος μικρής πλαστικότητας	5 - 10
Έδαφος μέσης πλαστικότητας	10 - 20
Έδαφος μεγάλης πλαστικότητας	20 - 40
Έδαφος πολύ μεγάλης πλαστικότητας	>40

Η αντοχή του αργιλικού εδάφους είναι αντιστρόφως ανάλογη του δείκτη πλαστικότητάς του.

2.2.4.3.2.ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

Με τον όρο δείκτη υδαρότητας ορίζεται η σχέση του πραγματικού ποσοστού υγρασίας (W) ως προς το όριο υδαρότητας και εκφράζεται από τον εξής τύπο (Καββαδάς, 2009):

$$I_L=(W-LP)/IP \quad (2.10)$$

Οι τιμές του I_L που κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1 αντιστοιχούν στην πλαστική περιοχή. Εάν το ποσοστό υγρασίας είναι ίσο με το όριο υδαρότητας τότε $I_L=1$ ενώ εάν είναι ίσο με το όριο πλαστικότητας $I_L=0$. Επίσης εάν οι τιμές του $I_L < 0$ τότε είναι στην ημιστερεή κατάσταση ενώ αν $I_L > 1$ τότε βρίσκεται στην υδαρή κατάσταση.

2.2.4.3.3. ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Με τον όρο δείκτη συνεκτικότητας ορίζεται το κατά πόσο ένα έδαφος είναι σκληρό ή μαλακό. Δηλαδή οι καταστάσεις πλαστικότητας, στις οποίες μεταβαίνει ένα εδαφικό υλικό με φυσική υγρασία W όταν προσλαμβάνει ή αντίθετα αποβάλλει νερό αποδίδεται με αυτόν τον όρο και εκφράζεται από τον εξής τύπο (Καββαδάς, 2009):

$$I_c = (LL - W) / IP \quad (2.11)$$

Επομένως, όσο μεγαλύτερη η τιμή του I_c τόσο πιο σκληρό και ανθεκτικό είναι το έδαφος. Ενώ όσο μικρότερη η τιμή του, τόσο πιο μαλακό και δίχως αντοχές είναι.

2.2.5. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Κοκκομετρική ανάλυση είναι ο προσδιορισμός της σχέσης του μεγέθους του ανοίγματος των βροχίδων διαφόρων κοσκίνων και του ποσοστού κατά βάρος της εδαφικής ποσότητας που διέρχεται από αυτά τα κόσκινα. Στην πράξη χρησιμοποιείται μια κατακόρυφη στήλη κοσκίνων με βαθμιαία μειούμενη βροχίδα από πάνω προς τα κάτω (Καββαδάς, 2009).

Το προς έλεγχο υλικό (ξηρό στον κλίβανο) ρίχνεται στο υψηλότερο κόσκινο και ακολουθεί η κοσκίνιση. Ζυγίζονται τα συγκρατούμενα βάρη και υπολογίζονται τα διερχόμενα από το κάθε κόσκινο (Πλαστήρα, 2011; Κολέτσος, 2004).

Ο σκοπός της κοκκομετρικής ανάλυσης είναι η κατάταξη των εδαφών. Η διαδικασία για την προετοιμασία του υλικού περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα. Γίνεται ξήρανση του εδαφικού δείγματος στους 60°C και λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα μετά από τεταρτομερισμό ή διαχωρισμό, τόσο ώστε:

- το διερχόμενο βάρος από το κόσκινο 2 mm (N_{10}) να έχει βάρος 110 gr για αμμώδες έδαφος και 60 gr για αργιλώδες ή ιλυώδες έδαφος και
- το κατακρατούμενο ελάχιστο βάρος στο κόσκινο N_{10} θα πρέπει να είναι σύμφωνα με τον πίνακα 2.3:

Πιν.2.3. Ελάχιστο βάρος στο κόσκινο N_o 10.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΥ ΚΟΚΚΟΥ mm (inch.)	ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΒΑΡΟΣ (kgr)
9,5 (3/8)	0,5
25,0 (1)	2,0
50,0 (2)	4,0
75,0 (3)	5,0

Κατόπιν λειοτριβείται σε γουδί πορσελάνης ώστε να γίνει αποσβόλωση (διαχωρίζοντα οι κόκκοι). Μετά ζυγίζεται το ξηρό στους 60°C και αυτή θα είναι η συνολική ποσότητα W, που θα χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή. Η ποσότητα όμως αυτή περιέχει υγρασία γιατί δεν έχει μπει στο κλίβανο στους 110 ± 5°C μέχρι σταθεροποίησης του βάρους τους. Η ανωτέρω ποσότητα W χωρίζεται σε δύο ποσότητες χρησιμοποιώντας το κόσκινο N_o 10 (Πιν.2.4.). Το συγκρατούμενο υλικό στο N_o 10 λειοτριβείται και επαναλαμβάνεται η διαδικασία κοσκίνισματος. Η ποσότητα, που θα συγκρατηθεί τελικά στο κόσκινο N_o 10, είναι το χοντρόκοκκο υλικό του συνολικού δείγματος και συμβολίζεται με W_χ. Η ποσότητα, που πέρασε από το κόσκινο N_o 10, είναι το λεπτόκοκκο υλικό και συμβολίζεται με W_λ και θα είναι (Πλαστήρα, 2011; Γραμματικόπουλος, 1999):

$$W_{\lambda} = W - W_{\chi} \quad (2.12)$$

Οι ανωτέρω ποσότητες πρέπει να αναχθούν σε ξηρές στο κλίβανο χωρίς υγρασία, γιατί τα ποσοστά τα διερχόμενα, που λαμβάνονται σαν τελικό αποτέλεσμα, υπολογίζονται στο συνολικό ξηρό δείγμα. Το χοντρόκοκκο υλικό W_χ λόγω του ότι υγρασία του θεωρείται αμελητέα, εκλαμβάνεται ως ξηρό.

$$W_{\chi} = W_{\chi\xi} \quad (2.13)$$

Η ξηρή ποσότητα του λεπτόκοκκου W_{λξ} υπολογίζεται, αφού υπολογιστεί η περιεχόμενη υγρασία W του λεπτόκοκκου υλικού από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα περίπου 10 gr, με τη γνωστή μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων.

Δηλαδή : $W_{\lambda\xi} = W_{\lambda} / 1 + W$.

Συνεπώς, η συνολική ξηρή ποσότητα, που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση, θα είναι:

$$W_{\xi} = W_{\chi\xi} + W_{\lambda\xi} \quad (2.14)$$

Συνοπτικά η παραπάνω διαδικασία έχει ως εξής:

- Ξήρανση δείγματος στους 60°C
- Ποσότητες ελάχιστες σύμφωνα με τις προδιαγραφές
- Αντιπροσωπευτικό δείγμα - τεταρτομερισμός - διαχωρισμός
- Διαχωρισμός κόκκων (γουδί και γουδοχέρι) - κωνιοποίηση
- Ζύγιση της συνολικής ποσότητας με υγρασία (w)
- Κοσκίνισμα στο N_o 10 (2 mm)
- Αποσβόλωση του συγκρατούμενου στο κόσκινο N_o 10
- Κοσκίνισμα στο N_o 10

- Ζύγισης της συγκρατούμενης στο κόσκινο ποσότητας W_x
- Υπολογισμός $W_\lambda = W - W_x$
- Εύρεση υγροσκοπικής υγρασίας w
- Υπολογισμός $W_{\lambda\xi} = W / (1 + w)$
- Συνολική ποσότητα $W_\xi = W_{\chi\xi} + W_{\lambda\xi}$
- Προσδιορισμός του % διερχόμενου λεπτόκοκκου P_λ και του % συγκρατούμενου P_χ στο κόσκινο No 10

$$P_\lambda = (W_{\lambda\xi} / W_\xi) \times 100, P_\chi = (W_{\chi\xi} / W_\xi) \times 100 \quad (2.14)$$

Πιν.2.4. Αμερικάνικα πρότυπα κόσκινα τετραγωνικής οπής (A.S.T.M., 1984).

Αριθμός κοσκίνου	Μέγεθος οπής κοσκίνου σε (mm)
4 - in	101,60
$3^{1/2}$ - in	88,90
3 - in	76,20
$2^{1/2}$ - in	68,50
2 - in	50,80
$1^{3/4}$ - in	44,40
$1^{1/2}$ - in	38,10
$1^{1/4}$ - in	31,70
1 - in	25,40
$7/8$ - in	22,20
$3/4$ - in	19,10
$5/8$ - in	15,90
$1/2$ - in	12,70
$1/10$ - in	11,10
$3/8$ - in	9,52
$5/10$ - in	7,93
$1/4$ - in ή N _o 3	6,35
N _o 3 $1/2$	5,66
N _o 4	4,76
N _o 5	4,00
N _o 6	3,36
N _o 7	2,83
N _o 8	2,38
N _o 10	2,00
N _o 12	1,68
N _o 14	1,41
N _o 16	1,19
N _o 18	1,00
N _o 20	0,84
N _o 25	0,71
N _o 30	0,59
N _o 35	0,50
N _o 40	0,42
N _o 45	0,35
N _o 50	0,297
N _o 60	0,250
N _o 70	0,210
N _o 80	0,177
N _o 100	0,149
N _o 120	0,125
N _o 140	0,105
N _o 170	0,088
N _o 200	0,074
N _o 230	0,062

Η κοκκομετρική ανάλυση γίνεται σε τρεις φάσεις (Πλαστήρα, 2011; Γκαζέτας, 2004):

- στην κοσκίνιση του χοντρόκοκκου υλικού (συγκρατούμενου στο N_ο 10 κόσκινο)
- στη φάση της καθίζησης (ανάλυση με αραιόμετρο). Αναλύεται το υλικό, που διέρχεται από το κόσκινο N_ο 200 (δηλ. ιλύς και άργιλος)
- στη κοσκίνιση του λεπτόκοκκου. Κοσκινίζεται το υλικό ανάμεσα στο κόσκινο N_ο 10 και N_ο 200, δηλ. η άμμος

Για την ολοκλήρωση της δοκιμής της κοκκομετρικής ανάλυσης με αραιόμετρο (πυκνόμετρο) χρησιμοποιήθηκαν (Πλαστήρα, 2011; Γκαζέτας, 2004):

- Ζυγό ακριβείας 0,1 gr
- Γυάλινο ποτήρι 250 ml
- Παράγοντας διασποράς
- Συσσκευή ανάδευσης
- Αραιόμετρο
- Γυάλινοι ογκομετρικοί κύλινδροι των 1000ml
- Θερμόμετρο ακριβείας 0,5°C
- Κόσκινο N_ο 10
- Υδατόλουτρο ή χώρος σταθερής θερμοκρασίας

Βήματα εκτέλεσης πειράματος προσδιορισμού κοκκομετρικής ανάλυσης εδαφών

Από το δείγμα που διέρχεται από το κόσκινο N_ο 10 λαμβάνονται 50 gr εδάφους. Το δείγμα ζυγίζεται, τοποθετείται σε ποτήρι των 250 ml, καλύπτεται με 125 ml από το έτοιμο διάλυμα του παράγοντα διασποράς, αναδεύεται καλά με γυάλινη ράβδο και αφήνεται να διαβραχεί για τουλάχιστον 12 ώρες. Μετά τη διαβροχή, το περιεχόμενο του ποτηριού μεταφέρεται με επίπλυση μέσα σε ένα κύπελλο διασποράς, προστίθεται απεσταγμένο νερό μέχρι να πληρωθεί το κύπελλο περισσότερο από το μισό και το περιεχόμενο αναδεύεται με την συσκευή ανάδευσης επί ένα λεπτό, ώστε να επιτευχθεί διασπορά. Στη συνέχεια το μείγμα μεταφέρεται στον γυάλινο ογκομετρικό κύλινδρο, όπου προστίθεται απεσταγμένο νερό ίδιας θερμοκρασίας με το υδατόλουτρο, μέχρι τελικού όγκου 1000 ml. Τότε ο ογκομετρικός κύλινδρος τοποθετείται μέσα στο υδατόλουτρο σταθερής θερμοκρασίας. Όταν το εδαφικό αιώρημα αποκτήσει τη θερμοκρασία του υδατόλουτρου, εξάγεται ο κύλινδρος και το περιεχόμενο του αναταράσσεται για ένα λεπτό, κλείνοντάς τον με την παλάμη μας. Σημειώνεται ο χρόνος περάτωσης της ανατάραξης, τοποθετείται ο κύλινδρος μέσα στο υδατόλουτρο και διαβάζεται η ένδειξη του αραιομέτρου στα δύο λεπτά. Παράλληλα λαμβάνεται μέτρηση της θερμοκρασίας του αιωρήματος. Οι επόμενες ενδείξεις λαμβάνονται στα (Πλαστήρα, 2011; Γ.Γ.Δ.Ε., 2006; Χρηστάρας, 2001) :

- 5 min
- 15 min
- 30 min
- 60 min
- 250 min
- 1440 min

Μετά το πέρας της κάθε μέτρησης το αραιόμετρο απομακρύνεται προσεκτικά από το εδαφικό αιώρημα και τοποθετείται με περιστροφική κίνηση μέσα σε ογκομετρικό σωλήνα γεμάτο καθαρό νερό. Περίπου 25 – 30 sec πριν την επόμενη ανάγνωση το αραιόμετρο τοποθετείται αργά μέσα στο εδαφικό αιώρημα έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η ακινητοποίησή του πριν τον καθορισμένο χρόνο ανάγνωσης. Μετά την τελική ανάγνωση το αιώρημα πλένεται σε κόσκινο Νο 200. Το κλάσμα που συγκρατείται στο Νο 200 ξηραίνεται και εκτελείται κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα ανάμεσα στο Νο 10 και στο Νο 200 (κοσκίνηση λεπτόκοκκου) (Πλαστήρα, 2011; Γ.Γ.Δ.Ε., 2006; Χρηστάρας, 2001).

2.2.6.ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ

Με τον όρο κατάταξη εδαφών προσδιορίζεται η ταξινόμηση σε ομάδες, σύμφωνα με ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά. Η ταξινόμηση εδαφών είναι απαραίτητη σε ορισμένα μεγάλα τεχνικά έργα, καθώς και σε όσες περιπτώσεις απαιτείται ολοκληρωμένη εδαφοτεχνική έρευνα. Οι μέθοδοι ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι αυτές που διαχωρίζουν τα εδάφη σε ομάδες που έχουν παρόμοιες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες και που μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα με απλές και οικονομικές δοκιμές. Συνήθως οι δοκιμές αυτές είναι η κοκκομετρική ανάλυση και τα όρια Atterberg (Πλαστήρα, 2011; Γραμματικόπουλος, 2015) .

Τα κριτήρια είναι:

- Τα διερχόμενα ποσοστά από τα αντίστοιχα κόσκινα.
- Τα αποτελέσματα των ορίων Atterberg, συνήθως το όριο υδαρότητας LL και ο δείκτης πλαστικότητας IP.

Τα δύο περισσότερο συνήθη συστήματα ταξινόμησης είναι (Πλαστήρα, 2011):

- Το σύστημα A.A.S.H.T.O. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1973) που εφαρμόζεται στην οδοποιία
- Το σύστημα A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials, 1984)

Πιν.2.5. Σύστημα κατάταξης εδαφών κατά A.S.T.M. (1984).

		ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΤΑ A.S.T.M D2487-90					
ΒΑΣΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ		ΥΠΟΜΝΗΜΑ		
			ΓΕΝΙΚΑ	ΕΙΔΙΚΑ			
ΚΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΥΛΙΚΑ Π<50%	ΧΑΛΙΚΙΑ Ποσοστό <50% περνά από το Νο 4	Καθαρά χαλίκια	GW	Καλά διαβαθμισμένα χαλίκια ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα συστατικά	$C_u > 4 \quad 1 < C_c < 3$ Δεν επαληθεύονται τα κριτήρια για το GW Ip < 4 ή θέση κάτω από την «Α» Θέση πάνω από την γραμμή «Α» με 4 < Ip < 7 επιβάλλει δυσλό συμβολισμό Ip > 7 ή θέση πάνω από την «Α» Θέση πάνω από την γραμμή «Α» με 4 < Ip < 7 επιβάλλει δυσλό συμβολισμό.	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ 200 Με βάση το % διερχόμενο ποσοστό εδάφους από το κόσκινο Νο 200 1) Π<5% αντιστοιχεί σε GW, GP, SW, SP 2) Π>12% αντιστοιχεί σε GM, GC, SM, SC 3) 5% < Π < 12% Οριακή περίπτωση, επιβάλλεται η χρήση δυσλού συμβόλου.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ συντελεστής ομοιομορφίας
		Χαλίκια με λεπτά	GM	Πυλώδες χαλίκια ή Μίγματα χαλικιών - άμμου - ιλύος			
		Καθαρά άμμος	GP	Φτωχά διαβαθμισμένα χαλίκια ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα συστατικά			
		Άμμος με λεπτά	GC	Αργιλώδες χαλίκια ή Μίγματα χαλικιών - άμμου - ιλύος			
	ΑΜΜΟΣ Ποσοστό >50% περνά από το Νο 4	Καθαρά άμμος	SW	Άμμος καλά διαβαθμισμένη ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα υλικά	$C_u > 6 \quad 1 < C_c < 3$ Δεν επαληθεύονται τα κριτήρια για το SW		$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$ συντελεστής καμπυλότητας
			SP	Άμμος φτωχά διαβαθμισμένη ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα υλικά			
		Άμμος με λεπτά	SM	Πυλώδες άμμος ή μίγματα άμμου - ιλύος	Ip < 4 ή θέση κάτω από την «Α» Θέση πάνω από την γραμμή «Α» με 4 < Ip < 7 επιβάλλει δυσλό συμβολισμό.		
			SC	Αργιλώδες άμμος ή μίγματα άμμου - ιλύος			
ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΥΛΙΚΑ Π>50%	ΙΑΥΣ ΚΑΙ ΑΡΤΙΛΟΣ LL<50%	ML	Ανόργανη ιλύς, πολύ λεπτή άμμος, πυλώδης και αργιλώδης άμμος χαμηλής πλαστικότητας.	<p>Εξίσωση γραμμής "Α": $Ip = 0,73(LL - 20)$</p>			
		CL	Ανόργανη άργιλος χαμηλής πλαστικότητας ή χαλικιώδης άργιλος ή αμμώδης άργιλος ή ιλυώδης άργιλος				
		OL	Οργανική ιλύς ή οργανική ιλυώδης άργιλος χαμηλής πλαστικότητας				
	LL>50%	MH	Ανόργανη ιλύς (συχνά μαργαριτακή) υψηλής πλαστικότητας				
		CH	Ανόργανη άργιλος, υψηλής πλαστικότητας, παγετά άργιλος				
		OH	Οργανική άργιλος μέσης μέχρι υψηλής πλαστικότητας.				
Πολύ οργανικά εδάφη	Pt	Βουρκιώδη και τυρφοειδή εδάφη, Γεωλογικά προϊόντα απαθρόωσης					

Πιν.2.6. Σύστημα κατάταξης εδαφών κατά A.A.S.H.T.O. (1973).

ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ A.A.S.H.T.O M 145 – 86											
Γενική Κατάταξη	Κοκκώδη Υλικά Π<35%							Ιλυοαργιλώδη Υλικά Π>35%			
Τάξη	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7
Ομάδα	A _{1-a}	A _{1-b}		A ₂₋₄	A ₂₋₅	A ₂₋₆	A ₂₋₇				
% Ποσοστό Διερχόμενο από το κόσκινο:											
No 10 (2mm)	<50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No 40 (0.42mm)	<30	<50	>51	...	...	...	...	...	...	...	...
No 200 (0.07mm)	<15	<25	<10	≤35	≤35	≤35	≤35	>36	>36	>36	>36
Χαρακτηριστικά του διερχόμενου από το κόσκινο No 40											
Όριο Υδαρότητας	...	...	...	<40	>41	<40	>41	<40	>41	<40	>41
Δείκτης πλαστικότητας Ip	<6		NP	<10	<10	>11	>11	<10	<10	>11	>11
Γενική ονομασία	Λίθοι, Χαλίκια, Αμμοχάλικο		Λεπτή Άμμος	Ιλυώδη ή Αργιλώδη Αμμοχάλικα				Ιλυώδη Εδάφη	Αργιλώδη Εδάφη		
Καταλληλότητα του υλικού για θεμελίωση Οδών	Τέλειο προς Καλό							Μέτριο προς Κακό			

1) Π = Ποσοστό % του διερχόμενου υλικού από το κόσκινο No 200.
 2) Η τοποθέτηση της ομάδας A₃ πριν από την A₂ είναι αναγκαία για τη διαδικασία της απαλοιφής των ομάδων από αριστερά προς τα δεξιά και δεν σημαίνει ότι η A₃ υπερτερεί της A₂.
 3) G.I. = Δείκτης Ομάδας (GROOP INTEX) και δίνεται από τη σχέση :

$$G.I = (\pi - 35) * [0.2 + 0.005 * (LL - 40)] + 0.01 * (\pi - 15) * (Ip - 10)$$

 Αν ο δείκτης ομάδας είναι αρνητικός, τότε G.I. = 0
 Για τις ομάδες A2-6 και A2-7 G.I. = 0.01 * (π-15) * (Ip-10)

2.2.7 ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

Ο σκοπός της δοκιμής είναι η εκτίμηση της συνοχής (C) των συνεκτικών εδαφών. Στην δοκιμή αυτή, το δοκίμιο διαμορφώνεται κυλινδρικό και εφαρμόζεται αξονικό φορτίο (P). Αν είναι (A) η επιφάνεια του δοκιμίου σε κάθε χρονική στιγμή τότε η ορθή τάση θα είναι (Barnes, 2005):

$$\sigma = P / A' \quad (2.16)$$

Σαν αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u) του εδάφους ορίζεται η τάση στην οποία το δοκίμιο εμφανίζει την μία από τις ακόλουθες καταστάσεις (Barnes, 2005) :

- γίνεται θραύση
- η παραμόρφωση γίνεται 20 % (χωρίς να έχει προηγηθεί θραύση)

Από αυτές τις δύο τάσεις θα λαμβάνεται σαν αντοχή του δοκιμίου αυτή που εμφανίζεται χρονικά πρώτη. Η ανηγμένη αξονική παραμόρφωση (ϵ) ορίζεται από την σχέση (Πλαστήρα, 2011; Χρηστάρας, 2001):

$$\epsilon = \Delta H / H_0 \quad (2.17)$$

όπου : ΔH η ολική αξονική βράχυνση του δοκιμίου μέχρι εκείνη την στιγμή
 H_0 το αρχικό ύψος του δοκιμίου .

Η δοκιμή αυτή γίνεται μόνο κάτω από τις ακόλουθες προϋποθέσεις (Πλαστήρα, 2011; Χρηστάρας, 2001):

- Να είναι το έδαφος συνεκτικό, γιατί το δοκίμιο είναι ελεύθερο πλευρικά
- Η γωνία εσωτερικής τριβής να είναι $\phi = 0$
- Η δοκιμή να ολοκληρώνεται μέσα σε 15 λεπτά το πολύ, για να μην χάνει υγρασία το δοκίμιο, ώστε η ϕ να διατηρείται ίση με το 0

Συνεπώς η δοκιμή γίνεται σε κορεσμένα αργιλικά δοκίμια. Για την ολοκλήρωση της δοκιμής χρησιμοποιήθηκε συσκευή εφοδιασμένη με (Πλαστήρα, 2011; Χρηστάρας, 2001):

- Μετρητή παραμορφώσεως, που έχει την ικανότητα ανάγνωσης 0,01 mm
- Δακτύλιο ανάγνωσης των ασκούμενων φορτίων
- Παχύμετρο
- Χρονόμετρο
- Κλίβανο θερμοκρασίας $105 \pm 5^\circ\text{C}$
- Ζυγαριές με ακρίβεια 0,1 και 0,01 gr
- Δοχεία, εργαλεία κοπής και αναζύμωσης, εξολκέα

Το δοκίμιο μπορεί να είναι αδιατάραχτο ή αναζυμωμένο. Το δοκίμιο στην συνέχεια συμπυκνώνεται σε κυλινδρικό τύπο με τους παρακάτω περιορισμούς (Πλαστήρα, 2011; Χρηστάρας, 2001):

- Η ελάχιστη διάμετρος του δοκιμίου θα πρέπει να είναι 3.30 cm
- Ο μεγαλύτερος κόκκος του δοκιμίου πρέπει να είναι μικρότερος από το 1/10 της διαμέτρου του δοκιμίου
- Ο λόγος του ύψους του δοκιμίου (H) προς τη διάμετρό του (D) πρέπει να είναι $2 < H/D < 3$, για να μην γίνεται λυγισμός

Βήματα εκτέλεσης πειράματος προσδιορισμού ανεμπόδιστης θλίψης

Εφαρμόζεται το φορτίο ώστε να προσδίνεται ανηγμένη αξονική παραμόρφωση $\frac{1}{2}$ % μέχρι 2% ανά λεπτό και καταγράφονται οι τιμές του φορτίου και οι παραμορφώσεις κάθε 30 sec. Για δοκίμιο με ύψος 76 mm η παραμόρφωση (ΔH) ανά λεπτό μπορεί να είναι μεταξύ 0,38 mm και 1,52 mm. Η ταχύτητα παραμόρφωσης ρυθμίζεται έτσι ώστε ο χρόνος θραύσης για τα μη καλυμμένα δοκίμια να μην ξεπερνάει τα 10 λεπτά. Η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι να παρατηρηθεί μείωση της τιμής του φορτίου ή μέχρι να εμφανιστεί ανηγμένη παραμόρφωση ίση με 20%. Όταν τελειώσει η δοκιμή πρέπει να σχεδιαστεί σκαρίφημα που να δείχνει τον τρόπο θραύσης του δοκιμίου (Πλαστήρα, 2011; Γ.Γ.Δ.Ε., 2006; Χρηστάρας, 2001).

Υπολογισμοί

Η ανηγμένη παραμόρφωση (ϵ) ορίζεται από τη σχέση :

$$\epsilon = (\Delta H) / H_0 \quad (2.18)$$

Ο αρχικός όγκος του δοκιμίου είναι : $V = A * H_0$ όπου (A) το εμβαδό της κάθετης επιφάνειας στον άξονα του κυλίνδρου (βάση). Δεχόμεστε, ότι η δοκιμή συμβαίνει δίχως μεταβολή του όγκου του δοκιμίου. Αν το βαρελάκι του δοκιμίου εξομοιωθεί με κύλινδρο βάσης A' και ίσου ύψους, τότε ο όγκος του θα δίνεται από τη σχέση :

$$V' = A' * (H_0 - \Delta H) \quad (2.19)$$

Αλλά είναι αμετάβλητος ο όγκος : $V = V'$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι :

$$A' = A / (1 - \epsilon) \quad (2.20)$$

Η τελευταία σχέση δίνει τη διατομή του κυλίνδρου σε συνάρτηση με την ανοιγμένη αξονική παραμόρφωση (ϵ).

Από το δοκίμιο είναι γνωστά τα μεγέθη : A , H_0

Για κάθε μέτρηση είναι γνωστά τα : (ΔH), P

Για κάθε μέτρηση θα προσδιορίζονται τα : ϵ , σ από τις σχέσεις :

$$\epsilon = (\Delta H) / H_0 \quad (2.21)$$

$$\sigma = P / A' \quad A' = A / (1 - \epsilon) \quad (2.22)$$

Και θα προκύπτουν σημεία K με συντεταγμένες K (ϵ , σ) στο διάγραμμα με άξονες (ϵ %) και (σ). Τα διάφορα σημεία K θα ενώνονται με συνεχή γραμμή και από την καμπύλη, που προκύπτει, θα καθορίζεται η αντοχή στην ανεμπόδιστη θλίψη. Αυτή θα είναι η (σ), που αντιστοιχεί στη θραύση, ή η (σ'), που αντιστοιχεί στην $\epsilon = 20\%$. Από το ίδιο διάγραμμα μπορεί να υπολογιστεί το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους E , που είναι η κλίση της ευθείας στις αρχικές παραμορφώσεις. Από το διάγραμμα του Mohr προκύπτει, ότι η συνοχή ισούται με το μισό της αντοχής στην ανεμπόδιστη θλίψη (Πλαστήρα, 2011; Χρηστάρας, 2001) :

$$c = q_u / 2 \quad (2.23)$$

Πιν2.7. Η συνεκτικότητα σε σχέση με την ανεμπόδιστη θλίψη.

Συνεκτικότητα	Επί Τόπου του έργου έλεγχος με το χέρι	Αντοχή ανεμπόδιστη θλίψης (kg/cm ²)
Πολύ μαλακή	Εύκολη Διείσδυση αρκετές inches της πυγμής του χεριού	<0,25
Μαλακή	Εύκολη Διείσδυση αρκετές inches του αντίχειρα	0,25-0,5
Μέση	Με μέτρια προσπάθεια Διείσδυση αρκετές inches του αντίχειρα	0,5-1
Σκληρή	Εύκολα χαράσσεται με τον αντίχειρα αλλά διεισδύει με μεγάλη προσπάθεια	1-2
Πολύ Σκληρή	Εύκολα χαράσσεται με το νύχι του αντίχειρα	2-4
Πάρα Πολύ Σκληρή	Δύσκολα χαράσσεται με το νύχι του αντίχειρα	>4

2.2.8. ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ

Σε πολλές περιπτώσεις παρατηρούνται καθιζήσεις και μετατοπίσεις του εδαφικού στρώματος με την πάροδο του χρόνου και με την επίδραση της επιφόρτισης των τεχνικών έργων. Οι καθιζήσεις είναι πιθανό να είναι επικίνδυνες για το έργο (αυτοκινητόδρομος, κτίριο). Με τον δείκτη συμπίεστότητας C_c υπολογίζεται το ύψος της καθίζησης στο στρώμα που εξετάζεται. Είναι μοναδικός για ένα συγκεκριμένο έδαφος, κυμαίνεται κοντά στη μονάδα, είναι καθαρός αριθμός, όσο μεγαλύτερος είναι τόσο πιο συμπίεστό είναι το έδαφος και όταν η άργιλος είναι ομαλά στερεοποιημένη και μικρής έως μέσης ευαισθησίας, ο τύπος του δείκτη συμπίεστότητας C_c είναι ο εξής (Πλαστήρα, 2011; Κολέτσος, 2004; Atkinson, 2007):

$$C_c = 0,009 \times (LL - 10) \quad (2.24)$$

2.2.9.ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ (ΤΑΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗ)

Στη δοκιμή άμεσης διάτμησης το έδαφος θραύεται κατά μία προδιαγεγραμμένη επίπεδη επιφάνεια, που ονομάζεται επιφάνεια διάτμησης. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: Ο υποδοχέας που περιέχει το δοκίμιο, χωρίζεται σε δύο τμήματα τα οποία ολισθαίνουν το ένα σε σχέση με το άλλο με σταθερή ταχύτητα. Οι τάσεις που εφαρμόζονται στο δοκίμιο στη διάρκεια μίας δοκιμής είναι μία σταθερή ορθή τάση (σ) και μία αυξανόμενη διατμητική (τ) με σταθερή ταχύτητα.

Η διατμητική αντοχή του εδάφους δίνεται από τη σχέση COULOMB

$$\tau = c + \sigma * \epsilon\phi(\varphi) \quad (2.25)$$

- τ : η διατμητική αντοχή
- c : η συνοχή
- σ : η ορθή τάση
- φ : η γωνία εσωτερικής τριβής

Στη δοκιμή της διάτμησης η διατμητική αντοχή του δοκιμίου προσδιορίζεται τη στιγμή της θραύσης του δοκιμίου ή όταν η σχετική μετατόπιση στο δοκίμιο γίνει 10%. Ο σκοπός της δοκιμής είναι να προσδιοριστούν η συνοχή (c) και η γωνία εσωτερικής τριβής (φ) (Πλαστήρα, 2011; Γραμματικόπουλος, 2015).

Για την ολοκλήρωση της δοκιμής μας χρησιμοποιήθηκαν:

- Μηχανή διάτμησης, η οποία αποτελείται από τα εξής τμήματα:
 - Συσσκευή διάτμησης (υποδοχέας δοκιμίου) η οποία αποτελείται από δύο μεταλλικά πλαίσια που ολισθαίνουν μεταξύ τους και δύο πορόλιθους που τοποθετούνται πάνω και κάτω από το δοκίμιο και επιτρέπουν την στράγγιση του δοκιμίου
 - Το μηκυσιόμετρο το οποίο μετράει τη σχετική μετατόπιση των τμημάτων της συσκευής (αναγνώσεις R_d)
 - Το μηκυσιόμετρο το οποίο μετράει την βράχυνση του δυναμομετρικού δακτυλίου (αναγνώσεις RT)
 - Το μηκυσιόμετρο το οποίο μετράει την καθίζηση του δοκιμίου.
 - Σύστημα εφαρμογής φορτίου
- Εξολκέας δείγματος
- Κλίβανος ξήρανσης (για τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας)
- Ζυγός ακριβείας 0,01gr
- Υγραντήρας για την διατήρηση της υγρασίας του δοκιμίου

Βήματα εκτέλεσης πειράματος προσδιορισμού άμεσης διάτμησης

Το δοκίμιο που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι τετραγωνικό με πλευρά 6 cm και πάχος περίπου 1 cm και ακολουθούμε τα εξής βήματα. Συνδέονται τα δύο τμήματα του κιβωτίου με τις βίδες. Τοποθετείται προσεχτικά το δείγμα μέχρι 5 mm περίπου από την κορυφή. Εφαρμόζεται ο πάνω πωρόλιθος. Συνδέεται το σύστημα: άξονας ώθησης-κιβώτιο-δυναμόμετρο. Μηδενίζεται τα μηκυσιόμετρα. Εφαρμόζεται το κατακόρυφο φορτίο. Αποσυνδέονται τα δύο

τμήματα του κιβωτίου και εφαρμόζεται οριζόντια ώθηση περιστρέφοντας τον στρόφαλο. Το δοκίμιο πρέπει να αστοχήσει σε τρία μέχρι πέντε λεπτά για μη συνεκτικό έδαφος και σε πέντε μέχρι δέκα λεπτά για συνεκτικό έδαφος. Γίνονται συνολικά τρεις δοκιμές αυξάνοντας την ορθή τάση σε κάθε δοκιμή (Πλαστήρα, 2011; Γ.Γ.Δ.Ε., 2006; Γραματικόπουλος, 2015).

Υπολογισμοί

Η ορθή τάση δίνεται από τη σχέση: $\sigma = P / A$. (2.26)

Η διατμητική τάση δίνεται από τη σχέση: $\tau = T / A$. (2.27)

Όπου:

- P: Το κατακόρυφο φορτίο
- T: Το μέγιστο οριζόντιο φορτίο
- A: Η διατομή του δοκιμίου

Διαγράμματα

Κατασκευάζονται τα παρακάτω διαγράμματα (Πλαστήρα, 2011; Γραματικόπουλος, 2015):

- Οριζόντια σχετική μετακίνηση - διατμητική τάση ($\epsilon\%$ - τ), ένα για κάθε δοκιμή
- Ορθή τάση - διατμητική τάση (διάγραμμα Mohr)

Στο διάγραμμα Mohr σημειώνεται ένα σημείο για κάθε δοκιμή και γράφεται η ευθεία των σημείων (περιβάλλουσα θραύσης). Από το διάγραμμα Mohr προσδιορίζονται η συνοχή (C) και η γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ).

Εκτελούμενες δοκιμές (Πλαστήρα, 2011; Γραματικόπουλος, 2015):

- Ταχεία δοκιμή: Η δοκιμή γίνεται γρήγορα χωρίς το νερό να έχει διαφύγει
- Βραδεία δοκιμή: Η δοκιμή γίνεται αργά και η περιεχόμενη υγρασία μεταβάλλεται ακόμη και για εδάφη μικρής διαπερατότητας
- Ταχεία δοκιμή σε στερεοποιημένο δείγμα: Γίνεται σε σταθερή περιεκτικότητα σε νερό

Τρωτά σημεία δοκιμής (Πλαστήρα, 2011; Γραματικόπουλος, 2015):

- Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πίεση του νερού πόρων. Συνεπώς η εξίσωση Coulomb γράφεται: $\tau = C + ((\sigma - U) \times \epsilon\phi)$ εφόσον μετρηθεί η πίεση των πόρων με κατάλληλη διάταξη
- Γίνεται συγκέντρωση τάσεων ενώ παραδεχόμαστε ομοιόμορφη κατανομή

Η θραύση του δοκιμίου γίνεται κατά προκαθορισμένο επίπεδο που δεν είναι το ασθενέστερο.

2.2.10. ΚΑΘΪΖΗΣΗ ΛΟΓΩ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Για τον υπολογισμό της καθίζησης λόγω στερεοποίησης που θα υποστεί το στρώμα από το φορτίο ενός πεδίου οπλισμένου σκυροδέματος μίας τυπικής

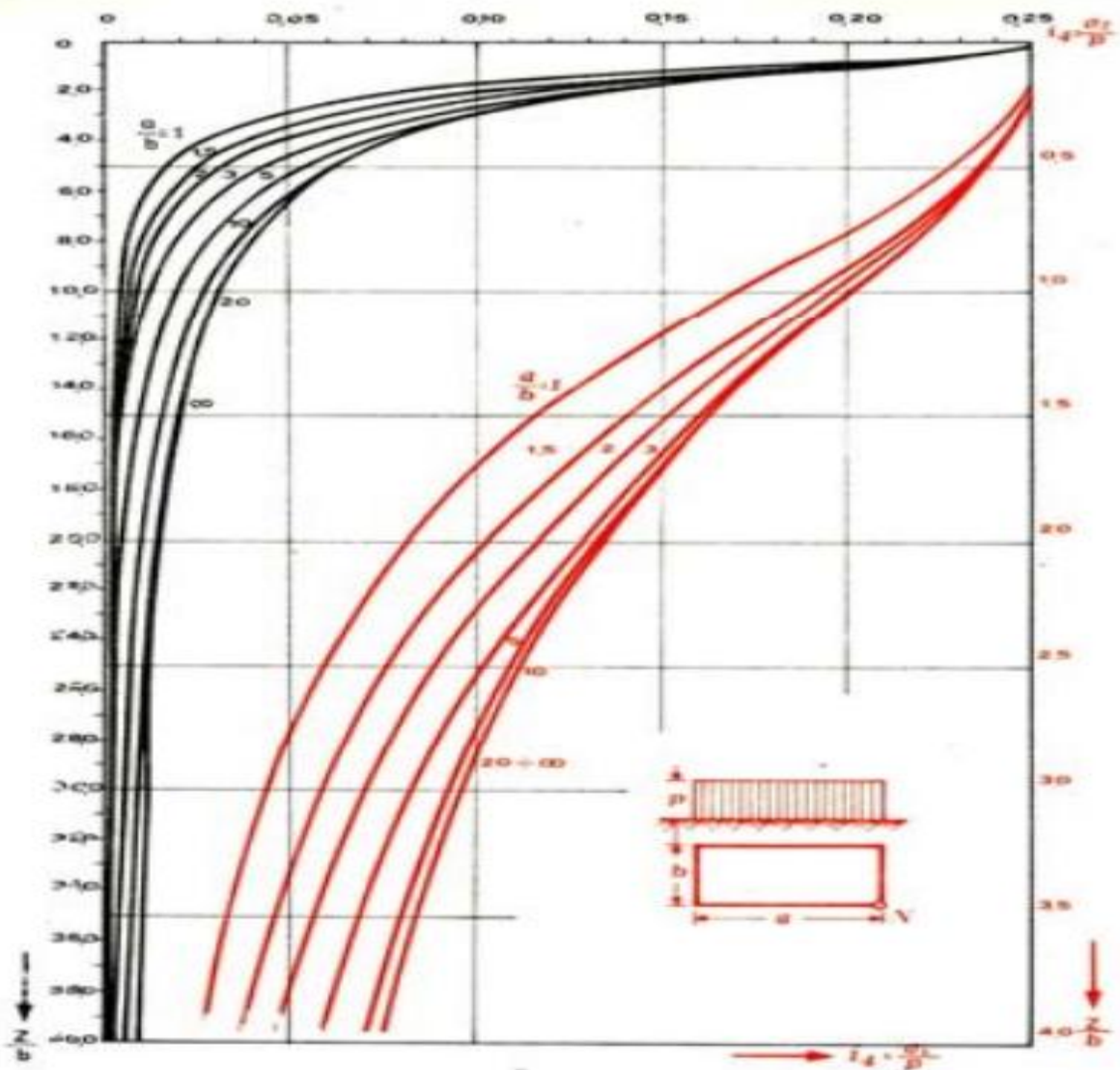
κατασκευής, θα χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω θεωρίες και τύποι (Καββαδάς, 2009).

