



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

**ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΘΑΡΩΝ ΑΜΜΩΝ ΣΤΗΝ ΑΜΕΣΗ
ΔΙΑΤΜΗΣΗ**



Της φοιτήτριας :
Αποστολάκη Στεφανία

Υπό την επίβλεψη της:
Καλλιόγλου Πολυξένη, Λέκτορας

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολικού Μηχανικού

2016

© 2016 Αποστολάκη Στεφανία

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση της εν λόγω διπλωματικής εργασίας αξίζουν τις θερμές μου ευχαριστίες μια σειρά από πρόσωπα.

Πρωτίστως, θέλω να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια της διπλωματικής εργασίας μου, Λέκτορα κα Πολυξένη Καλλιόγλου, την οποία ξεχώρισα κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου για τις γνώσεις στα θέματα της εδαφομηχανικής, τη μεθοδικότητα και τη μεταδοτικότητά της, για τη πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Ιδιαίτερως ευχαριστώ και τα υπόλοιπα μέλη της κριτικής επιτροπής, , για τις υποδείξεις τους.

Επίσης ευχαριστώ και τους υπόλοιπους καθηγητές του τμήματός μου για τη προηγηθείσα εκπαιδευτική διαδικασία από την οποία προσκόμισα τις μέχρι στιγμής γνώσεις μου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερως τον Καθηγητή κ. Φίλιππο Περδικάρη που μου επέτρεψε να χρησιμοποιήσω μέρος του εξοπλισμού του Εργαστηρίου Τεχνολογίας και Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος για την ολοκλήρωση της μελέτης μου.

Οφείλω ευχαριστίες στις συναδέλφους μου Τύρη Δανάη και Κουλαουζίδου Κική για την υποστήριξή τους σε τεχνικά θέματα του εργαστηριακού μέρους της εργασίας.

Ευχαριστώ τους φίλους και συναδέλφους μου Ζησοπούλου Ασημίνα και Γεωργίου Χρήστο για την ηθική υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της προπτυχιακής μας εκπαίδευσης.

Πάνω από όλα είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Μαρία και Εμμανουήλ Αποστολάκη και την αδερφή μου Σμαράγδα, για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους. Αφιερώνω την παρούσα διπλωματική εργασία στην οικογένειά μου.

Αποστολάκη Στεφανία

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΘΑΡΩΝ ΑΜΜΩΝ ΣΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Αποστολάκη Στεφανία

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών , 2016

Υπό της επίβλεψη της: Καλλιόγλου Πολυξένη, Λέκτορας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μια από τις βασικότερες παραμέτρους σχεδιασμού έργων πολιτικού μηχανικού αποτελεί η διατμητική αντοχή των εδαφών. Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η συμπεριφορά αμμωδών εδαφών σε άμεση διάτμηση και συσχετίζεται η παράμετρος αντοχής των άμμων με τις φυσικές τους ιδιότητες. Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας εκτελέστηκαν δοκιμές ταξινόμησης και δοκιμές άμεσης διάτμησης στη συσκευή του Εργαστηρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Μελετήθηκαν τρεις καθαρές άμμοι, η M31, η Toyoura και η Hostun. Μετά από τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών τους υποβλήθηκαν σε άμεση διάτμηση σε τρεις καταστάσεις πυκνότητας και σε τέσσερα επίπεδα ορθών τάσεων. Προσδιορίστηκε η διατμητική αντοχή τους στη κατάσταση αστοχίας και στην κρίσιμη κατάσταση η οποία συσχετήθηκε με τα φυσικά χαρακτηριστικά τους. Για το συσχετισμό αυτών των παραμέτρων έγινε επεξεργασία των αποτελεσμάτων στο πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης SPSS Statistics. Προσδιορίστηκαν σχέσεις μεταξύ της μέγιστης γωνίας τριβής, της κρίσιμης γωνίας τριβής και της γωνίας διασταλτικότητας με τη σχετική πυκνότητα του κάθε εδαφικού υλικού και μελετήθηκε η επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης των κόκκων.

SHEAR STRENGTH OF CLEAN SANDS IN DIRECT SHEAR TEST

Apostolaki Stefania

Department of Civil Engineering, University of Thessaly, 2016

Supervisor: Polyxeni Kallioglou, Lecturer

ABSTRACT

One of the most important design parameters in Civil Engineering is the soil strength. In this thesis, a study of clean sands in direct shear and the correlation of shear strength and their physical properties are presented. Direct shear tests were conducted at varying relative densities and vertical pressures on the direct shear apparatus of the Laboratory of Geotechnical Engineering in the University of Thessaly. Three clean sands were tested: M31, Toyoura and Hostun. The physical characteristics of these sands were determined and then shear strength was measured during failure and critical state. The internal friction angle was determined in these situations and the effect of the relative density was examined in Software SPSS Statistics, regarding the correlation of these parameters, in order to propose equations expressing the relationship between the maximum friction angle, the critical friction angle and the dilatancy with the relative density of the tested soils.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Σελίδα
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	xi
Κεφάλαιο 1.....	1
Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Οργάνωση διπλωματικής εργασίας.....	2
Κεφάλαιο 2.....	3
Δοκιμή άμεσης διάτμησης.....	3
2.1 Εισαγωγή.....	3
2.2 Ιστορική ανασκόπηση.....	3
2.3 Διατμητική αντοχή και κριτήρια αστοχίας.....	4
2.4 Αρχές δοκιμής άμεσης διάτμησης.....	6
2.5 Περιορισμοί και πλεονεκτήματα της δοκιμής.....	7
2.6 Διατμητική αντοχή άμμου.....	8
2.6.1 Πυκνή άμμος.....	9
2.6.2 Χαλαρή άμμος.....	9
2.6.3 Σύγκριση μεταξύ χαλαρών και πυκνών άμμων.....	10
2.6.4 Κατάσταση αστοχίας και κρίσιμη κατάσταση.....	10
Κεφάλαιο 3.....	17
Περιγραφή εξοπλισμού και διαδικασίας δοκιμών.....	17
3.1 Δοκιμή άμεσης διάτμησης.....	17
3.1.1 Εξοπλισμός και περιγραφή συσκευής.....	17
3.1.2 Βαθμονόμηση στη συσκευή άμεσης διάτμησης.....	19
3.1.2.1 Διαστάσεις δοκιμίου.....	19
3.1.2.2 Βαθμονόμηση της δυναμοκυψέλης.....	20
3.1.2.3 Συμπιεστικότητα του συστήματος.....	21
3.1.3 Λειτουργία καταγραφικού συστήματος.....	22
3.1.4 Προετοιμασία δοκιμών.....	25
3.1.5 Διαδικασία δοκιμής.....	26
3.1.6 Ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών.....	29
3.2 Δοκιμές ταξινόμησης.....	35
3.2.1 Κοκκομετρική ανάλυση.....	35
3.2.2 Ειδικό βάρος των στερεών κόκκων.....	37
3.2.3 Ελάχιστη και μέγιστη πυκνότητα.....	38
3.2.3.1 Ελάχιστη πυκνότητα.....	38
3.2.3.2 Μέγιστη πυκνότητα.....	40
3.2.4 Ορυκτολογική σύσταση των κόκκων.....	42
Κεφάλαιο 4.....	73
Μελετηθέντα εδάφη- Πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών.....	73
4.1 Γενικά.....	73
4.2 Μελετηθέντα εδάφη.....	73
4.2.1 Φυσικά χαρακτηριστικά εδαφών.....	73
4.3 Πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών.....	77
4.3.1 Δοκιμές άμεσης διάτμησης για τον προσδιορισμό της αντοχής του εδάφους.....	77
4.3.2 Δοκιμές άμεσης διάτμησης για την επίδραση του ρυθμού παραμόρφωσης.....	78
4.3.3 Δοκιμές άμεσης διάτμησης για την επίδραση της χρήσης.....	78

οδοντωτών πλακών.....	
Κεφάλαιο 5.....	97
Αποτελέσματα δοκιμών.....	97
5.1 Καθαρή άμμος M31.....	97
5.1.1 Χαλαρή κατάσταση.....	97
5.1.2 Μέσης πυκνότητας κατάσταση.....	97
5.1.3 Πυκνή κατάσταση.....	97
5.1.4 Επίδραση της σχετικής πυκνότητας στη διατμητική αντοχή.....	97
5.1.5 Επίδραση του ρυθμού παραμόρφωσης.....	98
5.1.6 Επίδραση της χρήσης οδοντωτών πλακών.....	98
5.2 Καθαρή άμμος Toyoura.....	98
5.2.1 Χαλαρή κατάσταση.....	98
5.2.2 Μέσης πυκνότητας κατάσταση.....	98
5.2.3 Πυκνή κατάσταση.....	98
5.2.4 Επίδραση της σχετικής πυκνότητας στη διατμητική αντοχή.....	99
5.3 Καθαρή άμμος Hostun.....	99
5.3.1 Χαλαρή κατάσταση.....	99
5.3.2 Μέσης πυκνότητας κατάσταση.....	99
5.3.3 Πυκνή κατάσταση.....	99
5.3.4 Επίδραση της σχετικής πυκνότητας στη διατμητική αντοχή.....	99
Κεφάλαιο 6.....	137
Ανάλυση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα.....	137
6.1 Ανάλυση των αποτελεσμάτων.....	137
6.1.1 Καθαρή άμμος M31.....	137
6.1.2 Καθαρή άμμος Toyoura.....	137
6.1.3 Καθαρή άμμος Hostun.....	137
6.1.4 Μελέτη παραμέτρων επιρροής στη διατμητική αντοχή.....	138
6.2 Συμπεράσματα.....	138
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	159
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	161

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Τιμές του φ' για χαλαζιακούς κόκκους (Terzaghi and Peck, 1967).....	11
Πίνακας 2.2 Τυπικές τιμές της γωνίας τριβής φ' για μη συνεκτικά εδάφη σε ξηρή κατάσταση (Lambe and Whitman, 1979).....	11
Πίνακας 3.1 Αναλυτικές μετρήσεις των διαστάσεων του κιβωτίου και των εξαρτημάτων του.....	44
Πίνακας 3.2 Πίνακες υπολογισμού συμπιεστότητας συστήματος στη δοκιμή με ξηρούς πορόλιθους.....	45
Πίνακας 3.3 Πίνακες υπολογισμού συμπιεστότητας συστήματος στη δοκιμή με κορεσμένους πορόλιθους.....	47
Πίνακας 3.4 Στοιχεία διαμόρφωσης δοκιμίων.....	49
Πίνακας 3.5 Τοποθετούμενα νεκρά φορτία και τάση στερεοποίησης.....	49
Πίνακας 3.6 Σειρά τοποθέτησης κοσκίνων, αντιστοίχιση αριθμού κόσκινου και διαμέτρου.....	49
Πίνακας 3.7 Διαστάσεις μήτρας συμπύκνωσης.....	50
Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής ανάλυσης στη καθαρή άμμο M31...	79
Πίνακας 4.2 Αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής ανάλυσης στη καθαρή άμμο Toyoura.....	80
Πίνακας 4.3 Αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής ανάλυσης στη καθαρή άμμο Hostun.....	81
Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα δοκιμής ειδικού βάρους στερεών κόκκων καθαρής άμμου M31.....	82
Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα δοκιμής ειδικού βάρους στερεών κόκκων καθαρής άμμου Toyoura.....	82
Πίνακας 4.6 Αποτελέσματα δοκιμής ειδικού βάρους στερεών κόκκων καθαρής άμμου Hostun.....	82
Πίνακας 4.7 Ελάχιστη πυκνότητα με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα χωρίς νερό για την άμμο M31.....	83
Πίνακας 4.8 Ελάχιστη πυκνότητα με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα χωρίς νερό για την άμμο Toyoura.....	84
Πίνακας 4.9 Ελάχιστη πυκνότητα με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα χωρίς νερό για την άμμο Hostun.....	85
Πίνακας 4.10 Ελάχιστη πυκνότητα με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα με νερό για την άμμο M31.....	86
Πίνακας 4.11 Ελάχιστη πυκνότητα με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα με νερό για την άμμο Toyoura.....	86
Πίνακας 4.12 Ελάχιστη πυκνότητα με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα με νερό για την άμμο Hostun.....	86
Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα δοκιμής συμπύκνωσης στην καθαρή άμμο M31.....	87
Πίνακας 4.14 Χημική σύσταση της άμμου Hostun.....	89

Πίνακας 4.15 Συγκεντρωτικά στοιχεία για τα φυσικά χαρακτηριστικά των μελετηθέντων εδαφών.....	90
Πίνακας 4.16 Στοιχεία κύριων δοκιμών άμεσης διάτμησης.....	91
Πίνακας 4.17 Στοιχεία δοκιμών άμεσης διάτμησης για το προσδιορισμό της επίδρασης του ρυθμού παραμόρφωσης.....	92
Πίνακας 4.18 Στοιχεία Δοκιμών Άμεσης Διάτμησης για το προσδιορισμό της επίδρασης της χρήσης σχαρών.....	92
Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα δοκιμών άμεσης διάτμησης στην καθαρή άμμο M31.....	141
Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα δοκιμών άμεσης διάτμησης στην καθαρή άμμο Toyoura.....	142
Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα δοκιμών άμεσης διάτμησης στην καθαρή άμμο Hostun.....	143
Πίνακας 6.4 Τιμές της παραμέτρου αντοχής για την καθαρή άμμο M31.....	144
Πίνακας 6.5 Τιμές της παραμέτρου αντοχής για την καθαρή άμμο Toyoura.....	145
Πίνακας 6.6 Τιμές της παραμέτρου αντοχής για την καθαρή άμμο Hostun.....	146
Πίνακας 6.7 Τιμές των γωνιών τριβής ϕ'_{max} , ϕ'_{crit} και της διασταλτικότητας γ για τα μελετηθέντα εδάφη.....	147
Πίνακας 6.8 Αποτελέσματα δοκιμών άμεσης διάτμησης για την επίδραση του ρυθμού παραμόρφωσης.....	147

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 Διάταξη συσκευής άμεσης διάταξης του Collin (1946) α) γενική διάταξη, β) δυνάμεις στο τμήμα του δείγματος στο οποίο εφαρμόζεται η διάτμηση.....	11
Σχήμα 2.2 Γενική διάταξη και σύστημα επιβολής κατακόρυφου φορτίου στη συσκευή των Cooling και Smith (1934).....	12
Σχήμα 2.3 Γενική διάταξη κιβωτίου προσαρμοσμένου σε μια σύγχρονη συσκευή άμεσης.....	12
Σχήμα 2.4 Διάγραμμα του νόμου αστοχίας Coulomb για συνεκτικά εδάφη.....	12
Σχήμα 2.5 Διάγραμμα του νόμου αστοχίας Coulomb για μη-συνεκτικά εδάφη.....	13
Σχήμα 2.6 Στάδια δοκιμής άμεσης διάτμησης α) στερεοποίηση δοκιμίου β) διάτμηση δοκιμίου.....	13
Σχήμα 2.7 Καμπύλη διατμητικής τάσης- οριζόντιας μετατόπισης στη δοκιμή άμεσης διάτμησης.....	13
Σχήμα 2.8 Καμπύλη διατμητικής τάσης- οριζόντιας μετατόπισης για τρία δοκίμια υπό διαφορετικές ορθές τάσεις.....	14
Σχήμα 2.9 Διαδρομή τάσεων σε δοκιμή άμεσης διάτμησης.....	14
Σχήμα 2.10 Διατάραξη κόκκων α) σε μια πυκνή και β) σε μια χαλαρή άμμο κατά τη διάτμηση.....	14
Σχήμα 2.11 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της μεταβολής όγκου γ) του δείκτη πόρων, e, με την οριζόντια μετακίνηση για μια πυκνή και μια χαλαρή άμμο.....	15
Σχήμα 2.12 Επίδραση του δείκτη πόρων στη διατμητική αντίσταση της άμμου: α) Περιβάλλουσα Coulomb στη χαλαρή και πυκνή άμμο β) φ' ως προς τη σχετική πυκνότητα γ) δείκτης πόρων, e, ως προς τη σχετική πυκνότητα.....	15
Σχήμα 2.13 Συμπεριφορά χαλαρής και πυκνής άμμου σε δοκιμές με πλήρη στράγγιση	16
Σχήμα 3.1 Συσκευή άμεσης διάτμησης τύπου VJT9500 του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.....	50
Σχήμα 3.2 Φωτογραφία του κιβωτίου διάτμησης.....	50
Σχήμα 3.3 Διάταξη κατακόρυφου μηκυσιομέτρου και κοχλίες ρύθμισης.....	51
Σχήμα 3.4 Δυναμοκυψέλη και οριζόντιο μηκυσιόμετρο.....	51
Σχήμα 3.5 Διάταξη κατακόρυφου μηκυσιομέτρου και κοχλίες ρύθμισης.....	51
Σχήμα 3.6 Κιβώτιο διάτμησης α) κάτοψη β) τομή.....	52
Σχήμα 3.7 Επάνω: άνω και κάτω τμήμα του κιβωτίου διάτμησης. Εξαρτήματα κιβωτίου από πάνω αριστερά και με ωρολογιακή φορά: μεταλλική πλάκα βάσης, άνω και κάτω διάτρητες οδοντωτές μεταλλικές σχάρες, βίδες ανύψωσης, πορόλιθοι εμποτισμένοι σε απαερωμένο νερό, φίλτρα, μεταλλικό καπάκι κιβωτίου, κόκκινες βίδες ένωσης των τμημάτων του κιβωτίου.....	52
Σχήμα 3.8 Σειρά τοποθέτησης των εξαρτημάτων του κιβωτίου.....	53
Σχήμα 3.9 Μεταλλικές οδοντωτές πλάκες α) συμπαγείς β) διάτρητες γ) λεπτομέρεια.....	53
Σχήμα 3.10 Ολικό αφαιρούμενο ύψος.....	54

Σχήμα 3.11 Συσχέτιση του συνολικού φορτίου με την ένδειξη της δυναμοκυψέλης.....	54
Σχήμα 3.12 Καμπύλες συμπιεστότητας συστήματος στη δοκιμή με ξηρούς πορόλιθους	54
Σχήμα 3.13 Καμπύλες συμπιεστότητας συστήματος στη δοκιμή με κορεσμένους πορόλιθους.....	55
Σχήμα 3.14 Εικονίδιο του προγράμματος Clisp Studio στην επιφάνεια εργασίας.....	55
Σχήμα 3.15 Εμφάνιση των στοιχείων των φακέλων-υπορουτίνων της στερεοποίησης και της διάτμησης.....	55
Σχήμα 3.16 Επιλογή του χρόνου καθυστέρησης έναρξης των καταγραφών.....	56
Σχήμα 3.17 Επιλογή του χρόνου ανά τον οποίο θα γίνονται οι καταγραφές.....	56
Σχήμα 3.18 Επιλογή του μέγιστου χρόνου καταγραφών.....	56
Σχήμα 3.19 Εμφάνιση των καταγραφών στο στάδιο της στερεοποίησης.....	57
Σχήμα 3.20 Αυτόματο γράφημα στο στάδιο της στερεοποίησης.....	57
Σχήμα 3.21 Τρόπος επιλογής αξόνων γραφήματος χειροκίνητα.....	57
Σχήμα 3.22 Παράθυρο ρυθμού διατμητικής παραμόρφωσης.....	58
Σχήμα 3.23 Ορισμός χρόνου έναρξης των καταγραφών, χρόνου ανά τον οποίο θα γίνονται οι καταγραφές και χρονικού ορίου λήξης των καταγραφών στο στάδιο της διάτμησης.....	59
Σχήμα 3.24 Παράδειγμα ενδείξεων καταγραφών πριν και μετά την εκκίνηση των καταγραφών.....	60
Σχήμα 3.25 Αυτόματο γράφημα στο στάδιο της διάτμησης.....	60
Σχήμα 3.26 Προετοιμασία εξοπλισμού δοκιμής άμεσης διάτμησης.....	60
Σχήμα 3.27 Προσδιορισμός μετρηθέν ύψους με χρήση αναλογικού βαθύμετρου.....	61
Σχήμα 3.28 Ρύθμιση θέσης κιβωτίου (τέσσερα σημεία επαφής).....	61
Σχήμα 3.29 Οριζόντιωση βραχίονα.....	61
Σχήμα 3.30 Επαφή του κατακόρυφου μηκυνσιομέτρου με τον κοχλία που συνδέεται με το καπάκι.....	62
Σχήμα 3.31 Δεδομένα εδαφικού δείγματος.....	62
Σχήμα 3.32 Δεδομένα δοκιμίου- αρχικό δοκίμιο.....	63
Σχήμα 3.33 Δεδομένα δοκιμίου- τελικό δοκίμιο.....	63
Σχήμα 3.34 Δεδομένα στερεοποίησης.....	64
Σχήμα 3.35 Δεδομένα διάτμησης.....	65
Σχήμα 3.36 Συγκεντρωτικά όλων.....	67
Σχήμα 3.37 Με διόρθωση επιφάνειας.....	68
Σχήμα 3.38 Πραγματικός ρυθμός παραμόρφωσης.....	69
Σχήμα 3.39 Σειρά τοποθέτησης κοσκίνων στη κοκκομετρική ανάλυση.....	69

Σχήμα 3.40 Εξοπλισμός δοκιμής ειδικού βάρους στερεών κόκκων.....	70
Σχήμα 3.41 Εξοπλισμός δοκιμής ελάχιστης πυκνότητας με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα χωρίς νερό.....	70
Σχήμα 3.42 Εξοπλισμός δοκιμής ελάχιστης πυκνότητας με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα με νερό.....	70
Σχήμα 3.43 Εξοπλισμός δοκιμής πρότυπης συμπύκνωσης. Από αριστερά προς τα δεξιά: μεταλλική μήτρα, μεταλλική σφύρα συμπύκνωσης και εργαλείο ομαλοποίησης της επιφάνειας(μεταλλικός χάρακας).....	71
Σχήμα 3.44 Τυπική καμπύλη συμπύκνωσης Proctor για αμμώδη εδάφη(N. Σαμπατακάκης και Κούκης).....	71
Σχήμα 4.1 Φωτογραφίες της άμμου M31 από στερεοσκόπιο OLYMPUS SZ61 με τους φακούς (α) ×4,00 και (β) ×4,50.....	92
Σχήμα 4.2 Φωτογραφίες της άμμου M31 από μικροσκόπιο OLYMPUS BX51M με τους φακούς με μεγέθυνση ×10 (α) διεύθυνση α και (β) διεύθυνση β.....	92
Σχήμα 4.3 Φωτογραφίες της άμμου Toyoura από στερεοσκόπιο OLYMPUS SZ61 με τους φακούς (α) ×3,50 και (β) ×4,00.....	93
Σχήμα 4.4 Φωτογραφίες της άμμου Toyoura από μικροσκόπιο OLYMPUS BX51M με τους φακούς με μεγέθυνση (α) ×10 και (β) ×20.....	93
Σχήμα 4.5 Φωτογραφίες της άμμου Hostun από στερεοσκόπιο OLYMPUS SZ61 με τους φακούς (α) ×3,50 και (β) ×4,00.....	94
Σχήμα 4.6 Φωτογραφίες της άμμου Hostun από μικροσκόπιο OLYMPUS BX51M με τους φακούς με μεγέθυνση (α) ×10 και (β) ×20.....	94
Σχήμα 4.7 Κοκκομετρική καμπύλη καθαρής άμμου M31.....	95
Σχήμα 4.8 Κοκκομετρική καμπύλη καθαρής άμμου Toyoura.....	95
Σχήμα 4.9 Κοκκομετρική καμπύλη καθαρής άμμου Hostun.....	96
Σχήμα 4.10 Καμπύλη συμπύκνωσης Proctor για τη καθρή άμμο M31.....	96
Σχήμα 5.1 Μεταβολή α) της διαμνητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διαμνητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ)της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ηστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης χαλαρών δοκιμίων άμμου M31.....	100
Σχήμα 5.2 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διαμνητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διαμνητικής τάσης, τ/ση του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης χαλαρών δοκιμίων άμμου M31.....	101
Σχήμα 5.3 Μεταβολή α) της διαμνητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διαμνητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ)της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Η _{στερ} του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης μεσαίων πυκνοτήτων δοκιμίων άμμου M31.....	102
Σχήμα 5.4 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διαμνητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διαμνητικής τάσης, τ/ση του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης μέσης πυκνότητας δοκιμίων άμμου M31.....	103

Σχήμα 5.5 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ)της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ήστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πολύ πυκνών δοκιμίων άμμου M31.....	104
Σχήμα 5.6 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πυκνών δοκιμίων άμμου M31.....	105
Σχήμα 5.7 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ)της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ήστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου M31 σε τάση στερεοποίησης σ _n =50,13 kPa.....	106
Σχήμα 5.8 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ)της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ήστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου M31 σε τάση στερεοποίησης σ _n =97,36 kPa.....	107
Σχήμα 5.9 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ)της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ήστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου M31 σε τάση στερεοποίησης σ _n =197,43 kPa.....	108
Σχήμα 5.10 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ)της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ήστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου M31 σε τάση στερεοποίησης σ _n =398,92 kPa.....	109
Σχήμα 5.11 Μεταβολή α) της μέγιστης διατμητικής τάσης, τ _{max} και β) οριακής διατμητικής τάσης, τ _{crit} , με τη σχετική πυκνότητα στο σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της άμμου M31 με και χωρίς διόρθωση επιφάνειας.....	110
Σχήμα 5.12 Αποτελέσματα της επίδρασης του ρυθμού παραμόρφωσης. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ)της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ήστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης δοκιμίων άμμου M31 με πυκνότητα D _r =80-85% με διάφορους ρυθμούς παραμόρφωσης.....	111
Σχήμα 5.13 Αποτελέσματα της επίδρασης του ρυθμού παραμόρφωσης. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ)της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ήστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης δοκιμίων άμμου M31 με πυκνότητα D _r =95-100% με διάφορους ρυθμούς παραμόρφωσης	112
Σχήμα 5.14 Αποτελέσματα της επίδρασης της χρήσης οδοντωτών πλακών. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ)της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ήστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πολύ πυκνών δοκιμίων άμμου M31 με και χωρίς χρήση σχαρών	113
Σχήμα 5.15 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ)της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ήστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση,	114

ΔΗορ, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης μέσης πυκνότητας δοκιμίων άμμου Toyoura...

- Σχήμα 5.16** Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης μέσης πυκνότητας δοκιμίων άμμου Toyoura..... 115
- Σχήμα 5.17** Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ηστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πυκνών δοκιμίων άμμου Toyoura..... 116
- Σχήμα 5.18** Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πυκνών δοκιμίων άμμου Toyoura..... 117
- Σχήμα 5.19** Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ηστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πολύ πυκνών δοκιμίων άμμου Toyoura..... 118
- Σχήμα 5.20** Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πολύ πυκνών δοκιμίων άμμου Toyoura..... 119
- Σχήμα 5.21** Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ηστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Toyoura σε τάση στερεοποίησης $\sigma_p=50,13$ kPa..... 120
- Σχήμα 5.22** Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ηστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Toyoura σε τάση στερεοποίησης $\sigma_p=97.36$ kPa..... 121
- Σχήμα 5.23** Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ηστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Toyoura σε τάση στερεοποίησης $\sigma_p=197,43$ kPa..... 122
- Σχήμα 5.24** Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ηστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Toyoura σε τάση στερεοποίησης $\sigma_p=398,92$ kPa..... 123
- Σχήμα 5.25** Μεταβολή α) της μέγιστης διατμητικής τάσης, τ_{max} και β) οριακής διατμητικής τάσης, τ_{crit} , με τη σχετική πυκνότητα στο σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της άμμου Toyoura με και χωρίς διόρθωση επιφάνειας..... 124
- Σχήμα 5.26** Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση γ)της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Ηστερ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔΗορ, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης μέσης πυκνότητας δοκιμίων άμμου Hostun... 125
- Σχήμα 5.27** Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση του δοκιμίου με 126

την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{or} για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης μέσης πυκνότητας δοκιμίων άμμου Hostun.....

Σχήμα 5.28 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, $t/σ_γ$ της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{στερ}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{or} , για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πυκνών δοκιμίων άμμου Hostun..... 127

Σχήμα 5.29 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, $t/σ_γ$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{or} για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πυκνών δοκιμίων άμμου Hostun..... 128

Σχήμα 5.30 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, $t/σ_γ$ της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{στερ}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{or} , για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πολύ πυκνών δοκιμίων άμμου Hostun..... 129

Σχήμα 5.31 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, $t/σ_γ$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{or} για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πολύ πυκνών δοκιμίων άμμου Hostun..... 130

Σχήμα 5.32 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, $t/σ_γ$ της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{στερ}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{or} , κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Hostun σε τάση στερεοποίησης $\sigma_p=50,13$ kPa..... 131

Σχήμα 5.33 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, $t/σ_γ$ της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{στερ}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{or} , κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Hostun σε τάση στερεοποίησης $\sigma_p=97,36$ kPa..... 132

Σχήμα 5.34 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, $t/σ_γ$ της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{στερ}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{or} , κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Hostun σε τάση στερεοποίησης $\sigma_p=197,43$ kPa..... 133

Σχήμα 5.35 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, $t/σ_γ$ της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{στερ}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{or} , κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Hostun σε τάση στερεοποίησης $\sigma_p=398,92$ kPa..... 134

Σχήμα 5.36 Μεταβολή α) της μέγιστης διατμητικής τάσης, τ_{max} και β) οριακής διατμητικής τάσης, τ_{crit} , με τη σχετική πυκνότητα στο σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της άμμου Hostun με και χωρίς διόρθωση επιφάνειας..... 135

Σχήμα 6.1 Περιβάλλουσες αστοχίας Mohr-Coulomb α) στη κατάσταση αστοχίας και β) στη κρίσιμη κατάσταση για τη καθαρή άμμο M31..... 148

Σχήμα 6.2 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, ϕ'_{max} και β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, ϕ'_{crit} με σχετική πυκνότητα D_r για την καθαρή άμμο M31..... 148

Σχήμα 6.3 Περιβάλλουσες αστοχίας Mohr-Coulomb α) στη κατάσταση αστοχίας και β) στη κρίσιμη κατάσταση για τη καθαρή άμμο Toyoura..... 149

Σχήμα 6.4 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, ϕ'_{max} και β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, ϕ'_{crit} με σχετική πυκνότητα D_r για την καθαρή άμμο Toyoura..... 149

Σχήμα 6.5 Περιβάλλουσες αστοχίας Mohr-Coulomb α)στη κατάσταση αστοχίας και β) στη κρίσιμη κατάσταση για τη καθαρή άμμο Hostun.....	150
Σχήμα 6.6 Μεταβολή α)Της μέγιστης γωνίας τριβής, φ'_{max} και β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, φ'_{crit} με σχετική πυκνότητα D_r για την καθαρή άμμο Hostun.....	150
Σχήμα 6.7 Εύρη κοκκομετρικών καμπυλών για τα μελετηθέντα εδάφη.....	151
Σχήμα 6.8 Περιβάλλουσες Mohr-Coulomb α) για τη κατάσταση αστοχίας β) για τη κρίσιμη κατάσταση για τις άμμους M31, Toyoura και Hostun σε μέσης πυκνότητας κατάσταση.....	152
Σχήμα 6.9 Περιβάλλουσες Mohr-Coulomb α) για τη κατάσταση αστοχίας β) για τη κρίσιμη κατάσταση για τις άμμους Toyoura και Hostun σε πυκνή κατάσταση.....	152
Σχήμα 6.10 Περιβάλλουσες Mohr-Coulomb α) για τη κατάσταση αστοχίας β) για τη κρίσιμη κατάσταση για τις άμμους M31, Toyoura και Hostun σε πολύ πυκνή κατάσταση.....	152
Σχήμα 6.11 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, φ'_{max} β) της κρίσιμης γωνίας τριβής φ'_{crit} και γ) της γωνίας διασταλτικότητας , $\varphi'_{max}-\varphi'_{crit}$ με τη σχετική πυκνότητα, D_r για τις καθαρές άμμους M31, Toyoura και Hostun για ορθή τάση $\sigma_n=50,13$ kPa.....	153
Σχήμα 6.12 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, φ'_{max} β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, φ'_{crit} και γ) της γωνίας διασταλτικότητας , $\varphi'_{max}-\varphi'_{crit}$ με τη σχετική πυκνότητα, D_r για τις καθαρές άμμους M31, Toyoura και Hostun για ορθή τάση $\sigma_n=97,36$ kPa.....	154
Σχήμα 6.13 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, φ'_{max} β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, φ'_{crit} και γ) της γωνίας διασταλτικότητας , $\varphi'_{max}-\varphi'_{crit}$ με τη σχετική πυκνότητα, D_r για τις καθαρές άμμους M31, Toyoura και Hostun για ορθή τάση $\sigma_n=197,43$ kPa.....	155
Σχήμα 6.14 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, φ'_{max} β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, φ'_{crit} και γ) της γωνίας διασταλτικότητας , $\varphi'_{max}-\varphi'_{crit}$ με τη σχετική πυκνότητα, D_r για τις καθαρές άμμους M31, Toyoura και Hostun για ορθή τάση $\sigma_n=398,92$ kPa.....	156
Σχήμα 6.15 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, φ'_{max} β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, φ'_{crit} και γ) της γωνίας διασταλτικότητας, $\varphi'_{max}-\varphi'_{crit}$ με τη σχετική πυκνότητα, D_r για τις καθαρές άμμους M31, Toyoura και Hostun για τέσσερα επίπεδα τάσεων στερεοποίησης.....	157

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Βασική παράμετρος σχεδιασμού τεχνικών και γεωτεχνικών έργων είναι η αντοχή του εδάφους που τα στηρίζει, τα περιβάλλει ή για τα οποία έχει χρησιμοποιηθεί ως δομικό υλικό, καθώς ενδεχόμενη αστοχία του μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση των κατασκευών με σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες.

Ο προσδιορισμός της αντοχής του εδάφους και των παραμέτρων της πραγματοποιείται εκτελώντας εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές. Γενικά οι εργαστηριακές μέθοδοι παρουσιάζουν πλεονεκτήματα καθώς είναι οικονομικότερες και παρέχουν τη δυνατότητα παραμετρικών ελέγχων (πχ εκτέλεση δοκιμών σε διάφορα επίπεδα τάσεων, παραμορφώσεων και πυκνότητας του εδάφους).

Η δοκιμή άμεσης διάτμησης είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη εργαστηριακή δοκιμή προσδιορισμού διατμητικής αντοχής υπό το καθεστώς ορθής τάσης. Πρόκειται για μια γρήγορη και οικονομική μέθοδο.

Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν δοκιμές άμεσης διάτμησης σε καθαρές άμμους στη συσκευή που διαθέτει το Εργαστήριο Γεωτεχνικής Μηχανικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Επίσης ερευνήθηκαν και οι φυσικές ιδιότητες των καθαρών άμμων και συσχετήθηκαν με τη παράμετρο αντοχής τους, την γωνία εσωτερικής τριβής. Για την οπτική αναγνώριση των εδαφικών κόκκων των άμμων και χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός του Εργαστηρίου Τεχνολογίας και Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

1.2 Οργάνωση διπλωματικής εργασίας

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται συνοπτικά οι στόχοι της διπλωματικής εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 2 δίνεται ο ορισμός της διατμητικής αντοχής του εδάφους, τα κριτήρια αστοχίας και αναλύονται και οι βασικές αρχές στις οποίες στηρίζεται η Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται ο εξοπλισμός και η διαδικασία της δοκιμής άμεσης διάτμησης και των δοκιμών ταξινόμησης. Στη παρουσίαση της δοκιμής άμεσης διάτμησης περιγράφεται ο εξοπλισμός και η συσκευή, η προετοιμασία των δοκιμών, το μετρικό και καταγραφικό σύστημα, η διαδικασία της δοκιμής και η ανάλυση των αποτελεσμάτων της. Οι δοκιμές ταξινόμησης περιλαμβάνουν τις κοκκομετρικές αναλύσεις, το ειδικό βάρος στερεών κόκκων, την ελάχιστη και τη μέγιστη πυκνότητα και τη ορυκτολογική σύσταση των κόκκων.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι φυσικές ιδιότητες των μελετηθέντων εδαφών και το πρόγραμμα δοκιμών άμεσης διάτμησης.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των δοκιμών άμεσης διάτμησης των τριών άμμων που μελετήθηκαν. Μελετάται η μεταβολή της διατμητικής τάσης και της κατακόρυφης παραμόρφωσης με την οριζόντια παραμόρφωση των δοκιμίων και εξετάζεται η επίδραση της σχετικής πυκνότητας στην εδαφική αντοχή. Επίσης, μελετάται η επίδραση του ρυθμού παραμόρφωσης στη διατμητική αντοχή των άμμων.

Στο Κεφάλαιο 6 πραγματοποιείται η ανάλυση και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Προσδιορίζονται η μέγιστη γωνία τριβής φ'_{max} , η κρίσιμη γωνία τριβής φ'_{crit} , και η γωνιά διασταλτικότητας, γ , των μελετηθέντων εδαφών. Αξιολογείται η επίδραση της σχετικής πυκνότητας, D_r , των εδαφών στις παραπάνω παραμέτρους αντοχής. Επίσης μελετάται η επίδραση του σχήματος και της ορυκτολογικής σύστασης των κόκκων άμμου στη γωνία εσωτερικής τριβής των μελετηθέντων εδαφών.

Κεφάλαιο 2

Δοκιμή Άμεσης διάτμησης

2.1 Εισαγωγή

Το έδαφος που στηρίζει κάθε κατασκευή, ή που την περιβάλλει, δέχεται οριζόντια και κατακόρυφα φορτία. Λόγω των φορτίων που μεταφέρονται στο έδαφος δημιουργούνται εσωτερικές τάσεις και παραμορφώσεις στο έδαφος. Οι παραμορφώσεις σε ένα έδαφος έχουν τις εξής μορφές:

- Ελαστικές παραμορφώσεις, που είναι πολύ μικρές για τα συνήθη επίπεδα τάσεων
- Στερεοποίηση, κατά την οποία συμβαίνει εκροή νερού ή αέρα από το εδαφικό υλικό με αποτέλεσμα ο όγκος του να μεταβάλλεται
- Ολίσθηση και κύλιση των εδαφικών κόκκων, με αποτέλεσμα τμήμα του εδαφικού υλικού να ολισθαίνει ως προς την περιβάλλουσα μάζα

Όταν σε ένα έδαφος οι διατμητικές τάσεις υπερβαίνουν τη διατμητική αντοχή του, επέρχεται η κατάσταση αστοχίας όπου τμήμα του εδαφικού υλικού ολισθαίνει ως προς τη περιβάλλουσα μάζα. Η κατάσταση αστοχίας έχει καταστροφικές συνέπειες στα έργα του Πολιτικού Μηχανικού, επειδή συνοδεύεται από σημαντικές παραμορφώσεις που υπερβαίνουν τις αντοχές των συνήθων κατασκευών (Καββαδάς,2006).

2.2 Ιστορική ανασκόπηση

Κατά τη δοκιμή άμεσης διάτμησης ένα δοκίμιο του εδαφικού υλικού αρχικά στερεοποιείται υπό τη δράση ενός σταθερού κατακόρυφου φορτίου και στη συνέχεια υποβάλλεται σε διάτμηση. Τη συσκευή μιας τέτοιας δοκιμής επεξεργάστηκαν αρκετοί επιστήμονες κατά τη διάρκεια των προηγούμενων αιώνων. Η κεντρική ιδέα, όμως, πάνω στην οποία βασίστηκαν για να την διαμορφώσουν είναι η ίδια. Ακόμη και μια σύγχρονη συσκευή άμεσης διάτμησης διαμορφώθηκε απλώς βελτιώνοντας κάποια από τα μειονεκτήματα των παλαιότερων συσκευών.

Η πρώτη απόπειρα μέτρησης διατμητικής αντοχής εδαφών έγινε από του Γάλλο μηχανικό Alexandre Collin το 1846. Χρησιμοποίησε ένα κιβώτιο, διαχωρισμένο σε δύο μισά μέρη, στο οποίο ένα δοκίμιο διαστάσεων 40×40 mm υποβλήθηκε σε διπλή διάτμηση (δύο επιφάνειες διάτμησης) υπό κατακόρυφο φορτίο που εφαρμόστηκε μέσω ενός βραχίονα με χρήση νεκρών φορτίων (βαριδίων). Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η διάταξη μιας τέτοιας συσκευής.

Αργότερα, το 1915 ο μηχανικός Bell στην Αγγλία έκανε τις πρώτες μετρήσεις στη συσκευή που επινόησε ο ίδιος, η οποία πρέπει να υπήρξε πρότυπο για τις μεταγενέστερες συσκευές. Ήταν ο πρώτος που διεξήγαγε και δημοσίευσε

αποτελέσματα και συμπεράσματα από δοκιμές άμεσης διάτμησης σε διάφορους τύπους υλικών.

Το 1934 ένα απλό κιβώτιο διάτμησης με μια προκαθορισμένη επιφάνεια διάτμησης σχεδιάστηκε από τους Cooling και Smith στο Building Research Station κατά το τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 2.2. Σε αυτή τη συσκευή το κατακόρυφο φορτίο αυξανόταν προοδευτικά προσθέτοντας συνεχώς φορτία σε ένα δοχείο. Αυτό απαιτούσε ιδιαίτερα μεγάλη προσοχή από τον χειριστή έτσι ώστε να εξακριβωθεί το φορτίο για το οποίο συνέβαινε η αστοχία.

Ένα πιο σύγχρονο κιβώτιο διάτμησης σχεδιάστηκε από τον A. Casagrande στο Harvard το 1932 αλλά ποτέ δε δημοσιεύτηκαν λεπτομέρειες της εν λόγω συσκευής. Το 1936 ο Gilboy στο MIT (Massachusetts Institute of Technology) επινόησε μια διάταξη που επέβαλε με σταθερό ρυθμό μετακίνησης, χρησιμοποιώντας ένα κινητήρα, κάτι το οποίο υπερνίκησε τα μειονεκτήματα των μέχρι τότε επινοήσεων. Το 1942 ο Golder βελτίωσε περαιτέρω τη διάταξη αυτή.

Οι περισσότερες εμπορικές συσκευές διάτμησης ακόμη και σήμερα βασίζονται στις αρχές των παραπάνω εφευρέσεων και παρέχουν ένα ευρύ φάσμα ρυθμών διατμητικής παραμόρφωσης, από μερικά χιλιοστά το λεπτό μέχρι και 10000 φορές πιο αργά. Πλέον η επιβολή του ρυθμού διατμητικής παραμόρφωσης γίνεται ηλεκτρονικά μέσω προγράμματος στον υπολογιστή. Μια σύγχρονη συσκευή Άμεσης Διάτμησης έχει τη μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 2.3.

Έως σήμερα έχουν δημοσιευθεί πολλά άρθρα με διάφορα συμπεράσματα που προέκυψαν από δοκιμές άμεσης διάτμησης σε εδαφικά και βραχώδη υλικά. Η εταιρία ASTM (American Society for Testing and Material) έχει καθιερώσει πρότυπα γενικής αποδοχής για ένα ευρύ φάσμα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής, όπως και για τη δοκιμή άμεσης διάτμησης. Επίσης στον Ευροκώδικα 7– Γεωτεχνικού σχεδιασμού δίνονται σαφείς πληροφορίες και κανόνες για τη σωστή εκτέλεση της δοκιμής και την επεξεργασία των πληροφοριών που απορρέουν από αυτή. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία λήφθηκαν υπόψη και οι δύο κανονισμοί (πρότυπα αναφοράς: BS 1377:1990-7 , ASTM D3080-04).

2.3 Διατμητική αντοχή και κριτήρια αστοχίας

Ο εδαφικός σκελετός παραλαμβάνει τα εξωτερικώς επιβαλλόμενα φορτία με την ανάπτυξη ορθών και διατμητικών δυνάμεων μεταξύ των κόκκων. Έτσι, οι ολισθήσεις και οι κυλίσεις που συμβαίνουν μεταξύ των κόκκων επηρεάζει σημαντικά τη παραμόρφωση ενός εδάφους. Ιδιαίτερα στα αμμώδη εδάφη αποτελεί καθοριστικό παράγοντα. Ένας άλλος παράγοντας αντίστασης στη παραμόρφωση του εδάφους είναι η συνοχή, δηλαδή η «συγκόλληση» των κόκκων λόγω ηλεκτροχημικών ή άλλων δυνάμεων.

Η διατμητική αντοχή δεν αποτελεί μια μονοσήμαντη παράμετρο του εδάφους, αλλά εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων, όπως:

- τα χαρακτηριστικά των εδαφικών κόκκων (ορυκτολογική σύσταση, διάταξη, σχήμα, μέγεθος)

- ο δείκτης πόρων και η υγρασία
- η πιθανή διατάραξη του δείγματος λόγω δειγματοληψίας, μεταφοράς και αποθήκευσης
- το είδος της δοκιμής, το ρυθμό φόρτισης και τις συνθήκες στράγγισης κατά τη δοκιμή
- η αναπτυσσόμενη πίεση του νερού των πόρων
- το κριτήριο προσδιορισμού της διατμητικής αστοχίας

Η αστοχία επέρχεται σε ένα έδαφος όταν η διατμητική τάση που αναπτύσσεται υπερβεί τη διατμητική του αντοχή. Κατά τον Coulomb (1776) η διατμητική αντοχή χαρακτηρίζεται από δύο συνιστώσες. Η πρώτη είναι η συνοχή, που είναι ανεξάρτητη της ορθής τάσης και η δεύτερη εξαρτάται από την ορθή τάση, οφείλεται στην αλληλεπίδραση των εδαφικών κόκκων και είναι όμοια με τη τριβή. Η σχέση που διατυπώνει το κριτήριο αστοχίας Coulomb είναι

$$\tau_f = c + \sigma \cdot \tan\varphi \quad (2.1)$$

Όπου:

τ_f : διατμητική αντοχή του εδάφους

σ : ολική ορθή τάση στο επίπεδο διάτμησης

c : συνοχή

φ : γωνία τριβής

} Παράμετροι διατμητικής αντοχής του εδάφους

Η γραφική παράσταση του νόμου αστοχίας του Coulomb παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4 και είναι μια ευθεία με κλίση τη γωνία εσωτερικής τριβής, φ . Οι άμμοι χαρακτηρίζονται από μηδενική συνοχή. Έτσι, η μόνη παράμετρος από την οποία εξαρτάται η διατμητική αντοχή τους είναι η γωνία τριβής (Σχήμα 2.4). Στην εξίσωση του Coulomb οι παράμετροι δεν είναι εγγενείς ιδιότητες του εδάφους αλλά εξαρτώνται από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες ένα έδαφος οδηγείται σε αστοχία.

Ο Mohr (1900) παρατήρησε πως κατά την αστοχία ο κύκλος τάσεων εφάπτεται στην ευθεία Coulomb. Η κοινή εφαπτομένη των κύκλων Mohr κατά την αστοχία όμοιων δοκιμών σε διαφορετικές τάσεις είναι η περιβάλλουσα αστοχίας. Εκφράζει τη σχέση μεταξύ των διατμητικών και ορθών τάσεων κατά την αστοχία του εδάφους. Η διατμητική αντοχή του εδάφους συναρτήσει των ενεργών τάσεων εκφράζεται από τη σχέση Hvorslev- Coulomb (1937):

$$\tau_f = c + (\sigma - u) \cdot \tan\varphi = c + \sigma' \cdot \tan\varphi$$

Όπου:

σ' : ενεργή ορθή τάση στο επίπεδο διάτμησης

u : πίεση του νερού των πόρων

Οι παράμετροι c, φ εξαρτώνται από τον δείκτη πόρων του εδάφους κατά την αστοχία.

Ο προσδιορισμός των ενεργών τάσεων και συνεπώς της διατμητικής αντοχής του εδάφους προϋποθέτει τη δυνατότητα μέτρησης του νερού των πόρων.

2.4 Μέτρηση της διατμητικής αντοχής εδαφών

Η διατμητική αντοχή προσδιορίζεται εργαστηριακά μέσω διάφορων δοκιμών, όπως η τριαξονική δοκιμή, η δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης, η δοκιμή άμεσης διάτμησης και η δοκιμή πτερυγίου. Είναι προτιμότερο να προσδιορίζεται με διάφορα είδη δοκιμών. Αυτό συμβαίνει διότι η περιβάλλουσα αστοχίας επηρεάζεται από τις συνθήκες φόρτισης (ταχεία, βραδεία), την πυκνότητα του εδάφους, την ιστορία φόρτισης (υπερστερεοποίηση) και τη δυνατότητα στράγγισης (διαπερατά και αδιαπέρατα εδάφη).

Οι δοκιμές προσδιορισμού της διατμητικής αντοχής ταξινομούνται ως εξής:

- 1) χωρίς αποστράγγιση κατά τη διάρκεια της δοκιμής:
 - α) αστράγγιστη (ταχεία) δοκιμή UU (Unconsolidated Undrained), κατά την οποία το δοκίμιο φορτίζεται χωρίς να πραγματοποιηθεί στερεοποίηση και υποβάλλεται σε διάτμηση χωρίς στράγγιση
 - β) με στερεοποίηση και αστράγγιστη διάτμηση CU (Consolidated Undrained), κατά την οποία ένα δοκίμιο φορτίζεται υπό στραγγιζόμενες συνθήκες και αφού ολοκληρωθεί η στερεοποίησή του, υποβάλλεται σε διάτμηση χωρίς στράγγιση
- 2) με στερεοποίηση και διάτμηση υπό στραγγιζόμενες συνθήκες, δοκιμή CD (Consolidated Drained) στην οποία το δοκίμιο φορτίζεται υπό στραγγιζόμενες συνθήκες και αφού ολοκληρωθεί η στερεοποίησή του υποβάλλεται σε διάτμηση με βραδύ ρυθμό ώστε να είναι εφικτή η αποστράγγιση του δοκιμίου.

Ανάλογα με τις συνθήκες στράγγισης που επικρατούν στο πεδίο επιλέγεται και το κατάλληλο είδος δοκιμής.

2.5 Αρχές της Δοκιμής Άμεσης Διάτμησης

Η Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης είναι μια απλή, ευρέως χρησιμοποιούμενη δοκιμή προσδιορισμού της διατμητικής αντοχής. Προσδιορίζεται η γωνία τριβής καθώς το ένα τμήμα του εδάφους ολισθαίνει ως προς το άλλο υπό την επιβολή μιας σταθερά αυξανόμενης διατμητικής δύναμης και ταυτόχρονα επιβολή ενός σταθερού φορτίου κάθετου στην επιφάνεια ολίσθησης.

Οι παραπάνω συνθήκες φόρτισης επιτυγχάνονται εγκιβωτίζοντας το εδαφικό υλικό σε ένα άκαμπτο μεταλλικό κιβώτιο τετραγωνικής (πλευράς 60 mm) ή κυκλικής (διαμέτρου 63,5mm) διατομής, αποτελούμενο από δύο μέρη, το άνω και το κάτω. Για χονδρόκοκκα υλικά χρησιμοποιούνται και μεγαλύτερα δοκίμια σε ειδικές συσκευές άμεσης διάτμησης. Το κάτω μέρος του κιβωτίου ολισθαίνει ως προς το άνω με τη βοήθεια ενός μηχανισμού και έτσι επιβάλλεται διάτμηση στο δοκίμιο. Για την επιβολή της σταθερής κατακόρυφης δύναμης χρησιμοποιείται ένα ειδικό μεταλλικό πλαίσιο συνδεδεμένο με ένα μοχλοβραχίονα.

Η δοκιμή εκτελείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, επιβάλλεται στο δοκίμιο η κατακόρυφη τάση μέσω της τοποθέτησης των νεκρών φορτίων στο μοχλοβραχίονα. Στο δεύτερο στάδιο, μέσω της επιβολής μιας σταθερά αυξανόμενης διατμητικής δύναμης το κάτω μισό του κιβωτίου ολισθαίνει ως προς το άνω δημιουργώντας μια

προκαθορισμένη επιφάνεια διάτμησης. Στο Σχήμα 2.6 δίνεται σχηματικά μια σαφής εικόνα του κάθε σταδίου. Ανάλογα με τις συνθήκες στράγγισης στα δύο αυτά στάδια προκύπτουν τα είδη δοκιμών του Πίνακα 2.1

Η επιβαλλόμενη ορθή τάση στο δοκίμιο ορίζεται ως $\sigma_n = N/A$, όπου N: η κάθετη δύναμη στην επιφάνεια ολίσθησης και A: η διατομή του κιβωτίου διάτμησης. Κατά τη διάρκεια της διάτμησης μετράται η σχετική μετακίνηση των δύο τμημάτων του κιβωτίου που προκαλεί προοδευτική εφαρμογή της διατμητικής δύναμης F, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7 που παρουσιάζεται η καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης. Η επιβαλλόμενη διατμητική τάση, τ , στο δοκίμιο είναι ίση με $\tau = F/A$, όπου F η διατμητική δύναμη στο προκαθορισμένο επίπεδο διάτμησης. Στο σημείο B του Σχήματος 2.8 ενεργοποιείται η μέγιστη διατμητική τάση στην επιφάνεια ολίσθησης. Η τάση αυτή αποτελεί τη διατμητική αντοχή εδάφους στο συγκεκριμένο επίπεδο ορθής τάσης, σ_n . Μετά τη μέγιστη τάση, η διατμητική αντοχή μειώνεται καθώς επέρχεται θραύση.

Κατά τη διάρκεια της διάτμησης μετράται η οριζόντια μετατόπιση, καθώς και η κατακόρυφη μετατόπιση του δοκιμίου, που υποδεικνύει τη μεταβολή του όγκου του δοκιμίου κατά τη διάτμηση. Ο ρυθμός επιβολής της οριζόντιας μετατόπισης του κιβωτίου επιλέγεται πριν την έναρξη της διάτμησης και παραμένει σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της διάτμησης. Δηλαδή, η διάτμηση γίνεται υπό σταθερό ρυθμό παραμόρφωσης.

Συνήθως πραγματοποιούνται τρεις δοκιμές σε διαφορετικά δοκίμια (1,2 και 3) του ίδιου εδάφους, στα οποία επιβάλλονται διαφορετικές ορθές τάσεις ($\sigma_{n1} > \sigma_{n2} > \sigma_{n3}$), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8. Από κάθε καμπύλη διατμητικής τάσης- οριζόντιας μετατόπισης προσδιορίζεται η μέγιστη διατμητική τάση ($\tau_{f1} < \tau_{f2} < \tau_{f3}$) η οποία σχεδιάζεται ως προς την αντίστοιχη ορθή τάση ώστε να προκύψει η περιβάλλουσα Mohr- Coulomb (Σχήμα 2.9).

2.6 Περιορισμοί και πλεονεκτήματα της δοκιμής

Πλεονεκτήματα δοκιμής:

- η εκτέλεση ενός προγράμματος δοκιμών είναι απλή και γρήγορη
- η βασική αρχή της δοκιμής είναι εύκολα κατανοήσιμη
- η στερεοποίηση είναι σχετικά γρήγορη λόγω του μικρού πάχους των δοκιμίων
- η δοκιμή είναι εφαρμόσιμη σε χαλικώδη εδάφη και άλλα εδαφικά υλικά που περιέχουν πολύ χονδρούς κόκκους. Σε αυτή την περίπτωση συμφέρει πιο πολύ οικονομικά σε σχέση με άλλες δοκιμές.
- Υπολογίζεται η γωνία τριβής των εδαφών
- εκτός από τη μέγιστη διατμητική αντοχή στην αστοχία η συσκευή χρησιμοποιείται και για τη μέτρηση της παραμένουσας αντοχής.

Περιορισμοί δοκιμής:

- περιορισμένη ακρίβεια αποτελεσμάτων σε σχέση με άλλες δοκιμές, πχ δοκιμής τριαξονικής φόρτισης

- Το δείγμα είναι περιορισμένο να αστοχήσει σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο αστοχίας, που είναι οριζόντιο
- Η κατανομή των τάσεων και των παραμορφώσεων στην επιφάνεια διάτμησης δεν είναι ομοιόμορφη
- Είναι αδύνατος ο σχεδιασμός ενός μοναδικού κύκλου Mohr-Coulomb, για τον προσδιορισμό των κύριων τάσεων σ_1 και σ_3 , καθώς οι μόνες τάσεις που είναι γνωστές είναι αυτές του επιπέδου αστοχίας (σ_n, τ)
- Δεν μετράται η πίεση του νερού των πόρων και κατά συνέπεια δεν έχει τον πλήρη έλεγχο των συνθηκών στράγγισης του δοκιμίου. Για το λόγο αυτό η δοκιμή εφαρμόζεται κυρίως υπό αστράγγιστες συνθήκες
- Η παραμόρφωση που μπορεί να εφαρμοστεί στο έδαφος είναι περιορισμένη μέχρι τη μέγιστη διαδρομή που μπορεί να αναπτύξει η συσκευή
- Κατά την εκτέλεση της δοκιμής η επιφάνεια μεταξύ των δύο μισών του δοκιμίου μειώνεται

Η προκαθορισμένη επιφάνεια διάτμησης δεν είναι σταθερή, αλλά μειώνεται καθώς το κάτω μισό του κιβωτίου ολισθαίνει ως προς το άνω. Επομένως υπάρχει ανάγκη διόρθωσης της επιφάνειας. Ο Petley (1966) πρότεινε τον παρακάτω τύπο για τη διόρθωση επιφάνειας:

$$A = \pi R_0^2 - D_0^2(\Delta H_{\text{hor}}/D_0) \quad (2.3) \quad (\text{ASTM STP479} - 1970)$$

Όπου:

A: το εμβαδό της διορθωμένης επιφάνειας (mm^2)

R_0 : ακτίνα δοκιμίου (mm)

D_0 : διάμετρος δοκιμίου (mm)

ΔH_{hor} : οριζόντια παραμόρφωση (mm)

Οι τάσεις που προκύπτουν είναι μεγαλύτερες εφόσον η επιφάνεια στην οποία δρα η δύναμη, δηλαδή ο παρονομαστής, μειώνεται συνεχώς. Βέβαια η διατμητική και η κατακόρυφη τάση επηρεάζονται σε ίσες αναλογίες οπότε η επίδραση της διόρθωσης επιφάνειας στον νόμο Coulomb είναι αμελητέα οπότε παραλείπεται.

2.7 Διατμητική αντοχή άμμου

Η διατμητική αντοχή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι το μέγεθος (κοκκομετρία), το σχήμα (στρογγυλό, γωνιώδες) και η ορυκτολογική σύσταση των κόκκων, η υφή της επιφάνειας των κόκκων (τραχεία, λεία) και η εδαφική δομή (διάταξη κόκκων και εδαφικοί πόροι) και η περιεκτικότητα σε υγρασία. Η διατομή και η διάταξη των εδαφικών κόκκων μπορεί να εκφραστεί σε όρους πυκνότητας (ξηρή πυκνότητα ή ειδικό βάρος), δείκτη πόρων, e , πορώδες, n και με τη παράμετρο που καλείται σχετική πυκνότητα, D_r , που ορίζεται ως εξής:

$$D_r = \frac{(e_{\text{max}} - e)}{(e_{\text{max}} - e_{\text{min}})} \quad (2.4)$$

Όπου e_{max} και e_{min} οι τιμές του μέγιστου και του ελάχιστου δείκτη πόρων του εδαφικού υλικού αντίστοιχα.

Η διατμητική αντοχή κορεσμένων άμμων είναι παρόμοια με αυτή των ξηρών. Αυτό συμβαίνει αν η άμμος παραμένει κορεσμένη και αν είναι εφικτή η αποστράγγιση έτσι ώστε οι ολικές τάσεις να ισούνται με τις ενεργές.

2.7.1 Πυκνή άμμος

Η διάταξη των κόκκων στην πυκνή άμμο παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.10α. Όταν η διάτμηση λάβει χώρα στο επίπεδο ΧΧ και με την προϋπόθεση ότι οι κόκκοι δεν παραμορφώνονται ούτε θραύονται, εκείνοι που βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια ΧΧ θα αναγκαστούν να αναρριχηθούν πάνω από τους χαμηλότερα ευρισκόμενους κόκκους. Σε ότι αφορά στο μέγεθος των κενών των πόρων, ενδεικτικά αναφέρεται πως για μια τυπικά μετρίως πυκνή άμμο περίπου το 1/3 του συνολικού όγκου της είναι κενά. Κατά τη διάτμηση, λοιπόν, των πυκνών άμμων, η κίνηση αυτή των εδαφικών κόκκων παρουσιάζει διόγκωση του εδάφους. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διασταλτικότητα (dilatancy), η οποία προσδιορίζεται με τη μέτρηση της μετακίνησης της άνω πλάκας φόρτισης του δοκιμίου. Το μέγεθος της μεταβολής του όγκου του εδάφους κατά τη διάτμηση εξαρτάται από την αρχική πυκνότητα του εδάφους και τη κάθετη τάση

Για ένα πυκνό έδαφος η καμπύλη διατμητικής τάσης- οριζόντιας μετακίνησης έχει τη μορφή του Σχήματος 2.11α (Καμπύλη Π). Η διατμητική τάση αυξάνεται απότομα μέχρι τη μέγιστη τιμή της διατμητικής τάσης (peak) και στη συνέχεια ελαττώνεται. Η διαφορά μεταξύ της μέγιστης αντοχής και της χαμηλότερης τιμής, εκφρασμένη ως E_c , δηλώνει το επιπλέον έργο που απαιτείται για τη διόγκωση της άμμου.

Η αντίστοιχη καμπύλη μεταβολής του όγκου παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.11β (Καμπύλη Π). Η μικρή αρχική συστολή οφείλεται στην τάση των κόκκων να έρθουν πιο κοντά στην έναρξη της διάτμησης. Μετά τη διάτμηση οι κόκκοι γειτονικά στην επιφάνεια διάτμησης είναι σε λιγότερο πυκνή κατάσταση από ότι όταν ήταν αρχικά.

2.7.2 Χαλαρή άμμος

Η διάταξη των κόκκων της χαλαρής άμμου παρουσιάζεται γραφικά στο Σχήμα 2.10β. Όταν η διάτμηση λάβει χώρα στο επίπεδο ΥΥ, προκαλείται κατάρρευση στην αρχική χαλαρή διάταξη κόκκων, καθώς οι κόκκοι ολισθαίνουν στους πόρους και τείνουν να καλύψουν τα κενά. Αυτό προκαλεί μείωση του όγκου (συμπύεση), η οποία μετράται με τη προς τα κάτω μετακίνηση της άνω πλάκας φόρτισης του δοκιμίου. Σε στραγγιζόμενες συνθήκες, οι άμμοι που βρίσκονται σε χαλαρή κατάσταση τείνουν να αποβάλλουν νερό από τους πόρους, σε αντίθεση με τις άμμους που βρίσκονται σε πυκνή κατάσταση που τείνουν να προσροφήσουν νερό.

Η μορφή της καμπύλης διατμητικής τάσης- μετακίνησης για τις χαλαρές άμμους παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.11 (Καμπύλη Χ). Η καμπύλη αυτή είναι λιγότερο απότομη από την αντίστοιχη καμπύλη για πυκνές άμμους και η μέγιστη τιμή της είναι μικρότερη.

Η αντίστοιχη καμπύλη μεταβολής του όγκου παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.11β (Καμπύλη Χ). Στο τέλος της διάτμησης οι κόκκοι που βρίσκονται γειτονικά της επιφάνειας διάτμησης είναι σε πιο πυκνή κατάσταση από αυτή που βρισκόταν αρχικά.

2.7.3 Σύγκριση μεταξύ χαλαρών και πυκνών άμμων

Οι μεταβολές του όγκου σε όρους δείκτη πόρων για μια πυκνή (Καμπύλη Π) και μια χαλαρή (Καμπύλη Χ) άμμο παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.11γ. Παρατηρείται πως στο τέλος της διάτμησης οι δύο καμπύλες προσεγγίζουν μια κοινή τιμή του δείκτη πόρων e_{cr} (critical void ratio).

Η περιβάλλουσα αστοχίας για χαλαρή και πυκνή άμμο (Καμπύλες Χ και Π) προκύπτει από τα αποτελέσματα δοκιμών σε διάφορα επίπεδα ορθών τάσεων σ_n κατά το τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 2.12α. Όπως είναι λογικό, η γωνία εσωτερικής τριβής μιας χαλαρής άμμου είναι μικρότερη από αυτή της πυκνής ($\phi_x > \phi_\pi$). Ενδεικτικές τιμές της γωνίας τριβής για καθαρές άμμους δίνονται στους Πίνακες 2.1 και 2.2. Εκτελώντας δοκιμές σε ενδιάμεσες καταστάσεις πυκνότητας μπορεί να συσχετηθεί η γωνία τριβής, ϕ , με τη σχετική πυκνότητα, D_r , για κάθε άμμο. Οι αντίστοιχες μεταβολές του δείκτη πόρων, Δe , με τη πυκνότητα D_r παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.12γ. Η τομή της καμπύλης με τον άξονα της D_r εκφράζει τη τιμή της D_r στη κρίσιμη κατάσταση, καθώς σε αυτή την κατάσταση δεν πραγματοποιείται περεταίρω μεταβολή του δείκτη πόρων λόγω διάτμησης ($\Delta e=0$).

2.7.4 Κατάσταση αστοχίας και κρίσιμη κατάσταση

Στο Σχήμα 2.13 παρουσιάζονται τυπικά αποτελέσματα δοκιμών άμεσης διάτμησης μιας πυκνής (Π) και μιας χαλαρής (Χ) άμμου σε μια δεδομένη ορθή τάση σ_n .

Η Καμπύλη Π στο Σχήμα 2.10β, που αφορά την πυκνή άμμο, αυξάνεται απότομα μέχρι τη μέγιστη διατμητική τάση P και στη συνέχεια μειώνεται μέχρι μια τιμή (κρίσιμη κατάσταση). Στο Σχήμα 2.13α η τιμή της γωνίας τριβής που προσδιορίζεται για τη μέγιστη αντοχή της πυκνής άμμου είναι ϕ'_{max} , ενώ για την κρίσιμη αντοχή είναι ϕ'_{crit} . Αντίθετα, η γωνία τριβής στη χαλαρή άμμο αυξάνεται προοδευτικά μέχρι την τιμή ϕ'_{crit} μετά από σχετικά μεγάλη μετακίνηση.

Τόσο στην πυκνή όσο και στη χαλαρή άμμο παρατηρείται πως η κρίσιμη κατάσταση ο χαρακτηρίζεται από μια σταθερή μεταβολή του όγκου. Στην κρίσιμη κατάσταση, για δεδομένη ορθή τάση σ_n , η διάτμηση γίνεται υπό σταθερό όγκο. Η οριακή διατμητική αντοχή του εδάφους εξαρτάται μόνο από την ορθή τάση σ_n και όχι από τη σχετική πυκνότητα, D_r . Αντιθέτως, η μέγιστη διατμητική αντοχή εξαρτάται από τη πυκνότητα του εδάφους.

Η γωνία τριβής που αντιστοιχεί στη μέγιστη διατμητική αντοχή, ϕ'_{max} , είναι ίση με το άθροισμα της κρίσιμης γωνίας τριβής, ϕ'_{crit} και μιας γωνίας τριβής γ που συνήθως καλείται γωνία διασταλτικότητας:

$$\varphi'_{\max} = \varphi'_{\text{crit}} + \gamma \quad (2.6)$$

$\gamma > 0$ για πυκνές άμμους ($e_0 < e_{\text{crit}}$)

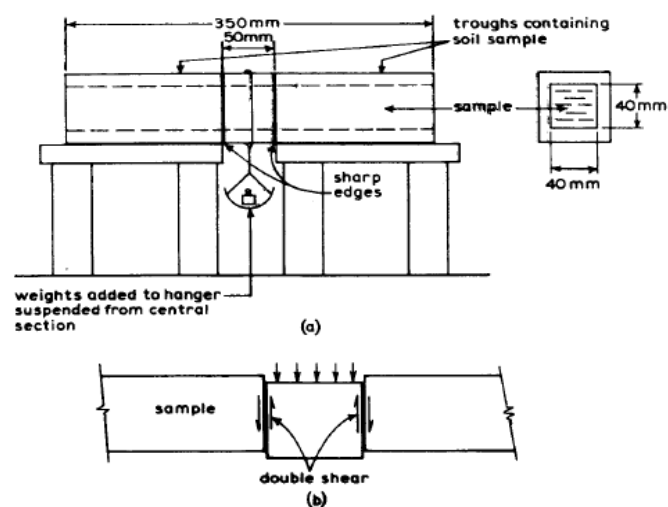
$\gamma < 0$ για πυκνές άμμους ($e_0 > e_{\text{crit}}$)

Πίνακας 2.1 Τιμές του φ' για χαλαζακούς κόκκους (Terzaghi and Peck, 1967)

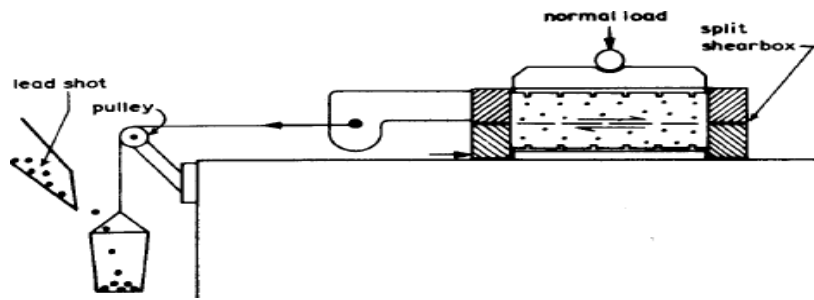
Μέγεθος κόκκων και κοκκομετρία υλικού	Γωνία τριβής (°)	
	Χαλαρή κατάσταση	Πυκνή κατάσταση
Στρογγυλοί, ανομοιόμορφοι	28	35
Γωνιώδεις, καλά διαβαθμισμένοι	34	45

Πίνακας 2.2 Τυπικές τιμές της γωνίας τριβής φ' για μη συνεκτικά εδάφη σε ξηρή κατάσταση (Lambe and Whitman, 1979)

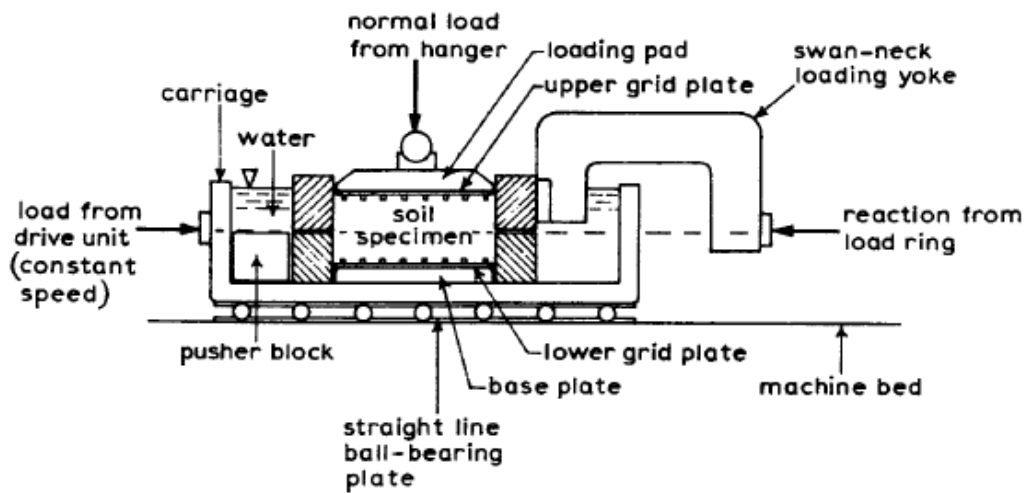
Τύπος εδάφους και κοκκομετρία	Γωνία τριβής (°)			
	Χαλαρή κατάσταση		Πυκνή κατάσταση	
	Στρογγυλοί κόκκοι	Γωνιώδεις κόκκοι	Στρογγυλοί κόκκοι	Γωνιώδεις κόκκοι
Άμμος -ανομοιόμορφη -καλά διαβαθμισμένη	30	35	37	43
	34	39	40	45
Αμμοχάλικο	36	42	40	48
Χαλίκια	35	40	45	50
Πλύς	28-32		30-35	



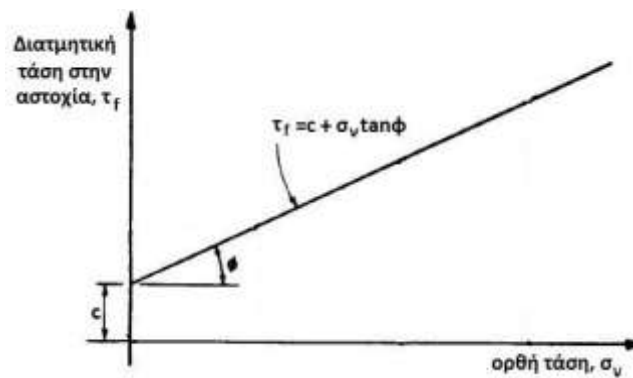
Σχήμα 2.1 Διάταξη συσκευής άμεσης διάταξης του Collin (1946) α)γενική διάταξη β) δυνάμεις στο τμήμα του δείγματος στο οποίο εφαρμόζεται η διάτμηση.



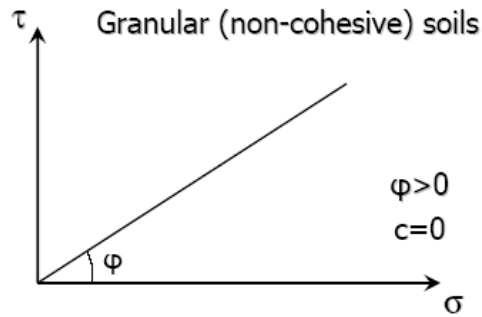
Σχήμα 2.2 Γενική διάταξη και σύστημα επιβολής κατακόρυφου φορτίου στη συσκευή των Cooling και Smith (1934)



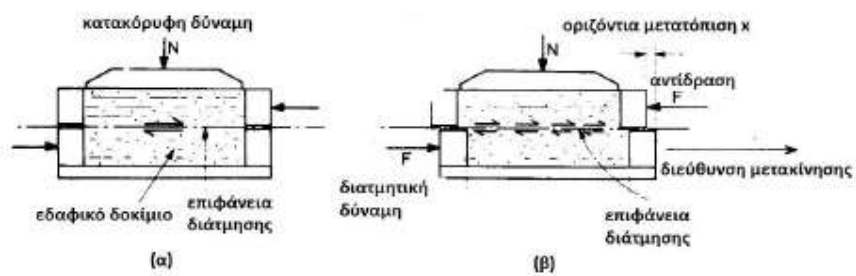
Σχήμα 2.3 Γενική διάταξη κιβωτίου προσαρμοσμένου σε μια σύγχρονη συσκευή άμεσης



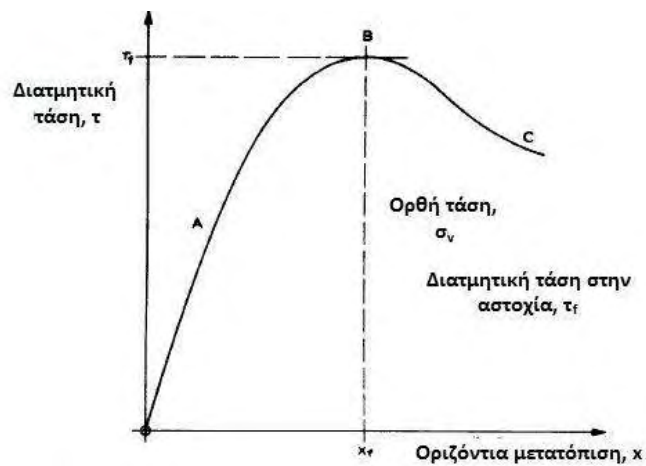
Σχήμα 2.4 Διάγραμμα του νόμου αστοχίας Coulomb για συνεκτικά εδάφη



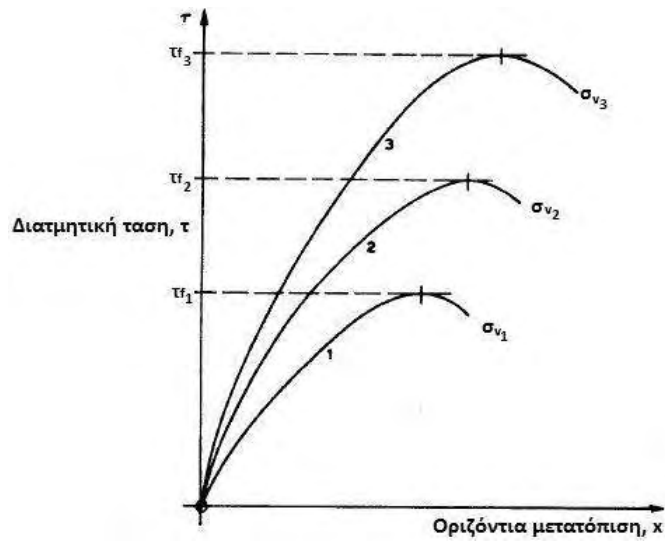
Σχήμα 2.5 Διάγραμμα του νόμου αστοχίας Coulomb για μη-συνεκτικά εδάφη



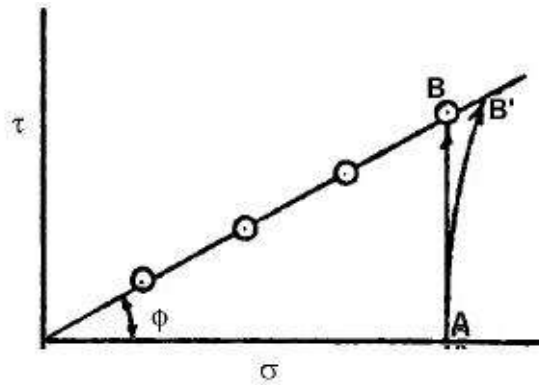
Σχήμα 2.6 Στάδια δοκιμής άμεσης διάτμησης α) στερεοποίηση δοκιμίου β) διάτμηση δοκιμίου



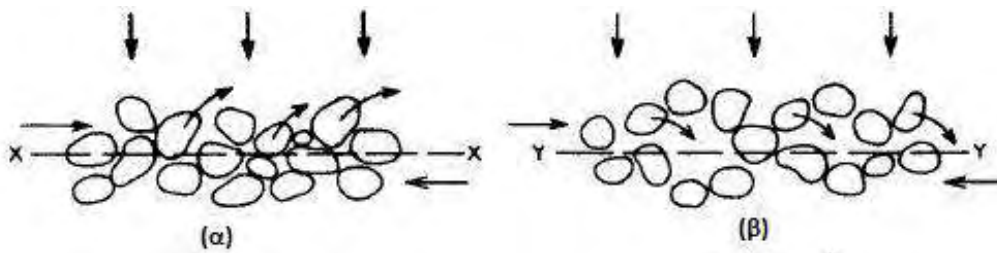
Σχήμα 2.7 Καμπύλη διατμητικής τάσης- οριζόντιας μετατόπισης στη δοκιμή άμεσης διάτμησης



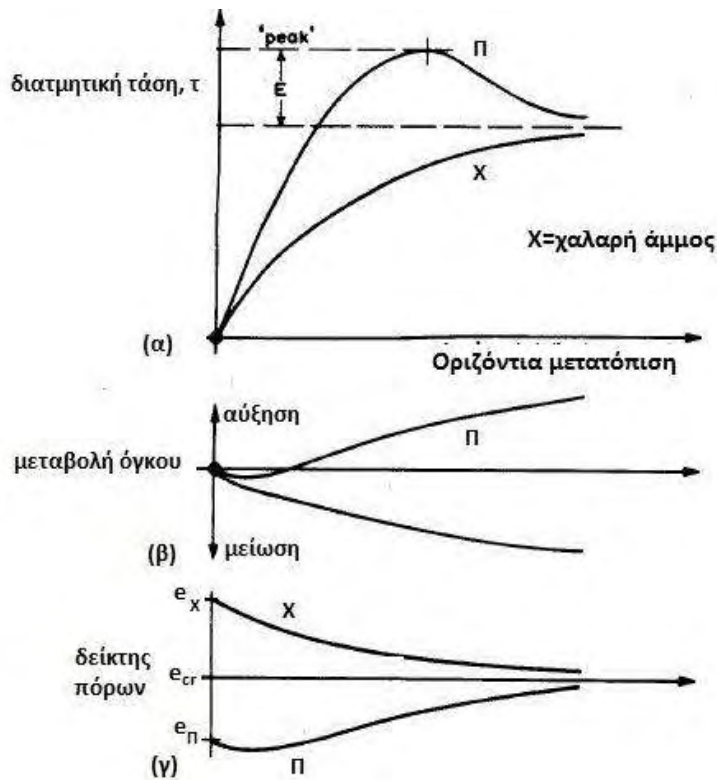
Σχήμα 2.8 Καμπύλη διατμητικής τάσης- οριζόντιας μετατόπισης για τρία δοκίμια υπό διαφορετικές ορθές τάσεις



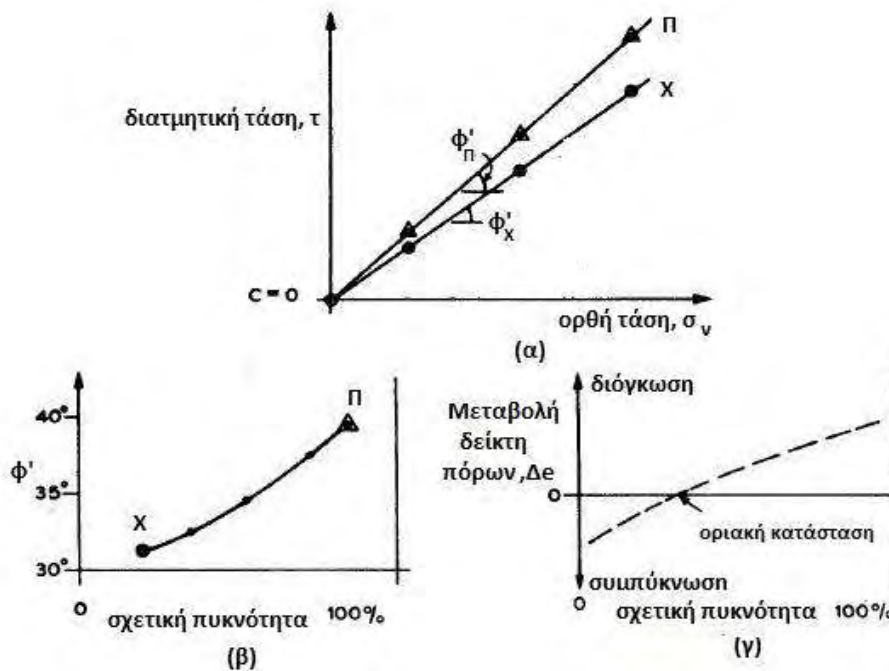
Σχήμα 2.9 Διαδρομή τάσεων σε δοκιμή άμεσης διάτμησης



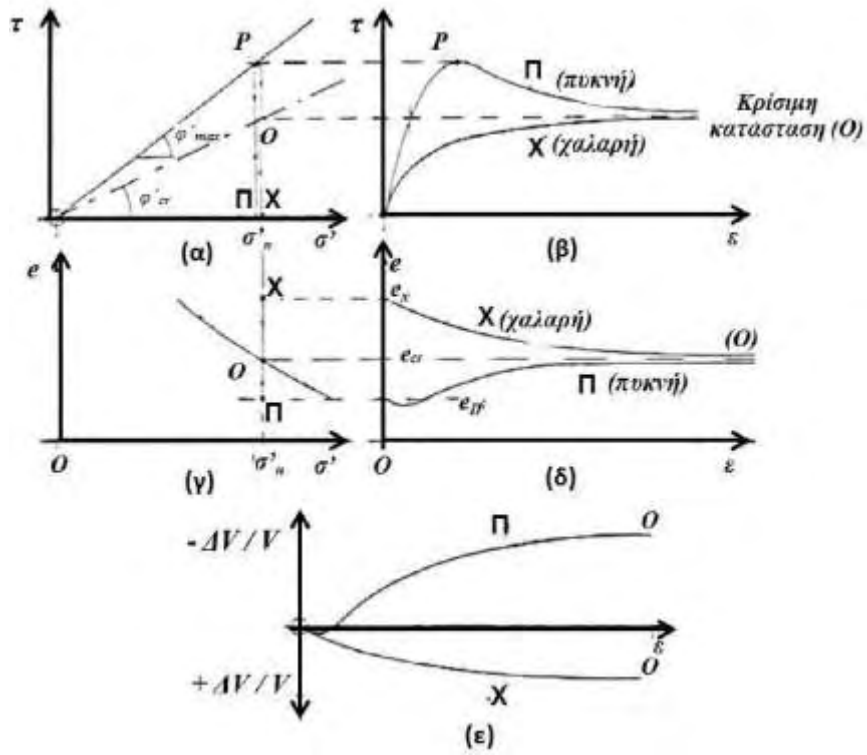
Σχήμα 2.10 Διατάραξη κόκκων α) σε μια πυκνή και β) σε μια χαλαρή άμμο κατά τη διάτμηση



Σχήμα 2.11 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της μεταβολής όγκου γ) του δείκτη πόρων, e, με την οριζόντια μετακίνηση για μια πυκνή και μια χαλαρή άμμο



Σχήμα 2.12 Επίδραση του δείκτη πόρων στη διατμητική αντίσταση της άμμου: α) Περιβάλλουσα Coulomb στη χαλαρή και πυκνή άμμο β) φ' ως προς τη σχετική πυκνότητα γ) δείκτης πόρων, e, ως προς τη σχετική πυκνότητα.