Σύμφωνα με τη θεωρία Boussinesq (Καββαδάς, 2009), ο υπολογισμός της εντατικής κατάστασης στο εσωτερικό του εδάφους από φόρτιση στην ελεύθερη επιφάνεια του (θεμέλια, φράγματα κτλ.) είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό των καθιζήσεων και τον έλεγχο της αντοχής του εδάφους. Οι συμβατικές μέθοδοι υπολογισμού των τάσεων στο εσωτερικό του εδάφους βασίζονται στην ελαστική θεωρία.

Οι παραδοχές της ελαστικής θεωρίας είναι ότι το υλικό θεμελίωσης είναι ισότροπο, ομογενές, να εκτείνεται σε άπειρο ημιχώρο και να υπόκειται στο νόμο του Hooke. Αν και τα φυσικά εδάφη σπανίως παρουσιάζουν ελαστική συμπεριφορά η συγκεκριμένη θεωρία είναι διαθέσιμη σε εύχρηστους μαθηματικούς τύπους και νομογραφήματα. Επίσης με την μακροχρόνια χρήση τους έχει αποδειχθεί ότι παρέχουν ασφαλή αποτελέσματα σε ότι αφορά τις κατακόρυφες τάσεις. Αντιθέτως δεν θεωρούνται ασφαλείς για τον υπολογισμό των οριζόντιων και διατμητικών τάσεων. Τάσεις υπό ορθογωνική επιφάνεια που φορτίζεται με συνεχές φορτίο. Για φόρτιση ορθογωνικής επιφάνειας με ομοιόμορφο φορτίο q η τάση $\Delta\sigma$ κάτω από την γωνία της επιφάνειας υπολογίζεται από τη σχέση (Καββαδάς, 2009):

$$\Delta\sigma = q * I_{\sigma} \quad (2.28)$$

όπου συντελεστής I_{σ} δίνεται από το νομογράφημα συναρτήση του λόγου z/b και a/b , όπου z το βάθος, που ζητείται την τάση και a και b η μεγάλη και η μικρή πλευρά του ορθογωνίου αντίστοιχα (Καββαδάς, 2009) .



Σχ.2.2. Νομογράφημα για υπολογισμό του συντελεστή επιρροής (Καβαδάς, 2009).

Η τιμή της καθίζησης αργυλικού στρώματος λόγω στερεοποίησης δίνεται από τον εξής τύπο (Πλαστήρα, 2011; Stiegler, 1985; Bowles, 2009):

$$S = (C_c \times H) / (1 + e_0) \times \log_{10} ((\sigma_0 + \Delta\sigma) / \sigma_0) \quad (2.28)$$

- C_c : Ο δείκτης συμπίεστικότητας του εδάφους
- H : Το ύψος του αργυλικού στρώματος που διερευνήθηκε
- E_0 : Ο αρχικός δείκτης κενών του εδάφους
- σ_0 : Η αρχική εντατική κατάσταση
- $\Delta\sigma$: Η επιφόρτιση από την κατασκευή που υπολογίζεται από την θεωρία του Boussinesq και εξαρτάται από το Σχ.2.2., τις διαστάσεις της φορτισμένης επιφάνειας και την τιμή επιφόρτισης

2.2.11.ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η αντοχή του εδάφους σε θραύση λόγω διατμητικών τάσεων ονομάζεται φέρουσα ικανότητα του εδάφους. Φέρουσα ικανότητα (q) ονομάζεται το φορτίο, ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους, που θα προκαλέσει θραύση του εδάφους θεμελίωσης. Επιτρεπόμενη τάση (q_s) ονομάζεται το φορτίο, ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους που εφαρμόζεται μέσω των πεδίων θεμελίωσης, χωρίς να προκληθούν απαράδεκτες παραμορφώσεις, ρηγματώσεις ή και θραύση της ανωδομής. Ωφέλιμο φορτίο ονομάζεται το ολικό φορτίο που μπορεί να μεταφέρει το σύνολο της θεμελίωσης, χωρίς να προκληθούν καθιζήσεις (Καββαδάς, 2009).

Υπάρχουν τρεις μορφές θραύσης του εδάφους κάτω από μία επιφάνεια θεμελίωσης (Καββαδάς, 2009):

- Η γενική θραύση
- Η τοπική θραύση
- Η βύθιση του θεμελίου

Η γενική θραύση λαμβάνει χώρα σε εδάφη υψηλής πυκνότητας και χαμηλής συμπίεστικότητας. Συνοδεύεται από ισχυρή παραμόρφωση και έντονη ανύψωση στην επιφάνεια του εδάφους. Οι επιφάνειες αστοχίας εμφανίζονται καλά αναπτυγμένες, ξεκινώντας από το άκρο της θεμελίωσης και φτάνοντας έως την επιφάνεια του εδάφους. Γενικότερα πρόκειται για μία σχετικά ψαθυρή και καθολική θραύση θεμελίωσης.

Η τοπική θραύση λαμβάνει χώρα σε εδάφη μέσης πυκνότητας και μέσης συμπίεστικότητας. Δεν εμφανίζεται μεγάλη ανύψωση της επιφάνειας του εδάφους. Οι επιφάνειες αστοχίας διαμορφώνονται τοπικά κάτω από το θεμέλιο χωρίς να φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Τέλος η θεμελίωση αστοχεί χωρίς να ορίζεται με ακρίβεια το φορτίο αστοχίας.

Η βύθιση θεμελίου λαμβάνει χώρα σε χαλαρά εδάφη μικρής πυκνότητας και μεγάλης συμπίεστικότητας. Κατά την εκδήλωσή τους το θεμέλιο βυθίζεται χωρίς την εμφάνιση ανύψωσης στην επιφάνεια του εδάφους. Η μεγάλη συμπίεστικότητα του υλικού επιτρέπει την καθίζηση του θεμελίου εξαιτίας της συμπίκνωσης του.

Σύμφωνα με τη θεωρία του Terzaghi η φέρουσα ικανότητα θεμελίου άπειρου μήκους δίνεται από τον τύπο (Καββαδάς, 2009):

$$\text{Για επίμηκες θεμέλιο : } q = c \times N_c + \gamma_\alpha \times D_f \times N_q + \frac{1}{2} \times B \times \gamma_k \times N_\gamma \quad (2.29)$$

$$\text{Για τετραγωνικό θεμέλιο : } q = 1.3 \times c \times N_c + \gamma_\alpha \times D_f \times N_q + 0.4 \times B \times \gamma_k \times N_\gamma \quad (2.30)$$

$$\text{Για κυκλικό θεμέλιο : } q = 1.3 \times c \times N_c + \gamma_\alpha \times D_f \times N_q + 0.3 \times B \times \gamma_k \times N_\gamma \quad (2.31)$$

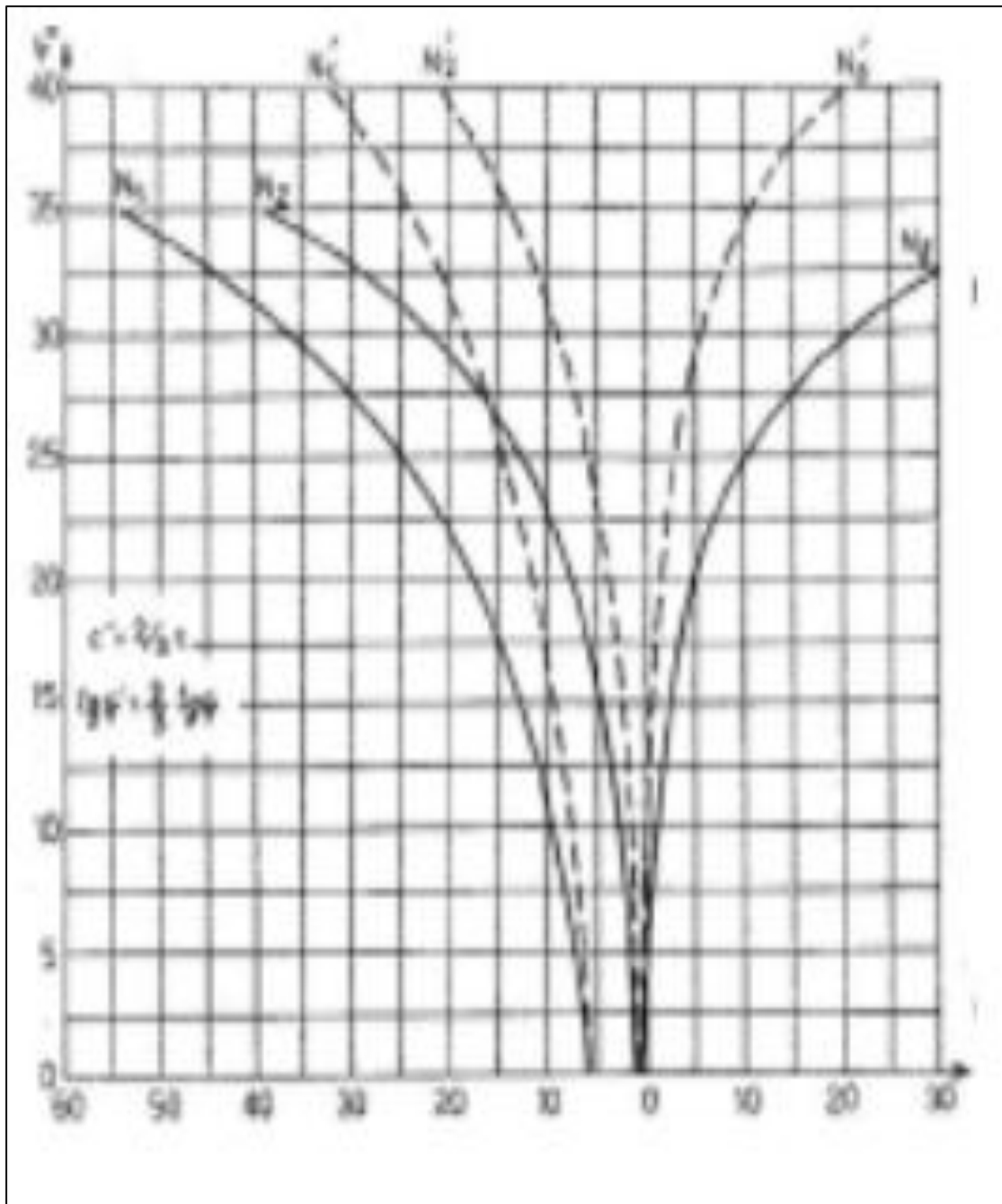
όπου:

- q : η φέρουσα ικανότητα του εδάφους
- c : η συνοχή του εδάφους
- B : το πλάτος του θεμελίου
- γ_α : το φαινόμενο βάρος του εδάφους πάνω από τη στάθμη της θεμελίωσης
- D_f : το βάθος θεμελίωσης
- N_q : ο συντελεστής βάθους θεμελίωσης

- N_c : ο συντελεστής συνοχής
- γ_k : το φαινόμενο βάρος του εδάφους κάτω από τη στάθμη της θεμελίωσης
- N_γ : ο συντελεστής επιφανειακής αντοχής ψαθυρού εδάφους

Πιν.2.8. Συντελεστές φέρουσας ικανότητας (Καββαδάς, 2009).

ϕ	N_c	N_q	N_γ	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5,7	1	0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35	23,7	11,7	9
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,5	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1



Σχ.2.3.Νομογράφημα Terzaghi (Καββαδάς, 2009).

3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΩΝ

Τα αποτελέσματα προσδιορισμού της περιεχόμενης υγρασίας με την μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων αναφέρονται στον Πιν.3.1.

Πιν.3.1. Δεδομένα προσδιορισμού περιεχόμενης υγρασίας δείγματος Η1.

Αριθμός κάψας				1	
Βάρος κάψας	Bκ	gr		22.22	
Βάρος κάψας + υγρού δείγματος	^B κ+υ	gr		49.33	
Βάρος κάψας + ξηρού δείγματος	^B κ+ξ	gr		42.3	
Βάρος περιεχόμενου νερού	^B νερου	gr	$\Delta=B-\Gamma$	7.03	
Βάρος ξηρού δείγματος	Bξ	gr	$E=\Gamma-A$	20.08	
Περιεχόμενη υγρασία	W	%	$Z=\Delta/E$	35	

Επομένως, η περιεχόμενη φυσική υγρασία του αδιατάρακτου δείγματος είναι 35%. Το αποτέλεσμα αυτό είναι μία φυσιολογική τιμή καθώς οι τιμές της περιεχόμενης υγρασίας μπορούν να κυμανθούν από 0 έως 1(100%) (Καββαδάς, 2009).

Τα αποτελέσματα της περιεχόμενης υγρασίας συγκρίθηκαν με αντίστοιχα παρόμοια αργιλικά εδάφη στην περιοχή Burayu Town της Αιθιοπίας και έδωσαν αποτέλεσμα 31,9 % (Hirpasa, 2015), ενώ στην περιοχή Clemson της Αμερικής το αποτέλεσμα ήταν 34 % (Yaski, 2008).

3.2 ΕΙΔΙΚΑ ΒΑΡΗ ΕΔΑΦΩΝ

Τα αποτελέσματα προσδιορισμού του ειδικού βάρους στερεών συστατικών με τη χρήση πυκνομέτρου αναφέρονται στον Πιν.3.2.

Πιν.3.2. Δεδομένα προσδιορισμού ειδικού βάρους δείγματος H1.

Βάρος (πυκνομέτρου)	B_{π}	gr		85.15
Βάρος (πυκνομέτρου + ξηρού δείγματος)	$B_{\pi+\xi}$	gr		135.31
Βάρος (ξηρό)	B_{ξ}	gr	$\Gamma=B-A$	50.16
Βάρος (πυκνομέτρου +ξηρού δείγματος +νερού)	$B_{\pi+\xi+w}$	gr		365.72
Όγκος συνολικού νερού	V_w	cm^3	$E=\Delta-B$	230.41
Βάρος (πυκνομέτρου + νερού μέχρι την χαραγή)	$B_{\pi+w}$	gr		335.32
Όγκος πυκνομέτρου	V_{π}	cm^3	$H=Z-A$	250.17
Όγκος δείγματος	V_s	cm^3	$\Theta=H-E$	19.76
Ειδικό βάρος στερεών συστατικών	γ_s	gr/cm^3	$I=\Gamma/\Theta$	2,54

Τα αποτελέσματα του ειδικού βάρους στερεών συστατικών συγκρίθηκαν με αντίστοιχα παρόμοια αργιλικά εδάφη στην περιοχή Burayu Town της Αιθιοπίας και έδωσαν αποτέλεσμα $2,74 \text{ gr/cm}^3$ (Hirpasa, 2015), ενώ στην περιοχή Ancara της Τουρκίας το αποτέλεσμα ήταν $2,66 \text{ gr/cm}^3$ (Maghsoudloo, 2013).

3.3.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

ΒΑΡΟΥΣ , ΞΗΡΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ, ΔΕΙΚΤΗ

ΚΕΝΩΝ, ΠΟΡΩΔΕΣ

Τα αποτελέσματα προσδιορισμού του υγρού φαινόμενου βάρους ,ξηρού φαινόμενου βάρους, δείκτη κενών, πορώδες αναφέρονται παρακάτω.

$$B_{\xi} = 3,29 \text{ gr}$$

$$B_{\xi+\pi} = 3,82 \text{ gr}$$

$$B_{\xi+\pi} \text{ στο νερό} = 1,02 \text{ gr}$$

$$B_{\pi} = \varepsilon_{\pi} \times V_{\pi} \Rightarrow 0,53 = 0,89 \times V_{\pi} \Rightarrow V_{\pi} = 0,6 \text{ cm}^3$$

$$A = 3,82 - 1,02 = 2,80 \text{ gr}$$

$$A = \varepsilon \times (V_{\varepsilon\delta} + V_{\pi}) \Rightarrow 2,80 = 1 \times (V_{\varepsilon\delta} + 0,6) \Rightarrow V_{\varepsilon\delta} = 2,2 \text{ cm}^3$$

Υγρό φαινόμενο βάρος :

$$\gamma_d = \gamma / (1 + \omega) \Rightarrow \gamma = \gamma_d \times (1 + \omega) \Rightarrow \gamma = 1,49 / (1 + 0,35) \Rightarrow$$

$$\gamma = 1,49 + 1,35 \Rightarrow \gamma = 2,01 \text{ gr/cm}^2 \quad (3.1)$$

$$\text{Ξηρό φαινόμενο βάρος: } \gamma_d = 3.29 / 2.2 = 1.49 \text{ gr/cm}^2 \quad (3.2)$$

$$\text{Λόγος κενών: } e = (\gamma_s / \gamma_d) - 1 = (2.54 / 1.49) - 1 = 0.7 \quad (3.3)$$

$$\text{Πορώδες: } n = 1 - (\gamma_d / \gamma_s) = 1 - 0.59 = 0.41 \quad (3.4)$$

Από τον Πίνακα 2.1. προκύπτει : Καλά διαβαθμισμένα χαλίκια, άμμος, ιλύς και άργιλος.

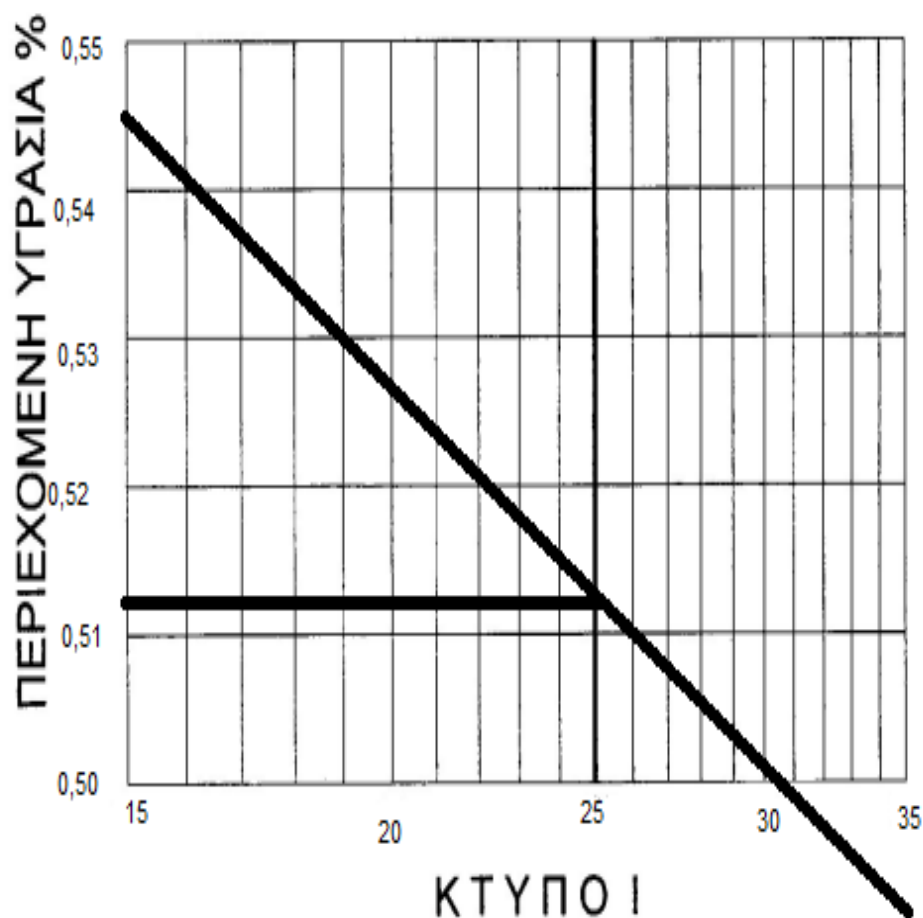
3.4.ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ

3.4.1.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL)

Τα αποτελέσματα προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας με τη χρήση συσκευής casagrande αναφέρονται στον Πιν.3.3 και στο Σχ.3.1.