Σχήμα 2.13 Συμπεριφορά χαλαρής και πυκνής άμμου σε δοκιμές με πλήρη στράγγιση

Κεφάλαιο 3

Περιγραφή εξοπλισμού και διαδικασίας δοκιμών

3.1 Δοκιμή άμεσης διάτμησης

3.1.1 Εξοπλισμός και περιγραφή συσκευής

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγιναν δοκιμές άμεσης διάτμησης στη συσκευή τύπου VJT9500 (Σχήμα 3.1) που διαθέτει το Εργαστήριο Εδαφομηχανικής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Εξοπλισμός συσκευής:

1. Σταθερό πλαίσιο στήριξης σχήματος Π
2. Μαύρη υδατοστεγή υποδοχή του κιβωτίου διάτμησης, κινείται πάνω σε οδηγό με σφαιρίδια που της επιτρέπει διαδρομή περίπου 20mm
3. Κιβώτιο διάτμησης, Σχήμα 3.2, οι διαστάσεις και τα εξαρτήματα του οποίου αναλύονται παρακάτω
4. Σύστημα επιβολής του κατακόρυφου φορτίου που περιλαμβάνει:
 - α) Μεταλλικό πλαίσιο που συνδέει τον μοχλοβραχίονα και τα φορτία του με το καπάκι του κιβωτίου διάτμησης μέσω ενός κοχλία
 - β) Πλαστικός μοχλοβραχίονας που διαθέτει υποδοχές νεκρών φορτίων. Λόγω του μοχλοβραχίονα τα νεκρά φορτία μεταβιβάζονται ως δεκαπλάσια φόρτιση στο δοκίμιοΤα μέρη του συστήματος επιβολής της κατακόρυφης τάσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.3
5. Δυναμοκυψέλη για τη μέτρηση οριζόντιας δύναμης. Το πλαίσιο στήριξης της συσκευής φέρει ειδικό σταθερό στέλεχος για τη στήριξη της δυναμοκυψέλης σε οριζόντια θέση (Σχήμα 3.4)
6. Κινητήρια μονάδα για τη μετακίνηση του υποδοχής του κιβωτίου διάτμησης. Έτσι μετακινείται και το κάτω μισό του κιβωτίου διάτμησης το οποίο, όπως εξηγείται παρακάτω είναι πακτωμένο στην υποδοχή του κιβωτίου. Η κινητήρια μονάδα λαμβάνει τις εντολές του χειριστή ηλεκτρονικά. Διαθέτει δυνατότητα επιβολής διατμητικής παραμόρφωσης από 0,0001 mm/min έως 10 mm/min
7. Ψηφιακό κατακόρυφο μηκυσιόμετρο ακριβείας 0,001 mm και δυνατότητας διαδρομής 12,5 mm για τη μέτρηση της κατακόρυφης μετατόπισης. Το πλαίσιο στήριξης της δοκιμής φέρει ειδική διάταξη με μια οριζόντια και μια κατακόρυφη ράβδο πάνω στις οποίες στηρίζεται το συγκεκριμένο μηκυσιόμετρο. Μέσω κοχλιών

τοποθετείται το κατακόρυφο μηκυσιόμετρο στο κέντρο του κοχλίου του μεταλλικού πλαισίου που συνδέεται με το καπάκι του κιβωτίου διάτμησης (Σχήμα 3.5)

8. Ψηφιακό οριζόντιο μηκυσιόμετρο ακριβείας 0,001 mm και δυνατότητας διαδρομής 20mm για τη μέτρηση της οριζόντιας μετατόπισης. Το πλαίσιο στήριξης της δοκιμής φέρει ειδική υποδοχή για το οριζόντιο μηκυσιόμετρο. Το οριζόντιο μηκυσιόμετρο επικοινωνεί με την κινούμενη υποδοχή του κιβωτίου διάτμησης και έτσι προκύπτει η οριζόντια μετατόπιση.

9. Οθόνη και πληκτρολόγιο που καθιστά δυνατό το χειρισμό της συσκευής χειροκίνητα

10. Τυποποιημένα νεκρά φορτία η υποδοχή των οποίων βρίσκεται στο μοχλοβραχίονα.

Κιβώτιο διάτμησης (Σχήμα 3.2):

Αναφέρθηκε προηγουμένως πως η συσκευή άμεσης διάτμησης διαθέτει ένα αποσπώμενο εξάρτημα, το κιβώτιο διάτμησης, μέσα στο οποίο διαμορφώνεται το δοκίμιο. Το κιβώτιο διάτμησης εφαρμόζεται στην μαύρη υδατοστεγή υποδοχή του.

Το μεταλλικό κιβώτιο διαθέτει κυκλική οπή διαμέτρου 63,5 mm (=2,5 inches) μέσα στην οποία διαμορφώνεται το δοκίμιο. Το κιβώτιο διάτμησης αποτελείται από τα εξής:

- Δύο τμήματα (άνω και κάτω). Το άνω τμήμα έχει ενσωματωμένο ειδικό στέλεχος για τη προσαρμογή της ράβδου, η οποία μεταφέρει στη δυναμοκυψέλη την επιβαλλόμενη διατμητική τάση
- Τα δύο τμήματα του κιβωτίου τοποθετούνται ακριβώς το ένα πάνω στο άλλο. Για την ευθυγράμμιση αυτή, χρησιμοποιούνται κοχλίες αντιδιαμετρικά τοποθετημένοι που εισχωρούν στο κάτω μέρος του κιβωτίου. Ελαφρά ανύψωση του άνω τμήματος επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός άλλου ζεύγους κοχλίων, επίσης αντιδιαμετρικά τοποθετημένων, οι οποίοι εφάπτονται στο άνω τμήμα. Το Σχήμα 3.6 , στο οποίο εύκολα διακρίνονται οι εν λόγω κοχλίες, παρουσιάζει το κιβώτιο διάτμησης σε κάτοψη και τομή.
- Μεταλλική βάση που φέρει υποδοχές για τη τοποθέτησή της στο κιβώτιο διάτμησης
- Ζεύγος πορωδών λίθων (άνω και κάτω)
- Ζεύγος οδοντωτών πλακών με οπές (άνω και κάτω)
- Μεταλλικό καπάκι

Φωτογραφίες των εξαρτημάτων του κιβωτίου παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.7 και η σειρά τοποθέτησής τους στο κιβώτιο στο Σχήμα 3.8.

3.1.2 Βαθμονόμηση στη συσκευή άμεσης διάτμησης

Πριν την έναρξη του προγράμματος των δοκιμών πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες βαθμονομήσεις στη συσκευή άμεσης διάτμησης. Οι βαθμονομήσεις αυτές είναι:

1. Διαστάσεις Δοκιμίου
2. Βαθμονόμηση της δυναμοκυψέλης
3. Συμπιεστότητα του συστήματος

3.1.2.1 Διαστάσεις δοκιμίου

Τα δοκίμια καθαρών άμμων που μελετήθηκαν διαμορφώθηκαν μέσα στο κιβώτιο διάτμησης. Για τον υπολογισμό των διαστάσεών τους είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των διαστάσεων του κιβωτίου διάτμησης και των εξαρτημάτων του.

Μετρούμενες διαστάσεις (Πίνακας 3.1):

- Διάμετρος κιβωτίου διάτμησης (mm): μετρήθηκε με ηλεκτρονικό βερνιέρο προς διάφορες διευθύνσεις και προέκυψε 63,47 mm
- Πάχος πορώδων δίσκων (mm): μετρήθηκε το πάχος καθενός ξεχωριστά σε διάφορα σημεία της περιμέτρου τους με ηλεκτρονικό βερνιέρο αλλά και βαθύμετρο και προέκυψε 5,44 mm
- Πάχος ζεύγους φίλτρων (mm): μετρήθηκε με ηλεκτρονικό βερνιέρο και προέκυψε 0,397 mm
- Πάχος πλάκας βάσης (mm): μετρήθηκε με ηλεκτρονικό βερνιέρο και βαθύμετρο και προέκυψε 5,98 mm
- Πάχος από το καπάκι του κιβωτίου (mm): μετρήθηκε με ηλεκτρονικό βερνιέρο και βαθύμετρο και προέκυψε 11,99 mm
- Πάχος οδοντωτών πλακών (σχαρών) (mm): οι οδοντωτές πλάκες διαθέτουν αυλακώσεις για καλύτερη συνάφεια εδαφικού υλικού- κιβωτίου. Ορίζεται ως καθαρό ύψος της οδοντωτής πλάκας, p , αυτό χωρίς τις αυλακώσεις και ως r το ύψος των αυλακώσεων όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.9.

Διαστάσεις Δοκιμίου:

- Η διάμετρος του δοκιμίου καθαρής άμμου είναι η διάμετρος του κιβωτίου διάτμησης, δηλαδή είναι ίση με 63,47 mm
- Το ύψος του δοκιμίου προκύπτει από την αφαίρεση των εξής υψών:

- α) Μετρηθέν ύψος: προκύπτει από ανάγνωση του βαθύμετρου στο τέλος της διαμόρφωσης του δοκιμίου, περιλαμβάνει όλα τα εξαρτήματα του κιβωτίου διάτμησης. Η μέτρηση γίνεται με τον τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα
- β) Ολικό αφαιρούμενο ύψος (Σχήμα 3.10): προκύπτει από τη πρόσθεση των παχών των εξής στοιχείων του Πίνακα 3.3: πλάκα βάσης, πορώδης δίσκος 1, πορώδης δίσκος 2, ζεύγος φίλτρων, ζεύγος οδοντωτών πλακών και καπάκι κιβωτίου. Το ολικό αφαιρούμενο ύψος, δηλαδή, είναι ίδιο για κάθε δοκιμή και είναι ίσο με 29,27 mm.

$$\text{Άρα : Ύψος Δοκιμίου} = \text{Μετρηθέν ύψος} - \text{Ολικό Αφαιρούμενο Ύψος} \quad (3.1)$$

3.1.2.2 Βαθμονόμηση της δυναμοκυψέλης

Η διαδικασία της βαθμονόμησης της δυναμοκυψέλης εκτελέστηκε από την Π. Καλλιόγλου. Η ένδειξη της δυναμοκυψέλης αποκλίνει λίγο από τη πραγματική δύναμή της. Σκοπός της βαθμονόμησης είναι η συσχέτιση της ένδειξης με τη πραγματική δύναμη.

Διαδικασία:

- Η δυναμοκυψέλη αφαιρείται από τη συσκευή και τοποθετείται σε οριζόντια σταθερή επιφάνεια
- Τοποθέτηση νεκρών φορτίων γνωστής μάζας πάνω στη δυναμοκυψέλη και καταγραφή των ενδείξεών της, R. Έτσι, δημιουργούνται κύκλοι φόρτισης.
- Στη συνέχεια τα νεκρά φορτία αφαιρούνται και έτσι δημιουργούνται κύκλοι αποφόρτισης

Υπολογισμοί:

Έστω R_0 η αρχική ένδειξη της δυναμοκυψέλης. Στη συνέχεια με βάση τις ενδείξεις α υπολογίζεται το μέγεθος $(R - R_0)$ για κάθε νεκρό φορτίο που προστίθεται, το βάθος $W = m \cdot g$, σε N και έπειτα το φορτίο αφαιρείται για να τοποθετηθεί άλλο.

Στο Σχήμα 3.11 παρουσιάζεται η καμπύλη οριζόντιας δύναμης και $(R - R_0)$ που προέκυψε από τη παραπάνω διαδικασία. Από αυτή προσδιορίζεται η σχέση που συνδέει τα δύο μεγέθη η οποία είναι:

$$F(N) = 1.0313 \times (R - R_0) + 0.0188 \quad (3.2)$$

η οποία όμως για να δίνει μηδενική δύναμη όταν δεν επιβάλλεται φορτίο παίρνει τη μορφή:

$$F(N) = 1.01313(R - R_0) \quad (3.3)$$

3.1.2.3 Συμπιεστότητα του συστήματος

Κατά τη διαδικασία της στερεοποίησης λαμβάνονται οι μετρήσεις του κατακόρυφου μηκυνσιομέτρου. Από αυτές προκύπτουν και οι αντίστοιχες βυθίσεις του δοκιμίου. Όμως το σύστημα επιβάλλει φορτία πριν την έναρξη της στερεοποίησης λόγω της μάζας όσων βρίσκονται πάνω από το δοκίμιο (άνω πορώδης δίσκος, άνω οδοντωτή πλάκα, φίλτρο, καπάκι). Η βύθιση που οφείλεται στη συμπιεστότητα του συστήματος πρέπει να μετρηθεί και να αφαιρεθεί από τη συνολική που προκύπτει από τις μετρήσεις.

Ουσιαστικά επιβάλλεται στερεοποίηση σε μεταλλικό δοκίμιο με σταδιακά αυξανόμενα νεκρά φορτία. Αυτά προκαλούν ολοένα αυξανόμενη κατακόρυφη τάση. Μετράται η βύθιση σε κάθε στάδιο της διαδικασίας. Προκύπτει η καμπύλη κατακόρυφης τάσης-βύθισης και υπολογίζεται η εξίσωσή της. Επομένως για την ανάλυση των δοκιμών θα εισάγεται η κατακόρυφη τάση στην εξίσωση βύθισης, θα υπολογίζεται η βύθιση συστήματος και θα αφαιρείται από τη συνολική. Η διαδικασία επαναλήφθηκε με υγρούς και ξηρούς πορόλιθους.

Διαδικασία:

- Βράζονται οι πορώδεις δίσκοι έως ότου απαερωθούν πλήρως
- Ζύγιση: άνω οδοντωτή πλάκα, φίλτρο, άνω πορόλιθος, καπάκι
- Τοποθέτηση των κοχλιών ένωσης των δύο τμημάτων του κιβωτίου που φέρουν χρώμα κόκκινο στη κεφαλή τους
- Τοποθέτηση στο κιβώτιο διάτμησης, με τη σειρά, των εξής εξαρτημάτων: πλάκα βάσης, κάτω πορώδης δίσκος, φίλτρο, κάτω οδοντωτή πλάκα, μεταλλικό δοκίμιο, άνω οδοντωτή πλάκα, φίλτρο, άνω πορώδης δίσκος, μεταλλικό καπάκι
- Το κιβώτιο διάτμησης τοποθετείται στη συσκευή και ρυθμίζεται η θέση του με τον τρόπο που εξηγείται παρακάτω(4 σημεία επαφής)
- Οριζοντίωση μοχλοβραχίονα
- Ρύθμιση θέσης κατακόρυφου μηκυνσιομέτρου στο κέντρο του κοχλία από το μεταλλικό πλαίσιο(του συστήματος επιβολής κατακόρυφης φόρτισης)
- Τοποθετείται στην ειδικά διαμορφωμένη υποδοχή του μοχλοβραχίονα ένα μικρό αρχικό φορτίο
- Τοποθετούνται σταδιακά και τα υπόλοιπα φορτία γνωστής μάζας και καταγράφονται οι ενδείξεις του κατακόρυφου μηκυνσιομέτρου. Έτσι δημιουργείται κύκλος φόρτισης
- Στη συνέχεια αφαιρούνται τα φορτία αυτά με τη σειρά και καταγράφονται και πάλι οι ενδείξεις. Έτσι, δημιουργείται κύκλος αποφόρτισης
- Για μεγαλύτερη ακρίβεια η διαδικασία επαναλαμβάνεται αρκετές φορές

Υπολογισμοί:

Σχεδιάζεται η καμπύλη καθίζησης – κατακόρυφου φορτίου από τα στοιχεία που προκύπτουν από κάθε τοποθέτηση ή αφαίρεση φορτίου (κύκλος φόρτισης και αποφόρτισης αντίστοιχα)

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της συμπιεστότητας του συστήματος χρησιμοποιώντας ξηρούς και κορεσμένους πορόλιθους.

Για τη συμπίεστικότητα του συστήματος με χρήση ξηρών πορόλιθων πραγματοποιήθηκαν δύο κύκλοι φόρτισης- αποφόρτισης. Οι υπολογισμοί των στοιχείων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2 και η καμπύλη καθίζησης – κατακόρυφου φορτίου στο Σχήμα 3.12.

Για τη συμπίεστικότητα του συστήματος με χρήση κορεσμένων πορόλιθων πραγματοποιήθηκαν τρεις κύκλοι φόρτισης- αποφόρτισης. Οι υπολογισμοί των στοιχείων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3 και η καμπύλη καθίζησης – κατακόρυφου φορτίου στο Σχήμα 3.13

Η πιο αντιπροσωπευτική μέθοδος είναι αυτή με τους κορεσμένους πορόλιθους. Η πραγματική καθίζηση των στοιχείων της συσκευής είναι αυτή του πρώτου κύκλου φόρτισης της δοκιμής.

Η σχέση μεταξύ κατακόρυφης τάσης, σ_n - κατακόρυφης μετακίνησης προσεγγίζεται, με ικανοποιητικό τρόπο μέχρι τη τάση των 700 kPa, από τη πολυωνυμική εξίσωση:

$$y = 0,02404474387 - 0,003351648147x + 1,383540427 * 10^{-5} * x^2 - 3,322198486 * 10^{-8} * x^3 + 4,400794781 * 10^{-11} * x^4 - 2,960946842 * 10^{-14} * x^5 + 7,830679692 * 10^{-18} * x^6 \quad (3.4)$$

3.1.3 Λειτουργία καταγραφικού συστήματος

Για μεγαλύτερη ακρίβεια στην ανάληψη δεδομένων από τη δοκιμή υπάρχει ανάγκη ηλεκτρονικών καταγραφών του χρόνου εκτέλεσης δοκιμής και των ενδείξεων του οριζόντιου και του κατακόρυφου μηκυνσιομέτρου καθώς και της δύναμης στην δυναμοκυψέλη. Αυτό επιτεύχθηκε με την χρήση της συσκευής καταγραφών MPX3000 της VJTech, που διαθέτει το Εργαστήριο Εδαφομηχανικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και την εγκατάσταση του καταγραφικού προγράμματος Clisp Studio.

Εκκίνηση καταγραφικού προγράμματος Clisp Studio που βρίσκεται στην επιφάνεια εργασίας. Το εικονίδιο του προγράμματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.14.

Για τα δύο στάδια της δοκιμής άμεσης διάτμησης, στερεοποίηση και διάτμηση δοκιμίου έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα Clisp Studio φάκελοι που περιέχουν τα στοιχεία του πελάτη, της εργασίας, της γεώτρησης και του δείγματος στα οποία αναφέρεται η δοκιμή. Οι φάκελοι αυτοί επιλέχθηκαν σε κάθε δοκιμή και λειτούργησαν ως υπορουτίνες στο πρόγραμμα. Πιο συγκεκριμένα, για τη κάθε δοκιμή ακλούθησε η παρακάτω διαδικασία.

Files- database explorers-test explorer. Εμφανίζονται στην δεξιά στήλη του προγράμματος τα στοιχεία του φακέλου του πελάτη όπως ανέφθηκε παραπάνω, Σχήμα 3.15.

Επιλογή του φακέλου στερεοποίησης (consolidation).

Assistant: στην αριστερή στήλη εμφανίζονται όλα τα διαθέσιμα κανάλια, ενώ στη δεύτερη στήλη εμφανίζονται τα κανάλια από τα οποία τα δεδομένα καταγράφει το

καταγραφικό σύστημα. Στη φάση της στερεοποίησης χρειάζεται μόνο η καταγραφή του χρόνου καταγράφων και των τιμών του κατακόρυφου μηκυσιομέτρου. Σημειώνεται ότι οι πηγές των καταγραφών λέγονται κανάλια καταγραφών ή Channels. Πιο συγκεκριμένα έχει οριστεί:

Channel 1: καταγράφει τη δύναμη στη δυναμοκυψέλη

Channel 33: καταγράφει την ένδειξη του κατακόρυφου μηκυσιομέτρου

Channel 34: καταγράφει την ένδειξη του οριζόντιου μηκυσιομέτρου.

Assistant- trigger : επιλέγεται ο χρόνος καθυστέρησης μεταξύ της εντολής Run και της έναρξης της καταγραφής του αισθητήρα, Σχήμα 3.16. Επιλέχθηκε καθυστέρηση 5 δευτερολέπτων. Ο χρόνος είναι επαρκής για την ενεργοποίηση της εντολής Run και την εφαρμογή του κατακόρυφου φορτίου στο δοκίμιο ξεβιδώνοντας τον κοχλία που χρησιμοποιήθηκε για την οριζοντιοποίηση του νοητής ευθείας. Ωστόσο το πρόγραμμα παρέχει δυνατότητα επιλογής συντομικής συνθήκης ώστε να εκτελεστεί η έναρξη καταγραφών. Δηλαδή θα μπορούσε κανείς να επιλέξει την έναρξη των καταγραφών τη στιγμή που ένα μέγεθος που επιλέγει έχει μεγαλύτερη ή μικρότερη ή μεγαλύτερη τιμή από μια τιμή που επιλέγει ο ίδιος.

Assistant- Storage: επιλέγεται ο χρόνος ανά τον οποίο θα καταγράφονται τα στοιχεία της δοκιμής, Σχήμα 3.17. Συνήθως επιλέγεται οι καταγραφές να γίνονται ανά ένα δευτερόλεπτο.

Assistant-Stop Condition: επιλέγεται ο μέγιστος χρόνος καταγραφής, Σχήμα 3.18. Εδώ επιλέχθηκε μέγιστος χρόνος καταγραφών δύο ώρες αν και το στάδιο της στερεοποίησης είναι αρκετά σύντομο για τα δοκίμια καθαρών άμμων. Συνήθως ένα διάστημα περίπου μισής ώρας είναι αρκετό ώστε το δοκίμιο να στερεοποιηθεί πλήρως. Και πάλι το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα επιλογής συντομικής συνθήκης.

View- Open-Auto Generated view for specimen 1: ανοίγει το παράθυρο στο οποίο φαίνονται αυτόματα τα κανάλια καταγραφών και οι καταγραφές τους, Σχήμα 3.26. Παρατηρείται ότι οι καταγραφές είναι με κόκκινο χρώμα και δε μεταβάλλονται. Μόλις δοθεί εντολή εκκίνησης των καταγραφών γίνονται πράσινες και οι ενδείξεις μεταβάλλονται.

Graphs-Open-Auto Generated graph for Stage: Ανοίγει ένα παράθυρο με ένα γράφημα του οποίου οι άξονες προκύπτουν αυτόματα από τα κανάλια καταγραφών, Σχήμα 3.19. Για το στάδιο της στερεοποίησης πχ ανοίγει κατευθείαν το γράφημα χρόνου καταγραφών- ένδειξη κατακόρυφου μηκυσιομέτρου. Αξίζει να σημειωθεί ότι οποιαδήποτε αλλαγή στα γραφήματα δεν επηρεάζει τις καταγραφές.

Graph- new: δίνεται η δυνατότητα χειροκίνητης επιλογής των αξόνων του γραφήματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.20.

Control- Run: Έναρξη καταγραφών στερεοποίησης. Οι καταγραφές θα ξεκινήσουν μετά τον χρόνο καθυστέρησης που ορίστηκε στο Assistant- trigger, δηλ τα 5sec. Μόλις ο χρόνος αυτός παρέλθει πρέπει να ξεβιδωθεί ο κοχλίας γρήγορα. Παρατηρείται στο γράφημα ότι η ένδειξη κατακόρυφου μηκυσιομέτρου μειώνεται

αισθητά μέχρι κάποιο χρόνο, μετά όμως από τον οποίο μειώνεται μεν αλλά πολύ πιο αργά. Ο χρόνος είναι ο χρόνος στερεοποίησης t_{100} ,

Control- Stop: Τέλος καταγραφών στερεοποίησης μετά από τον χρόνο της μισής ώρας (για δοκίμια καθαρών άμμων) ή μετά το πέρας του ορίου λήξης καταγραφών όπως ορίστηκε στο Assistant- Stop Conditions.

Export- Export to Excel: Αποθήκευση των καταγραφών σε αρχείο τύπου Excel.

Control- Clear: Διαγραφή καταγραφών. Είναι σημαντικό κομμάτι της διαδικασίας. Αν δε διαγράψουν οι καταγραφές πριν την επόμενη δοκιμή άμεσης διάτμησης τότε στις καταγραφές της δεύτερης θα είναι ενσωματωμένες οι καταγραφές της πρώτης.

Σε αυτό το σημείο, μετά το πέρας της στερεοποίησης και πριν την έναρξη της διάτμησης οι βίδες ανύψωσης πρέπει να περιστραφούν κατά 180° . Παρακάτω αναλύεται γιατί η ενέργεια αυτή είναι σημαντική.

Επιλογή του φακέλου διάτμησης (shearing).

Instruments-View-Triaxial,Shearbox and DSC2000 Controllers-Shearbox: Εμφανίζεται το παράθυρο στο οποίο ορίζεται ο ρυθμός διατμητικής παραμόρφωσης, Σχήμα 3.21.

Assistant: στο στάδιο της διάτμησης παρατηρείται ότι τα κανάλια από τα οποία λαμβάνει καταγραφές το πρόγραμμα είναι το κανάλι της δυναμοκυψέλης, του οριζόντιου και του κατακόρυφου μηκυνσιομέτρου (CH1,CH34, CH33), Σχήμα 3.22. Αυτό φαίνεται και στη δεύτερη στήλη του παράθυρου.Ο χρόνος καθυστέρησης των καταγραφών ορίστηκε και πάλι 5 sec και αμέσως μετά το πέρας αυτού του χρόνου επιβάλλουμε στο δοκίμιο τη διατμητική παραμόρφωση πατώντας το Forward στο παράθυρο ρυθμού διατμητικής παραμόρφωσης. Ο χρόνος ανά τον οποίο γίνονται οι καταγραφές ορίστηκε πάλι 1 sec. Αν ο ρυθμός διατμητικής παραμόρφωσης είναι πολύ μικρός συνηθίζεται να αυξάνεται ο χρόνος καταγραφών. Τέλος , ο μέγιστος χρόνος καταγραφής που θα οριστεί για το στάδιο της διάτμησης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος. Για διάτμηση δοκιμίων καθαρών άμμων αρκετό είναι το διάστημα τριών ωρών.

View- Open-Auto Generated view for specimen 1: στο παράθυρο καταγραφών στο στάδιο της διάτμησης εμφανίζονται οι ενδείξεις των τριών καναλιών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Σημειώνεται ότι μέχρι να δοθεί εντολή εκκίνησης, οι καταγραφές είναι με κόκκινο χρώμα, ενώ στη συνέχεια είναι με πράσινο χρώμα, Σχήμα 3.23.

Graphs-Open-Auto Generated graph for Stage: το γράφημα που ανοίγει αυτόματα για αυτό το στάδιο της δοκιμής έχει οριζόντιο άξονα τις ενδείξεις οριζόντιου μηκυνσιομέτρου και κατακόρυφο άξονα τις ενδείξεις της δυναμοκυψέλης, Σχήμα 3.24.

Graph- new: εκτός από το παραπάνω γράφημα συνήθως είναι επιθυμητό να υπάρχει και το γράφημα οριζόντιων ενδείξεων- κατακόρυφων ενδείξεων. Αυτό πρέπει να οριστεί χειροκίνητα όπως εξηγείται παραπάνω.

Control- Run: Έναρξη καταγραφών διάτμησης. Οι καταγραφές θα ξεκινήσουν μετά τον χρόνο καθυστέρησης που ορίστηκε στο Assistant- trigger, δηλ τα 5sec. Μόλις ο χρόνος αυτός παρέλθει πρέπει να οριστεί η έναρξη της εμπρόσθιας σχετικής μετακίνησης του κάτω μισού μέρους του κιβωτίου ως προς το άνω πατώντας το στο παράθυρο ρυθμού διατμητικής παραμόρφωσης.

Control- Stop: Τέλος καταγραφών διάτμησης μετά από τον χρόνο αρκετό ώστε να υπάρχει μια συνολική εικόνα της συμπεριφοράς του υλικού και μια διαδρομή μερικών χιλιοστών ή μετά το πέρας του ορίου λήξης καταγραφών όπως ορίστηκε στο Assistant- Stop Conditions.

Export- Export to Excel: Αποθήκευση των καταγραφών σε αρχείο τύπου Excel.

Control- Clear: Διαγραφή καταγραφών. Είναι σημαντικό κομμάτι της διαδικασίας. Αν δε διαγραφούν οι καταγραφές πριν την επόμενη δοκιμή άμεσης διάτμησης τότε στις καταγραφές της δεύτερης θα είναι ενσωματωμένες οι καταγραφές της πρώτης.

3.1.4 Προετοιμασία δοκιμών

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε δοκίμια τριών καθαρών άμμων. Η μέθοδος διαμόρφωσης δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή της υγρής υποσυμπύκνωσης (R. S. Ladd, 1978) ή διαφορετικά Undercompaction. Η μέθοδος αυτή έχει μεγάλη επαναληψιμότητα, δημιουργεί δοκίμια με ομοιόμορφη δομή, έχει εφαρμογή στα περισσότερα αμμώδη εδάφη και επιτρέπει τη δημιουργία δοκιμίων σε μεγάλο εύρος πυκνοτήτων από πολύ χαμηλή έως πολύ πυκνή κατάσταση.

Η συμπύκνωση επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας τάση σε στρώσεις υλικού, ξεκινώντας από τη βάση και καταλήγοντας στη κορυφή του δοκιμίου. Οι στρώσεις αποτελούνται από ισοβαρείς ποσότητες της άμμου του δοκιμίου αναμεμιγμένες με αποσταγμένο νερό, ώστε το δείγμα να αποκτήσει την κατάλληλη υγρασία. Στα δοκίμια καθαρής άμμου το δείγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα χωρίς, δηλαδή, να έχει προηγηθεί η ξήρασή του. Η συμπύκνωση κάθε στρώσης γίνεται με χρήση της ξύλινης σφύρας συμπύκνωσης της συσκευής άμεσης διάτμησης. η συμπύκνωση για δεδομένα εδάφη καθορίζεται τόσο από την υγρασία του δείγματος όσο και από τον αριθμό των κτύπων κατά τη συμπύκνωση. Επειδή κατά τη συμπύκνωση υπάρχει κίνδυνος μεγαλύτερης συμπύκνωσης των κατώτερων στρώσεων συγκριτικά με τις επιφανειακές, στην εκτέλεση της μεθόδου προτείνεται η αύξηση του αριθμού των κτύπων με το ύψος του δοκιμίου.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν οι συνδυασμοί κτύπων και υγρασίας για τη διαμόρφωση δοκιμίων όλων των βαθμίδων πυκνότητας που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.

3.1.5 Διαδικασία δοκιμής

Η μέθοδος που θα αναλυθεί σε αυτή την ενότητα είναι η διαδικασία που περιγράφεται στους αμερικάνικους κανονισμούς ASTM D3080-98, στο Head (Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 2, 2nd edition) και στους βρετανικούς κανονισμούς BS 1377:Part 7:1990.

Αφού το δοκίμιο προετοιμαστεί ανάλογα με την επιθυμητή πυκνότητα όπως περιγράφηκε στην ενότητα 3.1.4, μπορεί να ξεκινήσει η δοκιμή άμεσης διάτμησης ακολουθώντας τα εξής βήματα:

1. Ελέγχεται η ορθή θέση του κιβωτίου με την εντολή Reverse του καταγραφικού προγράμματος
2. Το μεταλλικό κιβώτιο τοποθετείται στον πάγκο εργασίας. Επίσης τοποθετούνται και τα εξαρτήματά του, η ξύλινη σφύρα συμπύκνωσης, ένα πινέλο για τον καθαρισμό του και λάδι, Σχήμα 3.26.
3. Σε έναν υποδοχέα τοποθετούνται οι δύο πορώδεις λίθοι με νερό και βράζονται ώστε να απομακρυνθεί ο αέρας από τους πόρους
4. Τοποθετείται λάδι στην επιφάνεια μεταξύ των δύο μισών του κιβωτίου διάτμησης αλλά και εσωτερικά της κυκλικής διατομής, ώστε να μειωθεί η τριβή μεταξύ του εδάφους και του κιβωτίου διάτμησης
5. Ζυγίζεται η μάζα από το κιβώτιο, τους πορώδεις δίσκους, τα φίλτρα, τις μεταλλικές οδοντωτές πλάκες και το καπάκι (μάζα κιβωτίου)
6. Βιδώνονται οι κοχλίες ανύψωσης του κιβωτίου τόσο ώστε να μη προεξέχουν από το άνω μισό τμήμα του. Έπειτα ενώνονται τα δύο μισά τμήματα με τους κοχλίες ένωσης και τοποθετείται η μεταλλική βάση
7. Τοποθετείται ο πορώδης δίσκος, το φίλτρο και η πλάκα με την οδοντωτή επιφάνεια προς τα πάνω και οι αυλακώσεις να έχουν διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση διάτμησης
8. Ζυγίζεται η μάζα της μεταλλικής πλάκας, του φίλτρου, του πορώδους δίσκου και του καπακιού που βρίσκονται σε επαφή με το πάνω μέρος του δοκιμίου, ώστε να συνυπολογιστεί στο φορτίο στερεοποίησης ($m_{\text{καπάκι} + \text{πορώδης} + \text{φίλτρο} + \text{πλάκα}}$)
9. Το δείγμα διαχωρίζεται σε δέκα περίπου στρώσεις των 20 g. και συμπυκνώνεται ανάλογα με την επιθυμητή πυκνότητα, όπως περιγράφηκε στην ενότητα 3.1.4.
10. Τέλος, τοποθετείται το μεταλλικό καπάκι και ελέγχεται αν είναι οριζόντιο. Σε περίπτωση που δεν είναι, συμπληρώνεται λίγο εδαφικό υλικό και οριζοντιώνεται.
11. Με χρήση ενός βαθύμετρου μετράται το ύψος του δοκιμίου μαζί με το μεταλλικό καπάκι, τις οδοντωτές πλάκες, τους πορώδεις δίσκους και τα φίλτρα. Το ύψος αυτό είναι το μετρηθέν ύψος, Σχήμα 3.27
12. Ζύγιση της μάζας του ολοκληρωμένου κιβωτίου με το υγρό δείγμα ($m_{\text{υγρού δοκιμίου} + \text{κιβωτίου}}$)
13. Το κιβώτιο μεταφέρεται προσεκτικά και τοποθετείται στη συσκευή. Συσφίγγονται οι κοχλίες α, β, γ και δ που φαίνονται στο Σχήμα 3.28 και ρυθμίζεται η θέση του κιβωτίου, ώστε να είναι τοποθετημένο καλά στη βάση του.
14. Οριζοντίωση του βραχίονα που επιτυγχάνεται με την οριζοντίωση του νοητού άξονα (Σχήμα 3.29). επαφή με τον κατακόρυφο άξονα και τοποθέτηση των νεκρών φορτίων στις ειδικές υποδοχές

15. Εφαρμογή του κατακόρυφου μηकुσιομέτρου στο κέντρο του κοχλία που συνδέεται με το καπάκι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.30
16. Ένας από τους μεταλλικούς υποδοχείς με δείγμα που δε χρησιμοποιήθηκε τοποθετείται στο φούρνο, ώστε να προσδιοριστεί το ποσοστό υγρασίας που περιέχει.