Πιν.3.3. Δεδομένα προσδιορισμού ορίου υδαρότητας δείγματος Η1.

	Μονάδες μέτρησης			
Αριθμός δοκιμής:	-	1	2	3
Αριθμός κτύπων (όχι για πλαστικότητα)	Κτύποι	30	25	19
Αριθμός κάψας:	-	27	35	36
Βάρος κάψας:	gr	34.48	34.83	34.21
Β <u>Υγρού</u> Δείγματος +Κάψας:	gr	42.11	42.69	41.61
Β <u>Ξηρού</u> Δείγματος +Κάψας:	gr	39.58	40.02	39.03
Β <u>Νερού</u> : (Δ=B-Γ)	gr	2.53	2.67	2.58
Β <u>Ξηρού</u> Δείγματος: (E=I-A)	gr	3.10	5.19	4.82
Περιεχόμενη υγρασία (W): (Z=(Δ*100)/E)	%	50.00	51.00	53.00



Σχ.3.1. Διάγραμμα προσδιορισμού περιεχόμενης υγρασίας δείγματος Η1.

Άρα το όριο υδαρότητας από Σχ.3.1. είναι : $LL=51,2\%$.

Από έρευνες σε παρόμοια εδάφη παρατηρήθηκαν τα εξής αποτελέσματα:

- Burayu Town (Αιθιοπία) : 71,3 %, (Hirpasa, 2015)
- Ancara (Τουρκία) : 72 %, (Maghsoudloo , 2013)
- Gbalahi (Γκάνα) : 62,96 %, (Hester, 2011)
- Wayamba (Γκάνα) : 57,26 %, (Hester, 2011)
- Taha (Γκάνα) : 51,05 %, (Hester, 2011)

3.4.2.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

(LP)

Τα αποτελέσματα προσδιορισμού ορίου πλαστικότητας με την εύρεση μέσου όρου των περιεχόμενων υγρασιών αναφέρονται στον Πιν.3.4.

Πιν.3.4. Δεδομένα προσδιορισμού ορίου πλαστικότητας δείγματος Η1.

	Μονάδες μέτρησης:			
Αριθμός δοκιμής:	-	1	2	3
Αριθμός κτύπων (όχι για πλαστικότητα)	-	-		-
Αριθμός κάψας:	-	17	13	14
Βάρος κάψας:	gr	35.56	33.40	34.00
Β Υγρού Δείγματος +Κάψας:	gr	40.16	39.94	39.08
Β Ξηρού Δείγματος +Κάψας:	gr	39.10	38.47	37.90
Β Νερού: (Δ=B-Γ)	gr	1.06	1.47	1.18
Β Ξηρού Δείγματος: (Ε=Γ-Α)	gr	3.56	5.07	3.90
Περιεχόμενη υγρασία (W): (Z=(Δ*100)/Ε)	%	29.00	29.00	30.00
Μ.Ο.: (H= (Z1+Z2)/2)	%	29.30		

Άρα το όριο πλαστικότητας από Πιν.3.4. είναι: LP = 29.30%.

Τα αποτελέσματα σε παρόμοια αργιλικά εδάφη σε άλλες περιοχές τα όρια πλαστικότητας που βρέθηκαν είναι το εξής:

- Burayu Town (Αιθιοπία): 34 %, (Hirpasa, 2015)
- Gbalahi (Γκάνα): 24.54 %, (Hester, 2011)
- Wayamba (Γκάνα): 21.84 %, (Hester, 2011)
- Taha (Γκάνα): 16.80 %, (Hester, 2011)
- Clemson (Η.Π.Α.): 16,4 %, (Yaski, 2008)

3.4.3.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ATTERBERG:

Τα δεδομένα από προηγούμενες πειραματικές διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των δεικτών Atterberg είναι τα εξής:

- Όριο υδαρότητας $LL = 0.512$
- Όριο πλαστικότητας $LP = 0,293$

3.4.3.1.ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

$$IP = LL - LP = 0.512 - 0.293 = 0.219 \text{ ή } 21,9\%$$

Άρα το έδαφος παρουσιάζει μεγάλη πλαστικότητα. Η αντοχή του αργιλικού εδάφους είναι αντιστρόφως ανάλογη του δείκτη πλαστικότητας του. Επειδή το αποτέλεσμα τείνει προς έδαφος μεσαίας πλαστικότητας (κοντά στο χαμηλότερο όριο) το έδαφος έχει μεσαία αντοχή.

Τα αποτελέσματα του δείκτη πλαστικότητας σε παρόμοια αργιλικά εδάφη σε άλλες περιοχές είναι τα εξής:

- Burayu Town (Αιθιοπία): 37,3 %, (Hirpasa, 2015)
- Gbalahi (Γκάνα): 38,42 %, (Hester, 2011)
- Wayamba (Γκάνα): 35,42 %, (Hester, 2011)
- Taha (Γκάνα): 34,26 %, (Hester, 2011)
- Anacara (Τουρκία): 46 %, (Maghsoudloo, 2013)

3.4.3.2.ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

$$IL = (W - LP) / IP = (35 - 29.3) / 21.9 = 0.26$$

Άρα το έδαφος βρίσκεται στην πλαστική περιοχή (Πλάστιμο στερεό). Στη κατάσταση αυτή το έδαφος μπορεί να πλάθεται, δηλαδή να υφίσταται σημαντικές πλαστικές (μη αντιστρεπτές) παραμορφώσεις χωρίς ρηγματώσεις και θραύση (Καββαδάς, 2009).

3.4.3.3.ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

$$IC = (LL - W) / IP = (51.2 - 35) / 21.9 = 0.74$$

Η τιμή του δείκτη συνεκτικότητας είναι αρκετά μεγάλη συνεπώς το έδαφος είναι σκληρό και ανθεκτικό.

3.5.ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Τα αποτελέσματα προσδιορισμού ποσοστού κόκκων σε αιώρηση επί του συνολικού δείγματος με την χρήση πυκνομέτρου (Πιν.3.5.) αναφέρονται στον Πιν.3.6.

Πιν.3.5.Σύνθετες διορθώσεις των ενδείξεων του πυκνομέτρου κατά

A.A.S.H.O.

Θερμοκρασία του διαλύματος	Διόρθωση της ένδειξης του υδρομέτρου για τους παρακάτω			
	Na PO3 Ειδικό Βάρος	Na12P10O31 Ειδικό Βάρος	Na5P3O10 Ειδικό Βάρος	Na6P4O13 Ειδικό Βάρος
19	-0,00456	-0,00214	-0,00214	-0,00342
19 1/2	-0,00443	-0,00204	-0,00204	-0,0033
20	0,0043	-0,00193	-0,00193	-0,00318
20 1/2	-0,00418	-0,00183	-0,00183	-0,00308
21	-0,00404	-0,00173	-0,00173	-0,00298
21 1/2	-0,00392	-0,00162	-0,00162	-0,00286
22	-0,00399	-0,00151	-0,00151	-0,00276
22 1/2	-0,00367	-0,00141	-0,00141	-0,00265
23	-0,00354	-0,00131	-0,00131	-0,00254
23 1/2	-0,00342	-0,0012	-0,0012	-0,00243
24	-0,00329	-0,0011	-0,0011	-0,00232
24 1/2	-0,00316	-0,001	-0,001	-0,00222
25	-0,00304	-0,00089	-0,00089	-0,00211
25 1/2	-0,00292	-0,00079	-0,00079	-0,002
26	-0,0028	-0,00068	-0,00068	-0,0019
26 1/2	-0,00267	-0,00058	-0,00058	-0,00179
27	-0,00255	-0,00067	-0,00067	-0,00168
27 1/2	-0,00244	-0,00037	-0,00037	-0,00158
28	-0,00232	-0,00027	-0,00027	-0,00148
28 1/2	-0,0022	-0,00017	-0,00017	-0,00137
29	-0,00207	-0,00006	-0,00006	-0,00125
29 1/2	-0,00195	0,00004	0,00004	-0,00115
30	-0,00184	0,00014	0,00014	-0,00106
30 1/2	-0,00171	0,00025	0,00025	-0,00094
31	-0,00158	0,00035	0,00035	-0,00083
31 1/2	-0,00146	0,00046	0,00046	-0,00073

Πιν.3.6.Ανάλυση με πικνόμετρο.

Χρόνος (min)	Μέγιστη διάμετρος κόκκων (mm)	Θερμοκρασία (°C)	Ενδείξεις πικνομέτρου (Ri)	Σύνθετη διόρθωση ένδειξης πικνομέτρου (c)	Διορθωμένη ένδειξη πικνομέτρου (R=Ri+c)	Παράγοντας (R-1)	Ποσοστό κόκκων σε αιώρηση (P%)	Ποσοστό επί του συνολικού δείγματος (Pa%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,041	22	1,026	-0,00399	1,0229	0,02201	72,10	72,10
5	0,026	22	1,0245	-0,00399	1,02052	0,02052	72,00	72,00
15	0,015	22	1,022	-0,00399	1,01801	0,01801	59,00	59,00
30	0,011	22	1,021	-0,00399	1,01701	0,01701	53,70	53,70
60	0,007	21	1,0185	-0,00404	1,01446	0,01446	47,30	47,30
250	0,004	23	1,0145	-0,00354	1,01096	0,01096	35,90	35,90
1440	0,002	23	1,0111	-0,00354	1,00796	0,00796	26,10	26,10

Πιν.3.7.Εύρεση συντελεστή KL .

Πυκνότητα	KL	Πυκνότητα	KL	Πυκνότητα	KL
1065	0,408	1036	0,672	1010	0,907
1064	0,415	1035	0,68	1009	0,918
1063	0,424	1034	0,69	1008	0,927
1062	0,433	1033	0,699	1007	0,938
1061	0,442	1032	0,708	1006	0,946
1060	0,45	1031	0,718	1005	0,955
1059	0,459	1030	0,728	1004	0,962
1058	0,467	1029	0,737	1003	0,971
1057	0,478	1028	0,743	1002	0,98
1056	0,489	1027	0,752	1001	0,99
1055	0,5	1026	0,76	1000	1
1054	0,51	1025	0,77		
1053	0,518	1024	0,778		
1052	0,526	1023	0,788		
1051	0,535	1022	0,7986		
1050	0,544	1021	0,805		
1049	0,552	1020	0,817		
1048	0,562	1019	0,825		
1047	0,572	1018	0,833		
1046	0,581	1017	0,841		
1045	0,59	1016	0,85		
1044	0,6	1015	0,86		
1043	0,608	1014	0,868		
1042	0,619	1013	0,878		
1041	0,628	1012	0,888		
1040	0,637	1011	0,896		
1039	0,643				
1038	0,652				
1037	0,662				

Πιν.3.8.Εύρεση συντελεστή KG και KN.

Ειδικό Βάρος	KG	C°	KN
2,6	1,016	15	1,053
2,61	1,013	15,5	1,046
2,62	1,01	16	1,043
2,63	1,007	16,5	1,034
2,64	1,003	17	1,028
2,65	1	17,5	1,02
2,66	0,998	18	1,014
2,67	0,995	18,5	1,008
2,68	0,99	19	1
2,69	0,987	19,5	0,995
2,7	0,985	20	0,988
2,71	0,983	20,5	0,984
2,72	0,98	21	0,98
2,73	0,978	21,5	0,975
2,74	0,975	22	0,967
2,75	0,972	22,5	0,962
		23	0,956
		23,5	0,95
		24	0,946
		24,5	0,94
		25	0,935
		25,5	0,93
		26	0,225
		26,5	0,92

Πιν.3.9.Υπολογισμός D από τον τύπο: $D = D' * K_L * K_G * K_N$.

Χρόνος(min)	D'	K _L	K _G	K _N	D(mm)
0	-	-	-	-	-
1	2	3	4	5	6
2	0,041	0,760	1,033	0,967	0,0311
5	0,026	0,776	1,033	0,967	0,0201
15	0,015	0,796	1,033	0,967	0,0119
30	0,011	0,805	1,033	0,967	0,0088
60	0,007	0,809	1,033	0,980	0,0057
250	0,004	0,864	1,033	0,956	0,0034
1440	0,002	0,892	1,033	0,956	0,0017

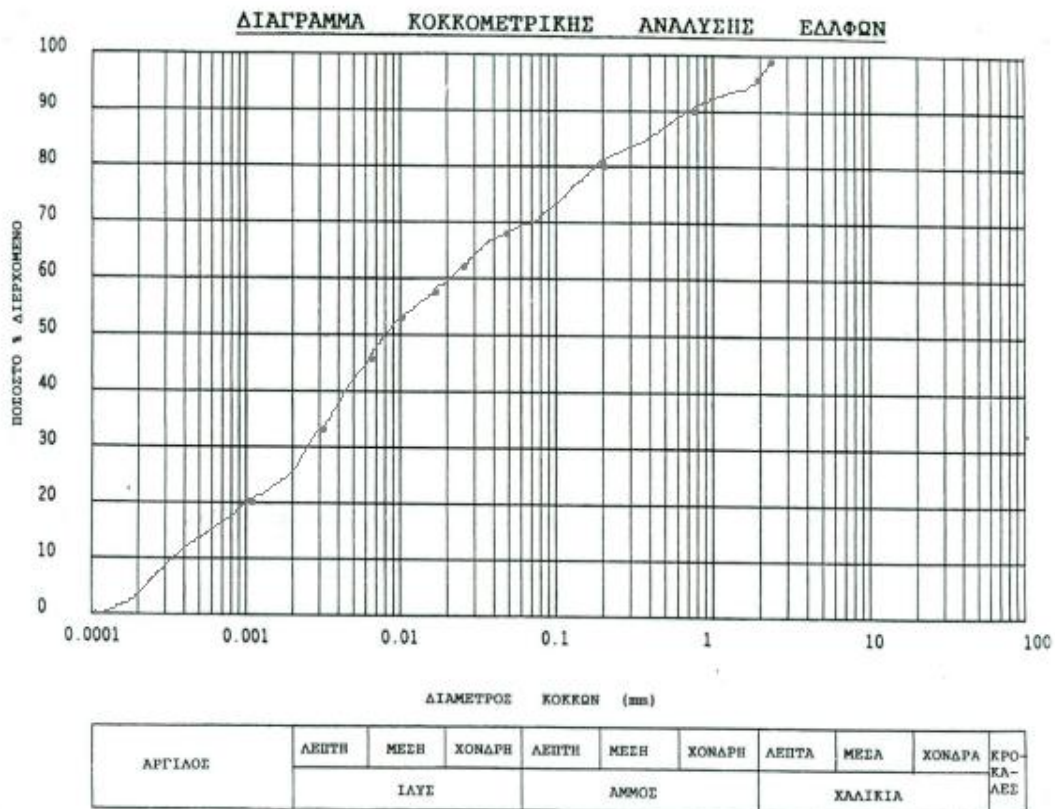
Πιν.3.10.Τιμές του a για διάφορα εδάφη.

Ειδικό Βάρος	σταθερά a
2,95	0,94
2,9	0,95
2,85	0,96
2,8	0,97
2,75	0,98
2,7	0,99
2,65	1
2,6	1,01
2,55	1,02
2,5	1,03
2,45	1,04

Πιν.3.11.Ανάλυση του λεπτόκοκκου κλάσματος δείγματος Η1.

Βάρος ξηρού δείγματος W=50gr			
Αριθμός κοσκίνου	Συγκρατούμενο (gr)	Διερχόμενο	
		(gr)	(%)
No. 10	0	50	100
No. 16	0.2	49.8	99.6
No. 30	0.31	49.49	98.98
No. 50	0.43	49.06	98.12
No. 200	5.13	43.93	87.86

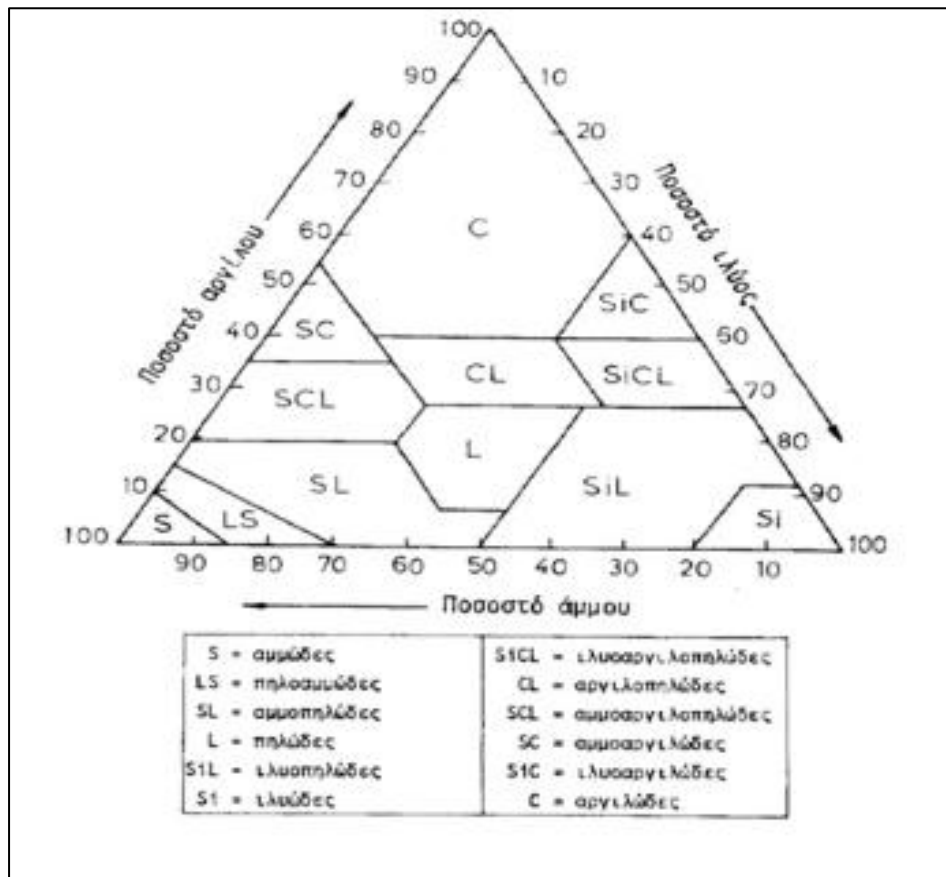
Σχεδιασμός διαγράμματος κοκκομετρικής ανάλυσης εδαφών (Σχ.3.2.) με χρήση Πιν.3.7, Πιν.3.8., Πιν.3.9., Πιν.3.10., Πιν.3.11.



Σχ.3.2.Διάγραμμα κοκκομετρικής καμπύλη.

Πιν.3.12. Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης(%) και σύγκριση με παρόμοια αργιλικά εδάφη. ^(a) (Hirpasa, 2015), ^(b) (Yaski, 2008), ^(c) (Hester, 2011), ^(d) (Hester, 2011), ^(e) (Hester, 2011).

	Άμμος	Ιλύς	Άργιλος
Ηράκλειο (Ελλάδα)	36,5	34,7	28,8
Burayu Town ^(a) (Αιθιοπία)	14,2	21,6	64,2
Clemson ^(b) (Η.Π.Α.)	40	15	45
Gbalahi ^(c) (Γκάννα)	13,55	26,99	59,47
Wayamba ^(d) (Γκάννα)	19,61	29,49	51,90
Taha ^(e) (Γκάννα)	28,40	24,80	46,80



Σχ.3.3. Διάγραμμα τρίγωνο μηχανικής ανάλυσης (Yaski, 2008)

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης διαπιστώνεται ότι η άμμος, η άργιλος και η ιλύς έχουν σχεδόν ίδια ποσοστά αναλογίας. Από διάγραμμα τριγώνου μηχανικής σύστασης προκύπτει ότι το έδαφος εμπίπτει στη κατηγορία αργιλοπηλώδες (Σχ.3.3.).

3.6.ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ

Η κατάταξη εδαφών κατά A.A.S.H.T.O. αφορά την αξιολόγηση του εδάφους για θεμελιώσεις δρόμων ενώ η κατάταξη εδαφών κατά A.S.T.M. αφορά όλες τις χρήσεις και προκύπτει ο τύπος του εδάφους.

Τα δεδομένα από προηγούμενες πειραματικές διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της κατάταξης εδαφών είναι τα εξής:

Πιν.3.13. Δεδομένα κατάταξης εδαφών (%).

LL=51,2	N _o 10=100
LP=29,3	N _o 50=98.12
IP=21,9	N _o 200=87.86

3.6.1.Κατάταξη κατά A.A.S.H.T.O. :

Για να καταταχθεί το έδαφος ακολουθώντας τον πίνακα κατά A.A.S.H.T.O. Αρχικά λαμβάνεται υπόψη η γενική κατάταξη και επειδή το N_o 200 είναι 87.86% δηλαδή $P > 35\%$ αποκλείεται η κατηγορία κοκκώδη. Υλικά που έχουν $P < 35\%$. Άρα πρώτο συμπέρασμα είναι ότι βρίσκεται στα ιλυοαργιλώδη υλικά. Στη συνέχεια λαμβάνεται υπόψη το % ποσοστό διερχόμενο από το δοκίμιο N_o 200 (0.07 mm) που είναι 87.86 % άρα δεν απορρίπτεται καμία κατηγορία και διατηρούνται όλες. Έπειτα, το όριο υδαρότητας είναι 51.2%. Έτσι απορρίπτεται η κατηγορία A4 και A6 και διατηρούνται οι A5 και A7. Στη συνέχεια εξετάζεται ο δείκτης πλαστικότητας που είναι 21.9 %. Έτσι απορρίπτεται η A5 και διατηρείται η A7. Τέλος εξετάζεται $IP < LL - 30$ εφόσον εμπίπτει στη κατηγορία A7-5 ή A7-6. Μέσω υπολογισμών προκύπτει ότι $IP > LL - 30 \Rightarrow (21.9 > 51.2 - 30 \Rightarrow 21.9 > 21.2)$.

Άρα το έδαφος ανήκει στην κατηγορία A7-6. Συνεπώς, είναι αργιλώδες έδαφος και είναι μέτριο προς κακό υλικό για θεμελίωση οδών.

Τα αποτελέσματα της κατάταξης εδαφών κατά A.A.S.H.T.O. συγκρίθηκαν με αντίστοιχο αργιλικό έδαφος στο Burayu Town της Αιθιοπίας το οποίο κατατάχθηκε στην κατηγορία A7-5 (Hirpasa, 2015).

3.6.2.Κατάταξη κατά A.S.T.M.:

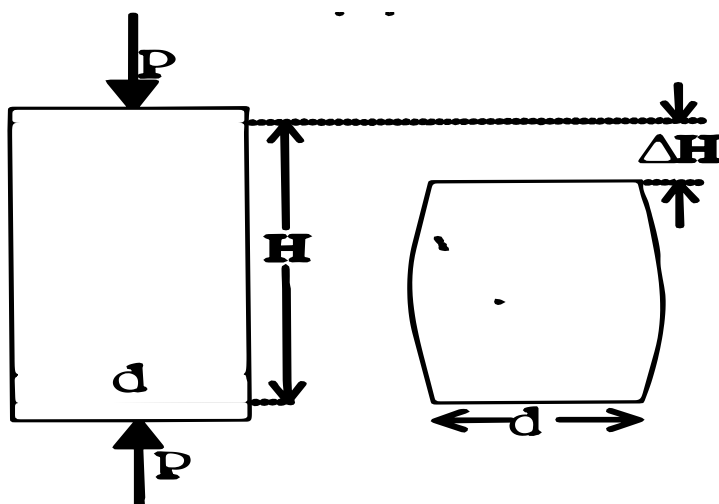
Για να καταταχθεί το έδαφος ακολουθείται ο πίνακας κατά A.S.T.M. Αρχικά λαμβάνεται υπόψη η γενική κατάταξη και επειδή το N_o 200 είναι 87.86 % δηλαδή $P > 35$ % συμπεραίνεται ότι το έδαφος είναι λεπτόκοκκο και κατευθείαν αποκλείονται τα χονδρόκοκκα. Άρα είναι ιλύς και άργιλος. Έπειτα παρατηρείται ότι το όριο υδαρότητας είναι μεγαλύτερο του 50 % (MH, CH, OH). Στη συνέχεια παρατηρείται στο διάγραμμα $IP(\%) - LL(\%)$ και διαπιστώνεται ότι το έδαφος θα είναι MH ή OH.

Το αποτέλεσμα της κατάταξης εδαφών κατά A.S.T.M. συγκρίθηκε με αντίστοιχα αργιλικά εδάφη στο Bugayu Town της Αιθιοπίας τα οποία κατατάχθηκαν στην κατηγορία CH (Hirpasa, 2015), ενώ ίδιο ήταν το αποτέλεσμα και στην Ancara της Τουρκίας (Maghsoudloo, 2013).

3.7.ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

Για την υλοποίηση της δοκιμής της ανεμπόδιστης θλίψης, τα χαρακτηριστικά του δοκιμίου (Σχ.3.4.) που χρησιμοποιήθηκε είναι τα εξής:

- ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ d : 4 cm
- ΑΡΧΙΚΟ ΥΨΟΣ H : 83 mm
- ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ $A = \pi d^2 / 4$: 12,56 cm²



Σχ.3.4.Δοκίμιο υλοποίησης της πειραματικής διαδικασίας (Πλαστήρα, 2011).

Υπολογισμός τάσεων και παραμορφώσεων για την εύρεση της συνοχής, του μέτρου ελαστικότητας και της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (Πιν. 3.13. και Σχ. 3.4.).

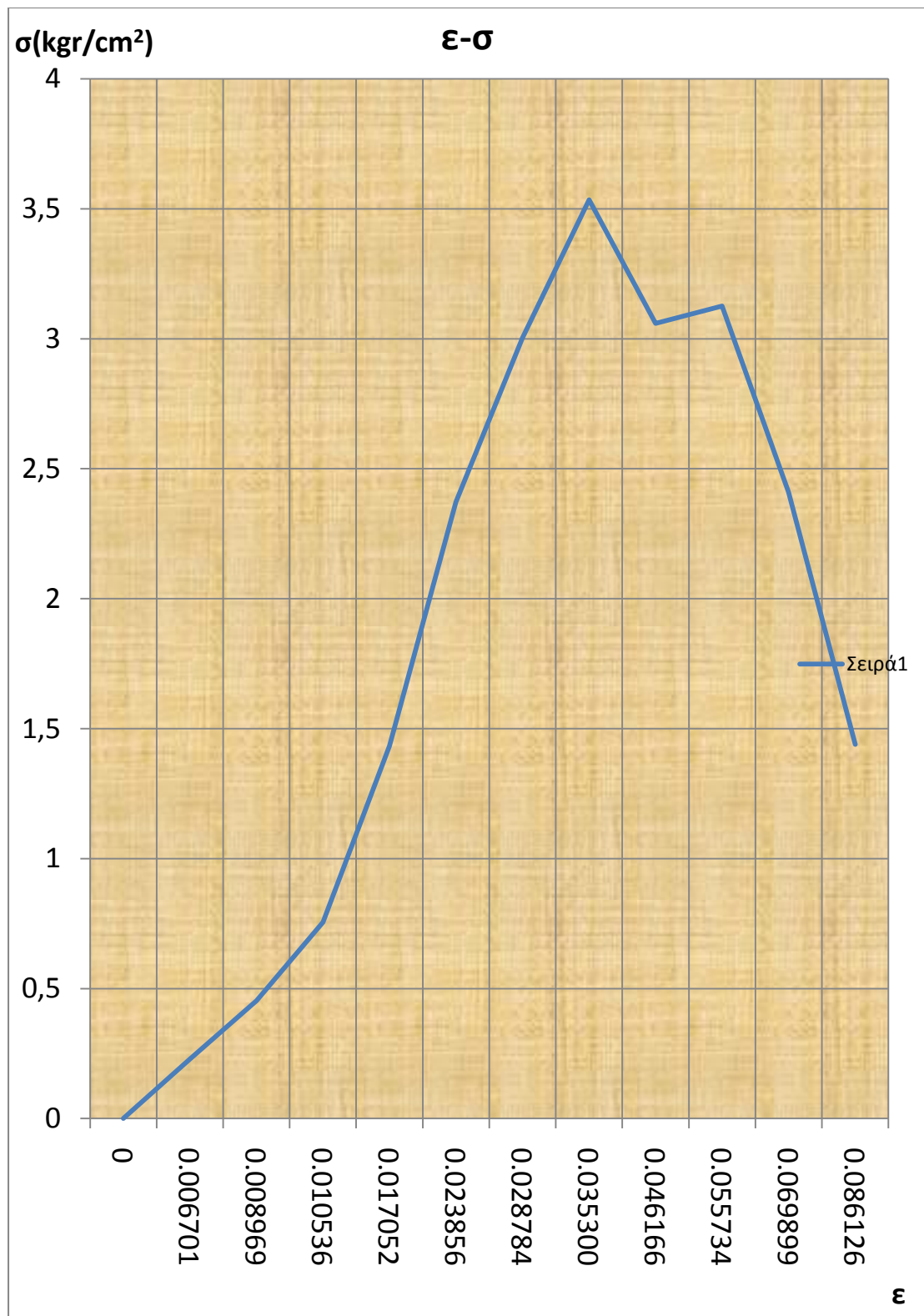
RH= αναγνώσεις μηκυνσιομέτρου βράχυνσης του ύψους του δοκιμίου.

RP= αναγνώσεις μηκυνσιομέτρου βράχυνσης της διαμέτρου του δυναμομετρικού δακτυλίου.

CRP (συντελεστής βράχυνσης της διαμέτρου του δυναμομετρικού δακτυλίου) = 40(kgr/mm).

Πιν.3.14. Δεδομένα ανεμπόδιστης θλίψης δείγματος H1.

Α/Α	ΒΡΑΧΥΝΣΗ		ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ		ΤΑΣΗ
	RH	ΔH (mm) =RH*CRH	$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H}$	$A' = \frac{A}{1 - \varepsilon}$	RP	P (kgr) = RP *CRP	$\sigma = P/A'$
1		0	0	12.56	0	0	0
2		0.556202	0.006701	12.65	0.071734	2.87	0.2287
3		0.744455	0.008969	12.67	0.143468	5.74	0.4530
4		0.874521	0.010536	12.69	0.239621	9.59	0.7557
5		1.41532	0.017052	12.78	0.457875	18.32	1.4335
6		1.980079	0.023856	12.87	0.763126	30.53	2.3722
7		2.389102	0.028784	12.93	0.970696	38.83	3.0031
8		2.929901	0.035300	13.02	1.150794	46.03	3.5353
9		3.831804	0.046166	13.17	1.007326	40.29	3.0592
10		4.62589	0.055734	13.30	1.039377	41.58	3.1263
11		5.801616	0.069899	13.50	0.813492	32.54	2.4104
12		7.14848	0.086126	13.74	0.494505	19.78	1.4396



Σχ.3.5.Διάγραμμα ανεμπόδιστης θλίψης ($\sigma - \epsilon$).

Από σχήμα 3.5. προκύπτει:
 Μέτρο ελαστικότητας (E_u):
 Το μέτρο ελαστικότητας υπολογίζεται από την κλίση της καμπύλης. Τα σημεία είναι $A1(0.017, 1.43)$ και $A2(0.024, 2.37)$.

$$E_u = (2.37 - 1.43) / (0.024 - 0.017) = 13.42 \text{ kgr/cm}^2$$

Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (q_u):
 Η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη υπολογίζεται βρίσκοντας το υψηλότερο σημείο της καμπύλης. Το σημείο αυτό είναι $Y1(0.0353, 3.5353)$.

$$q_u = 3.5353 \text{ kgr/cm}^2$$

Συνοχή του εδάφους (c):
 Η συνοχή του εδάφους υπολογίζεται από τον τύπο $c = q_u / 2$

$$c = q_u / 2 = 3.5353 / 2 = 1.77 \text{ kgr/cm}^2$$

Άρα το έδαφος που ερευνάται από πλευράς συνεκτικότητας με βάση τον Πιν.2.7 χαρακτηρίζεται ως σκληρό και ως επί του έργου έλεγχος με το χέρι εύκολα χαράσσεται με τον αντίχειρα αλλά διεισδύει με μεγάλη προσπάθεια.

3.8.ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ

Δεν χρησιμοποιείται εξοπλισμός εργαστηρίου (δεν εκτελείται πείραμα στο εργαστήριο), διότι τα αποτελέσματα προκύπτουν από συνδυασμό αποδεδειγμένων τύπων και φυσικών ιδιοτήτων.

Από προηγούμενη δοκιμή υπολογίστηκε (όρια Atterberg) ότι το όριο υδαρότητας είναι : $LL=51.2\%$.

$$\text{Δείκτης συμπίεσότητας: } C_c = 0,009 * (LL - 10) = 0.009 * (51.2 - 10) = 0.009 * 41.2 = 0.37$$

Πιν.3.15. Δεδομένα ειδών εδάφους (Γκούμα, 2017)

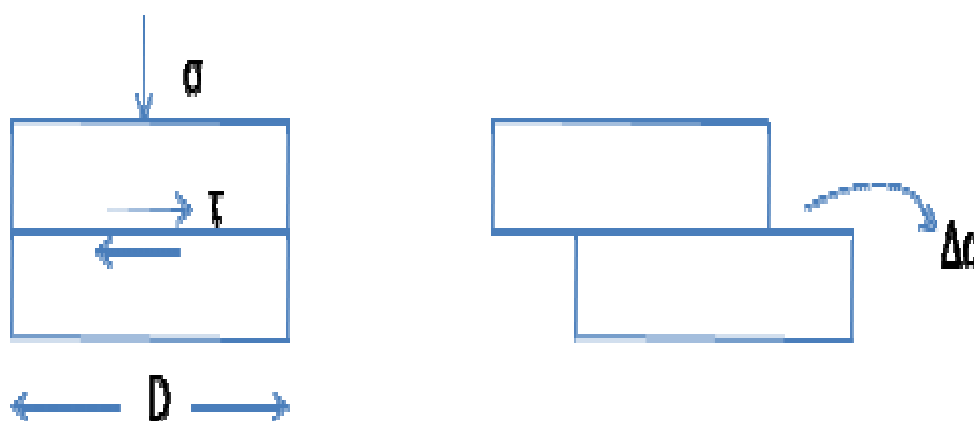
Είδος Εδάφους	Συντελεστής συνεκτικότητας C_c
Πυκνή Άμμος	0,0005-1
Χαλαρή Άμμος	0,025-0,05
Σταθερή Άμμος	0,03-0,06
Σκληρή Άμμος	0,06-0,15
Μεσαίος Μαλακός Πηλός	0,15-1
Οργανικό Έδαφος	1-4,5

Η ικανότητα του εδάφους να φέρει φορτία είναι διαφορετική και εξαρτάται από το είδος του εδάφους. Τα λεπτόκοκκα εδάφη έχουν μικρότερη ικανότητα έδρασης φορτίου σε σχέση με τα χονδροκόκκα. Ως εκ τούτου τα λεπτόκοκκα εδάφη έχουν μεγαλύτερο δείκτη συμπίεστότητας σε σχέση με τα χονδροκόκκα. Άρα από Πιν.3.14. προκύπτει ότι το έδαφος μας είναι χαλαρή άμμος.

3.9.ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ (ΤΑΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗ)

Για την υλοποίηση της δοκιμής της άμεσης διάτμησης χωρίστηκε το αρχικό δείγμα (H1) σε δύο υποδείγματα (H1.1. και H1.2.). Τα στοιχεία και τα χαρακτηριστικά του δοκιμίου (Σχ.3.6.) που χρησιμοποιήθηκε είναι τα εξής:

- D: η πλευρά του δοκιμίου=60 mm
- RD: αναγνώσεις μκηνσιομέτρου οριζόντιας μετατόπισης
- Δd: οριζόντια μετατόπιση
- RT: αναγνώσεις μκηνσιομέτρου, βράχυνσης της διαμέτρου του δυναμομετρικού δακτυλίου
- CRT: συντελεστής βράχυνσης της διαμέτρου του δυναμομετρικού δακτυλίου =0.712(kgr/ανάγνωση)
- T: φορτίο διατμητικής τάσης
- τ: διατμητική τάση
- σ: ορθή τάση



Σχ.3.6. Δοκίμιο υλοποίησης της πειραματικής διαδικασίας.

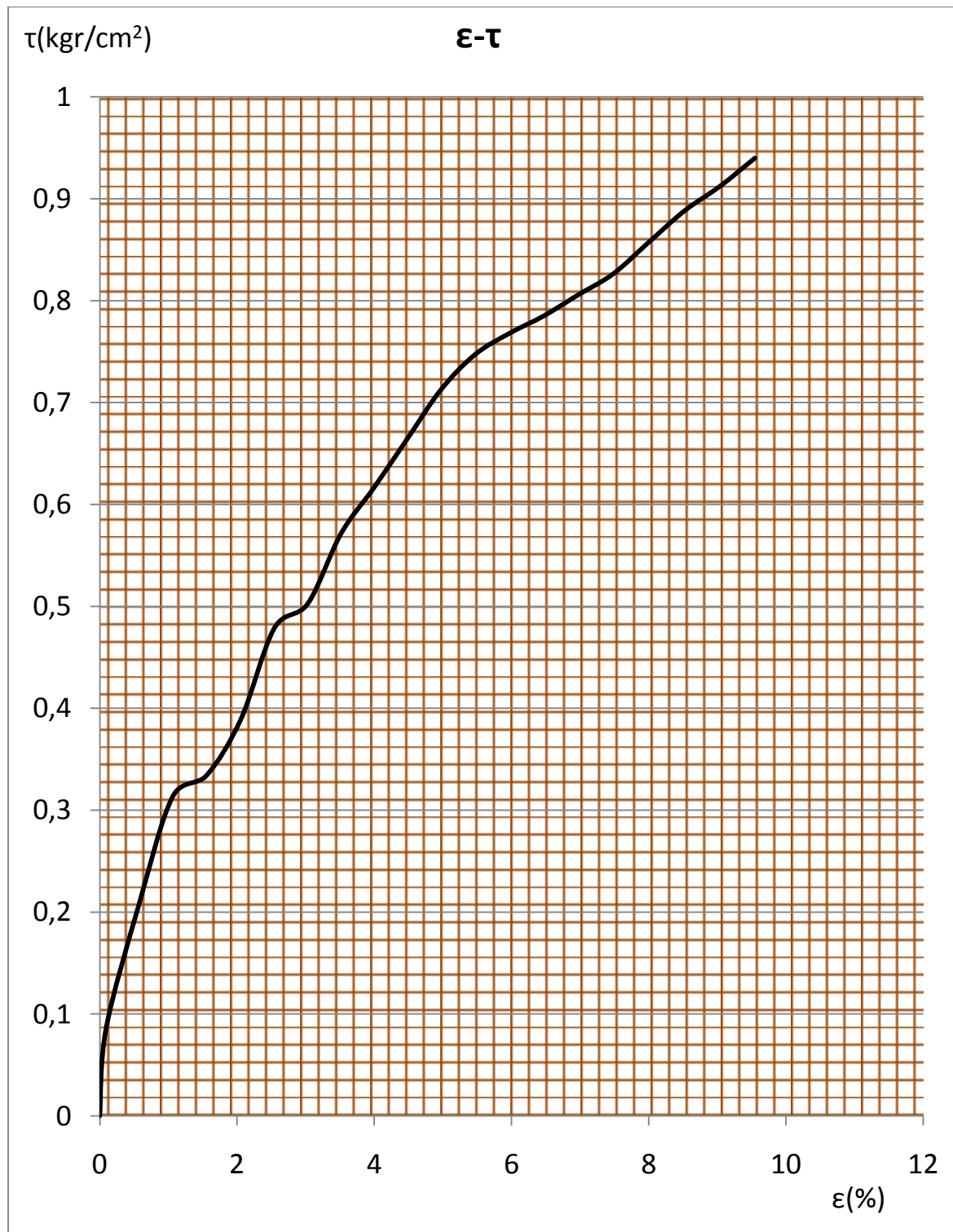
Υπολογισμός οριζόντιας σχετικής μετακίνησης ($\epsilon\%$) και διατμητικής τάσης (τ) για το υπόδειγμα H1.1. με αυξανόμενο κατακόρυφο φορτίο και σταθερή διατομή (Πιν. 3.16., Πιν.3.17., Πιν.3.18., Σχ.3.7., Σχ.3.8., Σχ.3.9.)