17. Υπολογίζονται τα φορτία στερεοποίησης

Αρχικά, υπολογίζεται η μάζα που χρειάζεται να τοποθετηθεί στο βραχίονα της συσκευής, ώστε να επιβληθεί η επιθυμητή τάση στερεοποίησης. Λαμβάνεται υπόψη η μάζα από το καπάκι, τον πορώδη δίσκο, το φίλτρο και την οδοντωτή πλάκα στα φορτία που συμβάλλουν στη στερεοποίηση ($m_{\text{καπάκι}+\text{πορώδης}+\text{φίλτρο}+\text{πλάκα}}$) και ο λόγος μεταβίβασης φορτίου λόγω μοχλοβραχίονα που είναι 1:10. Η συνολική μάζα των νεκρών φορτίων που πρέπει να τοποθετηθεί υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$m = \frac{(\sigma_n \times A) - (m_{\text{καπάκι}+\text{πορώδης}+\text{φίλτρο}+\text{πλάκα}} \times g)}{10 \times g} \quad (3.5)$$

Όπου:

m : συνολική μάζα νεκρών φορτίων (Kg)

σ_n : τάση στερεοποίησης (kPa)

A : εμβαδόν επιφάνειας δοκιμίου $A = \frac{\pi \times D^2}{4}$

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας $9,81 \text{ m/s}^2$

Επιλέγεται φορτίο που έχει μάζα πιο κοντινή στη m_ϕ που υπολογίστηκε.

Υπολογίζεται η τάση στερεοποίησης που θα ασκηθεί τελικά. Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται τα φορτία που χρησιμοποιήθηκαν για τις διάφορες τάσεις στερεοποίησης που επιβλήθηκαν στις δοκιμές άμεσης διάτμησης.

18. Τοποθετούνται στη μεταλλική ράβδο τα φορτία που έχουν υπολογιστεί και μπορεί να ξεκινήσει το πρώτο μέρος της δοκιμής, η στερεοποίηση.

19. Στερεοποίηση δοκιμίου

Από τον υπολογιστή τίθεται σε λειτουργία το πρόγραμμα Clisp Studio του καταγραφικού. Γίνεται εισαγωγή της δοκιμής Consolidation Test που έχει ήδη δημιουργηθεί και ορίζονται τα δεδομένα καταγραφής. Η διαδικασία περιγράφεται στην ενότητα 3.1.3. το φορτίο εφαρμόζεται στο δοκίμιο ξεβιδώνοντας τον κοχλία που συγκρατεί το σύστημα σε ισορροπία, 5 δευτερόλεπτα αφού επιλέχθηκε η εντολή Run.

Καθ' όλη τη διάρκεια της στερεοποίησης πραγματοποιείται οπτική παρακολούθηση της διαδικασίας μέσω της καταγραφικής απεικόνισης χρόνου καθίζησης. Όταν από τη γραφική παράσταση γίνεται αντιληπτή η ολοκλήρωση της στερεοποίησης, δηλαδή δεν παρουσιάζεται μεταβολή του ύψους του δοκιμίου, η καταγραφή δεδομένων σταματάει. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε φύλλο Excel.

Μετά το τέλος της στερεοποίησης του δοκιμίου σχεδιάζεται η καμπύλη καθίζησης/ τετραγωνικής ρίζας του χρόνου, η οποία θα έχει τη μορφή του Σχήματος. Στη συνέχεια σχεδιάζεται η εφαπτομένη στο αρχικό τμήμα της καμπύλης και προεκτείνεται μέχρι να τηρηθεί με την οριζόντια γραμμή που αντιστοιχεί στο 100% της στερεοποίησης (στα αμμώδη εδάφη η στερεοποίηση ολοκληρώνεται πολύ γρήγορα και το $\sqrt{t_{100}}$ είναι μόλις κάποια δευτερόλεπτα). Το σημείο τομής ορίζεται ως $\sqrt{t_{100}}$ και δίνει τη τιμή t_{100} (min) όπως περιέγραψαν οι Bishop και Henkel (1962), ενώ η εκτίμηση του χρόνου αστοχίας t_f συνδέεται με το σημείο t_{100} από την εμπειρική σχέση των Gibson και Henkel (1954):

$$t_f = 12,7 \times t_{100} \quad (3.6)$$

Όπου:

t_f : χρόνος αστοχίας σε min

t_{100} : χρόνος ολοκλήρωσης της στερεοποίησης σε min

20. Διάτμηση δοκιμίου

Ο ρυθμός διατμητικής παραμόρφωσης που εισάγεται στο σύστημα προκύπτει από τη παρακάτω εξίσωση:

$$\text{rate} = \frac{D_f}{t_f} \quad (3.7)$$

Όπου D_f : οριζόντια μετακίνηση τη στιγμή που το δοκίμιο αστοχεί. Για χαλαρές άμμους η μετακίνηση αστοχίας είναι 5-8 mm ενώ για πυκνές 2-5 mm ή και λιγότερο.

Πριν την έναρξη της διάτμησης αφαιρούνται οι κόκκινοι κοχλίες και τα δύο τμήματα είναι ελεύθερα να ολισθήσουν το ένα στο άλλο. Παράλληλα, οι δύο κοχλίες ανύψωσης στρέφονται κατά 180° , ώστε να μειωθεί η τριβή μεταξύ των τμημάτων της συσκευής.

Γίνεται εισαγωγή της δοκιμής Shearing Test που έχει ήδη δημιουργηθεί και ορίζονται τα δεδομένα καταγραφής. Η διαδικασία περιγράφεται στην ενότητα 3.1.3. Γίνεται παράλληλα εισαγωγή της συσκευής άμεσης διάτμησης και ορίζεται ο ρυθμός παραμόρφωσης, που προέκυψε από την εξίσωση 3.7. Δίνεται εντολή έναρξης της καταγραφής (Run) και μετά από 5 δευτερόλεπτα επιβάλλεται η οριζόντια μετατόπιση με την εντολή Forward. Καθ' όλη τη διάρκεια της διάτμησης γίνεται οπτική παρακολούθηση της διαδικασίας μέσω γραφικής απεικόνισης οριζόντιας μετατόπισης- φορτίου δυναμοκυψέλης και οριζόντιας – κατακόρυφης μετατόπισης. Όταν από τη γραφική παράσταση γίνεται αντιληπτό ότι το δοκίμιο έχει αρχικά αποκτήσει τη μέγιστη διατμητική αντοχή και δε παρατηρείται μεταβολή όγκου, η καταγραφή δεδομένων διακόπτεται. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε φύλλο Excel.

21. Το κιβώτιο διάτμησης επιστρέφει στην αρχική του θέση μέσω της εντολής Reverse

22. Αφαιρούνται τα νεκρά φορτία προσεκτικά από τη συσκευή

23. Αφαιρείται το κιβώτιο διάτμησης από τη συσκευή

Το μηκυνσιόμετρο μέτρησης κατακόρυφης μετατόπισης απομακρύνεται με προσοχή από το κέντρο της κεφαλής του κοχλία. Το μεταλλικό πλαίσιο μέσω του οποίου επιβάλλεται το κατακόρυφο φορτίο απομακρύνεται από το δοκίμιο και οι κοχλίες ρύθμισης της θέσης του κιβωτίου χαλαρώνουν. Το κιβώτιο αφαιρείται από τη συσκευή και τοποθετείται στο πάγκο εργασίας.

24. Αφαίρεση δοκιμίου

Τα δύο τμήματα του κιβωτίου αφαιρούνται και η επιφάνεια διάτμησης δίνεται εμφανής. Γίνεται έλεγχος εισχώρησης πλακών στο άνω τμήμα του δοκιμίου. Το κιβώτιο διαβρέχεται με νερό ώστε να αφαιρεθεί το δοκίμιο, του οποίου το

εδαφικό υλικό τοποθετείται σε υποδοχέα γνωστής μάζας. Ο υποδοχέας τοποθετείται στο φούρνο (105° C) μέχρι τη πλήρη ξήρανση του δείγματος.

3.1.6 Ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών

Οι υπολογισμοί που παρατίθενται σε αυτή την ενότητα είναι αυτοί που προτείνονται στους αμερικάνικους κανονισμούς ASTM D3080-98, στο Head (Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 2, 2nd edition) και στους βρετανικούς κανονισμούς BS 1377:Part 7:1990

Σκοπός της δοκιμής είναι να προσδιοριστεί η καμπύλη διατμητικής τάσης- οριζόντιας μετατόπισης, η κατακόρυφη παραμόρφωση και η μεταβολή του δείκτη πόρων ως προς την οριζόντια μετατόπιση. Αφού πραγματοποιηθεί ένα σετ δοκιμών σε δοκίμια όμοιας πυκνότητας σε τέσσερις τάσεις στερεοποίησης, σ_n , είναι δυνατό να σχεδιαστεί η περιβάλλουσα Coulomb για τη μέγιστη διατμητική τάση $\tau_f = \tau_{max}$ και τη διατμητική τάση στη κρίσιμη κατάσταση τ_{cr} . Έτσι, θα προσδιοριστεί η εσωτερική γωνία τριβής του εδάφους στις καταστάσεις αυτές.

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών διαχωρίστηκαν τα στοιχεία και οι υπολογισμοί σε επτά καρτέλες ενός υπολογιστικού φύλλου Excel ανάλογα με το θεματικό τους περιεχόμενο. Οι καρτέλες είναι οι εξής:

- 1) Δεδομένα εδαφικού δείγματος
- 2) Δεδομένα δοκιμίου
- 3) Δεδομένα στερεοποίησης
- 4) Δεδομένα διάτμησης
- 5) Συγκεντρωτικά όλων
- 6) Με διόρθωση επιφάνειας
- 7) Πραγματικός ρυθμός παραμόρφωσης

Ακολουθεί η ανάλυση του περιεχομένου καθεμίας καρτέλας.

Δεδομένα εδαφικού δείγματος (Σχήμα 3.31)

Σε αυτή την ενότητα αναφέρονται τα στοιχεία του εδαφικού δείγματος με τη παρακάτω σειρά:

- Κωδικός έργου: το έργο για το οποίο υπήρχε η ανάγκη εκτέλεσης της δοκιμής
- Αριθμός δείγματος: το δείγμα αριθμείται ώστε να ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα.
Στη παρούσα εργασία αριθμείται ως εξής: αρχικά ονομασίας άμμου -αρίθμηση που αναφέρεται στην εξεταζόμενη κάθε φορά πυκνότητα- γράμμα που αναφέρεται στην ορθή τάση στην οποία εξετάζεται το δοκίμιο
- Περιγραφή εδάφους: η ονομασία του εξεταζόμενου υλικού
- Προετοιμασία δοκιμίου: συνήθως αναφέρονται η μέθοδος και ο τρόπος της συμπύκνωσης και το αρχικό ποσοστό υγρασίας που εισάγεται στο δοκίμιο
- Η γεώτρηση από την οποία προήλθε το δείγμα

- Το βάθος από το οποίο προήλθε το δείγμα
- Η ημερομηνία εκτέλεσης της δοκιμής
- Πρότυπα αναφοράς: οι κανονισμοί σύμφωνα με τους οποίους εκτελείται η δοκιμή, στη συγκεκριμένη εργασία BS1377: 1990 – 7, ASTM D3080-04
- Ονομαστική Διάμετρος Μεγαλύτερου Εδαφικού Κόκκου, D_{max} (mm): προκύπτει από τη κοκκομετρία του υλικού (Κεφάλαιο 4)
- e_{min} : ελάχιστος δείκτης πόρων της εξεταζόμενης άμμου (Κεφάλαιο 4)
- e_{max} : μέγιστος δείκτης πόρων της εξεταζόμενης άμμου (Κεφάλαιο 4)
- G_s : ειδικό βάρος στερεών κόκκων της εξεταζόμενης άμμου (Κεφάλαιο 4)

Δεδομένα Δοκιμίου (Σχήματα 3.32-3.33)

Σε αυτή την ενότητα αναφέρονται τα δεδομένα που προκύπτουν για το αρχικό δοκίμιο (δοκίμιο πριν την στερεοποίηση) και το τελικό δοκίμιο (δοκίμιο μετά την στερεοποίηση).

Αρχικό Δοκίμιο:

- Χρήση σχαρών: αναφέρεται στη χρήση ή μη των μεταλλικών οδοντωτών πλακών (σχαρών).

Υγρασία:

Στη διαδικασία της δοκιμής αναφέρθηκε ότι το δείγμα διαχωρίζεται σε στρώσεις μια από τις οποίες χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της υγρασίας του δείγματος.

- Αριθμός υποδοχέα
- Μάζα υποδοχέα (g)
- Μάζα υποδοχέα+ υγρού δείγματος (g)
- Μάζα υποδοχέα+ ξηρού δείγματος (g)
- Μάζα νερού= (Μάζα υποδοχέα+ υγρού δείγματος)-(Μάζα υποδοχέα+ ξηρού δείγματος)
- Μάζα ξηρού δείγματος= (Μάζα υποδοχέα+ ξηρού δείγματος)- Μάζα υποδοχέα
- Αρχική υγρασία,

$$w(\%) = \frac{\text{μάζα νερού}}{\text{μάζα ξηρού δείγματος}} \times 100 \quad (3.8)$$

Μάζα δοκιμίου:

- Μάζα κιβωτίου (g): ζύγιση κιβωτίου μαζί με τις βίδες ανύψωσης, τις κόκκινες βίδες, τις σχάρες, τους πορόλιθους, τα φίλτρα και το καπάκι
- Κιβώτιο και υγρό δοκίμιο (g): η μάζα του κιβωτίου και των εξαρτημάτων του μαζί με το διαμορφωμένο υγρό δοκίμιο μέσα σε αυτό
- Υγρό δοκίμιο, M (g): (Κιβώτιο και υγρό δοκίμιο)- (Μάζα κιβωτίου)
- Ξηρό δοκίμιο (από w) (g) $= \frac{M}{(1+w/100)}$ (3.9)
- Μάζα Ξηρού Δοκιμίου, M_s (g): βλέπε τελικό δοκίμιο
- Εισχώρηση σχαρών στο δοκίμιο
- Διάμετρος Δοκιμίου, D_o (mm)=63,47 (Πίνακας 3.1)
- Αφαιρούμενο ύψος (mm)=29,27

- Μετρηθέν ύψος, $M.Y$ (mm): μετράται μετά τη διαμόρφωση του δοκιμίου στο κιβώτιο
- Ύψος δοκιμίου, H_0 (mm):

- Χωρίς χρήση οδοντωτών πλακών:

$$H_0 = M.Y - (\text{Αφαιρούμενο ύψος}) \quad (3.10)$$

- Με χρήση οδοντωτών πλακών:

1. Εισχώρηση μόνο μιας πλάκας:

$$H_0 = M.Y - (\text{Αφαιρούμενο Ύψος}) - (p + r) - t_2 \quad (3.11)$$

2. Εισχώρηση και των δύο πλακών:

$$H_0 = M.Y - (\text{Αφαιρούμενο Ύψος}) - 2 \cdot t_2 \quad (3.12)$$

3. Καμία πλάκα δεν εισχωρεί:

$$H_0 = M.Y - (\text{Αφαιρούμενο Ύψος}) - 2 \cdot (p + r) \quad (3.13)$$

Τα μεγέθη που αναφέρονται στις εξισώσεις ορίστηκαν στην Ενότητα 3.1.2, Σχήμα 3.9 και στον Πίνακα 3.1 που παρουσιάζει τις μετρήσεις των διαστάσεων των στοιχείων που περιέχονται στο μεταλλικό κιβώτιο.

- Εμβαδόν διατομής δοκιμίου, A_0 (m^2):

$$A_0 = \frac{\pi \times D_0^2}{4} = 0.003164 \text{ m}^2 \quad (3.14)$$

- Όγκος δοκιμίου, V_0 (m^3):

$$V_0 = \frac{A_0}{H_0/1000} \quad (3.15)$$

- Φαινόμενη Πυκνότητα, ρ (kg/m^3):

$$\rho = \frac{M/1000}{V_0} \quad (3.16)$$

- Πυκνότητα Νερού, ρ_w (kg/m^3)=1000

- Όγκος Στερεού Σκελετού Δοκιμίου,

$$V_s (m^3) = \frac{M_s/1000}{G_s/P_w} \quad (3.17)$$

- Δείκτης Πόρων,

$$e_0 = \frac{V_s - V_0}{V_0} \quad (3.18)$$

- Σχετική Πυκνότητα, D_{r0} (%):

$$D_{r0} = \frac{(e_{max} - e_0)}{(e_{max} - e_{min})} \times 100 \quad (3.19)$$

- Ξηρή Πυκνότητα, ρ_d (kg/m^3):

$$\rho_d = \frac{(M_s/1000)}{V_0} \quad (3.20)$$

Τελικό δοκίμιο:

Υγρασία:

Στις άμμους που μελετήθηκαν δεν υπήρχε ποσοστό λεπτόκοκκων γι' αυτό θεωρήθηκε ότι η τελική υγρασία είναι ίση με την αρχική

Μάζα δοκιμίου:

- Αριθμός υποδοχέα
- Μάζα υποδοχέα (g)
- Μάζα υποδοχέα+ ξηρού δείγματος (g): μάζα που μετράται μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής και εφόσον το δοκίμιο ξηρανθεί πλήρως στο φούρνο.
- Μάζα ξηρού δείγματος, M_s (g):

$$M_s = (\text{Μάζα υποδοχέα+ ξηρού δείγματος}) - (\text{Μάζα υποδοχέα})$$

Δεδομένα στερεοποίησης (Σχήμα 3.34)

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται τα στοιχεία της πρώτης φάσης της δοκιμής άμεσης διάτμησης, της στερεοποίησης. Στη φάση αυτή ασκείται στο δοκίμιο ορθή τάση μέσω των νεκρών φορτίων όπως εξηγήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το δοκίμιο καθιζάνει έως ότου επέλθει η πλήρης στερεοποίησή του. Παρακάτω αναφέρονται τα δεδομένα και οι υπολογισμοί αυτής της ενότητας.

- Αρχικό Φορτίο: καπάκι + πορώδης δίσκος + φίλτρο + σχάρα (kg)
- Συνολικό φορτίο στον μοχλό (kg): Μάζα τοποθετούμενων νεκρών φορτίων
- Λόγος μοχλού= $\frac{1}{10}$: στο δοκίμιο μεταφέρεται δεκαπλάσια φόρτιση της μάζα των νεκρών φορτίων λόγω της εκκεντρότητας της υποδοχής τους ως προς τη θέση του κιβωτίου
- Συνολικό φορτίο στο δοκίμιο (kg)=(Αρχικό Φορτίο)+(Συνολικό φορτίο στον μοχλό×10)
- Ορθή Τάση, σ_n (kPa):

$$\sigma_n = \frac{\text{Συνολικό φορτίο στο δοκίμιο} \times g}{A_0/1000} \quad (3.21)$$

- Ημερομηνία και ώρα έναρξης της στερεοποίησης
- Αρχική και τελική ένδειξη κατακόρυφου μηκυσιομέτρου
- Τελική Κατακόρυφη Μετακίνηση, ΔH (mm)= (Αρχική ένδειξη)- (Τελική ένδειξη)
- Τελική Συμπύεση Συστήματος, $\Delta H_{\text{συστ}}$ (mm) (Παράρτημα 6): εξαρτάται από την ορθή τάση σ_n
- Βάθος εισχώρησης σχάρας στο δοκίμιο κατά τη στερεοποίηση, $\Delta H_{\text{σχ}}$ (mm): όπως αναφέρεται και στο σχετικό παράρτημα θεωρήθηκε ότι οι σχάρες εισχωρούν πλήρως στο αρχικό δοκίμιο οπότε το βάθος εισχώρησης στη στερεοποίηση είναι μηδενικό
- Ολική Καθαρή Κατακόρυφη Μετακίνηση, $\Delta H_{\text{καθ}}$ (mm):

$$\Delta H_{\text{καθ}} = \Delta H - \Delta H_{\text{συστ}} - \Delta H_{\text{σχ}} \quad (3.22)$$

- Ολικό Ύψος Δοκιμίου, $H_{\text{στερ}}$ (mm): $H_{\text{στερ}} = H_0 - \Delta H_{\text{καθ}}$ (3.23)
- Ολική Κατακόρυφη Παραμόρφωση Δοκιμίου, ϵ_a (%):

$$\epsilon_a = \frac{\Delta H_{\text{καθ}}}{H_0} \times 100 \quad (3.24)$$

- Δείκτης πόρων μετά τη στερεοποίηση, e

$$e = \frac{(A_0 \times H_0 / 1000 - V_s)}{V_s} \quad (3.25)$$

- Σχετική Πυκνότητα μετά τη στερεοποίηση, D_r (%):

$$D_r = \frac{(e_{\text{max}} - e)}{(e_{\text{max}} - e_{\text{min}})} \times 100 \quad (3.26)$$

- Αρχείο καταγραφής

Από το αρχείο καταγραφής υπάρχουν ως δεδομένα οι ενδείξεις κατακόρυφου μηκυσιομέτρου σε κάθε διάστημα χρόνου καταγραφής (ανά δευτερόλεπτο, όπως ορίστηκε στο Assistant-Storage). Έτσι δημιουργείται το διάγραμμα χρόνου- κατακόρυφης ένδειξης. Δημιουργείται και το αντίστοιχο διάγραμμα με τη τετραγωνική ρίζα του χρόνου. Οπότε δημιουργείται μια στήλη που υπολογίζει την τετραγωνική ρίζα του χρόνου και σχεδιάζεται το αντίστοιχο γράφημα. Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτουν τα εξής:

- Χρόνος στερεοποίησης t_{100} (min) Πρόκειται για τη χρονική διάρκεια μετά την οποία η ένδειξη του κατακόρυφου μηκυσιομέτρου είναι σταθερή ή μειώνεται με πολύ αργό ρυθμό. Στο χρόνο αυτό θεωρείται ότι έχει συμβεί η πλήρης στερεοποίηση του δοκιμίου
- Χρόνος αστοχίας t_f (min): πρόκειται για μια προεκτίμηση του χρόνου αστοχίας του δοκιμίου. Υπολογίζεται από την εξίσωση (3.6)
- Μετακίνηση αστοχίας, d_f (mm): Πρόκειται για μια προεκτίμηση της μετακίνησης αστοχίας, της μετακίνησης δηλαδή που αντιστοιχεί στη μέγιστη διατμητική τάση κατά τη διάτμηση.
- Ρυθμός διατμητικής παραμόρφωσης, $rate$ (mm/min): Υπολογίζεται από την εξίσωση (3.7)

Δεδομένα Διάτμησης (Σχήμα 3.35)

Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνεται η επεξεργασία των καταγραφών που προκύπτουν από το καταγραφικό σύστημα κατά τη διάτμηση. Σχεδιάζονται επίσης διαγράμματα τα οποία οπτικοποιούν τη συμπεριφορά του δοκιμίου κατά τη διάτμηση. Στην ανάλυση, τα δεδομένα διάτμησης περιλαμβάνουν τα παρακάτω πεδία.

- Ημερομηνία και ώρα εκκίνησης της διάτμησης
- Ρυθμός διατμητικής παραμόρφωσης
- Αρχικές και τελικές ενδείξεις κατακόρυφου και οριζόντιου μηκυσιομέτρου και δύναμης στη δυναμοκυψέλη.
- Αρχείο καταγραφής
- Στήλες καταγραφών: χρόνος καταγραφής (sec) και οι αντίστοιχες ενδείξεις κατακόρυφου (ΔH_k) και οριζόντιου μηκυσιομέτρου (ΔH_{op}) και δύναμης στη δυναμοκυψέλη.
- Οριζόντια Δύναμη, $F(N)$: εξίσωση (3.12)

Ο συντελεστής 1,0313 προέκυψε από τη βαθμονόμηση της δυναμοκυψέλης.

- Διατμητική Τάση,

$$\tau = F/A_0 \text{ (kPa)} \quad (3.27)$$

- Μεταβολή ύψους δοκιμίου, $\Delta H =$ αρχική ένδειξη μηκυσιομέτρου κατακόρυφης μετακίνησης- ΔH_k (mm)

- Ύψος δοκιμίου,

$$H = H_0 - \Delta H \text{ (mm)} \quad (3.28)$$

- Κατακόρυφη παραμόρφωση, $\epsilon_k = \Delta H/H_{\text{στερ}}$ (%) (3.29)

- Οριζόντια Μετακίνηση, $\Delta H_{op} =$ τρέχουσα-αρχική ένδειξη μηκυσιομέτρου οριζόντιας μετακίνησης (mm)

- Δείκτης πόρων, $e = \frac{(A_0 \times H / 1000 - V_s)}{V_s}$ (3.30)

Δημιουργούνται τα διαγράμματα οριζόντιας μετακίνησης- διατμητικής τάσης, οριζόντιας μετακίνησης- κατακόρυφης παραμόρφωσης και οριζόντιας μετακίνησης- δείκτη πόρων.

Από τη μορφή των ανωτέρω διαγραμμάτων απορρέουν συμπεράσματα για τα εξής:

- Μέγιστη Διατμητική Τάση, $\tau_{max}=F_{max}/A_0$ (kPa) και η αντίστοιχη Οριζόντια Μετακίνηση, ΔH_{op} (mm), ο χρόνος αστοχίας, t_f (min), Δείκτης πόρων, e
- Οριακή Διατμητική Τάση, $\tau_{cr}=F_{cr}/A_0$ (kPa) και η αντίστοιχη Οριζόντια Μετακίνηση, ΔH_{op} (mm), Δείκτης πόρων, e . Η εν λόγω τάση εκτιμάται να προκύπτει από το διάγραμμα $\Delta H_{op}-\tau$, όταν η τάση δείχνει να έχει σταθεροποιηθεί σε κάποια τιμή

Συγκεντρωτικά όλων (Σχήμα 3.36)

Προσδιορίζονται οι παράμετροι διατμητικής αντοχής. Σχεδιάζονται οι καμπύλες διατμητικής τάσης- οριζόντιας μετατόπισης, κατακόρυφης παραμόρφωσης- οριζόντιας μετατόπισης και δείκτη πόρων οριζόντιας μετατόπισης.

Η μέγιστη γωνία τριβής, ϕ'_{max} προκύπτει από τη κλίση του διαγράμματος ορθής τάσης, σ_n - μέγιστης διατμητικής τάσης. Η κρίσιμη γωνία τριβής, ϕ'_{crit} προκύπτει από τη κλίση του διαγράμματος ορθής τάσης, σ_n - οριακής διατμητικής τάσης.

Με διόρθωση επιφάνειας (Σχήμα 3.37)

Η προκαθορισμένη επιφάνεια διάτμησης δεν είναι σταθερή, αλλά μειώνεται καθώς το κάτω μισό του κιβωτίου ολισθαίνει ως προς το άνω. Ο βαθμός μείωσής της εξαρτάται από της οριζόντια μετακίνηση ως εξής:

$$A = \pi \cdot R_0^2 - D_0^2(\Delta H_{op}/D_0) \quad (m) \quad (3.31) \quad (ASTM \quad STP479 - 1970)$$

Όπου:

R_0 : ακτίνα δοκιμίου πριν την έναρξη της διάτμησης ($R_0=0,03174 \text{ m}^2$)

D_0 : διάμετρος δοκιμίου πριν την έναρξη της διάτμησης ($D_0=0.06347 \text{ m}^2$)

ΔH_{op} : οριζόντια μετατόπιση (mm)

Επίσης επηρεάζονται και η ορθή τάση κατά τη διάτμηση, σ_n (kPa) και η διατμητική τάση, τ (kPa):

$$\sigma_n = \frac{\text{Συνολικό φορτίο στο δοκίμιο} \times g}{A} \quad \text{και} \quad \tau = F/A \quad (3.32)$$

Οι τάσεις που προκύπτουν είναι μεγαλύτερες εφόσον η επιφάνεια στην οποία δρα η δύναμη μειώνεται συνεχώς.

Είναι πλέον εφικτός ο σχεδιασμός των παρακάτω διαγραμμάτων που προσφέρουν μια συνολική εικόνα του υλικού.

- Χωρίς διόρθωση επιφάνειας: Οριζόντια μετακίνηση- Διατμητική Τάση, Οριζόντια μετακίνηση- κατακόρυφη παραμόρφωση, Οριζόντια μετακίνηση- Δείκτης πόρων
- Με διόρθωση επιφάνειας: Οριζόντια μετακίνηση- Διατμητική τάση

Εφόσον έχουν ολοκληρωθεί δοκιμές διάτμησης σε δοκίμια με περίπου ίση πυκνότητα και υπό υο καθεστώς διάφορων ορθών τάσεων σχεδιάζεται το διάγραμμα ορθής τάσης σ_n - διατμητικής τάσης για την μέγιστη και την οριακή αντοχή, με και χωρίς διόρθωση επιφάνειας.

Πραγματικός ρυθμός παραμόρφωσης (Σχήμα 3.38)

Ο ονομαστικός ρυθμός διατμητικής παραμόρφωσης, rate, επιβάλλεται ηλεκτρονικά μέσω του καταγραφικού προγράμματος Clisp Studio όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Όμως η κινητήρια μονάδα της συσκευής καθυστερεί λίγα δευτερόλεπτα να αναπτύξει τον ρυθμό αυτό. Ο πραγματικός ρυθμός παραμόρφωσης υπολογίζεται για το διάστημα, όπου ο κινητήρας της συσκευής έχει φτάσει τον ονομαστικό ρυθμό ως το τέλος της διάτμησης. Ορίζεται ως:

$$\text{Actual rate} = \frac{(D_2 - D_1)}{((t_2 - t_1) / 60)} \quad (3.33)$$

Όπου:

$D_1 = 0,1$ mm, που θεωρείται πως έχει φθάσει τον ονομαστικό ρυθμό παραμόρφωσης

t_1 : ο χρόνος στον οποίο αναπτύσσεται η D_1

D_2 (mm): η παραμόρφωση στο τέλος της επιβαλλόμενης διάτμησης

t_2 : ο χρόνος στον οποίο αναπτύσσεται η D_2

3.2 Δοκιμές ταξινόμησης

3.2.1 Κοκκομετρική ανάλυση

Κοκκομετρική ανάλυση είναι η διαδικασία προσδιορισμού του ποσοστού επί τοις εκατό της σύνθεσης των εδαφών σε κόκκους διάφορων διαμέτρων με χρήση κοσκίνων παρατεταγμένα σε μια στήλη με μειούμενο άνοιγμα οπών. Εκτελώντας τη συγκεκριμένη διαδικασία προκύπτει η κοκκομετρική καμπύλη του εδάφους. Η κοκκομετρική ανάλυση των μελετηθέντων εδαφών έγινε σύμφωνα με το πρότυπο των Βρετανικών κανονισμών BS 1377: Part 2: 1990 9.3.

Λόγω της ανομοιομορφίας που παρουσιάζουν τα αμμώδη εδάφη η δοκιμή πραγματοποιείται σε τρία διαφορετικά δείγματα της κάθε άμμου ώστε να προσδιοριστεί το εύρος της κοκκομετρίας.

Για τη δοκιμή αυτή απαιτείται ο παρακάτω εξοπλισμός:

- Κόσκινα τετραγωνικών οπών παρατεταγμένα όπως ορίζεται στον Πίνακα 3.1 και στο Σχήμα 3.39
- Ζυγός ακριβείας 0,01 g
- Μεταλλικός υποδοχέας
- Πλαστική βούρτσα
- Έντυπο δοκιμής

Η κοκκομετρική ανάλυση των άμμων έγινε με τη ξηρή μέθοδο κατά την οποία:

- Επιλέγεται η ελάχιστη ποσότητα αντιπροσωπευτικού δείγματος της άμμου.

Για τις εξεταζόμενες άμμους επιλέχθηκε δείγμα μάζας περίπου 200 g.

- Τα δείγματα αποξηραίνονται στο φούρνο στους 105° C για τουλάχιστον 12 ώρες
- Τοποθετούνται στον ξηραντήρα έως ότου η θερμοκρασία τους εξισορροπηθεί με αυτή του περιβάλλοντος
- Τοποθετούνται τα κόσκινα με τη σειρά που ορίστηκε παραπάνω ώστε η διάμετρος τους να είναι μειούμενη. Στο τέλος της στήλης τοποθετείται το τυφλό κόσκινο (κόσκινο χωρίς οπές) ενώ στη κορυφή τοποθετείται το καπάκι ώστε να μη διαρρεύσει υλικό
- Εκχύνεται από τη κορυφή το εξεταζόμενο κάθε φορά δείγμα, τοποθετείται το καπάκι και ανακινείται η στήλη κοσκίνων με κυκλικές κινήσεις (και προς τις δύο στροφικές διευθύνσεις) από τη κορυφή για περίπου 10'
- Εκκαθάριση του συγκρατούμενου υλικού του κάθε κόσκινου χωριστά με μια πλαστική βούρτσα σε μεταλλικό υποδοχέα και ζύγισή του
- Υπολογισμός της συγκρατούμενης μάζας του κάθε κόσκινου
- Σχεδιασμός κοκκομετρικής καμπύλης
- Επανάληψη της δοκιμής για ακόμη δύο δείγματα της ίδια άμμου

Υπολογισμοί:

Ο προσδιορισμός του διερχόμενου ποσοστού του δείγματος από κάθε κόσκινο έγινε υπολογίζοντας την εξής ποσότητα:

$$Si(\%) = \frac{B_{ολ} - \Sigma(B_i)}{B_{ολ}} \times 100 \quad (3.34)$$

Όπου:

$B_{ολ}$: συνολικό βάρος

$\Sigma(B_i)$: συνολικό βάρος του συγκρατούμενου δείγματος στα κόσκινα με διάμετρο > d_i

Περιορισμοί:

- Πρέπει η τελική συγκρατούμενη μάζα να είναι μικρότερη ή ίση του 1% της αρχικής.
- Πρέπει να μη συγκρατείται υλικό στο αρχικό κόσκινο (αυτό που βρίσκεται στη κορυφή της στήλης).

Κοκκομετρική καμπύλη:

Προκύπτουν τρεις καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης για κάθε έδαφος, οποίες και παρουσιάζονται. Ως τελική κοκκομετρία του υλικού θεωρείται η μέση καμπύλη.

Ο οριζόντιος άξονας του διαγράμματος αναφέρεται στις διαβαθμίσεις των διαμέτρων των κοσκίνων. Επίσης αναφέρει τις στήλες χαρακτηριστικών κοσκίνων όπως κόσκινο 3 inch, No 4, No 10, No 40, No 200.

Υπάρχουν δύο κατακόρυφοι άξονες 'συμπληρωματικοί' μεταξύ τους. Δεξιά βρίσκεται ο άξονας του διερχόμενου ποσοστού και αριστερά του συγκρατούμενου.

3.2.2 Ειδικό βάρος στερεών κόκκων

Με τη μέθοδο που αναλύεται σε αυτή την ενότητα μετράται η πυκνότητα των εδαφικών κόκκων που είναι βαρύτεροι από το νερό ή άλλα υγρά. Η δοκιμή αυτή συνίσταται από τα Βρετανικά πρότυπα BS 1377: Part 2: 1990 για εδάφη με μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο από 2 mm. Επειδή οι άμμοι που μελετήθηκαν δε περιέχουν διαλυτά άλατα για τη συγκεκριμένη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε απεσταγμένο νερό.

Εξοπλισμός:

- Τρεις λήκυθοι ανά έδαφος
- Υδροβολέας με απιονισμένο νερό
- Ζυγός ακριβείας 0,0001 gr
- Θάλαμος κενού (ξηραντήρας συνδεδεμένος με αντλία κενού)
- Κόσκινο (ανά περίπτωση εδάφους)
- Σπάτουλα
- Έντυπο δοκιμής
- Δείγμα ξηρού εδάφους περίπου 35 gr
- χωνί

Ο εξοπλισμός της δοκιμής παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.40

Διαδικασία:

- Οι λήκυθοι και τα εδάφη ξηραίνονται στο φούρνο για 12 ώρες στους 105 βαθμούς
- ζυγίζεται και καταγράφεται η μάζα καθεμιάς από τις ληκύθους μαζί με τα καπάκια τους (M_1)
- Σε καθεμία από τις ληκύθους με τη βοήθεια του ειδικού χωνιού και μιας σπάτουλας τοποθετείται ξηρό δείγμα περίπου 10 gr
- Ζυγίζεται η λήκυθος μαζί με την άμμο που προστέθηκε και το καπάκι της (M_2)
- Αφαιρείται το καπάκι. Προστίθεται στη λήκυθο απιονισμένο νερό με τη βοήθεια του υδροβολέα μέχρι να σκεπάσει το έδαφος και περίπου μέχρι τη μέση και λιγότερο. Η ποσότητα του νερού πρέπει να μην είναι αρκετά μεγάλη, διότι ο αέρας που παγιδεύεται θα είναι δύσκολο να αφαιρεθεί, αλλά ούτε πολύ μικρή διότι όταν αργότερα θα τοποθετηθεί η λήκυθος μαζί με το έδαφος και το νερό στον θάλαμο αέρα λόγω σχετικά μεγάλης πίεσης μπορεί να εκτοξευθεί προς τα άνω υλικό από την άμμο.
- Τοποθετείται η λήκυθος μαζί με το δείγμα της άμμου και το νερό στον θάλαμο κενού (ξηραντήρας συνδεδεμένος με αντλία κενού) , ο οποίος αφαιρεί τον αέρα που έχει παγιδευτεί για περίπου οκτώ ώρες. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα συνίσταται η προσωρινή διακοπή της διαδικασίας και η ανακίνηση της ληκύθου
- Στη συνέχεια αφαιρούνται οι λήκυθοι από τον θάλαμο κενού , γεμίζουν μέχρι επάνω με νερό με τον υδροβολέα (υπό κλίση) προσεκτικά ώστε να μη προστίθεται αέρας.
- Προστίθεται σε κάθε λήκυθο το αριθμημένο καπάκι της, ακολουθεί εκτόξευση νερού. Ακολουθεί προσεκτικός καθαρισμός και ζύγιση (M_3)
- Στη συνέχεια τις αδειάζουν και τις ξεπλένονται σχολαστικά

- Γεμίζουν με τον ίδιο τρόπο ξανά μόνο με απιονισμένο νερό μέχρι επάνω. Προστίθεται σε κάθε λήκυθο το αριθμημένο καπάκι της, ακολουθεί εκτόξευση νερού. Ακολουθεί προσεκτικός καθαρισμός και ζύγιση (M_4)

Υπολογισμοί:

Το ειδικό βάρος των στερεών κόκκων προκύπτει από την εξίσωση:

$$G_s = \frac{\rho_L \times (m_2 - m_1)}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)} \quad (3.35)$$

Όπου:

ρ_L : η πυκνότητα του υγρού που τοποθετείται στη λήκυθο, στη συγκεκριμένη περίπτωση το απιονισμένο νερό έχει $\rho_L = 1,000 \text{ g/ml}$

m_1 : μάζα ληκύθου (g)

m_2 : μάζα ληκύθου και ξηρού δείγματος (g)

m_3 : μάζα ληκύθου, εδάφους και απιονισμένου εδάφους (g)

m_4 : μάζα ληκύθου γεμάτη με απιονισμένο νερό (g)

Περιορισμοί:

Πρέπει οι ειδικές πυκνότητες ρ_s των τριών δοκιμών- ληκύθων να μη διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 0,03 g.

3.2.3 Ελάχιστη και μέγιστη πυκνότητα

3.2.3.1 Ελάχιστη πυκνότητα

Για το προσδιορισμό της ελάχιστης πυκνότητας χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι.

α) Μέθοδος ξηρής εναπόθεσης άμμου σε ογκομετρικό κύλινδρο χωρίς νερό

Εξοπλισμός:

- Δύο γυάλινοι ογκομετρικοί κύλινδροι, ένας 1000 cm^3 και ένας 2000 cm^3 με το κατάλληλο πώμα τους
- Πλαστικό λαστιχάκι που να εφαρμόζει στους κυλίνδρους
- Ζυγός ακριβείας 1g

Ο εξοπλισμός της συγκεκριμένης δοκιμής παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.41.