Υπόδειγμα H1.1.

1^η δοκιμή για $\sigma_1 = P_1 / A = 20 \text{ kgr} / 36 \text{ cm}^2 = 0.56 \text{ (kgr/cm}^2\text{)}$

Πιν.3.16. Δεδομένα πρώτης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.1.

Δd	ϵ	$\epsilon\%$	RT	T	$\tau = T/A$
0	0	0	0	0	0
0,00171	0,0000285	0,00285	0,00174	0,123888	0,003441
0,05631	0,0009385	0,09385	0,04352	3,098624	0,086073
0,34125	0,0056875	0,56875	0,10446	7,437552	0,206599
0,63814	0,0106357	1,063567	0,15843	11,28022	0,313339
0,93332	0,0155553	1,555533	0,16887	12,02354	0,333987
1,23388	0,0205647	2,056467	0,19673	14,00718	0,389088
1,52675	0,0254458	2,544583	0,24199	17,22969	0,478602
1,81962	0,030327	3,0327	0,25418	18,09762	0,502712
2,11088	0,0351813	3,518133	0,289	20,5768	0,571578
2,39731	0,0399552	3,995517	0,31163	22,18806	0,616335
2,69018	0,0448363	4,483633	0,336	23,9232	0,664533
2,98466	0,0497443	4,974433	0,36038	25,65906	0,712752
3,28235	0,0547058	5,470583	0,37779	26,89865	0,747185
3,58005	0,0596675	5,96675	0,38823	27,64198	0,767833
3,88257	0,0647095	6,47095	0,39694	28,26213	0,785059
4,18349	0,0697248	6,972483	0,40738	29,00546	0,805707
4,49084	0,0748473	7,484733	0,41783	29,7495	0,826375
4,80141	0,0800235	8,00235	0,4335	30,8652	0,857367
5,11519	0,0852532	8,525317	0,44916	31,98019	0,888339
5,42576	0,0904293	9,042933	0,46135	32,84812	0,912448
5,72989	0,0954982	9,549817	0,47528	33,83994	0,939998

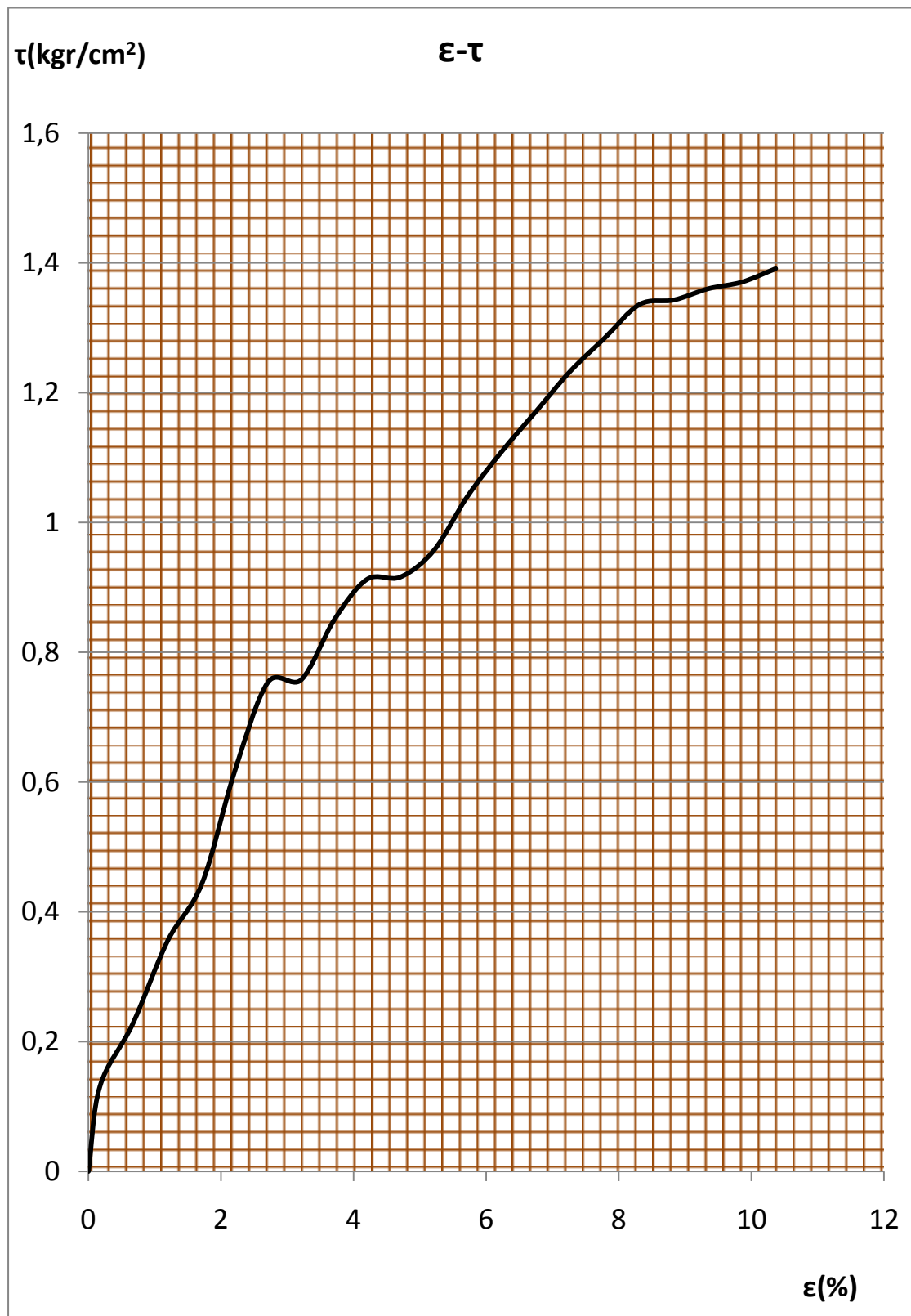


Σχ.3.7.Διάγραμμα πρώτης δοκιμής για το υπόδειγμα Η1.1.

2^η δοκιμή για $\sigma_2 = P_2 / A = 40 \text{ kgr} / 36 \text{ cm}^2 = 1.11 \text{ (kgr/cm}^2\text{)}$

Πιν.3.17. Δεδομένα δεύτερης δοκιμής για το υπόδειγμα Η1.1.

Δd	ε	ε%	RT	T	τ=T/A
0	0	0	0	0	0
0,104081	0,001735	0,173469	0,066156	4,710306	0,130842
0,400969	0,006683	0,668282	0,114903	8,181058	0,227252
0,714919	0,011915	1,191532	0,179318	12,76741	0,35465
1,029023	0,01715	1,715038	0,224582	15,99025	0,444174
1,3235	0,022058	2,205833	0,31163	22,18802	0,616334
1,626023	0,0271	2,710039	0,381267	27,14624	0,754062
1,925328	0,032089	3,20888	0,383008	27,27019	0,757505
2,226242	0,037104	3,710403	0,430014	30,61699	0,850472
2,522329	0,042039	4,203881	0,461351	32,84819	0,91245
2,823243	0,047054	4,705404	0,463092	32,97214	0,915893
3,127375	0,052123	5,212291	0,483983	34,45961	0,957211
3,428289	0,057138	5,713815	0,525766	37,43454	1,039848
3,737249	0,062287	6,228748	0,560585	39,91365	1,108712
4,047818	0,067464	6,746363	0,591922	42,14485	1,17069
4,358387	0,07264	7,263978	0,623259	44,37604	1,232668
4,672174	0,07787	7,786957	0,649373	46,23538	1,284316
4,987571	0,083126	8,312618	0,675487	48,09471	1,335964
5,299749	0,088329	8,832915	0,678969	48,34262	1,342851
5,607099	0,093452	9,345166	0,687674	48,9624	1,360067
5,912841	0,098547	9,854735	0,692897	49,33426	1,370396
6,218582	0,103643	10,3643	0,703343	50,07799	1,391055

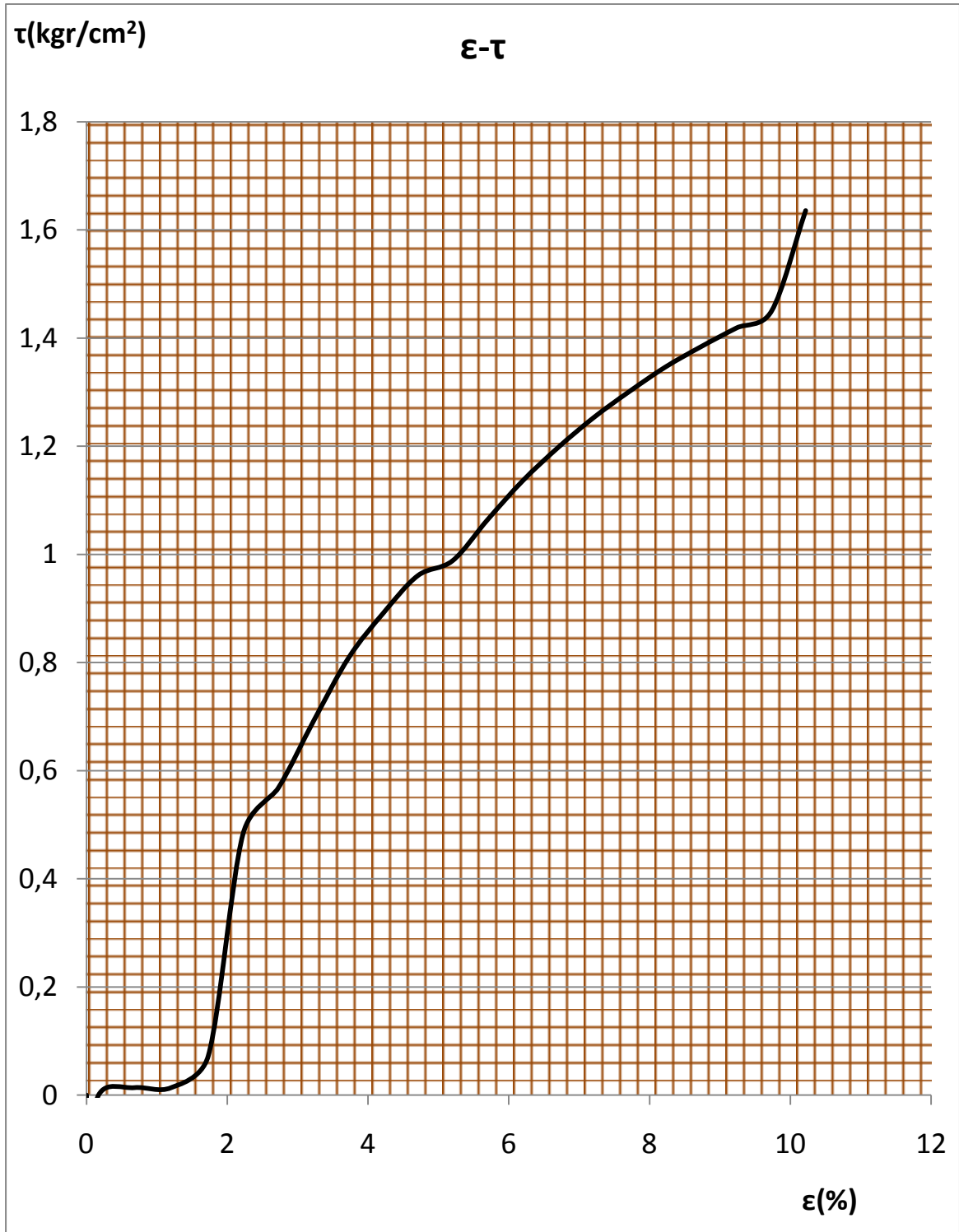


Σχ.3.8. Διάγραμμα δεύτερης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.1.

3^η δοκιμή για $\sigma_3 = P_3 / A = 80 \text{ kgr} / 36 \text{ cm}^2 = 2.22 \text{ (kgr/cm}^2\text{)}$

Πιν .3.18. Δεδομένα τρίτης δοκιμής για το υπόδειγμα Η1.1.

Δd	ε	ε%	RT	T	τ=T/A
0	0	0	0	0	0
0,001706	0.001366505	0,002844	-0,07486	-5,33008	-0,14806
0,102375	0,001706252	0,170625	0	0	0
0,4095	0,006825007	0,682501	0,006964	0,495822	0,013773
0,721744	0,012029075	1,202907	0,006964	0,495822	0,013773
1,037401	0,017290017	1,729002	0,03656	2,603064	0,072307
1,332779	0,022212983	2,221298	0,243733	17,35376	0,482049
1,635302	0,027255035	2,725504	0,287256	20,45265	0,568129
1,936216	0,032270269	3,227027	0,34993	24,91504	0,692084
2,235521	0,037258683	3,725868	0,409123	29,12953	0,809154
2,531607	0,042193458	4,219346	0,450905	32,10446	0,89179
2,824476	0,047074594	4,707459	0,485724	34,58357	0,960655
3,120562	0,052009369	5,200937	0,499652	35,57521	0,9882
3,418258	0,056970964	5,697096	0,537953	38,30223	1,063951
3,719172	0,061986197	6,19862	0,574513	40,90529	1,136258
4,023304	0,06705507	6,705507	0,60585	43,13649	1,198236
4,325827	0,072097123	7,209712	0,633705	45,11978	1,253327
4,62996	0,077165995	7,716599	0,658078	46,85515	1,301532
4,934092	0,082234867	8,223487	0,68071	48,46657	1,346294
5,239834	0,087330559	8,733056	0,699861	49,83008	1,384169
5,540748	0,092345792	9,234579	0,71727	51,06964	1,418601
5,838443	0,097307387	9,730739	0,732939	52,18524	1,44959
6,129702	0,102161704	10,21617	0,82695	58,87883	1,635523



Σχ.3.9.Διάγραμμα τρίτης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.1.

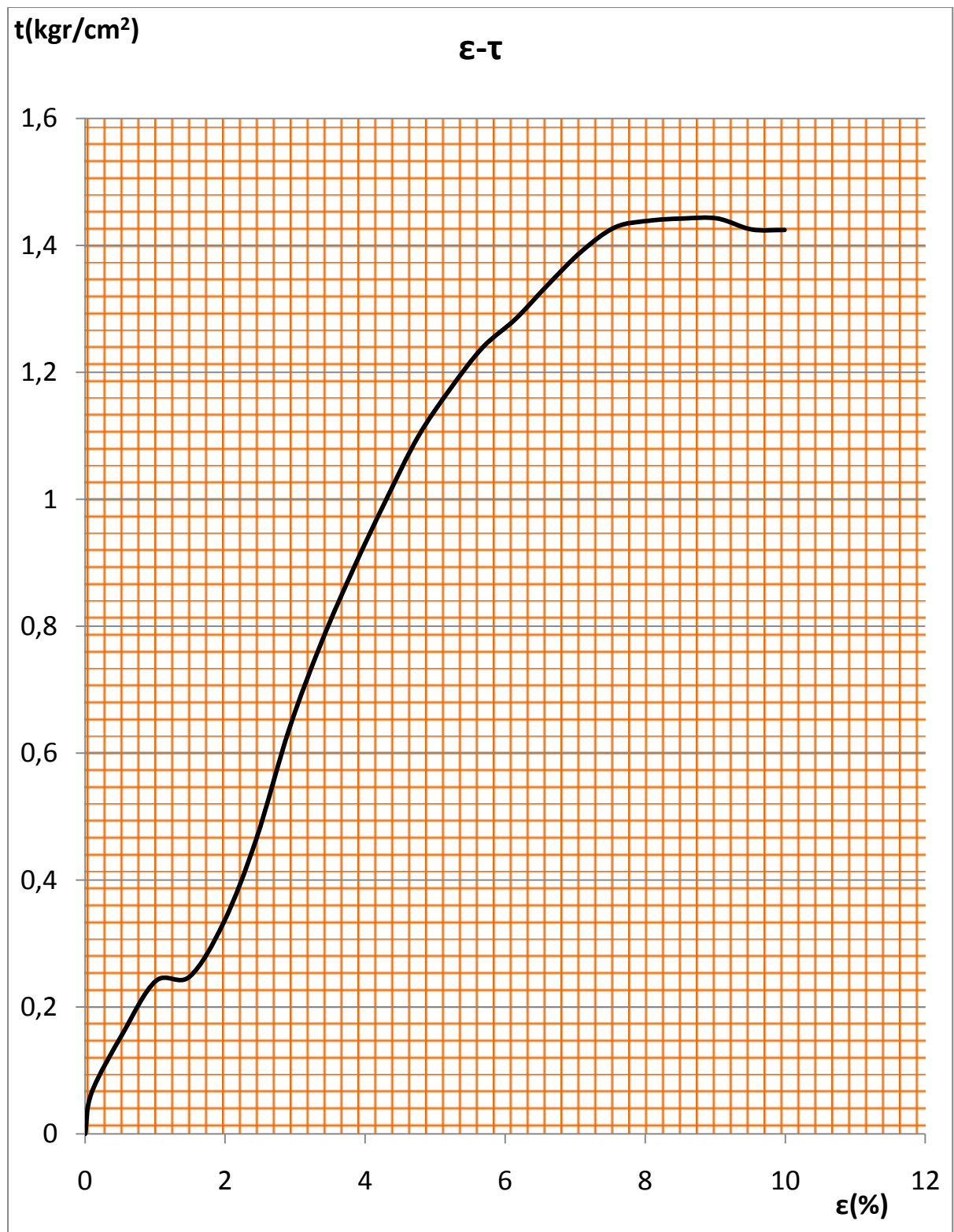
Υπολογισμός οριζόντιας σχετικής μετακίνησης ($\epsilon\%$) και διατμητικής τάσης (τ) για το υπόδειγμα Η1.2. με αυξανόμενο κατακόρυφο φορτίο και σταθερή διατομή (Πιν. 3.19., Πιν.3.20., Πιν.3.21., Σχ.3.10., Σχ.3.11., Σχ.3.12.)

Υπόδειγμα Η1.2.

1^η δοκιμή για $\sigma_1 = P_1 / A = 20 \text{ kgr} / 36 \text{ cm}^2 = 0.56 \text{ (kgr/cm}^2\text{)}$

Πιν .3.19. Δεδομένα πρώτης δοκιμής για το υπόδειγμα Η1.2.