Διαδικασία:

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε δύο φορές για κάθε ογκομετρικό σωλήνα με γρήγορη εναπόθεση (όπως επιβάλουν οι Βρετανικοί κανονισμοί) και με αργή εναπόθεση (όπως επιβάλει ο Κ.Η. Head). Η διαδικασία είναι η εξής:

- Επιλέγεται αντιπροσωπευτικό αμμώδες δείγμα 1 Kg και τοποθετείται στο φούρνο στους 105° C έως τη πλήρη ξήρανσή του
- Τοποθετείται στον ξηραντήρα έως ότου η θερμοκρασία του εξισορροπηθεί με αυτή του περιβάλλοντος
- Τοποθετείται στον ογκομετρικό κύλινδρο και καλύπτεται με το πώμα
- Ο κύλινδρος ανακινείται ελαφρώς ώστε να χαλαρώσει η άμμος και στη συνέχεια ανακινείται πάνω κάτω πέντε φορές και εναποτίθεται αργά ή γρήγορα στο πάγκο εργασίας
- Καταγράφεται προσεγγιστικά η μέση τιμή της ένδειξης της επιφάνειας του εδαφικού δείγματος με ακρίβεια 10 ml. Χάριν ακρίβειας, όταν η επιφάνεια είναι ανισόπεδη χρησιμοποιείται το πλαστικό λαστιχάκι με τη βοήθεια του οποίου προκύπτει η τελική ένδειξη
- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνολικά δέκα φορές και προκύπτουν δέκα μετρήσεις
- Λαμβάνεται ο μεγαλύτερος καταγραφόμενος όγκος και υπολογίζονται η ελάχιστη ξηρή πυκνότητα που αντιστοιχεί στο μέγιστο δείκτη πόρων

Υπολογισμοί:

Μάζα ξηρού δοκιμίου $M = 1000 \text{ gr}$

Όγκος εδάφους, V : προέκυψε από τις μετρήσεις

$$\text{Ελάχιστη ξηρή πυκνότητα, } \rho_{D-\min} = M / V \quad (3.36)$$

$$\text{Μέγιστος δείκτης πόρων, } e_{\max} = \frac{G_s}{\rho_{D-\min} - 1} \quad (3.37)$$

Όπου G_s : ειδικό βάρος των στερεών κόκκων.

β) Μέθοδος ξηρής εναπόθεσης άμμου σε ογκομετρικό κύλινδρο με νερό

Σκοπός αυτής της δοκιμής είναι ο προσδιορισμός της ελάχιστης πυκνότητας της άμμου μέσα σε νερό. Η διαδικασία είναι βασισμένη στη πρόταση του Κ.Η. Head (Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 1: Soil Classification and Compaction Tests, 3rd edition).

Εξοπλισμός:

- Τρεις γυάλινοι ογκομετρικοί κύλινδροι χωρητικότητας 100 g
- Χωνί μικρής διατομής
- Ζυγός ακριβείας 0,01 g
- Μεταλλική σπάτουλα

Ο εξοπλισμός της συγκεκριμένης δοκιμής παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.42.

Διαδικασία:

- Προετοιμασία τριών αντιπροσωπευτικών δειγμάτων μάζας περίπου 40 g
- Τοποθέτηση απιονισμένου νερού περίπου 60 cm³ σε κάθε κύλινδρο
- Ζύγιση των ογκομετρικών κυλίνδρων με το νερό στο ζυγό ακριβείας 0,01 g (μάζα m₁)
- Πολύ αργά και προσεκτικά τοποθετείται σε όλους τους κυλίνδρους μια μικρή ποσότητα του εδαφικού υλικού κάθε φορά με τη βοήθεια του μικρού χωνιού. Σε κάθε κύλινδρο τοποθετείται μάζα περίπου 20 cm³.
- Αναμονή έως ότου όλοι οι κόκκοι της άμμου να καθιζάνουν
- Ανάγνωση και καταγραφή του όγκου του εδάφους (όχι της στάθμης του νερού) V_{εδαφους}
- Μετράται η μάζα του κυλίνδρου με το νερό και το έδαφος (μάζα m₂)

Υπολογισμοί:

Η μάζα του εδαφικού υλικού που τοποθετήθηκε στο κύλινδρο προκύπτει από τον τύπο:

$$m_3 = m_2 - m_1 \quad (3.39)$$

Η πυκνότητα του εδάφους σε g/cm³ προκύπτει από τον εξής υπολογισμό:

$$\rho_{D-\min} = \frac{m_3}{V_{\text{εδαφους}}} \quad (3.40)$$

Ο μέγιστος δείκτης πόρων υπολογίζεται από την εξίσωση (3.4).

3.2.3.2 Μέγιστη πυκνότητα

Για το προσδιορισμό της μέγιστης πυκνότητας $\rho_{D-\max}$ και κατά συνέπεια του ελάχιστου δείκτη πόρων πραγματοποιήθηκε δοκιμή πρότυπης συμπύκνωσης Proctor. Κατά τη συμπύκνωση του εδάφους αυξάνεται η πυκνότητα του και μειώνεται ο όγκος του αέρα που περιέχεται στα κενά του. Κατά την εργαστηριακή δοκιμή Proctor η συμπύκνωση του εδαφικού δείγματος γίνεται σε μεταλλικό κυλινδρικό δοχείο (μήτρα) ορισμένου όγκου, με πτώση μεταλλικής σφύρας συγκεκριμένης μάζας από ορισμένο ύψος και η ενέργεια συμπύκνωσης μετράται με τη συνολική ενέργεια πτώσης ανά μονάδα όγκου του εδαφικού δείγματος.

Επειδή η άμμος M31, η οποία υποβλήθηκε σε δοκιμή πρότυπης συμπύκνωσης έχει μέγιστη διάμετρο κόκκων μικρότερη από 4,75 mm (κόσκινο Νο4) επιλέχθηκε να εφαρμοστεί η Μέθοδος A του προτύπου ASTM D698-07 ο εξοπλισμός και η διαδικασία του οποίου αναφέρονται στη συνέχεια.

Εξοπλισμός:

- Μεταλλική άκαμπτη μήτρα, αποτελούμενη από ένα σταθερό και ένα αποσπώμενο μέρος, οι διαστάσεις της οποίας παραθέτονται στον Πίνακα 3.2.

Το ύψος μετρήθηκε με βαθύμετρο και η διάμετρος με βερνιέρο.

- Κόσκινο Νο4 (διάμετρος οπής 4,75 mm)
- Μεγάλοι υποδοχείς
- Μεταλλική σφύρα συμπίκνωσης τα χαρακτηριστικά της οποίας παρουσιάζονται στους Πίνακες
- Μεταλλικό εργαλείο ομαλοποίησης της επιφάνειας (μεταλλικός χάρακας)

Ο εξοπλισμός της δοκιμής παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.43

Διαδικασία:

- Εδαφικό υλικό μάζας περίπου 2,5 Kg κοσκινίζεται στο κόσκινο Νο4 και τοποθετείται στο φούρνο στους 60 C έως ότου επέλθει η πλήρης ξήρανό του
- Τοποθετείται στο υλικό η προκαθορισμένη, κάθε φορά, υγρασία προσθέτοντας τη κατάλληλη ποσότητα νερού
- Στη συνέχεια το δείγμα αναδεύεται καλά ώστε η υγρασία να είναι ομοιόμορφη σε όλη τη μάζα του εδαφικού υλικού
- Ομαλοποιείται πρόχειρα η επιφάνεια του εδαφικού δείγματος, διαχωρίζεται σε τρία κατά το δυνατόν ίσα μέρη και καλύπτεται με πλαστική μεμβράνη για την αποφυγή απώλειας της περιεχόμενης υγρασίας
- Ζυγίζεται το σταθερό τμήμα της μήτρας μαζί με τη βάση της
- Προστίθεται το σταθερό τμήμα της μήτρας όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.43
- Με ένα κουτάλι τοποθετείται η πρώτη στρώση του εδαφικού δείγματος στη μήτρα. Αφήνοντας τη μεταλλική σφύρα να πραγματοποιήσει ελεύθερη πτώση προοδευτικά και περιμετρικά της μήτρας, πραγματοποιούνται 25 κτύποι στο έδαφος.
- Αφαιρείται η άνω επιφάνεια της εδαφικής στρώσης. Στη συνέχεια το έδαφος ομαλοποιείται και χαράσσεται για να υποδεχτεί την δεύτερη στρώση.
- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τη δεύτερη και τη τρίτη στρώση.
- Αφαιρείται το αποσπώμενο τμήμα της μήτρας και γίνεται προσεκτική ομαλοποίηση της μήτρας με τον τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 3.43
- Γίνεται προσεκτικός καθαρισμός εξωτερικά της μήτρας και ζυγίζεται μαζί με το έδαφος. Έτσι προσδιορίζεται η υγρή μάζα του δοκιμίου και υπολογίζεται η φαινόμενη πυκνότητά του.

Εάν ολόκληρη η παραπάνω διαδικασία επαναληφθεί για ένα πλήθος τοποθετούμενων υγρασιών στο έδαφος (συνήθως 5 δοκιμές αρκούν) το μέγιστο της καμπύλης ποσοστού υγρασίας (%) - φαινόμενης πυκνότητας αποτελεί το λεγόμενο OWC (Optimum Water Content). Αποτελεί τη μέγιστη πυκνότητα που αντιστοιχεί στον ελάχιστο δείκτη πόρων, e_{min} . Η μορφή της εν λόγω καμπύλης για τις άμμους είναι της μορφής του Σχήματος 3.44.

Υπολογισμοί:

Η περιεχόμενη υγρασία υπολογίζεται από τον τύπο:

$$w = M_w/M_s \quad (3.41)$$

όπου:

M_w (g): μάζα του νερού που προστίθεται

M_s (g): μάζα ξηρού δείγματος

Η φαινόμενη πυκνότητα, ρ , υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\rho = M/V \quad (3.42)$$

όπου:

M (g): μάζα εδάφους

V (g): όγκος εδάφους (όγκος μήτρας)

Η μέγιστη ξηρή φαινόμενη πυκνότητα ρ_{D-max} υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\rho_{D-max} = \rho / (1 + w) \quad (3.43)$$

Ο ελάχιστος δείκτης πόρων υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$e_{min} = \frac{G_s \cdot (1+w)}{\rho_{D-max} - 1} \quad (3.44)$$

3.2.4 Ορυκτολογική σύσταση των κόκκων

Για την εξέταση της ορυκτολογικής σύστασης των κόκκων των άμμων (χρώμα, σχήμα, μέγεθος) χρησιμοποιήθηκε που διαθέτει το Εργαστήριο Τεχνολογίας και Κατασκευών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Τύρη Δ.). Τα όργανα αυτά είναι το μικροσκόπιο OLYMPUS BX51NM και το στερεοσκόπιο OLYMPUS SZ61, τα οποία είναι εξοπλισμένα με κάμερα OLYMPUS C30

Το στερεοσκόπιο OLYMPUS SZ61 διαθέτει 11 φακούς εστίασης με σχετικά μικρές μεγεθύνσεις, $\times 0,67$, $\times 0,80$, $\times 1,00$, $\times 1,20$, $\times 1,50$, $\times 2,00$, $\times 2,50$, $\times 3,00$, $\times 3,50$, $\times 4,00$ και $\times 4,50$ και λαμπτήρα KL200LED για μεγαλύτερη ευκρίνεια εικόνας. Το μικροσκόπιο OLYMPUS BX51NM διαθέτει 4 φακούς μεγαλύτερης μεγέθυνσης, $\times 5$, $\times 10$, $\times 20$ και $\times 50$. Τα όργανα αυτά έχουν βαθμονομηθεί, διαθέτουν κλίμακα, ώστε να είναι δυνατό να ελεγχθεί το εύρος των διαμέτρων των κόκκων των εδαφικών υλικών. Έτσι, κάθε φωτογραφία των εδαφών που λήφθηκε από τα όργανα διαθέτει κλίμακα, ώστε να συγκρίνεται το μέγεθος των κόκκων.

Το μικροσκόπιο εστιάζει στο επίπεδο οπότε δύσκολα παρατηρείται ο όγκος των κόκκων του εδαφικού υλικού. Αντιθέτως, το στερεοσκόπιο επιτρέπει την οπτικοποίηση του όγκου ενός αντικειμένου, αφού δημιουργεί την ψευδαίσθηση του βάθους σε μια εικόνα.

Οι καθαρές άμμοι M31, Toyoura και Hostun μελετήθηκαν και στα δύο όργανα, ώστε να διαπιστωθεί το χρώμα, το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων τους.

Πίνακας 3.1 Αναλυτικές μετρήσεις των διαστάσεων του κιβωτίου και των εξαρτημάτων του (mm)

Διάμετρος δοκιμίου	
μέτρηση	τιμή
Ηλ. βερνιέρος	
1η	63,52
2η	63,40
3η	63,40
4η	63,47
5η	63,49
6η	63,51
7η	63,38
8η	63,58
Μέση τιμή	63,43

Ζεύγος φίλτρων	
μέτρηση	τιμή
Ηλ. βερνιέρος	
1η	0,41
2η	0,39
3η	0,41
4η	0,38
Μέση τιμή	0,397

Πορόλιθος 1	
μέτρηση	τιμή
Βαθόμετρο	
1η	5,68
2η	5,10
3η	5,54
Μέση τιμή	5,44
Ηλ. βερνιέρος	
1η	5,30
2η	5,40
3η	5,64
4η	5,67
5η	5,24
6η	5,28
7η	5,57
Μέση τιμή	5,44
Τελική τιμή	5,44

Πορόλιθος 2	
μέτρηση	τιμή
Βαθόμετρο	
1η	5,24
2η	5,84
3η	5,48
4η	5,28
Μέση τιμή	5,46
Ηλ. βερνιέρος	
1η	5,55
2η	5,53
3η	5,44
4η	5,42
5η	5,45
6η	5,34
7η	5,20
8η	5,35
9η	5,35
10η	5,50
Μέση τιμή	5,41
Τελική τιμή	5,44

Πάχος δύο πορόλιθων και δύο φίλτρων= 11,25 mm

Πλάκα βάσης	
μέτρηση	τιμή
Βαθόμετρο	
1η	5,98
Ηλ. βερνιέρος	
1η	6,08
2η	5,97
3η	5,99
4η	5,96
5η	5,95
6η	5,95
7η	6,02
8η	5,93
9η	5,95
10η	5,95
11η	6,01
12η	5,95
Μέση τιμή	5,97
Τελική τιμή	5,98

Καπάκι κιβωτίου	
μέτρηση	τιμή
Βαθόμετρο	
1η	12,00
2η	12,00
Ηλ. βερνιέρος	
1η	11,97
2η	11,96
3η	11,96
4η	11,97
5η	11,97
Μέση τιμή	11,97
Τελική τιμή	11,99

Οδοντωτές πλάκες (p+r)	
μέτρηση	τιμή
Βαθόμετρο	
1η	3,04
2η	3,04
3η	3,10
4η	3,10
Μέση τιμή	3,07
Ηλ. βερνιέρος	
τιμές μετρήσεων	
3,07	3,10
3,11	3,13
3,07	3,01
3,19	3,02
3,11	3,00
3,08	2,99
3,04	3,04
3,03	3,13
3,02	3,10
3,02	3,06
3,13	3,08
Μέση τιμή	3,07
Τελική τιμή	3,07

Ολικό αφαιρούμενο ύψος=29,27 mm

Πίνακας 3.2 Πίνακες υπολογισμού συμπίεστικότητας συστήματος στη δοκιμή με ξηρούς πορόλιθους

1ος ΚΥΚΛΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ						
	Τοποθετούμενη Μάζα (g)	Ένδειξη μηκυνσιομέτρου (mm)	Βύθιση δοκιμίου (mm)	Επιβαλλόμενη μάζα (g)	Φορτίο (N)	Τάση (kPa)
	356,21	10,359	0	356,21	3,4944	1,1055
2	1029,98	10,356	-0,003	1386,19	135,9852	43,0205
3	1580,42	10,272	-0,087	2966,61	291,0244	92,0690
4	1584,38	10,22	-0,139	4550,99	446,4521	141,2403
5	1586,36	10,183	-0,176	6137,35	602,0740	190,4731
6	2057,89	10,15	-0,209	8195,24	803,9530	254,3399
7	2073,66	10,127	-0,232	10268,90	1007,3791	318,6961
8	3164,23	10,096	-0,263	13433,13	1317,7901	416,8982
9	5109	10,058	-0,301	18542,13	1818,9830	575,4564
10	10161	9,999	-0,36	28703,13	2815,7771	890,8037
11	10189	9,961	-0,398	38892,13	3815,3180	1207,0201
12	10193	9,93	-0,429	49085,13	4815,2513	1523,3606
13	10213	9,904	-0,455	59298,13	5817,1466	1840,3218

1ος ΚΥΚΛΟΣ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ						
	Αφαιρούμενη Μάζα (g)	Ένδειξη μηκυνσιομέτρου (mm)	Βύθιση δοκιμίου (mm)	Επιβαλλόμενη μάζα (g)	Φορτίο (N)	Τάση (Kpa)
12	10213	9,906	-0,453	49085,13	4815,2513	1523,3606
11	10193	9,911	-0,448	38892,13	3815,3180	1207,0201
10	10189	9,919	-0,44	28703,13	2815,7771	890,8037
9	10161	9,938	-0,421	18542,13	1818,9830	575,4564
8	5109	9,954	-0,405	13433,13	1317,7901	416,8982
7	3164,23	9,967	-0,392	10268,90	1007,3791	318,6961
6	2073,66	9,978	-0,381	8195,24	803,9530	254,3399
5	2057,89	9,994	-0,365	6137,35	602,0740	190,4731
4	1586,36	10,009	-0,35	4550,99	446,4521	141,2403
3	1584,38	10,033	-0,326	2966,61	291,0244	92,0690
2	1580,42	10,075	-0,284	1386,19	135,9852	43,0205
1	1029,98			356,21		

2ος ΚΥΚΛΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ						
	Τοποθετούμενη Μάζα (g)	Ένδειξη μηκυνσιομέτρου (mm)	Βύθιση δοκιμίου (mm)	Επιβαλλόμενη μάζα (g)	Φορτίο (N)	Τάση (Kpa)
	356,21	10,218	0	356,21	3,4944	1,1055
2	1029,98	10,073	-0,145	1386,19	135,9852	43,0205
3	1580,42	10,041	-0,177	2966,61	291,0244	92,0690
4	1584,38	10,017	-0,201	4550,99	446,4521	141,2403
5	1586,36	9,998	-0,22	6137,35	602,0740	190,4731
6	2057,89	9,984	-0,234	8195,24	803,9530	254,3399
7	2073,66	9,974	-0,244	10268,90	1007,3791	318,6961
8	3164,23	9,962	-0,256	13433,13	1317,7901	416,8982
9	5109	9,945	-0,273	18542,13	1818,9830	575,4564
10	10161	9,923	-0,295	28703,13	2815,7771	890,8037
11	10189	9,908	-0,31	38892,13	3815,3180	1207,0201
12	10193	9,895	-0,323	49085,13	4815,2513	1523,3606
13	10213	9,879	-0,339	59298,13	5817,1466	1840,3218

2ος ΚΥΚΛΟΣ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ						
	Τοποθετούμενη Μάζα (g)	Ένδειξη μηκυνσιομέτρου (mm)	Βύθιση δοκιμίου (mm)	Επιβαλλόμενη μάζα (g)	Φορτίο (N)	Τάση (kPa)
12	10213	9,881	-0,337	49085,13	4815,2513	1523,3606
11	10193	9,887	-0,331	38892,13	3815,3180	1207,0201
10	10189	9,896	-0,322	28703,13	2815,7771	890,8037
9	10161	9,913	-0,305	18542,13	1818,9830	575,4564
8	5109	9,927	-0,291	13433,13	1317,7901	416,8982
7	3164,23	9,94	-0,278	10268,90	1007,3791	318,6961
6	2073,66	9,95	-0,268	8195,24	803,9530	254,3399
5	2057,89	9,963	-0,255	6137,35	602,0740	190,4731
4	1586,36	9,977	-0,241	4550,99	446,4521	141,2403
3	1584,38	10,003	-0,215	2966,61	291,0244	92,0690
2	1580,42	10,041	-0,177	1386,19	135,9852	43,0205
1	1029,98			356,21		

Πίνακας 3.3 Πίνακες υπολογισμού συμπίεστικότητας συστήματος στη δοκιμή με κορεσμένους πορόλιθους

1ος ΚΥΚΛΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ						
	Τοποθετούμενη Μάζα (g)	Ένδειξη μηκυνσιομέτρου (mm)	Βύθιση δοκιμίου (mm)	Συνολική τοποθετούμενη μάζα (g)	Φορτίο (N)	Τάση (kPa)
1	365,79	10,151	0,000	365,79	3,5884	1,1352
2	98,78	10,143	-0,008	464,57	45,5743	14,4180
3	98,93	10,131	-0,020	563,5	55,2794	17,4883
4	250	10,106	-0,045	813,5	79,8044	25,2470
5	250	10,080	-0,071	1063,5	104,3294	33,0058
6	500	10,033	-0,118	1563,5	153,3794	48,5233
7	1029,98	9,971	-0,180	2593,48	254,4204	80,4888
8	1580,42	9,912	-0,239	4173,9	409,4596	129,5373
9	1584,38	9,871	-0,280	5758,28	564,8873	178,7086
10	1586,36	9,839	-0,312	7344,64	720,5092	227,9414
11	2057,89	9,811	-0,340	9402,53	922,3882	291,8082
12	2073,66	9,790	-0,361	11476,19	1125,8142	356,1644
13	3164,23	9,762	-0,389	14640,42	1436,2252	454,3665
14	5109	9,734	-0,417	19749,42	1937,4181	612,9247
15	10161	9,690	-0,461	29910,42	2934,2122	928,2721
16	10189	9,662	-0,489	40099,42	3933,7531	1244,4884

1ος ΚΥΚΛΟΣ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ						
	Αφαιρούμενη Μάζα (g)	Ένδειξη μηκυνσιομέτρου (mm)	Βύθιση δοκιμίου (mm)	Συνολική τοποθετούμενη μάζα (g)	Φορτίο (N)	Τάση (kPa)
			-0,489	40099,42		1244,4884
16	10189	9,668	-0,483	29910,42	2934,2122	928,2721
15	10161	9,684	-0,467	19749,42	1937,4181	612,9247
14	5109	9,697	-0,454	14640,42	1436,2252	454,3665
13	3164,23	9,709	-0,442	11476,19	1125,8142	356,1644
12	2073,66	9,719	-0,432	9402,53	922,3882	291,8082
11	2057,89	9,734	-0,417	7344,64	720,5092	227,9414
10	1586,36	9,748	-0,403	5758,28	564,8873	178,7086
9	1584,38	9,767	-0,384	4173,9	409,4596	129,5373
8	1580,42	9,798	-0,353	2593,48	254,4204	80,4888
7	1029,98	9,826	-0,325	1563,5	153,3794	48,5233
6	500	9,851	-0,300	1063,5	104,3294	33,0058
5	250	9,871	-0,280	813,5	79,8044	25,2470
4	250	9,898	-0,253	563,5	55,2794	17,4883
3	98,93	9,915	-0,236	464,57	45,5743	14,4180
2						

2ος ΚΥΚΛΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ						
	Τοποθετούμενη Μάζα (g)	Ένδειξη μηκυσιομέτρου (mm)	Βύθιση δοκιμίου (mm)	Συνολική τοποθετούμενη μάζα (g)	Φορτίο (N)	Τάση (Kpa)
				0	0,0000	0,0000
2	464,57		-0,236	464,57	45,5743	14,4180
3	98,93	9,913	-0,238	563,5	55,2794	17,4883
4	250	9,897	-0,254	813,5	79,8044	25,2470
5	250	9,882	-0,269	1063,5	104,3294	33,0058
6	500	9,861	-0,290	1563,5	153,3794	48,5233
7	1029,98	9,833	-0,318	2593,48	254,4204	80,4888
8	1580,42	9,804	-0,347	4173,9	409,4596	129,5373
9	1584,38	9,781	-0,370	5758,28	564,8873	178,7086
10	1586,36	9,763	-0,388	7344,64	720,5092	227,9414
11	2057,89	9,746	-0,405	9402,53	922,3882	291,8082
12	2073,66	9,734	-0,417	11476,19	1125,8142	356,1644
13	3164,23	9,719	-0,432	14640,42	1436,2252	454,3665
14	5109	9,701	-0,450	19749,42	1937,4181	612,9247
15	10161	9,675	-0,476	29910,42	2934,2122	928,2721
16	10189	9,657	-0,494	40099,42	3933,7531	1244,4884

2ος ΚΥΚΛΟΣ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ						
	Αφαιρούμενη Μάζα (g)	Ένδειξη μηκυσιομέτρου (mm)	Βύθιση δοκιμίου (mm)	Συνολική τοποθετούμενη μάζα (g)	Φορτίο (N)	Τάση (Kpa)
			-0,494			1244,4884
16	10189	9,663	-0,488	29910,42	2934,2122	928,2721
15	10161	9,679	-0,472	19749,42	1937,4181	612,9247
14	5109	9,692	-0,459	14640,42	1436,2252	454,3665
13	3164,23	9,704	-0,447	11476,19	1125,8142	356,1644
12	2073,66	9,714	-0,437	9402,53	922,3882	291,8082
11	2057,89	9,727	-0,424	7344,64	720,5092	227,9414
10	1586,36	9,741	-0,41	5758,28	564,8873	178,7086
9	1584,38	9,76	-0,391	4173,9	409,4596	129,5373
8	1580,42	9,79	-0,361	2593,48	254,4204	80,4888
7	1029,98	9,822	-0,329	1563,5	153,3794	48,5233
6	500	9,846	-0,305	1063,5	104,3294	33,0058
5	250	9,861	-0,29	813,5	79,8044	25,2470
4	250	9,888	-0,263	563,5	55,2794	17,4883
3	98,93	9,902	-0,249	464,57	45,5743	14,4180
2						

Πίνακας 3.4 Στοιχεία διαμόρφωσης δοκιμών

Έδαφος	Χαλαρό	Μετρίως πυκνό	Πυκνό	Πολύ πυκνό
	w_o (%)	w_o (%)	w_o (%)	w_o (%)
	κτύποι	κτύποι	κτύποι	κτύποι
Καθαρή άμμος M31	5 2 ανά στρώση	9 4 με αύξηση 1 κτύπου ανά 2 στρώσεις		13,5 15 με αύξηση 1 κτύπου ανά στρώση
Καθαρή άμμος Toyoura		15 5 ανά στρώση	15 15 με αύξηση 1 κτύπου ανά στρώση	20 20 με αύξηση 1 κτύπου ανά στρώση
Καθαρή άμμος Hostun		13,5 15 με αύξηση 1 κτύπου ανά στρώση	17 20 με αύξηση 1 κτύπου ανά στρώση	20 15 με αύξηση 1 κτύπου ανά στρώση

Πίνακας 3.5 Τοποθετούμενα νεκρά φορτία και τάση στερεοποίησης

Δοκιμή	Μάζα νεκρών φορτίων(Kg)	Ορθή τάση,ση (kPa)
A	1,06	50,13
B	2,07366+1,02998	97,36
C	3,16423+1,58042+1,58636	197,43
D	10,213+1,58636+1,02998	398,92

Πίνακας 3.6 Σειρά τοποθέτησης κόσκινων, αντιστοίχιση αριθμού κόσκινου και διαμέτρου

αριθμός	διάμετρος
κόσκινου	οπής
No	mm
10	2
18	1
20	0,85
30	0,6
40	0,425
50	0,3
100	0,15
200	0,075

230	0,063
τυφλό	0

Πίνακας 3.7 Διαστάσεις μήτρας συμπύκνωσης

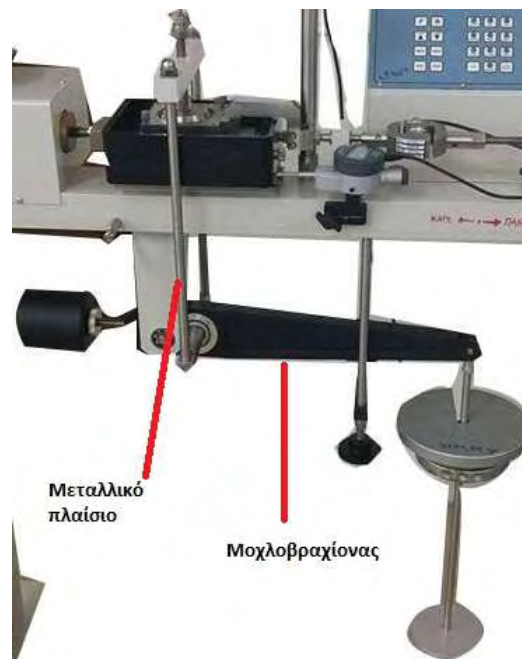
Μέτρηση	Ύψος (mm)	Άνω διάμετρος (mm)	Κάτω διάμετρος (mm)
1η	116,52	101,51	101,65
2η	116,54	101,55	101,56
3η	116,58	101,59	101,58
4η	116,4	101,58	101,59
Μέση τιμή	116,51	101,56	101,6



Σχήμα 3.1 Συσκευή άμεσης διάτμησης τύπου VJT9500 του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας



Σχήμα 3.2 Φωτογραφία του κιβωτίου διάτμησης



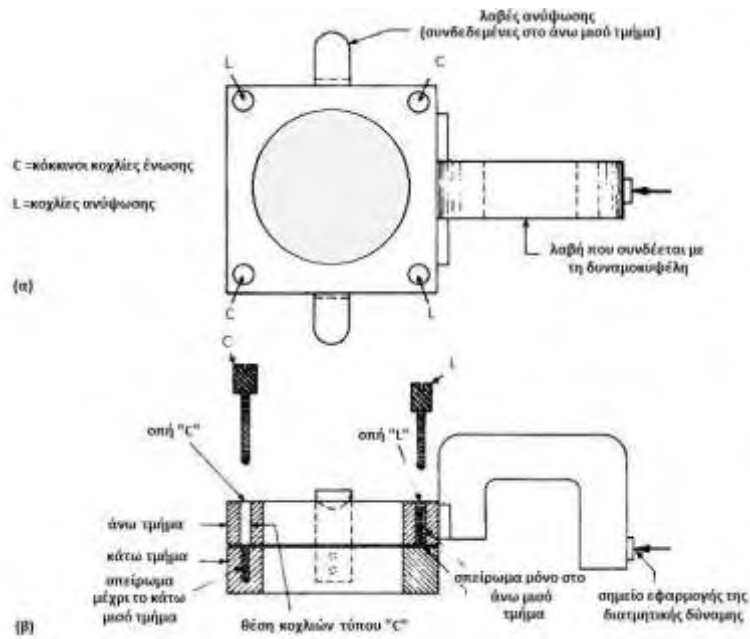
Σχήμα 3.3 Διάταξη κατακόρυφου μηχανοσιόμετρου και κοχλίες ρύθμισης



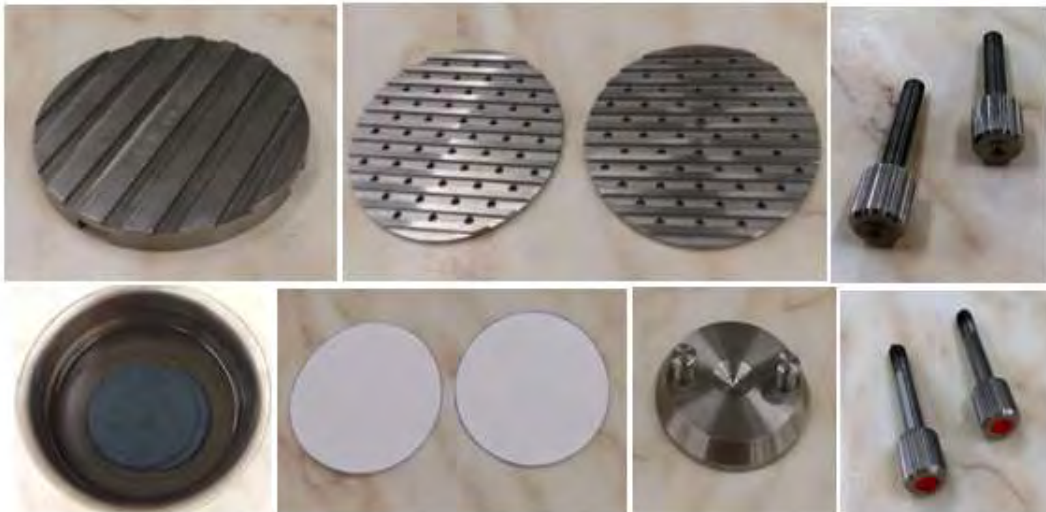
Σχήμα 3.4 Δυναμοκυψέλη και οριζόντιο μηχανοσίμετρο



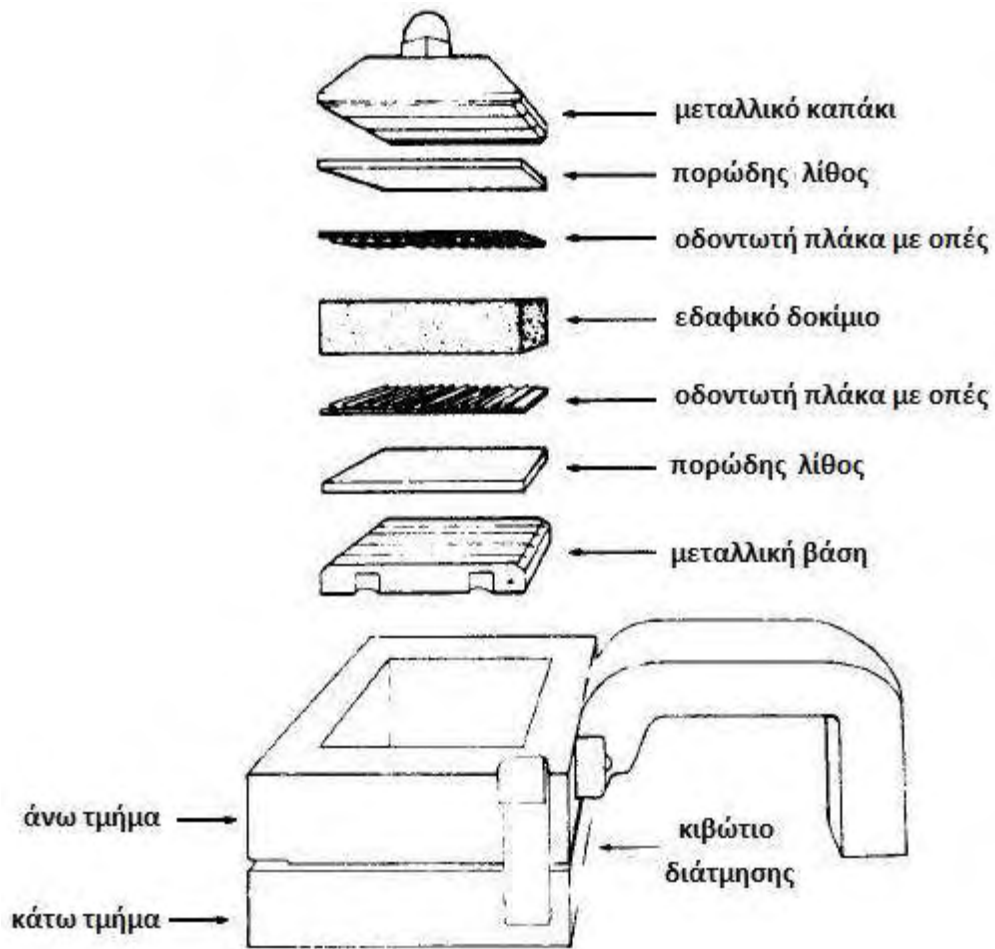
Σχήμα 3.5 Διάταξη κατακόρυφου μηχανοσιόμετρου και κοχλίες ρύθμισης



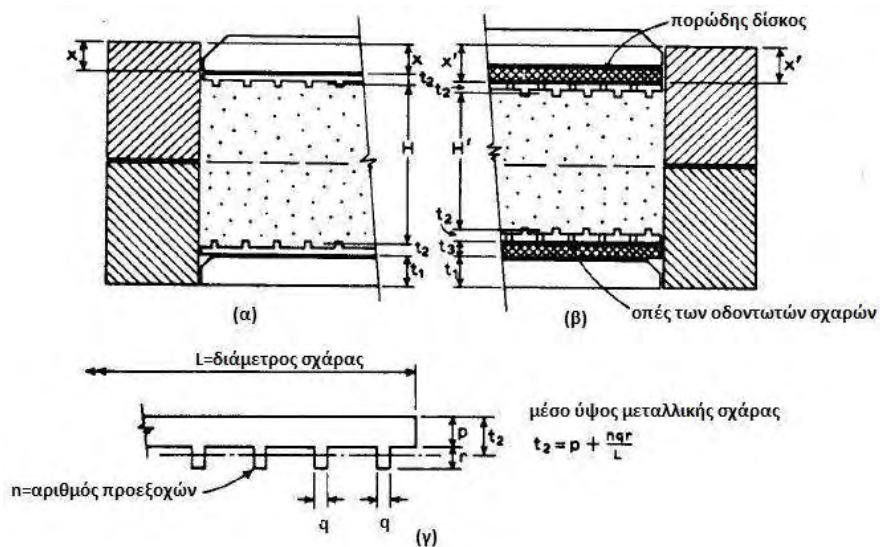
Σχήμα 3.6 Κιβώτιο διάτμησης α) κάτοψη β) τομή



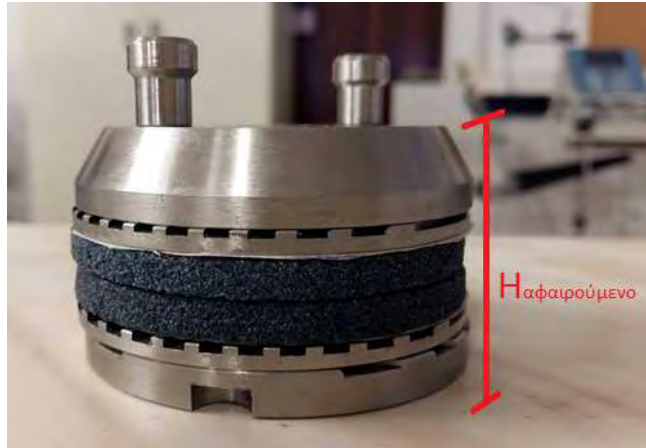
Σχήμα 3.7 Επάνω: άνω και κάτω τμήμα του κιβωτίου διάτμησης. Εξαρτήματα κιβωτίου από πάνω αριστερά και με ωρολογιακή φορά: μεταλλική πλάκα βάσης, άνω και κάτω διάτρητες οδοντωτές μεταλλικές σχάρες, βίδες ανύψωσης, πορόλιθοι εμποτισμένοι σε απαερωμένο νερό, φίλτρα, μεταλλικό καπάκι κιβωτίου, κόκκινες βίδες ένωσης των τμημάτων του κιβωτίου



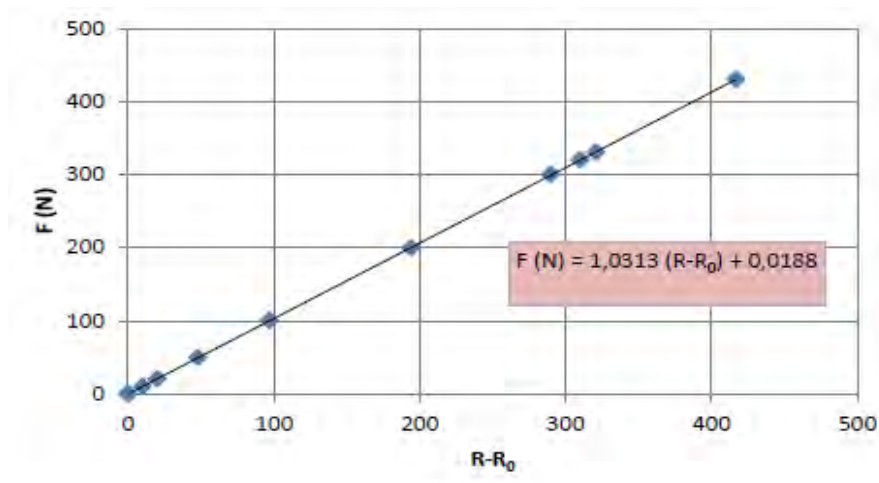
Σχήμα 3.8 Σειρά τοποθέτησης των εξαρτημάτων του κιβωτίου



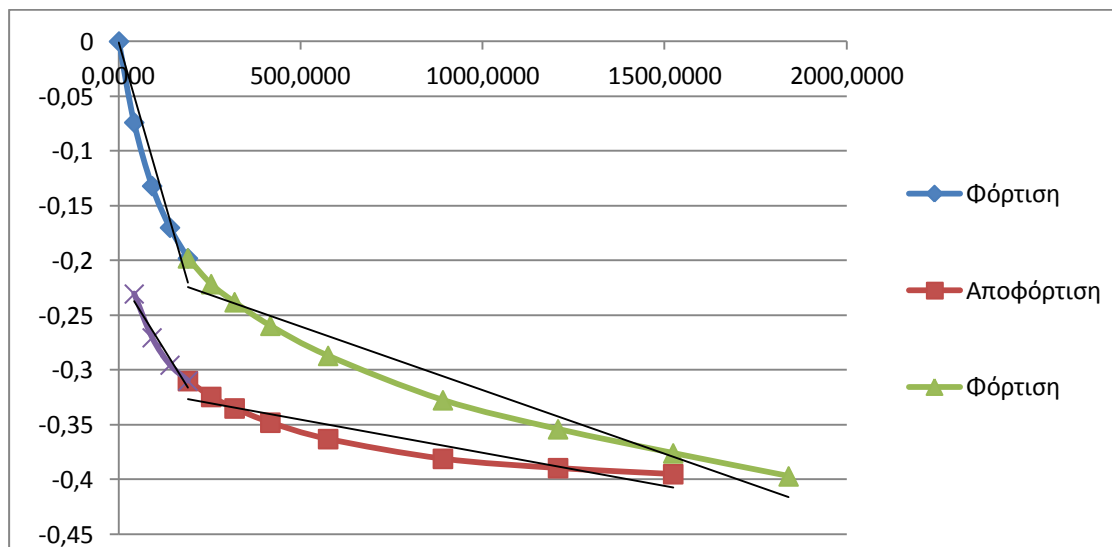
Σχήμα 3.9 Μεταλλικές οδοντωτές πλάκες α) συμπαγείς β) διάτρητες γ) λεπτομέρεια



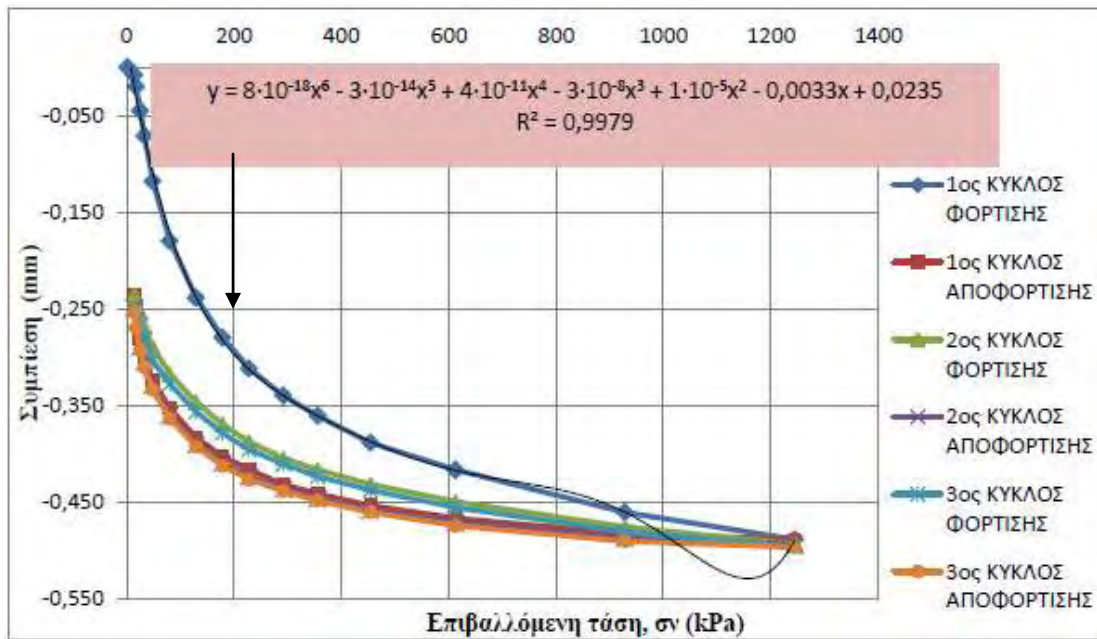
Σχήμα 3.10 Ολικό αφαιρούμενο ύψος



Σχήμα 3.11 Συσχέτιση του συνολικού φορτίου με την ένδειξη της δυναμοκυψέλης



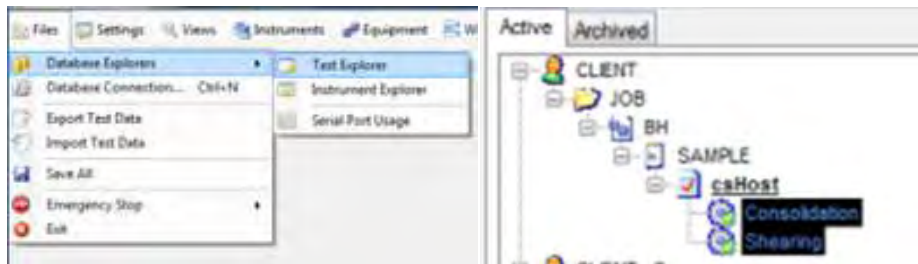
Σχήμα 3.12 Καμπύλες συμπίεσότητας συστήματος στη δοκιμή με ξηρούς πορόλιθους



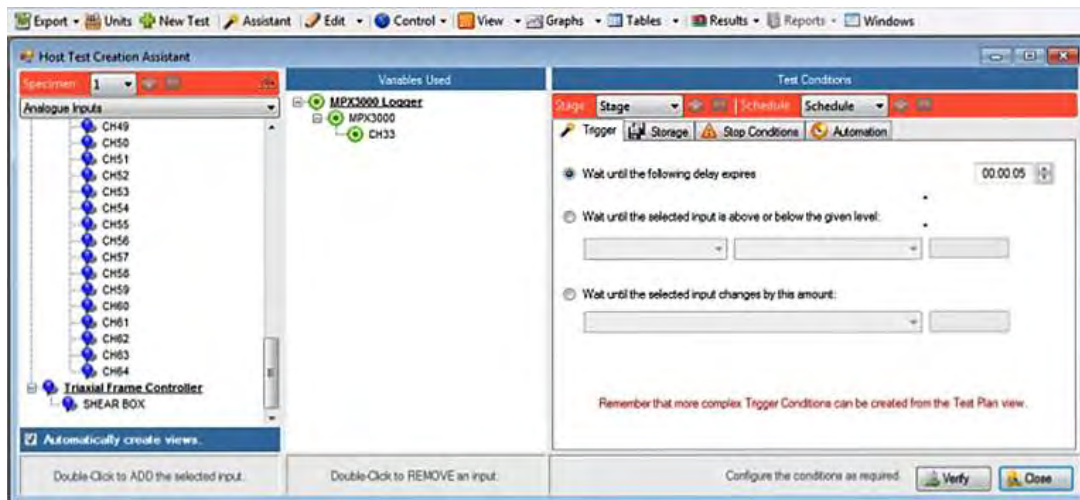
Σχήμα 3.13 Καμπύλες συμπίεσότητας συστήματος στη δοκιμή με κορεσμένους πορόλιθους



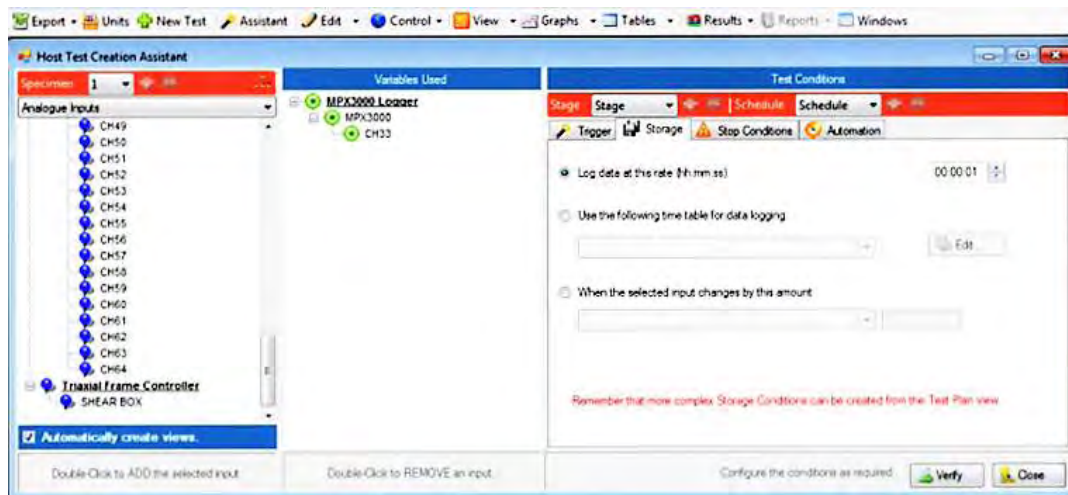
Σχήμα 3.14 Εικονίδιο του προγράμματος Clisp Studio στην επιφάνεια εργασίας



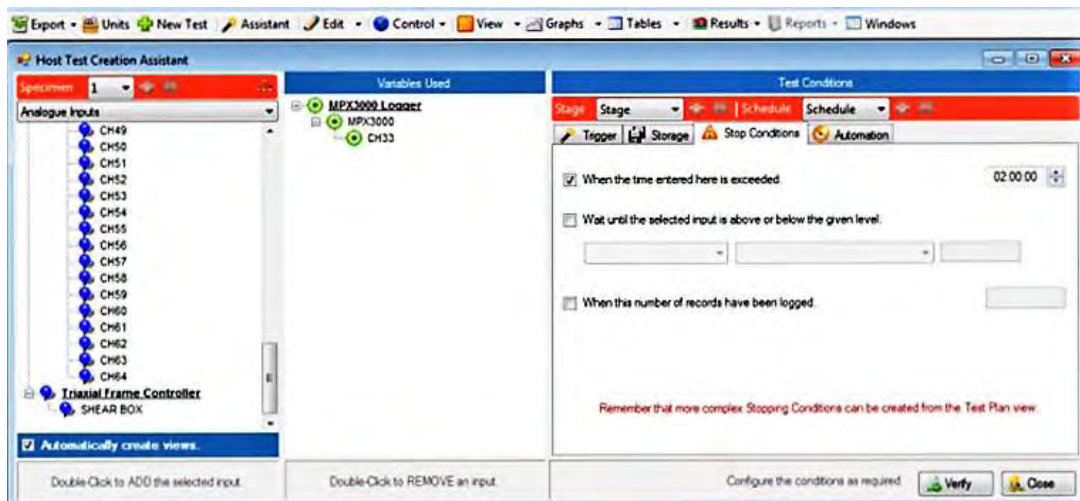
Σχήμα 3.15 Εμφάνιση των στοιχείων των φακέλων-υπορουτίνων της στερεοποίησης και της διάτμησης



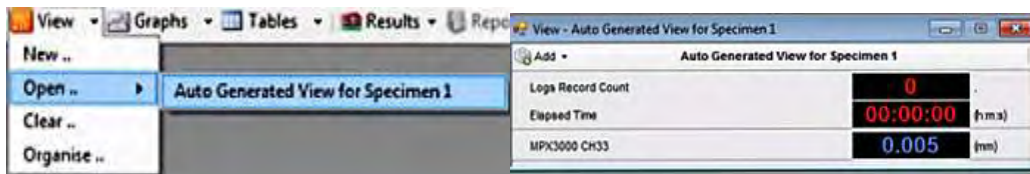
Σχήμα 3.16 Επιλογή του χρόνου καθυστέρησης έναρξης των καταγραφών



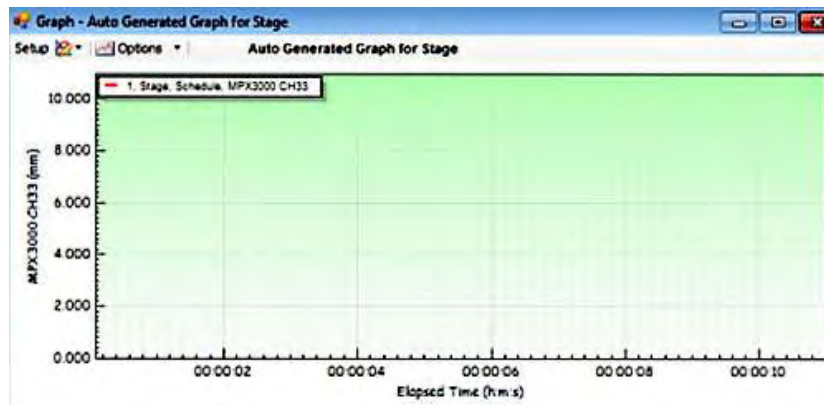
Σχήμα 3.17 Επιλογή του χρόνου ανά τον οποίο θα γίνονται οι καταγραφές



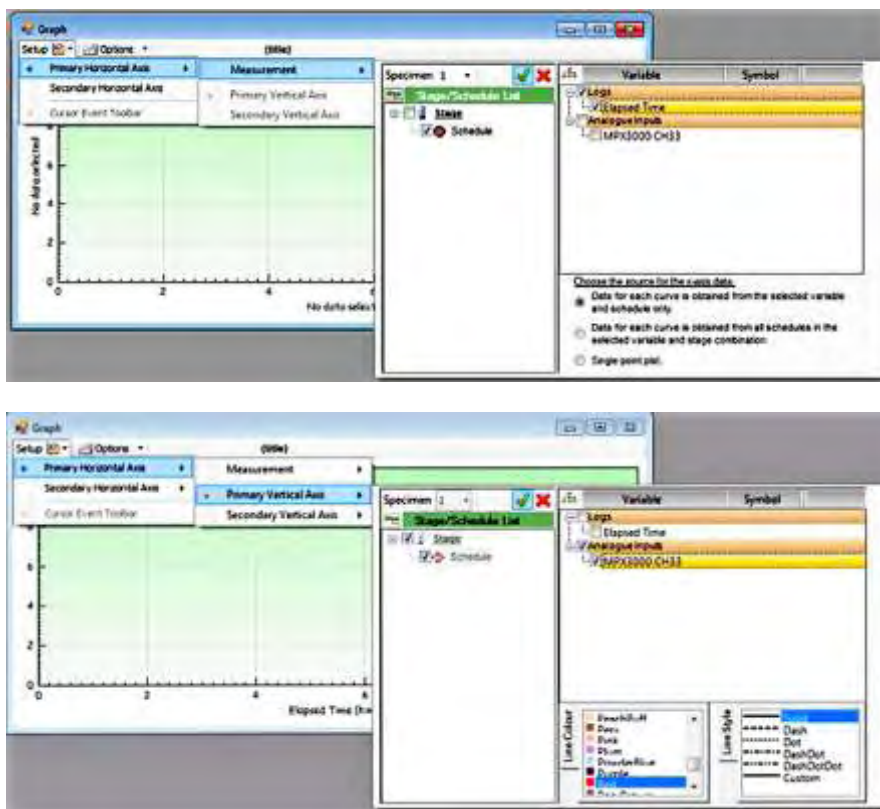
Σχήμα 3.18 Επιλογή του μέγιστου χρόνου καταγραφών



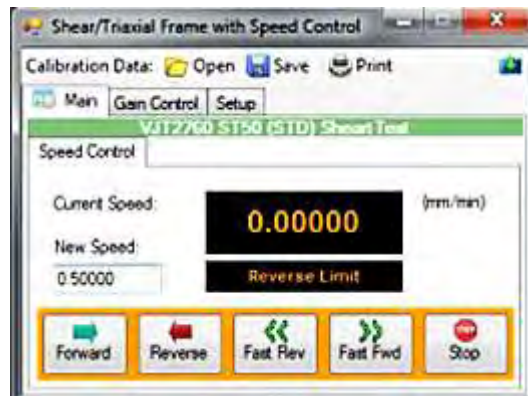
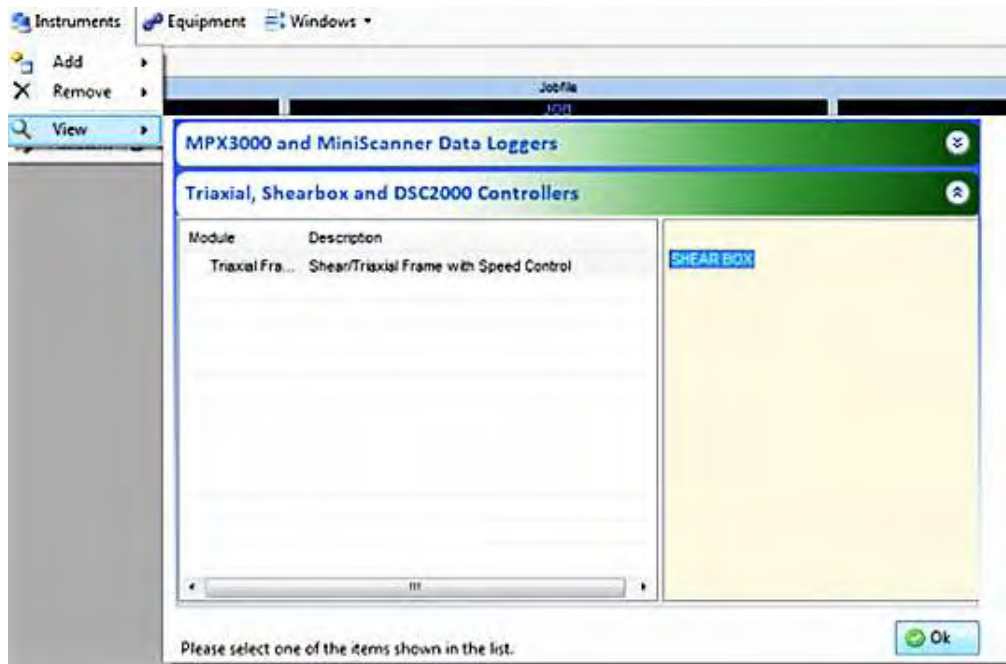
Σχήμα 3.19 Εμφάνιση των καταγραφών στο στάδιο της στερεοποίησης



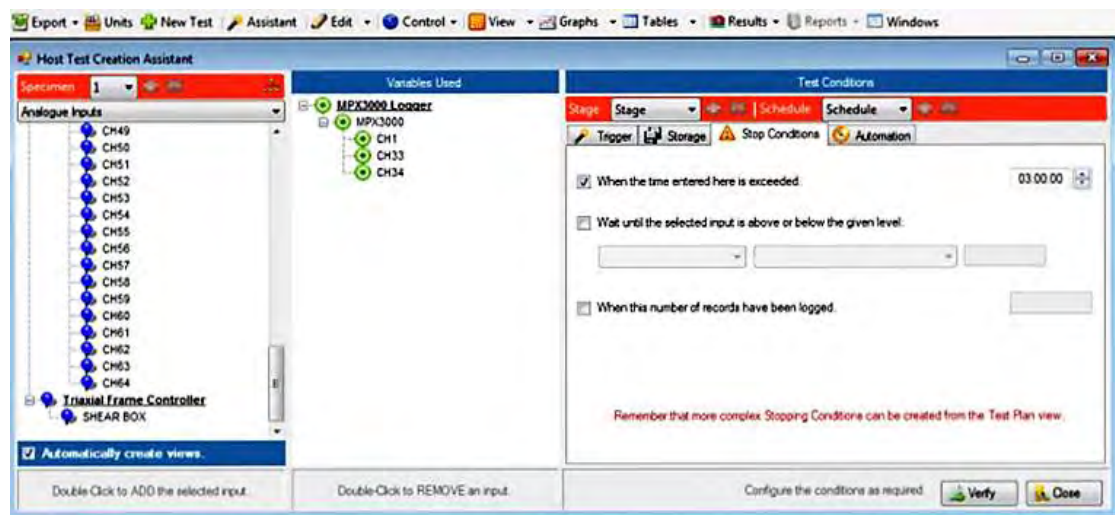
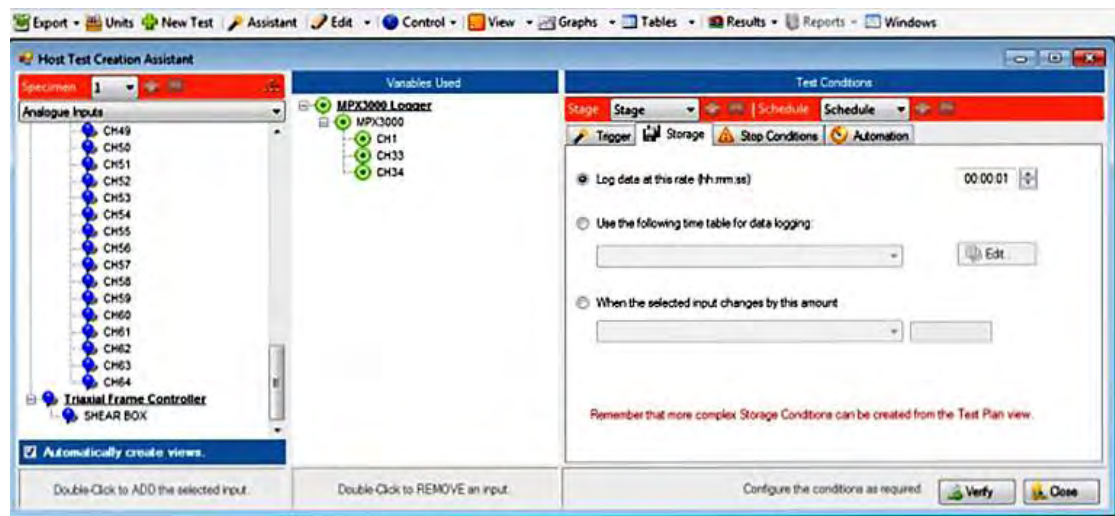
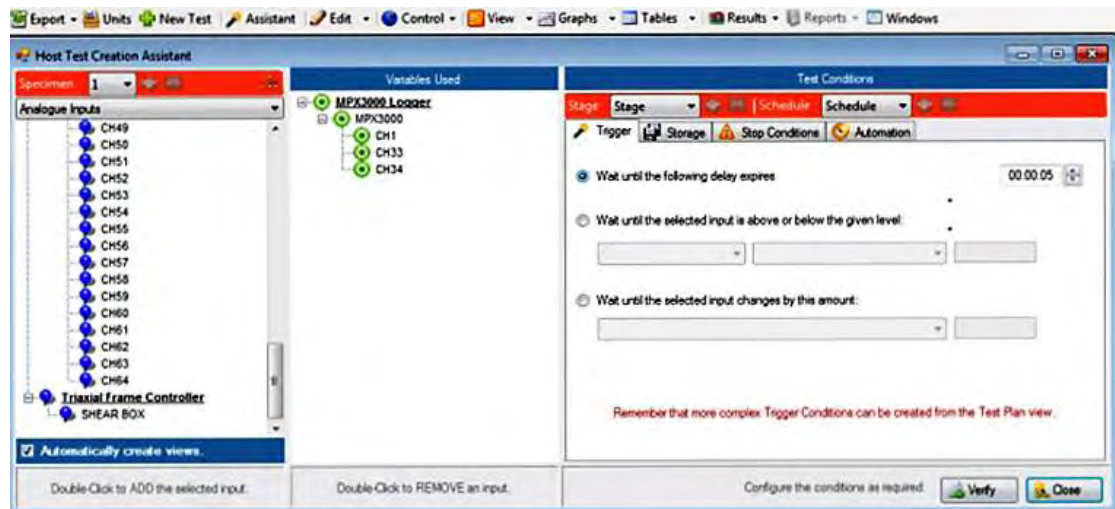
Σχήμα 3.20 Αυτόματο γράφημα στο στάδιο της στερεοποίησης



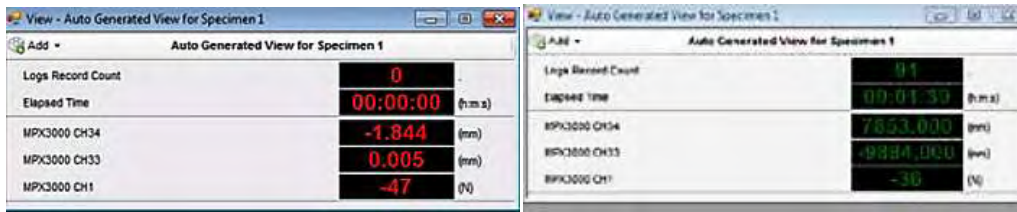
Σχήμα 3.21 Τρόπος επιλογής αξόνων γραφήματος χειροκίνητα



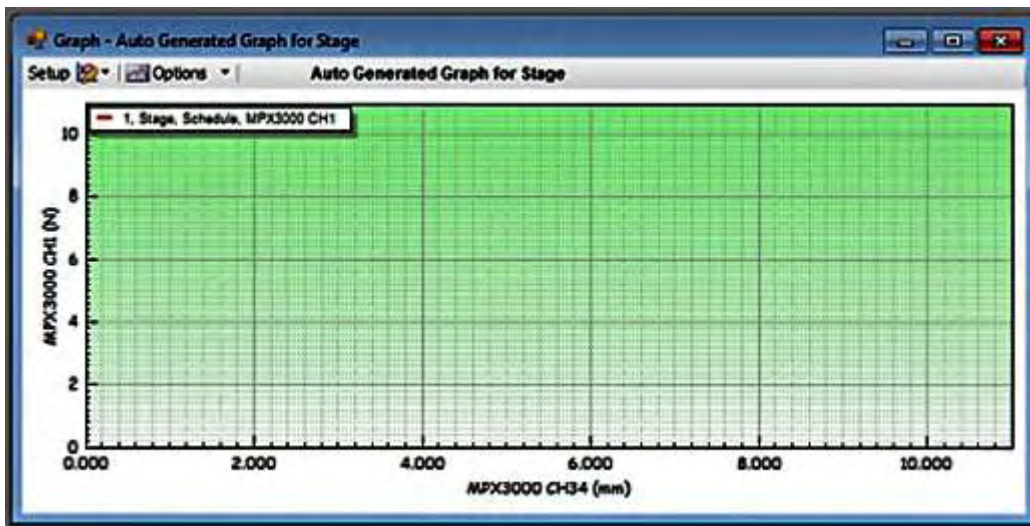
Σχήμα 3.22 Παράθυρο ρυθμού διαμηκτικής παραμόρφωσης



Σχήμα 3.23 Ορισμός χρόνου έναρξης των καταγραφών, χρόνου ανά τον οποίο θα γίνονται οι καταγραφές και χρονικού ορίου λήξης των καταγραφών στο στάδιο της διάτμησης



Σχήμα 3.24 Παράδειγμα ενδείξεων καταγραφών πριν και μετά την εκκίνηση των καταγραφών



Σχήμα 3.25 Αυτόματο γράφημα στο στάδιο της διάτμησης



Σχήμα 3.26 Προετοιμασία εξοπλισμού δοκιμής άμεσης διάτμησης



Σχήμα 3.27 Προσδιορισμός μετρηθέν ύψους με χρήση αναλογικού βαθύμετρου




Σχήμα 3.28 Ρύθμιση θέσης κιβωτίου (τέσσερα σημεία επαφής)



Σχήμα 3.29 Οριζοντίωση βραχίονα



Σχήμα 3.30 Επαφή του κατακόρυφου μηκυνσιόμετρου με τον κοχλία που συνδέεται με το καπάκι

 ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ				
Αποτελέσματα Δοκιμής Άμεσης Διάτρησης				Έκδοση 1
Δεδομένα Εδαφικού Δείγματος				
Κωδικός Έργου:	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΣΤΕΦΑΝΙΑ			Γεώτρηση:
Αριθμός Δείγματος:	ΤΟΥΟ-1Α			Βάθος (m):
Περιγραφή Εδαφους:	ΑΜΜΟΣ ΤΟΥΟΥΡΑ			Ημερομηνία: 28/3/2016
Προετοιμασία Δοκιμίου:	Μέθοδος της υγρής συμπύκνωσης με $w_p=13,8\%$ σε στρώσεις των 20g. Σάλινη σφύρα μάζας 93.94g με ύψος πτώσης 1-2cm. 1η στρώση 18 κτύποι μέχρι την 7η στρώση 21 κτύποι .			Πρότυπα Αναφοράς: BS1377: 1990 – 7 ASTM D3080-04
Όνομαστική Διάμετρος Μεγαλύτερου Εδαφικού Κόκκου, D_{max} (mm) =	1,000	$e_{min} =$	0,617	$e_{max} =$ 0,988 $G_s =$ 2,650

Σχήμα 3.31 Δεδομένα εδαφικού δείγματος

Αρχικό Δοκίμιο						
Χρήση σχαρών:	1	*	Εισχώρηση σχαρών στο δοκίμιο κατά την εγκατάστασή του:		1	**
Υγρασία		Μάζα Δοκιμίου				24,805
Αρ. Υποδοχέα	3B	Μάζα Κιβωτίου (g)	3.075,28		2	23,57
Μάζα Υποδοχέα (g)	26,18	Κιβώτιο + Υγρό Δοκίμιο (g)	3.212,83		1	24,81
Μάζα Υποδοχέα + Υγρού Δείγματος (g)	46,18	Υγρό Δοκίμιο, M (g)	137,55		3	24,19
Μάζα Υποδοχέα + Ξηρού Δείγματος (g)	43,56	Ξηρό Δοκίμιο (από w_0) (g)	119,53	Μάζα Ξηρού Δοκιμίου M_s (g)		120,15
Μάζα νερού (g)	2,62	Διάμετρος Δοκιμίου, D_0 (mm)	63,47	Μέσο ύψος σχάρας t_2 (mm)		2,42
Μάζα Ξηρού Δείγματος (g)	17,36	Αφαιρούμενο Ύψος*** (mm)	29,27	Ολικό πάχος σχάρας (p + r) (mm)		3,04
Αρχική Υγρασία, w_0 (%)	15,07	Μετρηθέν Ύψος (mm)	58,92	Πυκνότητα Νερού, ρ_w (kg/m^3)		1000
		Ύψος Δοκιμίου, H_0 (mm)	24,81	Όγκος Στερεού Σκελετού Δοκιμίου, V_s (m^3)		4,53396E-05
		Εμβαδόν Διατομής Δοκιμίου, A_0 (m^2)	0,003164	Δείκτης Πόρων, e_0		0,731
		Όγκος Δοκιμίου, V_0 (m^3)	7,85E-05	Σχετική Πυκνότητα, D_{r0} (%)		69,28
		Φαινόμενη Πυκνότητα, ρ (kg/m^3)	1752,65	Ξηρή Πυκνότητα, ρ_s (kg/m^3)		1530,94
* 1 = ναι 2 = όχι		*** χωρίς τις σχάρες				
** 1 = ναι (και οι 2) 2 = όχι (καμία) 3= εισχώρηση μιας εκ των δύο σχαρών						

Σχήμα 3.32 Δεδομένα δοκιμίου- αρχικό δοκίμιο

Τελικό Δοκίμιο					
Παρατήρηση κατά την απομάκρυνση του δοκιμίου από το κιβώτιο :		Εισχώρηση σχαρών στο δοκίμιο κατά τη στερεοποίησης του:		2	*
Υγρασία		Μάζα Δοκιμίου			
Αρ. Υποδοχέα		Αρ. Υποδοχέα	E	1	1,24
Μάζα Υποδοχέα (g)		Μάζα Υποδοχέα (g)	434,92	2	0,00
Μάζα Υποδοχέα + Υγρού Δείγματος (g)		Μάζα Υποδοχέα + Ξηρού Δοκιμίου (g)	555,07	3	0,62
Μάζα Υποδοχέα + Ξηρού Δείγματος (g)		Ξηρό Δοκίμιο (g)	120,15		
Μάζα νερού (g)	0			Διόρθωση ύψους (mm)	
Μάζα Ξηρού Δείγματος (g)	0	Βάθος Εισχώρησης Κάθε Σχάρας στο Δοκίμιο (mm) (p+r)- t_2	0,620		0,00
Τελική Υγρασία, w_s (%)	#ΔΙΑΙΡ/0!	* 1 = ναι (και οι δύο) 2 = όχι (καμία) 3= εισχώρηση μιας εκ των δύο σχαρών			

Σχήμα 3.33 Δεδομένα δοκιμίου- τελικό δοκίμιο

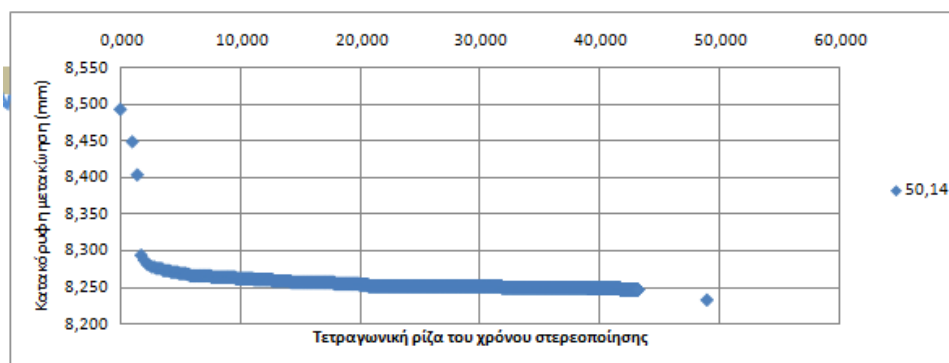
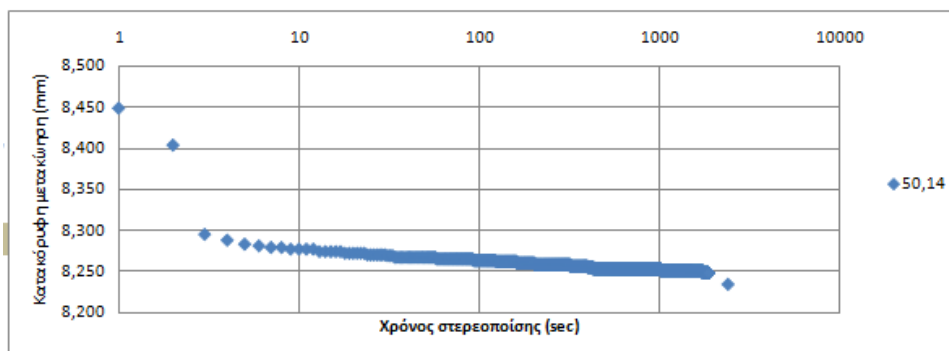
Αρχικό Φορτίο: καπάκι + πορώδης δίσκος + φίλτρο + σχάρα (kg)	Συνολικό Φορτίο στο ποχλό (kg)	Δύρος Μοχλός	Συνολικό Φορτίο στο δακτύλο (kg)	Ορθή Τάση σ_n (kPa)	Ημερομηνία	Ώρα	Κατακόρυφη Μετακίνηση	
							Αρχική Ενδειξη (mm)	Τελική Ενδειξη (mm)
0,36539	1,560	1/10	16,170	50,14	28/3/2016	14:05	8,493	8,248
							8,248	

Τελική Κατακόρυφη Μετακίνηση ΔH_{end} (mm)	Τελική Στιμιαία Εντάση ΔH_{end} (mm)	Βάθος στερεοποίησης ΔH_{end} (mm)	Ολική Κοίρα Κατακόρυφη Μετακίνηση ΔH_{end} (mm)	Ολική Τάση Δακτύλου H_{end} (mm)	Ολική Κατακόρυφη Παραμόρφωση Δακτύλου ϵ_1 (%)	Δείκτης πόρου e	Στατική Περιτύλιξη D_{eff}	Αρχική καταπόνηση
0,248	0,111	0,000	0,133	34,673	0,382	0,722	78,16	Consolidation state

Καταγραφή στερεοποίησης μέσω του MPX3000

Ορθή Τάση, σ_n (kPa)	Χρόνος (sec)	Τετραγωνική ρίζα του χρόνου	Κατακόρυφη μετακίνηση, ΔH_k (mm)
50,14	0	0,000	8,493
	1	1,000	8,449
	2	1,414	8,404
	3	1,732	8,295
	4	2,000	8,288
	5	2,236	8,283
	6	2,449	8,281
	7	2,646	8,279
	8	2,828	8,279
	9	3,000	8,277
	10	3,162	8,277
	11	3,317	8,277
	12	3,464	8,277
13	3,606	8,274	

αντιγραφή από το αρχείο της καταγραφής



Ορθή τάση	σ (kPa)	50,14
Χρόνος στερεοποίησης	t_{100} (sec)	315
	t_{100} (min)	0,0500
Χρόνος αστοχίας	$t_f=12.7 \times t_{100}$ (min)	0,6350
Μετακίνηση αστοχίας	df (mm)	1,5748
Ρυθμός διάτμησης	$rate=df/t_f$ (mm/min)	1,5748

Σχήμα 3.34 Δεδομένα στερεοποίησης

α.α.	F / R	Ημερομηνία	Ωρα	Ρυθμός (mm/min)	Δυναμοκυπέλη		Οριζόντια Μετακίνηση		Κατακόρυφη Μετακίνηση		Αρχείο καταγραφής
					Αρχική Ενδειξη (mm)	Τελική Ενδειξη (mm)	Αρχική Ενδειξη (mm)	Τελική Ενδειξη (mm)	Αρχική Ενδειξη (mm)	Τελική Ενδειξη (mm)	
1	F	23/3/2016	14:45	0,5	-46	61	-1,861	15,54	8,234	8,487	Shearing-1.xls

Καταγραφή διάτμησης μέσω του MPX3000

Φόρτιση α.α.	Χρόνος (sec)	Ενδειξη δυναμοκυπέλης	Ενδειξη Μηκνυσιόμετρου Κατακόρυφης Μετακίνησης, ΔΗκ	Ενδειξη Μηκνυσιόμετρου Οριζόντιας Μετακίνησης, ΔΗορ
1-F	0	-46	8,234	-1,861
	1	-46	8,234	-1,861
	2	-45	8,234	-1,861
	3	-45	8,234	-1,860
	4	-44	8,234	-1,860
	5	-44	8,234	-1,860
	6	-44	8,234	-1,860
	7	-44	8,234	-1,860
	8	-44	8,234	-1,860
	9	-44	8,234	-1,860
	10	-44	8,234	-1,860
	11	-45	8,234	-1,860
	12	-44	8,234	-1,860
13	-44	8,234	-1,860	

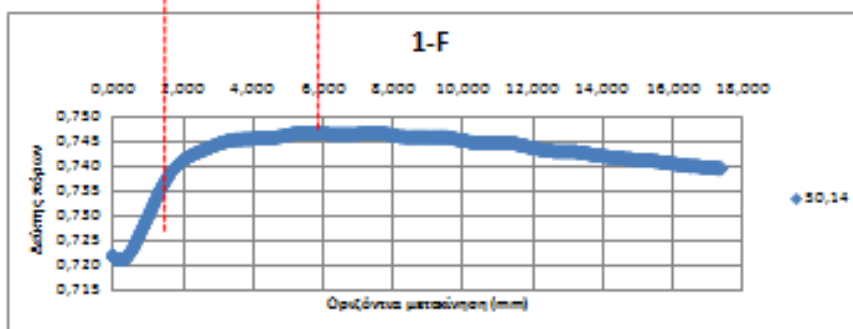
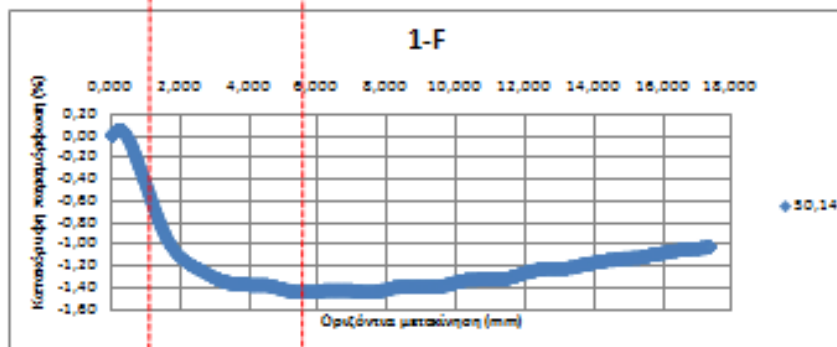
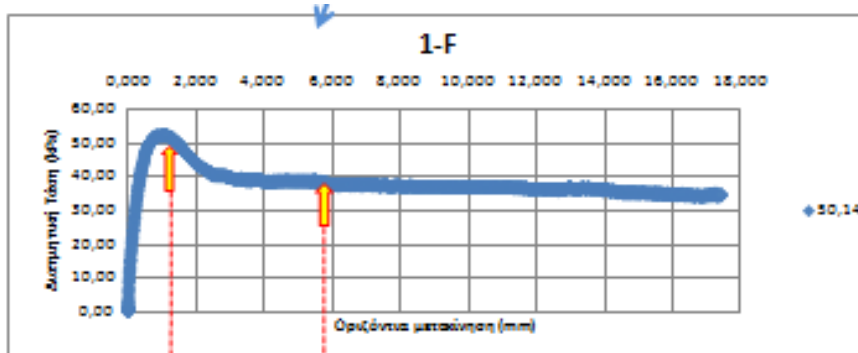
αντιγραφή από το αρχείο της καταγραφής