Δd	ϵ	$\epsilon\%$	RT	T	$\tau=T/A$
0	0	0	0	0	0
0,05631	0,000939	0,09385	0,03308	2,355296	0,065425
0,32248	0,005375	0,537467	0,08008	5,701696	0,15838
0,60572	0,010095	1,009533	0,12187	8,677144	0,241032
0,89578	0,01493	1,492967	0,12535	8,92492	0,247914
1,18926	0,019821	1,9821	0,16887	12,02354	0,333987
1,46705	0,024451	2,445083	0,23503	16,73414	0,464837
1,74704	0,029117	2,911733	0,32208	22,9321	0,637003
2,02543	0,033757	3,375717	0,39171	27,88975	0,774715
2,3022	0,03837	3,837	0,45091	32,10479	0,8918
2,57737	0,042956	4,295617	0,50487	35,94674	0,998521
2,85254	0,047542	4,754233	0,55536	39,54163	1,098379
3,12931	0,052155	5,215517	0,59366	42,26859	1,174128
3,4077	0,056795	5,6795	0,62674	44,62389	1,239552
3,6893	0,061488	6,148833	0,64937	46,23514	1,28431
3,97252	0,066209	6,620867	0,67723	48,21878	1,33941
4,25573	0,070929	7,092883	0,70334	50,07781	1,39105
4,54377	0,07573	7,57295	0,72249	51,44129	1,428925
4,83664	0,080611	8,061067	0,72772	51,81366	1,439268
5,1279	0,085465	8,5465	0,72946	51,93755	1,44271
5,42077	0,090346	9,034617	0,72946	51,93755	1,44271
5,71203	0,095201	9,52005	0,72075	51,3174	1,425483
5,99524	0,099921	9,992067	0,72031	51,28607	1,424613

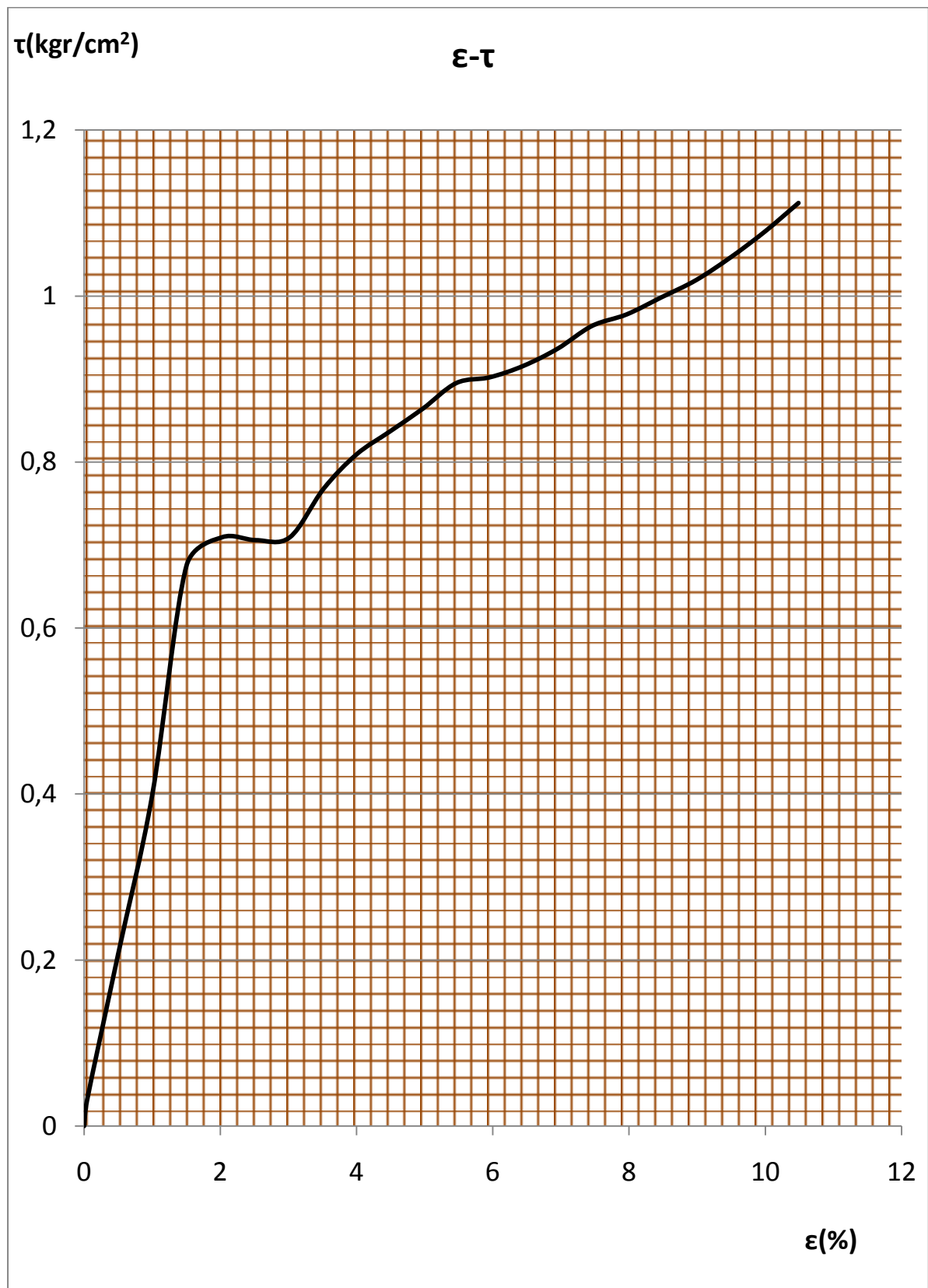


Σχ.3.10.Διάγραμμα πρώτης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.2.

2^η δοκιμή για $\sigma_2 = P_2 / A = 40 \text{ kgr} / 36 \text{ cm}^2 = 1.11 \text{ (kgr/cm}^2\text{)}$

Πιν.3.20. Δεδομένα δεύτερης δοκιμής για το υπόδειγμα Η1.2.

Δd	ε	ε%	RT	T	τ=T/A
0	0	0	0	0	0
0,025594	0,000427	0,042657	0,015669	1,115633	0,03099
0,298594	0,004977	0,497657	0,104457	7,437338	0,206593
0,600601	0,01001	1,001002	0,20195	14,37884	0,399412
0,900901	0,015015	1,501502	0,341226	24,29529	0,674869
1,213145	0,020219	2,021908	0,358635	25,53481	0,7093
1,513697	0,025228	2,522828	0,356894	25,41085	0,705857
1,811393	0,03019	3,018988	0,358635	25,53481	0,7093
2,109089	0,035151	3,515148	0,388231	27,64205	0,767835
2,398739	0,039979	3,997898	0,409123	29,12956	0,809154
2,691607	0,04486	4,486012	0,42305	30,12116	0,836699
2,982866	0,049714	4,971443	0,436978	31,11283	0,864245
3,278952	0,054649	5,46492	0,452646	32,2284	0,895233
3,57343	0,059557	5,955717	0,456128	32,47631	0,90212
3,869516	0,064492	6,449193	0,463092	32,97215	0,915893
4,17043	0,069507	6,950717	0,473538	33,71591	0,936553
4,474563	0,074576	7,457605	0,487465	34,70751	0,964097
4,778695	0,079645	7,964492	0,494429	35,20334	0,977871
5,086046	0,084767	8,476743	0,504875	35,9471	0,998531
5,390178	0,089836	8,98363	0,51532	36,69078	1,019188
5,695919	0,094932	9,493198	0,529248	37,68246	1,046735
5,996833	0,099947	9,994722	0,544916	38,79802	1,077723
6,29292	0,104882	10,4882	0,562326	40,03761	1,112156

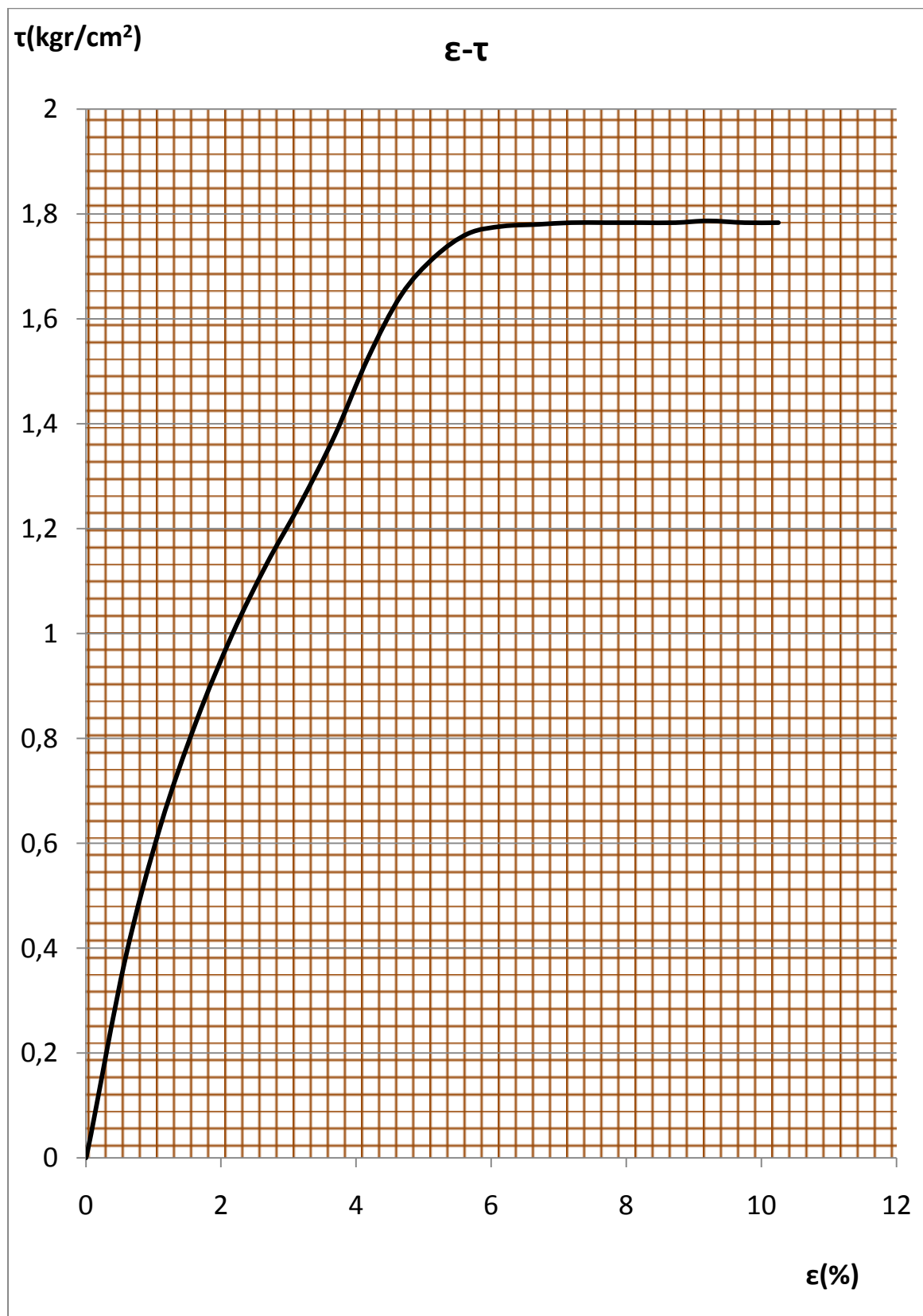


Σχ.3.11.Διάγραμμα δεύτερης δοκιμής για το υπόδειγμα Η1.2.

3^η δοκιμή για $\sigma_3 = P_3 / A = 80 \text{ kgr} / 36 \text{ cm}^2 = 2.22 \text{ (kgr/cm}^2\text{)}$

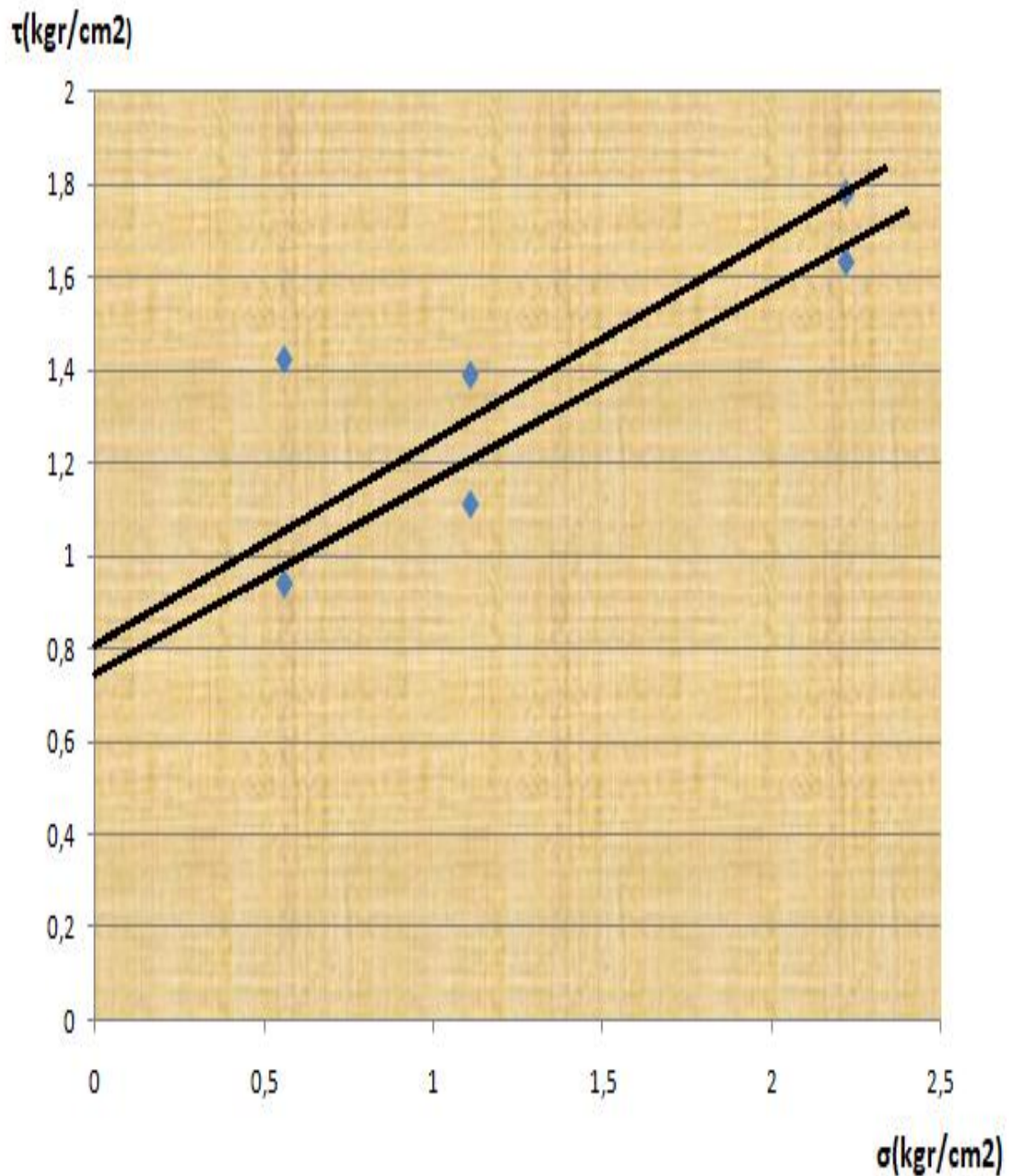
Πιν .3.21. Δεδομένα τρίτης δοκιμής για το υπόδειγμα Η1.2.

Δd	ε	ε%	RT	T	τ=T/A
0	0	0	0	0	0
0,04436	0,000739	0,073933	0,02263	1,611256	0,044757
0,34808	0,005801	0,580133	0,1915	13,6348	0,378744
0,66203	0,011034	1,103383	0,32033	22,8075	0,633542
0,98109	0,016352	1,63515	0,42131	29,99727	0,833258
1,29964	0,021661	2,166067	0,50487	35,94674	0,998521
1,60538	0,026756	2,675633	0,57277	40,78122	1,132812
1,90951	0,031825	3,182517	0,63196	44,99555	1,249876
2,20882	0,036814	3,681367	0,69638	49,58226	1,377285
2,5049	0,041748	4,174833	0,77124	54,91229	1,525341
2,80099	0,046683	4,668317	0,83217	59,2505	1,645847
3,09708	0,051618	5,1618	0,86873	61,85358	1,718155
3,39638	0,056606	5,660633	0,89136	63,46483	1,762912
3,6989	0,061648	6,164833	0,89833	63,9611	1,776697
4,00304	0,066717	6,671733	0,90007	64,08498	1,780138
4,30878	0,071813	7,1813	0,90181	64,20887	1,78358
4,61613	0,076936	7,69355	0,90181	64,20887	1,78358
4,92348	0,082058	8,2058	0,90181	64,20887	1,78358
5,23727	0,087288	8,728783	0,90181	64,20887	1,78358
5,52623	0,092104	9,210383	0,90355	64,33276	1,787021
5,85036	0,097506	9,7506	0,90181	64,20887	1,78358
6,15127	0,102521	10,25212	0,90181	64,20887	1,78358



Σχ.3.12. Διάγραμμα τρίτης δοκιμής για το υπόδειγμα H1.2.

Υπολογισμός συνοχής και γωνίας εσωτερικής τριβής με τη χρήση διαγράμματος κύκλου του Mohr (Σχ.3.13., Πιν.3.22., Πιν.3.23., Πιν.3.24.)



Σχ.3.13.Διάγραμμα κύκλου του Mohr (σ - τ) .

Πιν.3.22. Δεδομένα δεδομένων ορθών τάσεων.

σ_1	0.56	kgf/cm ²
σ_2	1.11	kgf/cm ²
σ_3	2.22	kgf/cm ²

Υπόδειγμα Η1.1.

Πιν.3.23. Δεδομένα μέγιστων διατμητικών τάσεων για το υπόδειγμα Η1.1.

$\tau_1 \max$	0.93	kgf/cm ²
$\tau_2 \max$	1.38	kgf/cm ²
$\tau_3 \max$	1.63	kgf/cm ²

Από το διάγραμμα Mohr (Σχ.3.13.) υπολογίστηκαν :

- Συνοχή : $c = 0.67 \text{ kgf/cm}^2$
- Γωνία εσωτερικής τριβής : $\epsilon\phi\phi = (1,63 - 1,38) / (2,22 - 1,11) = 0,22 = 12,41^\circ$
 $\phi = 12,41^\circ$

Υπόδειγμα Η1.2.

Πιν.3.24. Δεδομένα μέγιστων διατμητικών τάσεων για το υπόδειγμα Η1.2.

$\tau_1 \max$	1.42	kgf/cm ²
$\tau_2 \max$	1.12	kgf/cm ²
$\tau_3 \max$	1.79	kgf/cm ²

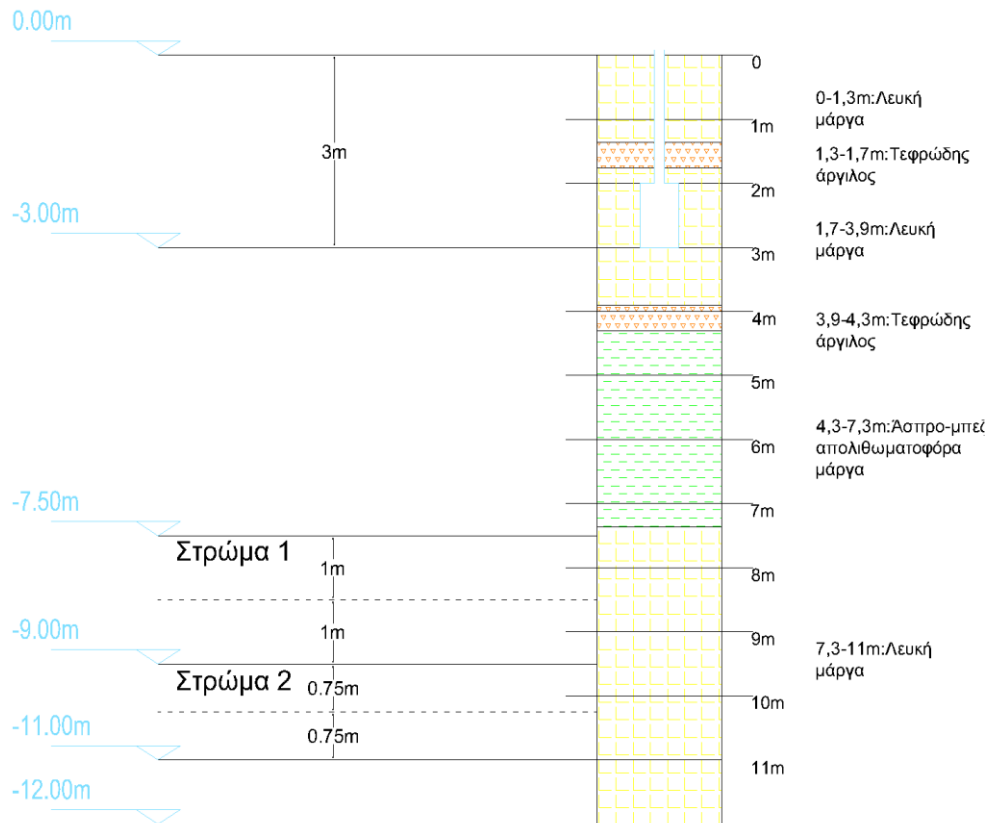
Από το διάγραμμα Mohr (Σχ.3.13.) υπολογίστηκαν :

- Συνοχή : $c = 0.80 \text{ kgf/cm}^2$
- Γωνία εσωτερικής τριβής : $\epsilon\phi\phi = (1,79 - 1,12) / (2,22 - 1,11) = 0,60 = 30.96^\circ$
 $\phi = 30.96^\circ$

Άρα μέσω του διαγράμματος του κύκλου του Mohr (Σχ.3.13.) βρέθηκε η εσωτερική γωνία τριβής καθώς και η συνοχή. Παρατηρείται ότι η εσωτερική γωνία τριβής είναι μικρή, οπότε το έδαφος είναι σχεδόν κορεσμένο.