ΔH & ϵ_v θετική συμπίεση & ΔH & ϵ_v υφιστάμενη διάτμηση (αναφέρονται μεταβολή ύψους κάθε φόρτισης [ελαστικά])

$\Delta H_{\text{οριζ}}$ θετικό όταν έχουμε κίνηση F (αναφέρεται σε κάθε φόρτιση [ελαστικά])

Ορθή Τάση σ_v (kPa)	Οριζόντια Δόνηση F (N)	Διατμητική Τάση $\tau = F/A_v$ (kPa)	Μεταβολή ύψους δοκιμίου, ΔH (mm)	Υψος δοκιμίου, H (mm)	Κοιτακίωση παραμόρφωση, $\epsilon_v = \Delta H/H_{\text{οριζ}}$ (%)	Οριζόντια Μετακίνηση, $\Delta H_{\text{οριζ}}$ (mm)	Δείκτης πάσης, e	($\Delta H_{\text{οριζ}}$ / $\Delta H_{\text{οριζ}}$) _{max}
50,14	0,000	0,00	0,000	24,672	0,00	0,000	0,722	
	0,000	0,00	0,000	24,672	0,00	0,000	0,722	
	1,021	0,28	0,000	24,672	0,00	0,000	0,722	
	1,071	0,28	0,000	24,672	0,00	0,001	0,722	
	2,062	0,65	0,000	24,672	0,00	0,001	0,722	
	2,062	0,65	0,000	24,672	0,00	0,001	0,722	
	2,062	0,65	0,000	24,672	0,00	0,001	0,722	
	2,062	0,65	0,000	24,672	0,00	0,001	0,722	
	2,062	0,65	0,000	24,672	0,00	0,001	0,722	
	2,062	0,65	0,000	24,672	0,00	0,001	0,722	1681
	1,021	0,28	0,000	24,672	0,00	0,001	0,722	640
	2,062	0,65	0,000	24,672	0,00	0,001	0,722	1681
	2,062	0,65	0,000	24,672	0,00	0,001	0,722	1681
	2,062	0,65	0,000	24,672	0,00	0,001	0,722	1681

Θετικές F (δύναμη) & τ (τάση) είναι όταν έχουμε κίνηση F



οι τιμές προσδιορίζονται από τα σημεία της μέγιστης και της οριακής διατμητικής τάσης



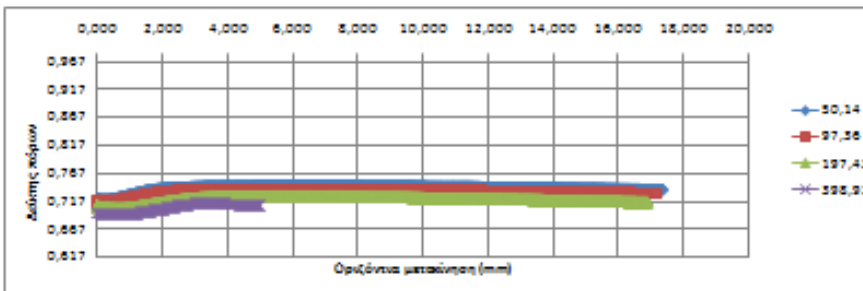
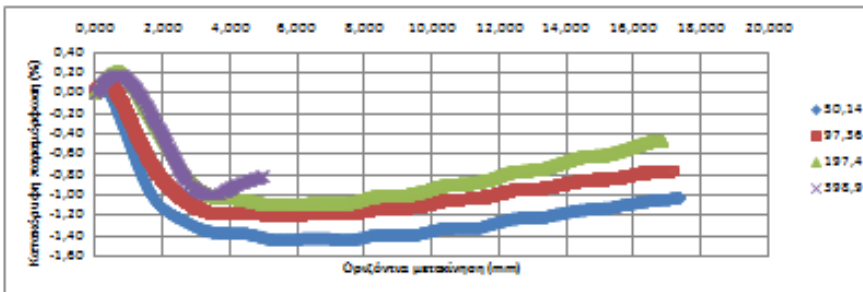
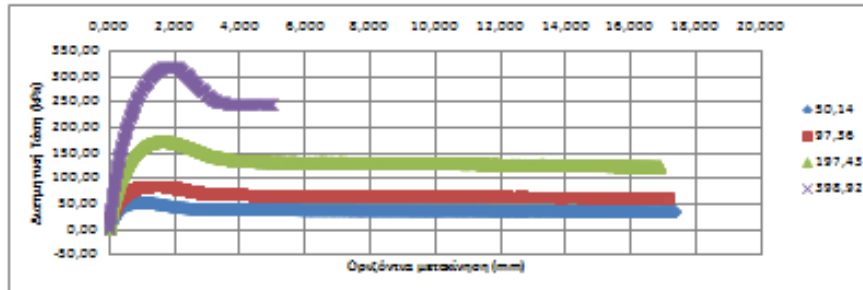
Μέγιστη Διατμητική Τάση, $\tau_{max} = F_{max}/A_0$ (kPa)	Οριζόντια Μετακίνηση, $\Delta H_{0.735}$ (mm)	τάξιμη	Δείκτης πόρων, e
52.48	1.353	3.567	0.735

Οριακή Διατμητική Τάση, $\tau_{or} = F_{or}/A_0$ (kPa)	Οριζόντια Μετακίνηση, ΔH_{or} (mm)	τάξιμη	Δείκτης πόρων, e
37.81	7.238		0.747

RATE	0,379345774
------	-------------

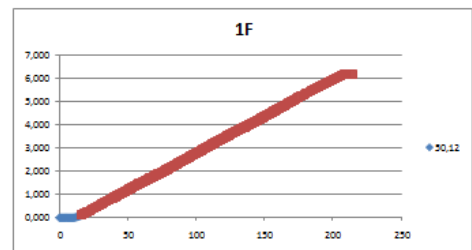
Σχήμα 3.35 Δεδομένα διάτμησης

χωρίς διόρθωση επιφάνειας								
Ορθή Τάση σ_x (kPa)	Στηρίξιμοση		Μέγιστα αντοχή			Ορθοί αντοχή		
	Διεύθυνση πόρων, θ	Στατική Πλευρότητα, $D_r(\%)$	Μέγιστη Διατμητική Τάση $\tau_{max} = F_{max}/A_c$ (kPa)	Οριζόντια Μετατόνηση ΔΠΘρ (mm)	Διεύθυνση πόρων, θ	Ορθική Διατμητική Τάση, $\tau_o = F_o/A_c$ (kPa)	Οριζόντια Μετατόνηση ΔΠΘρ (mm)	Διεύθυνση πόρων, θ
50,14	0,702	71,76	32,48	1,201	0,703	37,81	7,238	0,747
97,38	0,718	72,06	34,73	1,482	0,728	67,88	2,963	0,739
197,43	0,709	75,43	174,39	1,490	0,711	132,68	4,215	0,726
398,92	0,698	78,72	320,41	1,203	0,707	245,77	3,680	0,712



Σχήμα 3.36 Συγκεντρωτικά όλων

Ορθή Γάση, c_a (kPa)	Φόρτιση α.α.	Χρόνος (sec)	Ενδειξη Μηκνιομέτρου Οριζόντιας Μετακίνησης, ΔΗ _{ορ}	Οριζόντια Μετακίνηση, ΔΗ _{ορ} (mm)	Οριζόντια Μετακίνηση, ΔΗ _{ορ} (mm)	Ονομαστικός Ρυθμός Παραμόρφωσης (mm/min)	Πραγματικός Ρυθμός Παραμόρφωσης (mm/min)
50,12	1-F	0	-2,546	0,000		1,897	1,862
		1	-2,546	0,000			
		2	-2,546	0,000			
		3	-2,546	0,000			
		4	-2,544	0,002			
		5	-2,541	0,005			
		6	-2,546	0,000			
		7	-2,546	0,000			
		8	-2,546	0,000			
		9	-2,546	0,000			
		10	-2,544	0,002			
		11	-2,537	0,009			
		12	-2,524	0,022			
		13	-2,506	0,040			
		14	-2,490	0,056			
		15	-2,464	0,082			
		16	-2,444	0,102	0,102		
		17	-2,419	0,127	0,127		
		18	-2,388	0,158	0,158		
		19	-2,359	0,187	0,187		
		20	-2,333	0,213	0,213		
		21	-2,303	0,243	0,243		
		22	-2,277	0,269	0,269		
		23	-2,244	0,302	0,302		
		24	-2,211	0,335	0,335		
		25	-2,175	0,371	0,371		



D ₁ (mm)	0,102	t ₁ (s)	16
D ₂ (mm)	6,155	t ₂ (s)	211

Σχήμα 3.38 Πραγματικός ρυθμός παραμόρφωσης



Σχήμα 3.39 Σειρά τοποθέτησης κοσκίνων στη κοκκομετρική ανάλυση



Σχήμα 3.40 Εξοπλισμός δοκιμής ειδικού βάρους στερεών κόκκων



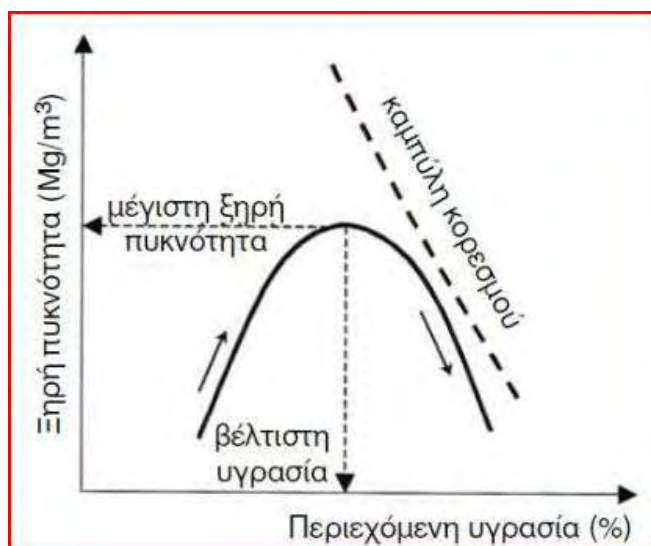
Σχήμα 3.41 Εξοπλισμός δοκιμής ελάχιστης πυκνότητας με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα χωρίς νερό



Σχήμα 3.42 Εξοπλισμός δοκιμής ελάχιστης πυκνότητας με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα με νερό



Σχήμα 3.43 Εξοπλισμός δοκιμής πρότυπης συμπίκνωσης. Από αριστερά προς τα δεξιά: μεταλλική μήτρα, μεταλλική σφύρα συμπίκνωσης και εργαλείο ομαλοποίησης της επιφάνειας(μεταλλικός χάρακας)



Σχήμα 3.44 Τυπική καμπύλη συμπίκνωσης Proctor για αμμώδη εδάφη(N. Σαμπατακάκης και Κούκης)

Κεφάλαιο 4

Μελετηθέντα εδάφη- Πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών

4.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά παρουσιάζονται τα εδάφη που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία και στη συνέχεια το πρόγραμμα των δοκιμών άμεσης διάτμησης.

4.2 Μελετηθέντα εδάφη

Μελετήθηκαν τρεις καθαρές άμμοι: η άμμος M31, η άμμος Toyoura και η άμμος Hostun. Τα εδάφη δε περιέχουν καθόλου λεπτόκοκκα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι φυσικές ιδιότητες καθεμιάς από τις άμμους καθώς και στοιχεία σχετικά με τη προέλευση και την ορυκτολογική σύστασή τους.

4.2.1 Φυσικά χαρακτηριστικά εδαφών

Η άμμος M31 είναι φυσική χαλαζιακή άμμος από το Βέλγιο (Βράννα Α,2016). Μετά από εξέταση της σε συμβατικό μικροσκόπιο, διαπιστώθηκε πως πρόκειται για καθαρή άμμο με σχετικά ομοιόμορφους σπλβωμένους κόκκους, με ομοιόμορφη στρογγυλότητα και σφαιρικότητα, Σχήματα 4.1 και 4.2. Η καθαρή άμμος M31 περιέχει χαλαζιακούς κόκκους σε ποσοστό 99%

Η στίλβωση αποτελεί ένδειξη προέλευσης από υδατικό περιβάλλον. Οι κόκκοι στην πλειονότητά τους είναι διαυγείς, ενώ ένα ποσοστό 5-10% είναι γαλακτόχρωμοι (ημιδιαφανείς) και άλλης γενετικής προέλευσης. Υπάρχει απειροελάχιστη ποσότητα (<1‰) μαύρων κόκκων σιδηροξειδίων άγνωστης προέλευσης (Βράννα Α.,2016).

Η καθαρή άμμος Toyoura είναι μια κίτρινη άμμος. Περιέχει στο εσωτερικό της χαλαζιακούς κόκκους σε ποσοστό 77% και αστριούς σε ποσοστό 23%. Οι κόκκοι της είναι ισομεγέθεις και ημιγωνιώδεις, Σχήματα 4.3 και 4.4.

Η καθαρή άμμος Hostun είναι μια διαυγής (άχρωμη) χαλαζιακή άμμος οι κόκκοι της οποίας είναι γωνιώδεις, Σχήματα 4.5 και 4.6. Αποτελέσματα χημικής ανάλυσης στην καθαρή άμμο Hostun παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.14 και υποδεικνύουν ένα πολύ υψηλό ποσοστό χαλαζιακών κόκκων.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών ταξινόμησης σε Πίνακες και Σχήματα.

Κοκκομετρική ανάλυση

α) Καθαρή άμμος M31

Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. Οι προκύπτουσες κοκκομετρικές καμπύλες παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.7. Από αυτές προέκυψε η ενδιάμεση αντιπροσωπευτική καμπύλη.

Το 100% συγκρατείται από το κόσκινο Νο 200 ($d= 75\mu\text{m}$), άρα το υλικό είναι χονδρόκοκκο χωρίς καθόλου λεπτόκοκκα. Επίσης το 100% του υλικού διέρχεται από το κόσκινο Νο 50 ($d= 2\text{mm}$), άρα το υλικό είναι καθαρή άμμος χωρίς χαλίκια.

Από τη μέση καμπύλη προέκυψαν τα εξής:

- $D_{10} = 0,22$

$$D_{30} = 0,31$$

$$D_{60} = 0,4$$

- Συντελεστής ομοιομορφίας υλικού:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,4}{0,22} = 1,82 < 6$$

- Συντελεστής καμπυλότητας υλικού:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{0,31^2}{0,22 \times 0,4} = 1,09$$

Δεν ισχύει ότι $C_u < 6$ και ότι $1 < C_c < 3$. Άρα το υλικό είναι ομοιόμορφη καθαρή άμμος, SP.

β) Καθαρή άμμος Toyoura

Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2. Οι προκύπτουσες κοκκομετρικές καμπύλες παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.8. Από αυτές προέκυψε η ενδιάμεση αντιπροσωπευτική καμπύλη.

Το 100% συγκρατείται από το κόσκινο Νο 200 ($d= 75\mu\text{m}$), άρα το υλικό είναι χονδρόκοκκο χωρίς καθόλου λεπτόκοκκα. Επίσης το 100% του υλικού διέρχεται από το κόσκινο Νο 50 ($d= 2\text{mm}$), άρα το υλικό είναι καθαρή άμμος χωρίς χαλίκια.

Από τη μέση καμπύλη προέκυψαν τα εξής:

- $D_{10} = 0,15$

$$D_{30} = 0,17$$

$$D_{60} = 0,19$$

- Συντελεστής ομοιομορφίας υλικού:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,19}{0,15} = 1,26 < 6$$

- Συντελεστής καμπυλότητας υλικού:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{0,17^2}{0,15 \times 0,19} = 1,014$$

Δεν ισχύει ότι $C_u < 6$ και ότι $1 < C_c < 3$. Άρα το υλικό είναι ομοιόμορφη καθαρή άμμος, SP.

γ) Καθαρή άμμος Hostun

Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3. Οι προκύπτουσες κοκκομετρικές καμπύλες παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.9. Από αυτές προέκυψε η ενδιάμεση αντιπροσωπευτική καμπύλη.

Το 100% συγκρατείται από το κόσκινο No 200 ($d = 75\mu\text{m}$), άρα το υλικό είναι χονδρόκοκκο χωρίς καθόλου λεπτόκοκκα. Επίσης το 100% του υλικού διέρχεται από το κόσκινο No 50 ($d = 2\text{mm}$), άρα το υλικό είναι καθαρή άμμος χωρίς χαλίκια.

Από τη μέση καμπύλη προέκυψαν τα εξής:

- $D_{10} = 0,22$
 $D_{30} = 0,32$
 $D_{60} = 0,40$

- Συντελεστής ομοιομορφίας υλικού:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,40}{0,22} = 1,818 < 6$$

- Συντελεστής καμπυλότητας υλικού:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{0,32^2}{0,22 \times 0,40} = 1,164$$

Δεν ισχύει ότι $C_u < 6$ και ότι $1 < C_c < 3$. Άρα το υλικό είναι ομοιόμορφη καθαρή άμμος, SP.

Ειδικό βάρος στερεών κόκκων

α) Καθαρή άμμος M31

Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα ξηρά δείγματα μάζας περίπου 10 gr. Το ένα δείγμα τοποθετήθηκε σε φούρνο στους 105° και τα άλλα τρία σε φούρνο στους 60° . Τα αποτελέσματα της δοκιμής παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4. Παρατηρείται πως οι τιμές των ξηρών πυκνοτήτων που προέκυψαν δεν διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από $0,03 \text{ Mg/mm}^3$ που είναι το επιτρεπτό σφάλμα. Το ειδικό βάρος των στερεών κόκκων για τη συγκεκριμένη άμμο είναι $G_s = 2,659 \text{ Mg/mm}^3$.

β) Καθαρή άμμος Toyoura

Χρησιμοποιήθηκαν 3 ξηρά δείγματα μάζας περίπου 10 gr. Και τα τρία δείγματα τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 60° . Τα αποτελέσματα της δοκιμής παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5. Παρατηρείται πως η ειδική πυκνότητα, ρ_s , που προκύπτει αποκλίνει από τη πρώτη δοκιμή αποκλίνει από τις άλλες δυο δοκιμές περισσότερο από το επιτρεπτό σφάλμα ($0,03 \text{ Mg/mm}^3$). Το αποτέλεσμα αυτής της δοκιμής δεν λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό της μέσης τιμής. Το ειδικό βάρος των στερεών κόκκων για τη συγκεκριμένη άμμο είναι $G_s = 2,65 \text{ Mg/mm}^3$.

γ) Καθαρή άμμος Hostun

Χρησιμοποιήθηκαν 3 ξηρά δείγματα μάζας περίπου 10 gr. Και τα τρία δείγματα τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 60°. Τα αποτελέσματα της δοκιμής παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6. Παρατηρείται πως οι τιμές των ξηρών πυκνοτήτων που προέκυψαν δεν διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 0,03 Mg/mm³ που είναι το επιτρεπτό σφάλμα. Το ειδικό βάρος των στερεών κόκκων για τη συγκεκριμένη άμμο είναι $G_s=2,659 \text{ Mg/mm}^3$.

Ελάχιστη και μέγιστη πυκνότητα

Ελάχιστη πυκνότητα

α) Καθαρή άμμος M31

Τα αποτελέσματα της δοκιμής ελάχιστης πυκνότητας με ξηρή εναπόθεση του ογκομετρικού κυλίνδρου χωρίς νερό (με αργή και γρήγορη εναπόθεση στον πάγκο εργασίας) για τη συγκεκριμένη άμμο παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7. Από τις τέσσερις διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν επιλέχθηκε η αργή εναπόθεση σε κύλινδρο των 2000 cm³, η οποία έδινε το μεγαλύτερο δείκτη πόρων $e_{max}=0,867$.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής ελάχιστης πυκνότητας με ξηρή εναπόθεση του ογκομετρικού κυλίνδρου με νερό παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.10. Από τη συγκεκριμένη δοκιμή προέκυψε ότι ο μεγαλύτερος δείκτης πόρων είναι $e_{max}=0,907$.

Επιπλέον, αποτελέσματα για το μέγιστο δείκτη πόρων υπήρχαν και από τη βιβλιογραφία (Βράννα, 2016) όπου $e_{max}=0,805$.

Για τη συγκεκριμένη καθαρή άμμο λήφθηκε ο μέγιστος δείκτης πόρων ίσος με $e_{max}=0,907$.

β) Καθαρή άμμος Toyoura

Τα αποτελέσματα της δοκιμής ελάχιστης πυκνότητας με ξηρή εναπόθεση του ογκομετρικού κυλίνδρου χωρίς νερό (με αργή και γρήγορη εναπόθεση στον πάγκο εργασίας) για τη συγκεκριμένη άμμο παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.8. Από τις δύο διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν προκύπτει ότι ο μεγαλύτερος δείκτης πόρων $e_{max}=0,988$.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής ελάχιστης πυκνότητας με ξηρή εναπόθεση του ογκομετρικού κυλίνδρου με νερό παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.11. Τελικά προκύπτει ότι ο μέγιστος δείκτης πόρων για τη συγκεκριμένη άμμο είναι $e_{max}=0,986$.

Για τη συγκεκριμένη καθαρή άμμο λήφθηκε ο μέγιστος δείκτης πόρων ίσος με $e_{max}=0,988$.

γ) Καθαρή άμμος Hostun

Τα αποτελέσματα της δοκιμής ελάχιστης πυκνότητας με ξηρή εναπόθεση του ογκομετρικού κυλίνδρου χωρίς νερό (με αργή και γρήγορη εναπόθεση στον πάγκο εργασίας) για τη συγκεκριμένη άμμο παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.9. Από τις δύο διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν προκύπτει ότι ο μεγαλύτερος δείκτης πόρων $e_{max}=0,994$.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής ελάχιστης πυκνότητας με ξηρή εναπόθεση του ογκομετρικού κυλίνδρου με νερό παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.12. Τελικά προκύπτει ότι ο μέγιστος δείκτης πόρων για τη συγκεκριμένη άμμο είναι $e_{max}=0,990$.

Για τη συγκεκριμένη καθαρή άμμο λήφθηκε ο μέγιστος δείκτης πόρων ίσος με $e_{max}=0,994$.

Μέγιστη πυκνότητα

α) Καθαρή άμμος M31

Τα αποτελέσματα της δοκιμής της μέγιστης ξηρής πυκνότητας, δηλαδή της δοκιμής συμπύκνωσης Proctor για την άμμο M31 παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.13 και η καμπύλη συμπύκνωσης στο Σχήμα 4.10. Προέκυψε ελάχιστος δείκτης πόρων για τη συγκεκριμένη άμμο ίσος με $e_{min}=0,645$

β) Καθαρή άμμος Toyoura

Για τη συγκεκριμένη άμμο δε πραγματοποιήθηκε δοκιμή συμπύκνωσης καθώς δεν ήταν διαθέσιμο αρκετό υλικό για την εκτέλεση της δοκιμής. Από βιβλιογραφία βρέθηκε ότι για τη συγκεκριμένη άμμο ο ελάχιστος δείκτης πόρων είναι $e_{min}=0,617$.

γ) Καθαρή άμμος Hostun

Για τη συγκεκριμένη άμμο δε πραγματοποιήθηκε δοκιμή συμπύκνωσης καθώς δεν ήταν διαθέσιμο αρκετό υλικό για την εκτέλεση της δοκιμής. Από βιβλιογραφία βρέθηκε ότι για τη συγκεκριμένη άμμο ο ελάχιστος δείκτης πόρων είναι $e_{min}=0,600$

Ο Πίνακας 4.15 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα φυσικά χαρακτηριστικά των μελετηθέντων εδαφών.

4.3 Πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών

Το πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών περιλαμβάνει δοκιμές άμεσης διάτμησης υπό στραγγιζόμενες συνθήκες (CD) σε δοκίμια (α) καθαρής άμμου M31, (β) καθαρής άμμου Toyoura και (γ) καθαρής άμμου Hostun σε διάφορες πυκνότητες και τάσεις στερεοποίησης. Επίσης, περιλαμβάνει δοκιμές άμεσης διάτμησης για την επίδραση του ρυθμού παραμόρφωσης και της χρήσης οδοντωτών πλακών.

4.3.1 Δοκιμές άμεσης διάτμησης για τον προσδιορισμό της αντοχής του εδάφους

Στον Πίνακα 4.16 παρουσιάζονται τα στοιχεία των δοκιμών άμεσης διάτμησης υπό στραγγιζόμενες συνθήκες που πραγματοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των γωνιών τριβής, φ'_{max} και φ'_{crit} .

4.3.2 Δοκιμές άμεσης διάτμησης για την επίδραση του ρυθμού παραμόρφωσης

Στον Πίνακα 4.17 παρουσιάζονται τα στοιχεία των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στην άμμο M31 σε πυκνότητα (α) 80-85% και (β) 95-100% και σε τάση $\sigma_n=99,44$ kPa για διάφορους ρυθμούς παραμόρφωσης

4.3.3 Δοκιμές άμεσης διάτμησης για την επίδραση της χρήσης οδοντωτών πλακών

Στον Πίνακα 4.18 παρουσιάζονται τα στοιχεία των δοκιμών άμεσης διάτμησης που πραγματοποιήθηκαν για την επίδραση της χρήσης οδοντωτών πλακών.

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής ανάλυσης στη καθαρή άμμο M31

ΔΟΚΙΜΗ 1							
αριθμός κόσκινου No	διάμετρος (mm)	m υποδοχεία &ξηρ. Δείγμ. (g)	m συγκρ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	συνολική m συγκ/νου ξηρ δειγμ (g)	συγκ/νο ποσοστό (%)	m διερχ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	διερχ/νο ποσοστό (%)
10	2,000	116,57	0,00	0,00	0,00	216,40	100,00
18	1,000	117,15	0,58	0,58	0,27	215,82	99,73
20	0,850	124,66	8,09	8,67	4,01	207,73	95,99
30	0,600	126,51	9,94	18,61	8,60	197,79	91,40
40	0,425	147,27	30,70	49,31	22,79	167,09	77,21
50	0,300	192,98	76,41	125,72	58,10	90,68	41,90
100	0,150	206,06	89,49	215,21	99,45	1,19	0,55
200	0,075	117,72	1,15	216,36	99,98	0,04	0,02
230	0,063	116,61	0,04	216,40	100,00	0,00	0,00
τυφλό	0	116,57	0,00	216,40	100,00	0,00	0,00
ΔΟΚΙΜΗ 2							
αριθμός κόσκινου No	διάμετρος (mm)	m υποδοχεία &ξηρ. Δείγμ. (g)	m συγκρ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	συνολική m συγκ/νου ξηρ δειγμ (g)	συγκ/νο ποσοστό (%)	m διερχ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	διερχ/νο ποσοστό (%)
10	2,000	116,57	0,00	0,00	0,00	216,69	100,00
18	1,000	117,15	0,58	0,58	0,27	216,11	99,73
20	0,850	124,97	8,40	8,98	4,14	207,71	95,86
30	0,600	126,93	10,36	19,34	8,93	197,35	91,07
40	0,425	152,16	35,59	54,93	25,35	161,76	74,65
50	0,300	234,49	117,92	172,85	79,77	43,84	20,23
100	0,150	159,46	42,89	215,74	99,56	0,95	0,44
200	0,075	117,48	0,91	216,65	99,98	0,04	0,02
230	0,063	116,61	0,04	216,69	100,00	0,00	0,00
τυφλό	-	116,57	0,00	216,69	100,00	0,00	0,00
ΔΟΚΙΜΗ 3							
αριθμός κόσκινου No	διάμετρος (mm)	m υποδοχεία &ξηρ. Δείγμ. (g)	m συγκρ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	συνολική m συγκ/νου ξηρ δειγμ (g)	συγκ/νο ποσοστό (%)	m διερχ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	διερχ/νο ποσοστό (%)
10	2,000	116,57	0,00	0,00	0,00	216,41	100,00
18	1,000	117,15	0,58	0,58	0,27	215,83	99,73
20	0,850	124,94	8,37	8,95	4,14	207,46	95,86
30	0,600	126,57	10,00	18,95	8,76	197,46	91,24
40	0,425	177,01	60,44	79,39	36,68	137,02	63,32
50	0,300	229,18	112,61	192,00	88,72	24,41	11,28
100	0,150	140,45	23,88	215,88	99,76	0,53	0,24
200	0,075	117,06	0,49	216,37	99,98	0,04	0,02
230	0,063	116,61	0,04	216,41	100,00	0,00	0,00
τυφλό	-	116,57	0,00	216,41	100,00	0,00	0,00

Πίνακας 4.2 Αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής ανάλυσης στη καθαρή άμμο Toyoura

ΔΟΚΙΜΗ 1							
αριθμός κόσκινου No	διάμετρος (mm)	m υποδοχεία & ξηρ. Δείγμ. (g)	m συγκρ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	συνολική m συγκ/νου ξηρ δειγμ (g)	συγκ/νο ποσοστό (%)	m διερχ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	διερχ/νο ποσοστό (%)
10	2	123,09	0,00	0,00	0,00	208,72	100,00
18	1	123,10	0,01	0,01	0,00	208,71	100,00
20	0,85	123,10	0,01	0,02	0,01	208,70	99,99
30	0,6	123,54	0,45	0,47	0,23	208,25	99,77
40	0,425	123,16	0,07	0,54	0,26	208,18	99,74
50	0,3	171,03	47,94	48,48	23,23	160,24	76,77
100	0,15	281,61	158,52	207,00	99,18	1,72	0,82
200	0,075	124,72	1,63	208,63	99,96	0,09	0,04
230	0,063	123,14	0,05	208,68	99,98	0,04	0,02
τυφλό	0	123,13	0,04	208,72	100,00	0,00	0,00
ΔΟΚΙΜΗ 2							
αριθμός κόσκινου No	διάμετρος (mm)	m υποδοχεία & ξηρ. Δείγμ. (g)	m συγκρ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	συνολική m συγκ/νου ξηρ δειγμ (g)	συγκ/νο ποσοστό (%)	m διερχ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	διερχ/νο ποσοστό (%)
10	2	123,09	0,00	0,00	0,00	210,30	100,00
18	1	123,09	0,00	0,00	0,00	210,30	100,00
20	0,85	123,09	0,00	0,00	0,00	210,30	100,00
30	0,6	123,09	0,00	0,00	0,00	210,30	100,00
40	0,425	123,11	0,02	0,02	0,01	210,28	99,99
50	0,3	123,29	0,20	0,22	0,10	210,08	99,90
100	0,15	328,90	205,81	206,03	97,97	4,27	2,03
200	0,075	127,16	4,07	210,10	99,90	0,20	0,10
230	0,063	123,19	0,10	210,20	99,95	0,10	0,05
τυφλό	-	123,19	0,10	210,30	100,00	0,00	0,00
ΔΟΚΙΜΗ 3							
αριθμός κόσκινου No	διάμετρος (mm)	m υποδοχεία & ξηρ. Δείγμ. (g)	m συγκρ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	συνολική m συγκ/νου ξηρ δειγμ (g)	συγκ/νο ποσοστό (%)	m διερχ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	διερχ/νο ποσοστό (%)
10	2	123,09	0,00	0,00	0,00	209,84	100,00
18	1	123,09	0,00	0,00	0,00	209,84	100,00
20	0,85	123,09	0,00	0,00	0,00	209,84	100,00
30	0,6	123,09	0,00	0,00	0,00	209,84	100,00
40	0,425	123,11	0,02	0,02	0,01	209,82	99,99
50	0,3	123,31	0,22	0,24	0,11	209,60	99,89
100	0,15	326,91	203,82	204,06	97,25	5,78	2,75
200	0,075	128,70	5,61	209,67	99,92	0,17	0,08
230	0,063	123,20	0,11	209,78	99,97	0,06	0,03
τυφλό	-	123,15	0,06	209,84	100,00	0,00	0,00

Πίνακας 4.3 Αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής ανάλυσης στη καθαρή άμμο Hostun

ΔΟΚΙΜΗ 1							
αριθμός κόσκινου No	διάμετρος (mm)	m υποδοχέα &ξηρ. Δείγμ. (g)	m συγκρ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	συνολική m συγκ/νου ξηρ δειγμ (g)	συγκ/νο ποσοστό (%)	m διερχ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	διερχ/νο ποσοστό (%)
10	2,000	118,33	0,00	0,00	0,00	209,88	100,00
18	1,000	118,34	0,01	0,01	0,00	209,87	100,00
20	0,850	118,35	0,02	0,03	0,01	209,85	99,99
30	0,600	118,42	0,09	0,12	0,06	209,76	99,94
40	0,425	195,47	77,14	77,26	36,81	132,62	63,19
50	0,300	214,71	96,38	173,64	82,73	36,24	17,27
100	0,150	150,09	31,76	205,40	97,87	4,48	2,13
200	0,075	121,72	3,39	208,79	99,48	1,09	0,52
230	0,063	118,88	0,55	209,34	99,74	0,54	0,26
τυφλό	0	118,87	0,54	209,88	100,00	0,00	0,00
ΔΟΚΙΜΗ 2							
αριθμός κόσκινου No	διάμετρος (mm)	m υποδοχέα &ξηρ. Δείγμ. (g)	m συγκρ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	συνολική m συγκ/νου ξηρ δειγμ (g)	συγκ/νο ποσοστό (%)	m διερχ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	διερχ/νο ποσοστό (%)
10	2,000	118,33	0,00	0,00	0,00	209,61	100,00
18	1,000	118,33	0,00	0,00	0,00	209,61	100,00
20	0,850	118,36	0,03	0,03	0,01	209,58	99,99
30	0,600	118,50	0,17	0,20	0,10	209,41	99,90
40	0,425	193,29	74,96	75,16	35,86	134,45	64,14
50	0,300	216,99	98,66	173,82	82,93	35,79	17,07
100	0,150	151,03	32,70	206,52	98,53	3,09	1,47
200	0,075	120,77	2,44	208,96	99,69	0,65	0,31
230	0,063	118,70	0,37	209,33	99,87	0,28	0,13
τυφλό	-	118,61	0,28	209,61	100,00	0,00	0,00
ΔΟΚΙΜΗ 3							
αριθμός κόσκινου No	διάμετρος (mm)	m υποδοχέα &ξηρ. Δείγμ. (g)	m συγκρ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	συνολική m συγκ/νου ξηρ δειγμ (g)	συγκ/νο ποσοστό (%)	m διερχ/νου ξηρ. δείγμ. (g)	διερχ/νο ποσοστό (%)
10	2,000	118,33	0,00	0,00	0,00	209,61	100,00
18	1,000	118,33	0,00	0,00	0,00	209,61	100,00
20	0,850	118,36	0,03	0,03	0,01	209,58	99,99
30	0,600	118,51	0,18	0,21	0,10	209,40	99,90
40	0,425	160,62	42,29	42,50	20,04	167,11	79,96
50	0,300	252,31	133,98	176,48	83,23	33,13	16,77
100	0,150	151,49	33,16	209,64	98,87	-0,03	1,13
200	0,075	120,32	1,99	211,63	99,81	-2,02	0,19
230	0,063	118,55	0,22	211,85	99,91	-2,24	0,09
τυφλό	-	118,52	0,19	212,04	100,00	-2,43	0,00

Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα δοκιμής ειδικού βάρους στερεών κόκκων καθαρής άμμου M31

αριθμός δοκιμής	1	2	3	4
όνομα λυκήθου	1(105°)	2(60°)	3(60°)	4(60°)
μάζα λυκήθου+εδάφους+νερό (g)	86,6826	87,6512	88,1743	88,4457
μάζα λυκήθου+εδάφους (g)	39,8256	41,4002	42,3144	42,3195
μάζα λυκήθου γεμάτη με νερό (g)	81,6395	81,3739	81,5437	81,8927
μάζα λυκήθου (g)	31,7562	31,3201	31,7044	31,8043
μάζα εδάφους (g)	8,0694	10,0801	10,6100	10,5152
μάζα νερού στη γεμάτη λυκήθο (g)	49,8833	50,0538	49,8393	50,0884
μάζα νερού που χρησιμοποιήθηκε (g)	46,8570	46,2510	45,8599	46,1262
μάζα εδαφικών κόκκων (g)	3,0263	3,8028	3,9794	3,9622
ειδική πυκνότητα ρ_s (Mg/mm ³)	2,6664	2,6507	2,6662	2,6539
μέση τιμή (Mg/mm ³)	2,659			

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα δοκιμής ειδικού βάρους στερεών κόκκων καθαρής άμμου Toyoura

αριθμός δοκιμής	1	2	3
όνομα λυκήθου	4(60°)	5(60°)	6(60°)
μάζα λυκήθου+εδάφους+νερό (g)	88,2788	87,9823	87,9614
μάζα λυκήθου+εδάφους (g)	41,7868	41,8502	41,8030
μάζα λυκήθου γεμάτη με νερό (g)	81,9411	81,6547	81,7435
μάζα λυκήθου (g)	31,8021	31,6898	31,8167
μάζα εδάφους (g)	9,9847	10,1604	9,9863
μάζα νερού στη γεμάτη λυκήθο (g)	50,1390	49,9649	49,9268
μάζα νερού που χρησιμοποιήθηκε (g)	46,4920	46,1321	46,1584
μάζα εδαφικών κόκκων (g)	3,6470	3,8328	3,7684
ειδική πυκνότητα ρ_s (Mg/mm ³)	2,7378	2,6509	2,6500
μέση τιμή (Mg/mm ³)	2,650		

Πίνακας 4.6 Αποτελέσματα δοκιμής ειδικού βάρους στερεών κόκκων καθαρής άμμου Hostun

αριθμός δοκιμής	1	2	3
όνομα λυκήθου	1(60°)	2(60°)	3(60°)
μάζα λυκήθου+εδάφους+νερό (g)	87,8349	87,6031	87,747
μάζα λυκήθου+εδάφους (g)	41,6346	41,2682	41,5635
μάζα λυκήθου γεμάτη με νερό (g)	81,6738	81,4007	81,5875
μάζα λυκήθου (g)	31,7556	31,3183	31,7032
μάζα εδάφους (g)	9,8790	9,9499	9,8603
μάζα νερού στη γεμάτη λυκήθο (g)	49,9182	50,0824	49,8843
μάζα νερού που χρησιμοποιήθηκε (g)	46,2003	46,3349	46,1835
μάζα εδαφικών κόκκων (g)	3,7179	3,7475	3,7008
ειδική πυκνότητα ρ_s (Mg/mm ³)	2,6571	2,6551	2,6644
μέση τιμή (Mg/mm ³)	2,659		

Πίνακας 4.7 Ελάχιστη πυκνότητα με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα χωρίς νερό για την άμμο Μ31