3.10.ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΛΟΓΩ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Παραθέεται η τομή του πεδίου (Σχ.3.14.) για τον υπολογισμό της καθίζησης λόγω στερεοποίησης στο στρώμα που εξετάζεται (-7.50 m έως -11.00 m). Η τομή είναι ίδια για τις τρεις δοκιμές, αυτό που αλλάζει είναι η διάσταση του πεδίου και τον φορτίο q που ασκείται από το πέδιλο στο έδαφος.



Σχ.3.14. Τομή πεδίου δοκιμής καθίζησης .

Το στρώμα που εξετάζεται λόγω μεγάλου πάχους 3.50 m διαχωρίζεται σε δύο στρώματα για τον ακριβέστερο υπολογισμό των καθιζήσεων. Στο τέλος προσθέτονται οι δύο καθιζήσεις που υπολογίστηκαν και βρίσκεται η συνολική καθίζηση του στρώματος που εξετάζεται.

Στρώμα 1 : -7,50 m ~ -9,50 m

Στρώμα 2 : -9,50 m ~ -11,00 m

Τα δεδομένα είναι τα εξής και παραμένουν ίδια και για τις τρεις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν:

- Δείκτης συμπιεστότητας : $C_c=0,37$
- Δείκτης κενών : $e_0=0,7$
- Βάθος θεμελίωσης : $D_f=3$ m
- Επιτάχυνση της βαρύτητας : $g=10$ m/sec²
- Υδροφόρος ορίζοντας : -12m
- Διάσταση θεμελίου : 2 m × 2 m

3.10.1.ΔΟΚΙΜΗ 1η

$$q=50 \text{ KN/m}^2$$

Διάσταση θεμελίου : 2 m × 2 m

ΣΤΡΩΜΑ 1

$$\sigma_0 = (25,40 \text{ KN/m}^3) \times 8,5 \text{ m} = 215,9 \text{ KN/m}^2$$

$$H = 2 \text{ m}$$

$$a/b = 1/1 = 1$$

$$z1/b = 5,5/1 = 5,5$$

$$I_\sigma = 0,014 \text{ (από νομογράφημα)}$$

$$\Delta\sigma = 4 \times q \times I_\sigma = 4 \times 50 \text{ (KN/m}^2) \times 0,014 = 2,8 \text{ KN/m}^2$$

$$S1 = (C_c \times H) / (1 + e_o) \times \log_{10} ((\sigma_0 + \Delta\sigma) / \sigma_0) \Rightarrow$$

$$S1 = (2 \times 0,37) / (1 + 0,7) \times \log_{10} \{(215,9 + 2,8) / 215,9\} \Rightarrow$$

$$S1 = (0,74 / 1,7) \times \log_{10}(1,013) \Rightarrow$$

$$S1 = 0,43 \times \log_{10}(1,013) = 2,41 \times 10^{-3} = 0,241 \text{ cm}$$

ΣΤΡΩΜΑ 2

$$\sigma_0 = (25,40 \text{ KN/m}^3) \times 10,75 \text{ m} = 273,05 \text{ KN/m}^2$$

$$H = 1,5 \text{ m}$$

$$a/b = 1/1 = 1$$

$$z1/b = 7,25/1 = 7,25$$

$$I_\sigma = 0,01 \text{ (από νομογράφημα)}$$

$$\Delta\sigma = 4 \times q \times I_\sigma = 4 \times 50 \text{ (KN/m}^2) \times 0,01 = 2 \text{ KN/m}^2$$

$$S2 = (C_c \times H) / (1 + e_o) \times \log_{10} ((\sigma_0 + \Delta\sigma) / \sigma_0) \Rightarrow$$

$$S2 = (1,5 \times 0,37) / (1 + 0,7) \times \log_{10} \{(273,05 + 2) / 273,05\} \Rightarrow$$

$$S2 = 0,33 \times \log_{10}(1,007) \Rightarrow S2 = 1,05 \times 10^{-3} = 0,105 \text{ cm}$$

$$\text{Άρα } S_{\text{ολ.}} = S1 + S2 = 0,241 + 0,105 = 0,35 \text{ cm}$$

3.10.2.ΔΟΚΙΜΗ 2^η

$$q = 100 \text{ KN/m}^2$$

Διάσταση θεμελίου : 2 m × 2 m

ΣΤΡΩΜΑ 1

$$\sigma_0 = (25,40 \text{ KN/m}^3) \times 8,5 \text{ m} = 215,9 \text{ KN/m}^2$$

$$H = 2 \text{ m}$$

$$a/b = 1/1 = 1$$

$$z1/b = 5,5/1 = 5,5$$

$$I_\sigma = 0,014 \text{ (από νομογράφημα)}$$

$$\Delta\sigma = 4 \times q \times I_\sigma = 4 \times 100 \text{ (KN/m}^2) \times 0,014 = 5,6 \text{ KN/m}^2$$

$$S1 = (C_c \times H) / (1 + e_o) \times \log_{10} ((\sigma_0 + \Delta\sigma) / \sigma_0) \Rightarrow$$

$$S1 = (2 \times 0,37) / (1 + 0,7) \times \log_{10} \{(215,9 + 5,6) / 215,9\} \Rightarrow$$

$$S1 = (0,74 / 1,7) \times \log_{10}(1,026) \Rightarrow$$

$$S1 = 0,43 \times \log_{10}(1,026) = 4,79 \times 10^{-3} = 0,479 \text{ cm}$$

ΣΤΡΩΜΑ 2

$$\sigma_0 = (25,40 \text{ KN/m}^3) \times 10,75 \text{ m} = 273,05 \text{ KN/m}^2$$

$$H = 1,5 \text{ m}$$

$$a/b = 1/1 = 1$$

$$z1/b = 7,25/1 = 7,25$$

$$I_\sigma = 0,01 \text{ (από νομογράφημα)}$$

$$\Delta\sigma = 4 \times q \times I_\sigma = 4 \times 100 \text{ (KN/m}^2) \times 0,014 = 5,6 \text{ KN/m}^2$$

$$S2 = (C_c \times H) / (1 + e_o) \times \log_{10} ((\sigma_0 + \Delta\sigma) / \sigma_0) \Rightarrow$$

$$S2 = (1,5 \times 0,37) / (1 + 0,7) \times \log_{10} \{(273,05 + 5,6) / 273,05\} \Rightarrow$$

$$S2 = 0,33 \times \log_{10}(1,021) \Rightarrow S2 = 2,98 \times 10^{-3} = 0,298 \text{ cm}$$

$$\text{Άρα Sol.} = S1 + S2 = 0,479 + 0,298 = 0,78 \text{ cm}$$

3.10.3.ΔΟΚΙΜΗ 3^η

$$q=150 \text{ KN/m}^2$$

Διάσταση θεμελίου : 2 m × 2 m

ΣΤΡΩΜΑ 1

$$\sigma=(25,40 \text{ KN/m}^3) \times 8,5\text{m}=215,9 \text{ KN/m}^2$$

$$H=2 \text{ m}$$

$$a/b=1/1=1$$

$$z1/b=5,5/1=5,5$$

$I_\sigma=0,014$ (από νομογράφημα)

$$\Delta\sigma=4 \times q \times I_\sigma=4 \times 150(\text{KN/m}^2) \times 0,014=8,4 \text{ KN/m}^2$$

$$S1 = (C_c \times H) / (1 + e_o) \times \log_{10} ((\sigma_0 + \Delta\sigma) / \sigma_0) \Rightarrow$$

$$S1 = (2 \times 0,37) / (1 + 0,7) \times \log_{10} \{(215,9 + 8,4) / 215,9\} \Rightarrow$$

$$S1 = (0,74 / 1,7) \times \log_{10}(1,039) \Rightarrow$$

$$S1 = 0,43 \times \log_{10}(1,039) = 7,145 \times 10^{-3} = 0,715 \text{ cm}$$

ΣΤΡΩΜΑ 2

$$\sigma=(25,40 \text{ KN/m}^3) \times 10,75\text{m}=273,05 \text{ KN/m}^2$$

$$H=1,5 \text{ m}$$

$$a/b=1/1=1$$

$$z1/b=7,25/1=7,25$$

$I_\sigma=0,01$ (από νομογράφημα)

$$\Delta\sigma=4 \times q \times I_\sigma=4 \times 150(\text{KN/m}^2) \times 0,014=8,4 \text{ KN/m}^2$$

$$S2 = (C_c \times H) / (1 + e_o) \times \log_{10} ((\sigma_0 + \Delta\sigma) / \sigma_0) \Rightarrow$$

$$S2 = (1,5 \times 0,37) / (1 + 0,7) \times \log_{10} \{(273,05 + 8,4) / 273,05\} \Rightarrow$$

$$S2 = 0,33 \times \log_{10}(1,031) \Rightarrow S2 = 4,375 \times 10^{-3} = 0,438 \text{ cm}$$

$$\text{Άρα } S_{\text{ολ.}} = S1 + S2 = 0,715 + 0,438 = \mathbf{1,15 \text{ cm}}$$

Παρατηρείται ότι στις τρεις δοκιμές που έγιναν, οι καθιζήσεις που παρουσιάστηκαν είναι πολύ μικρές. Στην πρώτη δοκιμή η καθίζηση είναι 0,35 cm, στην δεύτερη 0,78 cm και στην τρίτη 1,15 cm. Αυτό οφείλεται στο σχετικά μεγάλο βάθος, στο οποίο βρίσκεται το στρώμα που εξετάζεται. Αυτό έχει ως συνέπεια το μέγεθος του θεμελίου σε σχέση με την τάση που του ασκείται κάθε φορά, να μην προκαλεί μεγάλες και επικίνδυνες καθιζήσεις.

3.11.ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Για την υλοποίηση της δοκιμής της φέρουσα ικανότητας εδάφους τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- $B = 2 \text{ m}$
- $L = 2 \text{ m}$
- $D_f = 3 \text{ m}$
- $\gamma = 20,1 \text{ KN/m}^3$
- $\varphi = 18^\circ$
- $N_c = 15,12$ (από νομογράφημα Σχ.2.1)
- $N_q = 6,04$ (από νομογράφημα Σχ.2.1)
- $N_\gamma = 2,59$ (από νομογράφημα Σχ.2.1)
- $c = 17,7 \text{ KN/m}^2$

$$q = 1.3 \times c \times N_c + \gamma_\alpha \times D_f \times N_q + 0.4 \times B \times \gamma_\kappa \times N_\gamma \Rightarrow$$
$$\Rightarrow q = 1,3 \times 17,7 \times 15,12 + 20,1 \times 3 \times 6,04 + 0,4 \times 20,1 \times 2 \times 2,59 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow q = 347,91 + 364,21 + 41,65 \Rightarrow q = 753,77 \text{ KN/m}^2$$

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

Αντικείμενο έρευνας της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφορά δείγματος μαργαϊκού σχηματισμού της περιοχής Ηρακλείου Κρήτης. Το κείμενο της εργασίας περιλαμβάνει τέσσερα κεφάλαια εκ των οποίων το πρώτο είναι εισαγωγικό, το δεύτερο θεωρητικό, το τρίτο πειραματικό και το τέταρτο παραθέτονται τα συμπερασματικά σχόλια.

Το ειδικό βάρος γ_s του δείγματος υπολογίστηκε $2,54 \text{ gr/cm}^3$ ενώ στην Ancara $2,66 \text{ gr/cm}^3$ και στο Burayu Town $2,74 \text{ gr/cm}^3$. Από την σύγκριση προκύπτει ότι το δείγμα H1 που ερευνήθηκε είναι άργιλος ή άμμος με οργανικές προσμίξεις ενώ τα άλλα εδάφη είναι άργιλος ή άμμος συνήθους σύστασης. Εν συνεχεία ο δείκτης πλαστικότητας υποδεικνύει ότι το δείγμα είναι έδαφος μεγάλης πλαστικότητας (τείνει προς έδαφος μεσαίας πλαστικότητας, κοντά στο χαμηλότερο όριο). Σε σύγκριση με παρόμοια αργιλικά εδάφη (Burayu Town, Gbalahi, Wayamba, Taha, Ancara) το δείγμα H1 παρουσιάζει αρκετά μεγαλύτερη αντοχή. Από την δοκιμή της κοκκομετρικής ανάλυσης υπολογίστηκε ότι η άργιλος, η ιλύς και η άμμος έχουν σχεδόν το ίδιο ποσοστό αναλογίας. Άρα προκύπτει ότι το δείγμα H1 είναι αργιλοπηλώδες ενώ στα Burayu Town, Clemson, Gbalahi, Wayamba, Taha τα εδάφη είναι αργιλώδη. Σύμφωνα με την κατάταξη εδαφών κατά A.A.S.H.T.O. το δείγμα H1 ανήκει στην κατηγορία A7-5 όπως και το έδαφος στο Burayu Town της Αιθιοπίας. Προκύπτει ότι είναι έδαφος μέτριο προς κακό για θεμελίωση οδών (περιλαμβάνει υλικά που έχουν μέτριους δείκτες πλαστικότητας συγκριτικά με το όριο υδαρότητας τους και που μπορούν να είναι πολύ πλαστικά, υπόκεινται σε μεγάλες μεταβολές όγκου). Σύμφωνα με την κατάταξη εδαφών κατά A.S.T.M. το δείγμα H1 ανήκει στην κατηγορία OH ή MH ενώ στο Burayu Town και στην Ancara τα εδάφη κατατάχθηκαν στην κατηγορία CH. Το δείγμα H1 είναι κακό ως υπόστρωμα θεμελίου, ακατάλληλο για υπόβαση και βάση θεμελίου και έχει πολύ μέτρια φέρουσα ικανότητα. Αντίστοιχα τα εδάφη της κατηγορίας CH είναι κακά έως μέτρια ως υπόστρωμα θεμελίου, ακατάλληλα για υπόβαση και βάση θεμελίου και έχουν μέτρια έως πού μέτρια φέρουσα ικανότητα. Εν συνεχεία, υπολογίστηκε μικρή γωνία εσωτερικής τριβής και συμπεραίνεται ότι το έδαφος είναι κορεσμένο. Για τον λόγο αυτό προκύπτει παρόμοιο αποτέλεσμα στη συνοχή της ανεμπόδιστης θλίψης με την συνοχή της άμεσης διάτμησης.

Προκύπτει ότι στις δοκιμές που έγιναν, οι καθιζήσεις που καταγράφηκαν είναι πολύ μικρές συνεπώς το μέγεθος του θεμελίου σε σχέση με την τάση που του ασκείται δεν προκαλεί μεγάλες και επικίνδυνες καθιζήσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αναγνωστόπουλος, Α. και Παπαδόπουλος, Β., 2011. Επιφανειακές Θεμελιώσεις και Θεμελιώσεις με Πασσάλους, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
- Γ.Γ.Δ.Ε.(Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων), 2006. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, Έκδοση διεύθυνσης ερευνών εδαφών, Αθήνα.
- Γεωργιάδης, Κ. και Γεωργιάδης, Μ., 2009. Στοιχεία Εδαφομηχανικής, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Αθήνα.
- Γκαζέτας, Γ., 2004. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, Εκδόσεις Ε.Μ.Π. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Αθήνα.
- Γκούμα, Ε., 2017. Συγκριτική και μελέτη συμπίεσότητας C_c , πειραματικών δεδομένων και εμπειρικών σχέσεων, Πτυχιακή Εργασία, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα, 117σελ.
- Γραμματικόπουλος, Ι., Μάνου, Ν., Παπαχαρίσης, Ν., 1999. Γεωτεχνική Μηχανική, Εκδόσεις Αφ. Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Γραμματικόπουλος, Ι., Μάνου, Ν. και Χατζηγώγος, Θ., 2015. Εδαφομηχανική Ασκήσεις και Προβλήματα, Εκδόσεις Αφ. Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Καββαδάς, Μ., 2009. Στοιχεία Εδαφομηχανικής, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
- Κολέτσος, Κ., 2004. Γεωτεχνική Μηχανική, Εκδόσεις University Studio Press, Αθήνα.
- Λαγιώτη, Χ. και Σπηλιωτόπουλου, Κ., Βαλαλάς, Δ., 1996. Εδαφομηχανική, Εκδόσεις Αφ. Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Λουπασάκης, Κ., 2013. Εδαφομηχανική και Στοιχεία Θεμελιώσεων, Αθήνα.
- Πλαστήρα, Β., 2011. Σημειώσεις εργαστηρίου εδαφομηχανικής, Αθήνα.
- Πλαστήρα, Β., 2010. Σημειώσεις θεωρίας εδαφομηχανικής, Αθήνα.
- Χρηστάρας, Β., 2001. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.
- Atkinson, J., 2007. The Mechanics of Soils and Foundations, Εκδόσεις CRC Press, Φλόριντα.

- Barnes, G., 2005. Εδαφομηχανική - Αρχές και Εφαρμογές, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
- Bossard, M., Feranec, J., Otahel, J., 2000. Corine Land Cover Technical Guide-Addendum, Copenhagen.
- Bowles, J., 2009. Θεμελιώσεις, Εκδόσεις Φούντας, Αθήνα.
- Hester, J., 2011. Measuring clay property variation and effects on ceramic pot filter performance, MSc Thesis, M.I.T., Massachusetts, 87pag.
- Hirpasa, W., 2015. Investigation on the engineering properties of soil found in Burayu Town, MSc Thesis, Addis Ababa Institute of Technology, Addis Ababa, 131pag.
- Maghsoudloo, A., 2013. Nonlinearity of the residual shear strength envelope in stiff clay, MSc Thesis, Middle East Technical University, Ancara, 119pag.
- Stiegler, R., 1985. ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, Αθήνα.
- Yaski, S., 2008. Quantitative modeling of soil properties based on composition and application to dynamic tire testing, MSc Thesis, Clemson University, Greenville, 114pag.

Διαδικτυακές πηγές

<http://users.ntua.gr/kavvadas/Books/books.htm>

https://moodle.uniwa.gr/pluginfile.php/44641/mod_resource/content/1/%CE%94%CE%9F%CE%9A%CE%99%CE%9C%CE%95%CE%A3%20%CE%95%CE%94%CE%91%CE%A6%CE%9F%CE%9C%CE%97%CE%A7%CE%91%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3.pdf

<https://docplayer.gr/58174-Simeioseis-e-afomihanikis.html>

<http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/edafo/%CE%95%CE%B4%CE%B1%CF%86%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%A3%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%B1%20%CE%98%CE>

[%B5%CE%BC%CE%B5%CE%BB%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CF%89%CE%BD_%CE%95%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE.pdf](#)
<http://edafomichaniki.weebly.com/uploads/5/3/4/7/5347998/kefalaio5.pdf>
<http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12615551/index.pdf>
<http://etd.aau.edu.et/bitstream/handle/123456789/4376/Wubshet%20Hirpasa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<https://pdfs.semanticscholar.org/ce24/fe9bc1b0a6b132d2505b011e042645abeb38.pdf>
http://web.mit.edu/watsan/Docs/Student%20Theses/Ghana/2011/Thesis_Joshua%20Hester_FINAL_12-22-11.pdf
<http://repository.teiwest.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4970/%CE%A3%CE%A5%CE%93%CE%9A%CE%A1%CE%99%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97%20%CE%9C%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%A4%CE%97%20%CE%A3%CE%A5%CE%9D%CE%A4%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%A3%CE%A4%CE%97%20%CE%A3%CE%A5%CE%9C%CE%A0%CE%99%CE%95%CE%A3%CE%A4%CE%9F%CE%A4%CE%97%CE%A4%CE%91%CE%A3%20Cc%2C%20%CE%A0%CE%95%CE%99%CE%A1%CE%91%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%A9%CE%9D%20..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Κοροβέσης Παναγιώτης Ναύτου
Μαρίκου Παναγιώτης του Αλεξάνδρου, φοιτητής του
 Τμήματος Πολιτικών Μεταπτυχιακών του Πανεπιστημίου Δυτικής
 Αττικής, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα
 παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του
 Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο
 από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα
 Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο
 συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ιδρυμα του έχει απονείμει
 Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα
 απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα
 και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρωθεί εντός
 τουλάχιστον ενός ημερολογιακού μήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της.».

Ο Δηλών




Ημερομηνία

26/9/19