Χρήση ογκομετρικού σωλήνα 1000 cm ³											
Γρήγορη εναπόθεση											
μέγεθος	μονάδες	τιμές									
		1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η
Μάζα ξηρού δοκιμίου, M _d	gr	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Όγκος εδάφους, V	cm ³	690	690	680	680	690	690	680	680	690	690
Ελάχ. ξηρή πυκν/τα, ρ _{D-min}	gr/cm ³	1,4493	1,4493	1,4706	1,4706	1,4493	1,4493	1,4706	1,4706	1,4493	1,4493
Ειδικό βάρος, G _s	gr/cm ³	2,659									
Μέγιστος δείκτης πόρων, e _{max}		0,835	0,835	0,808	0,808	0,835	0,835	0,808	0,808	0,835	0,835
Αργή εναπόθεση											
μέγεθος	μονάδες	τιμές									
		1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η
Μάζα ξηρού δοκιμίου, M _d	gr	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Όγκος εδάφους, V	cm ³	690	690	690	700	690	690	680	690	690	690
Ελάχ. ξηρή πυκν/τα, ρ _{D-min}	gr/cm ³	1,4493	1,4493	1,4493	1,4286	1,4493	1,4493	1,4706	1,4493	1,4493	1,4493
Ειδικό βάρος, G _s	gr/cm ³	2,659									
Μέγιστος δείκτης πόρων, e _{max}		0,835	0,835	0,835	0,861	0,835	0,835	0,808	0,835	0,835	0,835
Χρήση ογκομετρικού σωλήνα 2000 cm ³											
Γρήγορη εναπόθεση											
μέγεθος	μονάδες	τιμές									
		1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η
Μάζα ξηρού δοκιμίου, M _d	gr	1951	1951	1951	1950	1950	1949	1949	1949	1949	1949
Όγκος εδάφους, V	cm ³	690	690	700	690	700	700	700	700	690	690
Ελάχ. ξηρή πυκν/τα, ρ _{D-min}	gr/cm ³	1,4493	1,4493	1,4286	1,4478	1,4271	1,4257	1,4257	1,4257	1,4464	1,4464
Ειδικό βάρος, G _s	gr/cm ³	2,659									
Μέγιστος δείκτης πόρων, e _{max}		0,835	0,835	0,861	0,837	0,863	0,865	0,865	0,865	0,838	0,838
Αργή εναπόθεση											
μέγεθος	μονάδες	τιμές									
		1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η
Μάζα ξηρού δοκιμίου, M _d	gr	1948	1948	1948	1948	1947	1947	1946	1946	1946	1946
Όγκος εδάφους, V	cm ³	700	700	690	700	690	690	700	690	690	690
Ελάχ. ξηρή πυκν/τα, ρ _{D-min}	gr/cm ³	1,4243	1,4243	1,4449	1,4243	1,4435	1,4435	1,4214	1,4420	1,4420	1,4420
Ειδικό βάρος, G _s	gr/cm ³	2,659									
Μέγιστος δείκτης πόρων, e _{max}		0,867	0,867	0,84	0,867	0,842	0,842	0,871	0,844	0,844	0,844

Πίνακας 4.8 Ελάχιστη πυκνότητα με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα χωρίς νερό για την άμμο Τογούρα

Χρήση ογκομετρικού σωλήνα 1000 cm ³											
Γρήγορη εναπόθεση											
μέγεθος	μονάδες	τιμές									
		1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η
Μάζα ξηρού δοκιμίου, M _d	gr	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Όγκος εδάφους, V	cm ³	740	730	730	730	740	730	750	740	740	730
Ελάχ. ξηρή πυκν/τα, ρ _{D-min}	gr/cm ³	1,3514	1,3699	1,3699	1,3699	1,3514	1,3699	1,3333	1,3514	1,3514	1,3699
Ειδικό βάρος, G _s	gr/cm ³	2,65									
Μέγιστος δείκτης πόρων, e _{max}		0,961	0,935	0,935	0,935	0,961	0,935	0,988	0,961	0,961	0,935
Αργή εναπόθεση											
μέγεθος	μονάδες	τιμές									
		1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η
Μάζα ξηρού δοκιμίου, M _d	gr	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Όγκος εδάφους, V	cm ³	750	740	750	740	750	750	750	740	740	750
Ελάχ. ξηρή πυκν/τα, ρ _{D-min}	gr/cm ³	1,3333	1,3514	1,3333	1,3514	1,3333	1,3333	1,3333	1,3514	1,3514	1,3333
Ειδικό βάρος, G _s	gr/cm ³	2,65									
Μέγιστος δείκτης πόρων, e _{max}		0,988	0,961	0,988	0,961	0,988	0,988	0,988	0,961	0,961	0,988

Πίνακας 4.9 Ελάχιστη πυκνότητα με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα χωρίς νερό για την άμμο Hostun

Χρήση ογκομετρικού σωλήνα 1000 cm ³											
Γρήγορη εναπόθεση											
μέγεθος	μονάδες	τιμές									
		1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η
Μάζα ξηρού δοκιμίου, M _d	gr	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Όγκος εδάφους, V	cm ³	740	740	750	750	750	750	740	750	750	740
Ελάχ. ξηρή πυκν/τα, ρ _{D-min}	gr/cm ³	1,3514	1,3514	1,3333	1,3333	1,3333	1,3333	1,3514	1,3333	1,3333	1,3514
Ειδικό βάρος, G _s	gr/cm ³	2,659									
Μέγιστος δείκτης πόρων, e _{max}		0,968	0,968	0,994	0,994	0,994	0,994	0,968	0,994	0,994	0,968
Αργή εναπόθεση											
μέγεθος	μονάδες	τιμές									
		1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η
Μάζα ξηρού δοκιμίου, M _d	gr	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Όγκος εδάφους, V	cm ³	750	740	750	740	750	750	750	740	740	750
Ελάχ. ξηρή πυκν/τα, ρ _{D-min}	gr/cm ³	1,3333	1,3514	1,3333	1,3514	1,3333	1,3333	1,3333	1,3514	1,3514	1,3333
Ειδικό βάρος, G _s	gr/cm ³	2,659									
Μέγιστος δείκτης πόρων, e _{max}		0,994	0,968	0,994	0,968	0,994	0,994	0,994	0,968	0,968	0,994

Πίνακας 4.10 Ελάχιστη πυκνότητα με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα με νερό για την άμμο M31

M31			
Ογκομετρικός κύλινδρος	1	2	3
Ειδικό βάρος (Mg/mm ³)	2,659	2,659	2,659
m όγκομ. Κυλ+ νερό (g)	154,78	206,28	206,28
m όγκομ. Κυλ+ νερό+ έδαφος (g)	186,98	237,66	236,83
Νεδάφους	23	22,5	21,5
M εδάφους	32,2	31,38	30,55
ξηρή πυκνότητα, ρ	1,400	1,395	1,421
δείκτης πόρων , e	0,899	0,907	0,871

Πίνακας 4.11 Ελάχιστη πυκνότητα με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα με νερό για την άμμο Toyoura

Toyourea		
Ογκομετρικός κύλινδρος	1	2
Ειδικό βάρος (Mg/mm ³)	2,65	2,65
m όγκομ. Κυλ+ νερό (g)	203,74	203,97
m όγκομ. Κυλ+ νερό+ έδαφος (g)	228,46	229,32
Νεδάφους	18	19
M εδάφους	24,72	25,35
ξηρή πυκνότητα, ρ	1,373	1,334
δείκτης πόρων , e	0,930	0,986

Πίνακας 4.12 Ελάχιστη πυκνότητα με τη μέθοδο ξηρής εναπόθεσης σε ογκομετρικό σωλήνα με νερό για την άμμο Hostun

Hostun		
Ογκομετρικός κύλινδρος	1	3
Ειδικό βάρος (Mg/mm ³)	2,659	2,659
m όγκομ. Κυλ+ νερό (g)	164,61	207,14
m όγκομ. Κυλ+ νερό+ έδαφος (g)	194,34	232,74
Νεδάφους	22,25	19,5
M εδάφους	29,73	25,6
ξηρή πυκνότητα, ρ	1,336	1,313
δείκτης πόρων , e	0,990	0,974

Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα δοκιμής συμπίκνωσης στην καθαρή άμμο M31

Χαρακτηριστικά Μήτρας:			
Διάμετρος D (cm)	10,158		
Ύψος H (cm)	11,651		
Μάζα μήτρας+βάση, M (g)	3409,13		
Επιφάνεια Βάσης, A (cm ²)	81,0002		
Όγκος V (cm ³)	943,7333		
Δοκιμή 1η			
Εισαγωγή υγρασίας (%)	5		
Μάζα εδάφους+μήτρας (g)	4980		
Μάζα εδάφους (g)	1570,87		
Φαινόμενη πυκνότητα, ρ (g/cm ³)	1,665		
Ξηρή μάζα εδάφους (g)	1498,685		
Προσδιορισμός Υγρασίας			
επιφάνεια	άνω	μέση	κάτω
Αρ. Υποδοχέα	A	1A	3A
Μάζα υποδοχέα (g)	20,62	19,52	26,62
Μάζα υποδοχέα+υγρό δείγμα (g)	44,87	46,33	51,7
Μάζα υποδοχέα+ξηρό δείγμα (g)	43,83	45,11	50,46
Μάζα νερού (g)	1,04	1,22	1,24
Μάζα Ξηρού Δείγματος (g)	23,21	25,59	23,84
Υγρασία (%)	4,481	4,767	5,201
Μέση υγρασία, w (%)	4,817		
Ξηρή φαινόμενη πυκνότητα, ρ _a (g/cm ³)	1,588		
Δοκιμή 2η			
Εισαγωγή υγρασίας (%)	7,5		
Μάζα εδάφους+μήτρας (g)	5030		
Μάζα εδάφους (g)	1620,87		
Φαινόμενη πυκνότητα, ρ (g/cm ³)	1,718		
ξηρή μάζα εδάφους	1506,650		
,			
επιφάνεια	άνω	μέση	κάτω
Αρ. Υποδοχέα	4B	5A	5B
Μάζα υποδοχέα (g)	26,12	24,97	25,71
Μάζα υποδοχέα+υγρό δείγμα (g)	56,03	48,99	55,91
Μάζα υποδοχέα+ξηρό δείγμα (g)	54,42	47,27	53,33
Μάζα νερού (g)	1,61	1,72	2,58
Μάζα Ξηρού Δείγματος (g)	28,3	22,3	27,62
Υγρασία (%)	5,689	7,713	9,341
Μέση υγρασία, w (%)	7,581		
Ξηρή φαινόμενη πυκνότητα, ρ _a (g/cm ³)	1,596		
Δοκιμή 3η			
Εισαγωγή υγρασίας (%)	10		
Μάζα εδάφους+μήτρας (g)	5079		
Μάζα εδάφους (g)	1669,870		

Φαινόμενη πυκνότητα, ρ (g/cm ³)	1,769		
Ξηρή μάζα εδάφους	1516,903		
Προσδιορισμός Υγρασίας			
επιφάνεια	άνω	μέση	κάτω
Αρ. Υποδοχεία	2B	3B	8
Μάζα υποδοχεία (g)	19,83	26,06	19
Μάζα υποδοχεία+υγρό δείγμα (g)	42,01	66,2	49,67
Μάζα υποδοχεία+ξηρό δείγμα (g)	40,41	62,63	46,21
Μάζα νερού (g)	1,6	3,57	3,46
Μάζα Ξηρού Δείγματος (g)	20,58	36,57	27,21
Υγρασία (%)	7,775	9,762	12,716
Μέση υγρασία, w (%)	10,084		
Ξηρή φαινόμενη πυκνότητα, ρ_d (g/cm ³)	1,607		
Ξηρό ειδικό βάρος γ_d (g/cm ³)	15,76803106		
Δοκιμή 4η			
Εισαγωγή υγρασίας (%)	12,5		
Μάζα εδάφους+μήτρας (g)	5131		
Μάζα εδάφους (g)	1721,870		
Φαινόμενη πυκνότητα, ρ (g/cm ³)	1,825		
Ξηρή μάζα εδάφους	1519,194		
Προσδιορισμός Υγρασίας			
επιφάνεια	άνω	μέση	κάτω
Αρ. Υποδοχεία	1B	3B	4B
Μάζα υποδοχεία (g)	23,03	26,13	26,18
Μάζα υποδοχεία+υγρό δείγμα (g)	46,79	64,34	62,17
Μάζα υποδοχεία+ξηρό δείγμα (g)	44,5	59,9	57,15
Μάζα νερού (g)	2,29	4,44	5,02
Μάζα Ξηρού Δείγματος (g)	21,47	33,77	30,97
Υγρασία (%)	10,666	13,148	16,209
Μέση υγρασία, w (%)	13,341		
Ξηρή φαινόμενη πυκνότητα, ρ_d (g/cm ³)	1,610		
Δοκιμή 5η			
Εισαγωγή υγρασίας (%)	13		
Μάζα εδάφους+μήτρας (g)	5138		
Μάζα εδάφους (g)	1728,870		
Φαινόμενη πυκνότητα, ρ (g/cm ³)	1,832		
Ξηρή μάζα εδάφους	1514,808		
Προσδιορισμός Υγρασίας			
επιφάνεια	άνω	μέση	κάτω
Αρ. Υποδοχεία	3A	1B	2B
Μάζα υποδοχεία (g)	26,63	22,94	18,65
Μάζα υποδοχεία+υγρό δείγμα (g)	51,27	50,1	37,56
Μάζα υποδοχεία+ξηρό δείγμα (g)	48,69	46,52	35,02
Μάζα νερού (g)	2,58	3,58	2,54
Μάζα Ξηρού Δείγματος (g)	22,06	23,58	16,37
Υγρασία (%)	11,695	15,182	15,516

Μέση υγρασία, w (%)	14,131
Ξηρή φαινόμενη πυκνότητα, ρ _d (g/cm ³)	1,605

Πίνακας 4.14 Χημική σύσταση της καθαρής άμμου Hostun

Flammable compounds	0.55
SiO ₂	99.17
Al ₂ O ₃	0.25
TiO ₂	0.01
Fe ₂ O ₃	0.17
CaO	0.14
MgO	0.14
K ₂ O	0.02
Na ₂ O	0.05

Πίνακας 4.15 Συγκεντρωτικά στοιχεία για τα φυσικά χαρακτηριστικά των μελετηθέντων εδαφών

Καθαρή άμμος	Gs (Mg/mm ³)	e _{min}	e _{max}	(%) <75 mm	(%) >2 mm	C _u	C _c	OSCS	ποσοστό χαλαζιακών κόκκων (%)	ποσοστό Αστρίων (%)	D _{max} (mm)	Χαρακτηρισμός κόκκων
M31	2,659	0,645	0,907	0	0	1,82	1,09	SP	99		0,8	στιλβωμένοι κόκκοι με ομοιόμορφη σφαιρικό- τητα και στρογγυλότητα
Toyouira	2,65	0,617	0,988	0	0	1,26	1,014	SP	77	23	0,35	ομοιόμορφοι και ημιγωνιώδεις
Hostun	2,659	0,600	0,994	0	0	1,82	1,164	SP			0,5	γωνιώδεις

Πίνακας 4.16 Στοιχεία κύριων δοκιμών άμεσης διάτμησης

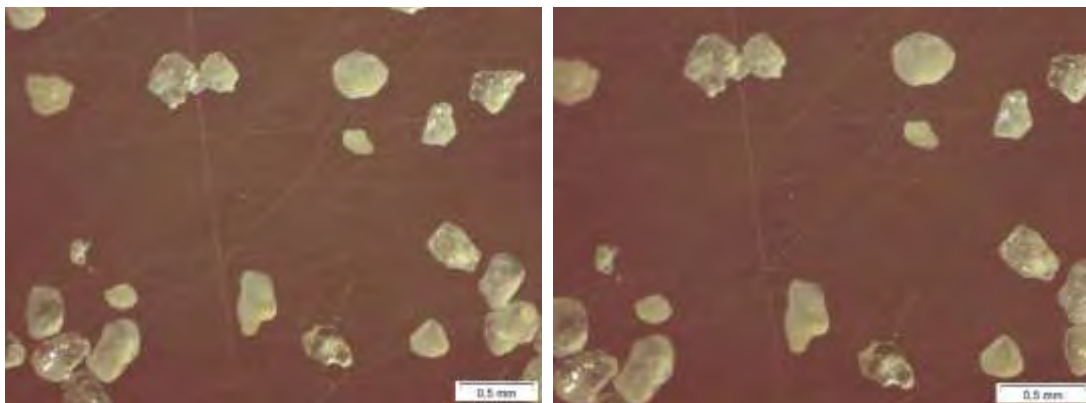
Άμμος	Δοκίμιο	Δοκιμή	σ_n (Kpa)	$\epsilon_{\sigma\tau\epsilon\rho}$	Dr (%)	Ονομαστικός ρυθμός παραμόρφωσης, rate(mm/min)
M31	Χαλαρό	M31-7A	50,13	0,880	10,36	0,6
		M31-7B	97,36	0,864	16,53	0,6
		M31-7C	197,43	0,834	27,98	0,47
		M31-7F	398,92	0,832	28,45	0,4
	Μεσαίας πυκν/ας	M31-8A	50,13	0,812	36,32	0,6
		M31-8B	97,36	0,780	48,52	0,6
		M31-8C	197,43	0,793	43,58	0,6
		M31-8D	398,92	0,797	41,83	0,6
	Πολύ πυκνό	M31-1Aa	50,13	0,659	94,71	1,897
		M31-1B	97,36	0,657	95,51	1,897
		M31-1F	197,43	0,665	92,43	1,897
		M31-1D	398,92	0,645	100,00	1,33
Toyoura	Μεσαίας πυκν/ας	TOYO-2A	50,13	0,830	42,67	0,5
		TOYO-2B	97,36	0,852	36,71	0,5
		TOYO-2C	197,43	0,842	39,36	0,4
		TOYO-2D	398,92	0,824	44,11	0,3
	Πυκνό	TOYO-1A	50,13	0,722	71,76	0,5
		TOYO-1B	97,36	0,718	72,70	0,5
		TOYO-1C	197,43	0,708	75,43	0,3
		TOYO-1D	398,92	0,696	78,72	0,4
	Πολύ πυκνό	TOYO-3Ab	50,13	0,652	96,01	0,5
		TOYO-3B	97,36	0,633	95,68	0,4
		TOYO-3C	197,43	0,641	93,52	0,5
		TOYO-3Dc	398,92	0,623	98,51	0,4
Hostun	Μεσαίας πυκν/ας	HOST-1Ab	50,13	0,807	47,50	0,5
		HOST-1Bb	97,36	0,800	49,20	0,5
		HOST-1Cb	197,43	0,821	43,97	0,5
		HOST-1D	398,92	0,796	50,35	0,4
	Πυκνό	HOST-3A	50,13	0,708	72,65	0,5
		HOST-3B	97,36	0,706	73,02	0,5
		HOST-3C	197,43	0,725	68,19	0,5
		HOST-3D	398,92	0,723	68,68	0,4
	Πολύ πυκνό	HOST-2A	50,13	0,675	81,02	0,5
		HOST-2B	97,36	0,657	85,48	0,5
		HOST-2C	197,43	0,668	82,70	0,4
		HOST-2D	398,92	0,668	82,75	0,4

Πίνακας 4.17 Στοιχεία δοκιμών άμεσης διάτμησης που εκτελέστηκαν για το προσδιορισμό της επίδρασης του ρυθμού παραμόρφωσης

Άμμος	Δοκιμή	σ_n (kPa)	$e_{\sigma\tau\epsilon\rho}$	Dr (%)	Ονομαστικός ρυθμός παραμόρφωσης, rate (mm/min)
M31	Σχετική πυκνότητα 80-85 %				
	M31-2B	99,44	0,688	83,6	1
	M31-3Bc	99,44	0,689	83,19	0,5
	M31-4B	99,44	0,679	76,91	0,1
	Σχετική πυκνότητα 95-100 %				
	M31-1Bb	99,44	0,652	97,39	1,897
	M31-6B	99,44	0,654	96,5	0,001

Πίνακας 4.18 Στοιχεία δοκιμών άμεσης διάτμησης που εκτελέστηκαν για το προσδιορισμό της επίδρασης της χρήσης σχαρών

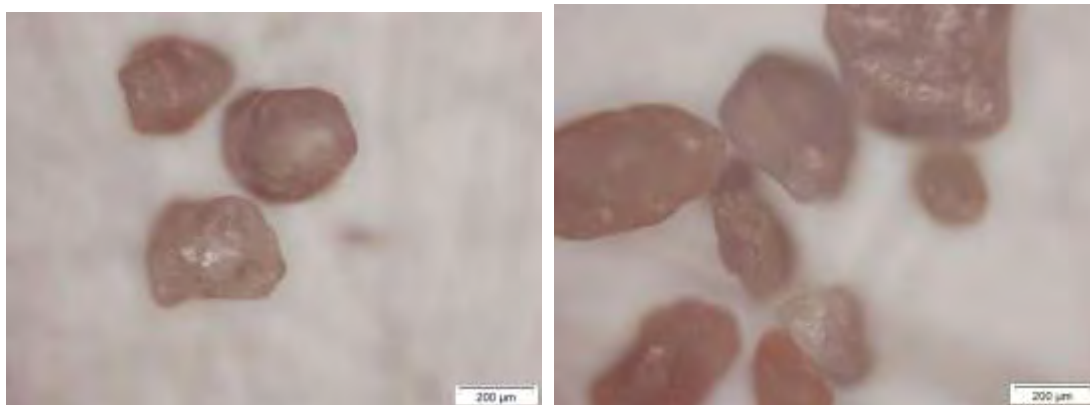
Άμμος	Δοκιμή	Χρήση οδοντιών v πλακών	σ_n (kPa)	$e_{\sigma\tau\epsilon\rho}$	Dr (%)	Ονομαστικός ρυθμός παραμόρφωσης, rate (mm/min)
M31	M31-2B	Ναι	99,44	0,688	83,6	1
	M31-2Bc	Όχι	99,44	0,672	89,65	1



(α)

(β)

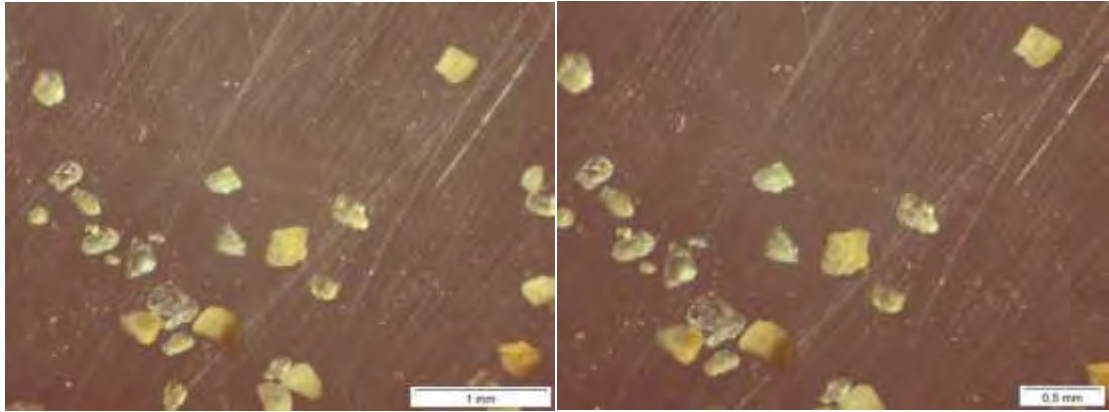
Σχήμα 4.1 Φωτογραφίες της άμμου M31 από στερεοσκόπιο OLYMPUS SZ61 με τους φακούς (α) $\times 4,00$ και (β) $\times 4,50$



(α)

(β)

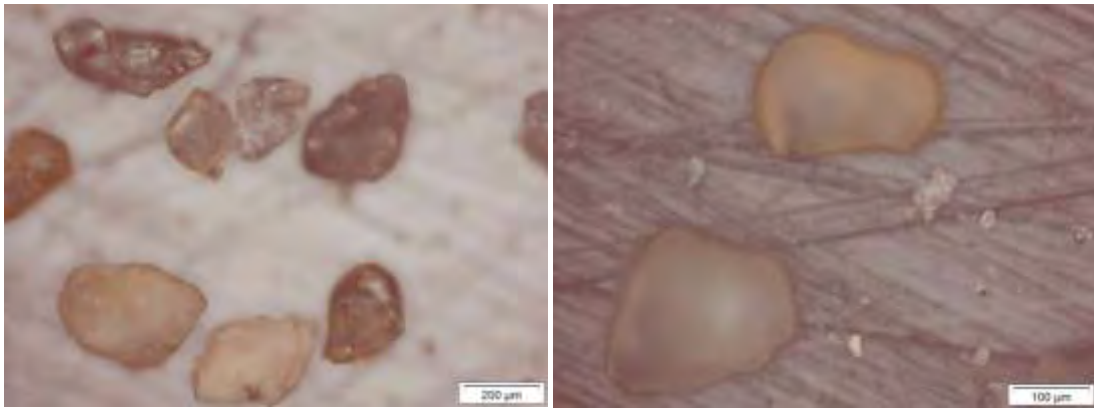
Σχήμα 4.2 Φωτογραφίες της άμμου M31 από μικροσκόπιο OLYMPUS BX51M με τους φακούς με μεγέθυνση $\times 10$ (α) διεύθυνση α και (β) διεύθυνση β



(α)

(β)

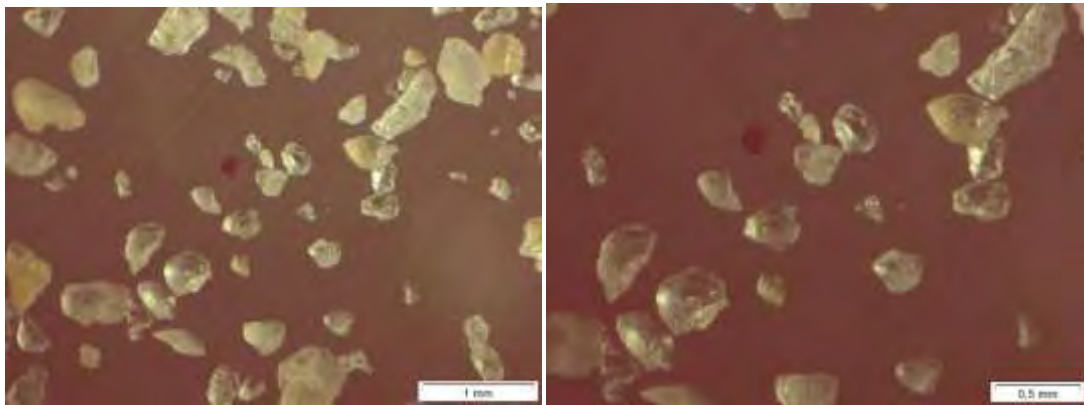
Σχήμα 4.3 Φωτογραφίες της άμμου Τουγουρα από στερεοσκόπιο OLYMPUS SZ61 με τους φακούς (α) $\times 3,50$ και (β) $\times 4,00$



(α)

(β)

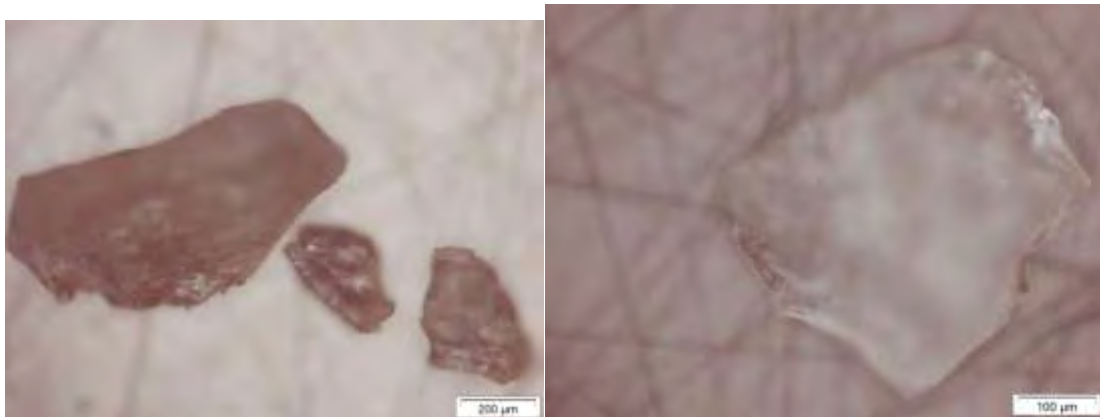
Σχήμα 4.4 Φωτογραφίες της άμμου Τουγουρα από μικροσκόπιο OLYMPUS BX51M με τους φακούς με μεγέθυνση (α) $\times 10$ και (β) $\times 20$



(α)

(β)

Σχήμα 4.5 Φωτογραφίες της άμμου Hostun από στερεοσκόπιο OLYMPUS SZ61 με τους φακούς (α) $\times 3,50$ και (β) $\times 4,00$

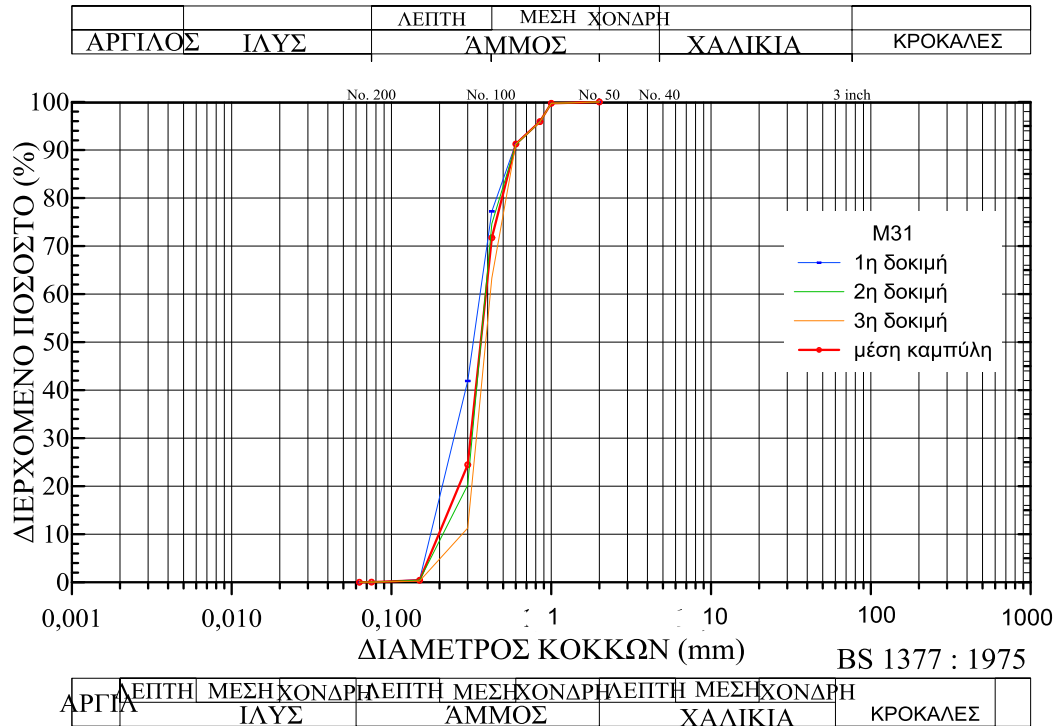


(α)

(β)

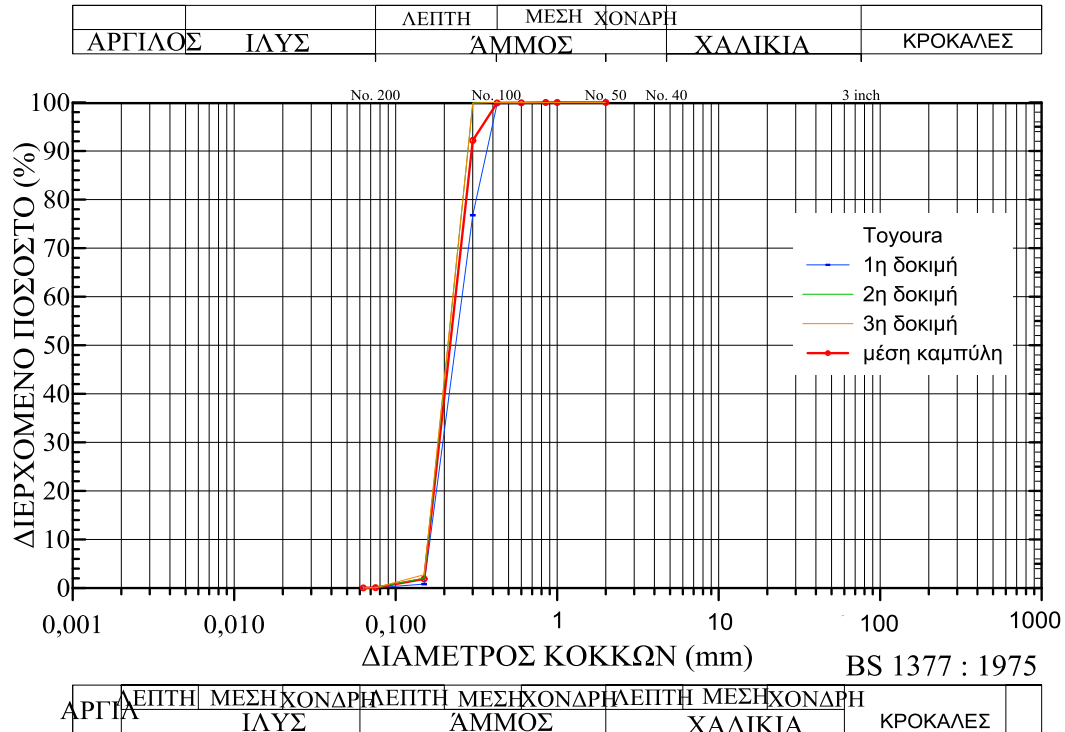
Σχήμα 4.6 Φωτογραφίες της άμμου Hostun από μικροσκόπιο OLYMPUS BX51M με τους φακούς με μεγέθυνση (α) $\times 10$ και (β) $\times 20$

U.S.A. ASTM D422

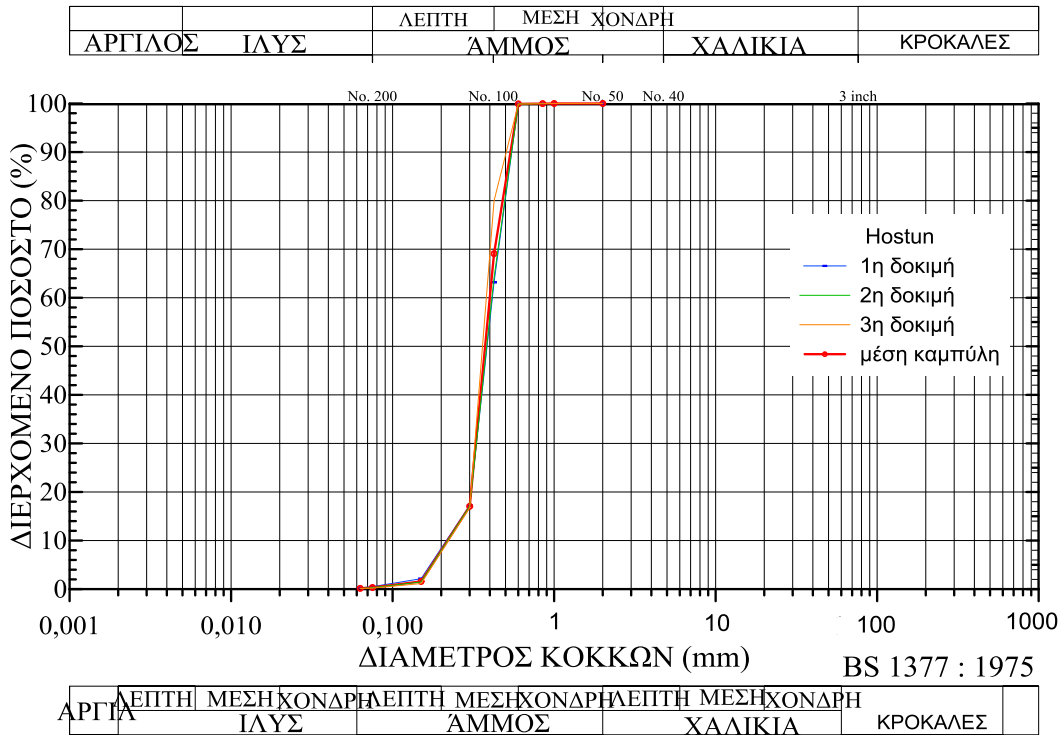


Σχήμα 4.7 Κοκκομετρική καμπύλη καθαρής άμμου M31

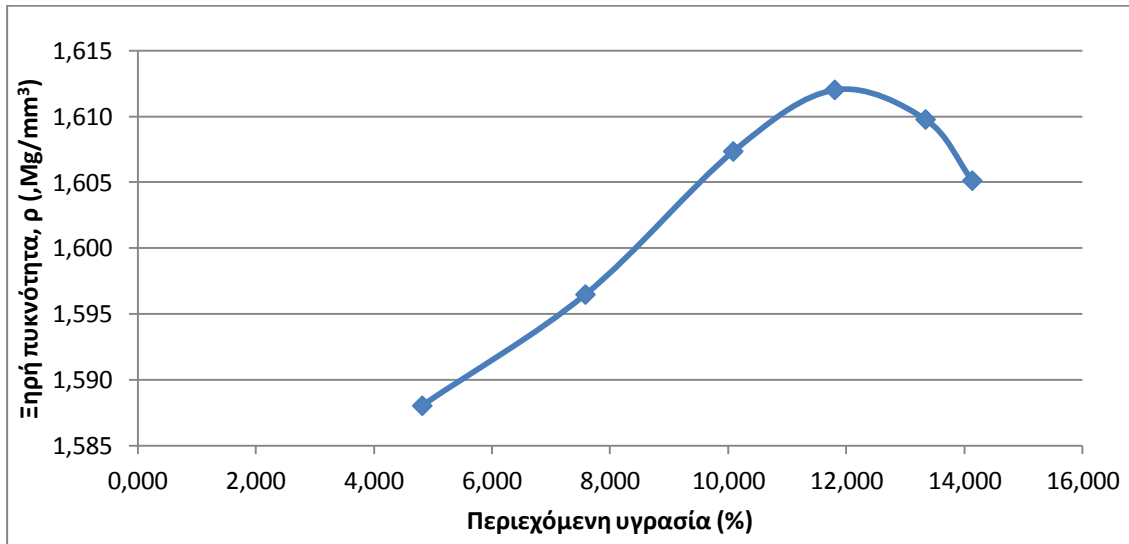
U.S.A. ASTM D422



Σχήμα 4.8 Κοκκομετρική καμπύλη καθαρής άμμου Toyoura



Σχήμα 4.9 Κοκκομετρική καμπύλη καθαρής άμμου Hostun



Σχήμα 4.10 Καμπύλη συμπίκνωσης Proctor για τη καθαρή άμμο M31

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα Δοκιμών

Τα αποτελέσματα και οι υπολογισμοί από τις αναλύσεις των δοκιμών δίνονται γραφικά σε διαγράμματα που παρουσιάζουν τη μεταβολή:

1. της διατμητικής τάσης, t_a (kPa)
2. της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης με τη τάση στερεοποίησης, t/σ_n
3. της κατακόρυφης παραμόρφωσης του δοκιμίου, ΔH (mm)
4. της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης του δοκιμίου $\Delta H/H_{\sigma_{τερ}}$

με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{op} (mm).

5.1 Καθαρή άμμος M31

5.1.1 Χαλαρό δοκίμιο

Τα αποτελέσματα για τις δοκιμές καθαρής άμμου M31 σε χαλαρή κατάσταση στις διάφορες τάσεις στερεοποίησης, σ_n (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.1 Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από διόρθωση επιφάνειας.

5.1.2 Μέσης πυκνότητας δοκίμιο

Τα αποτελέσματα για τις δοκιμές καθαρής άμμου M31 σε μέσης πυκνότητας κατάσταση στις διάφορες τάσεις στερεοποίησης, σ_n (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.3 Στο Σχήμα 5.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από διόρθωση επιφάνειας.

5.1.3 Πολύ πυκνό δοκίμιο

Τα αποτελέσματα για τις δοκιμές καθαρής άμμου M31 σε πολύ πυκνή κατάσταση στις διάφορες τάσεις στερεοποίησης, σ_n (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.5 Στο Σχήμα 5.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από διόρθωση επιφάνειας.

5.1.4 Επίδραση της σχετικής πυκνότητας στη διατμητική αντοχή

Τα αποτελέσματα των δοκιμών καθαρής άμμου M31 στις διάφορες καταστάσεις πυκνότητας για ορθές τάσεις 50,13 kPa, 97,36 kPa, 197,43 kPa και 398,92 kPa (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.7, 5.8, 5.9 και 5.10 αντίστοιχα. Στα Σχήματα 5.11, 5.12, 5.13 και 5.14 παρουσιάζονται αντιστοίχως τα αποτελέσματα μετά από διόρθωση επιφάνειας.

Στο Σχήμα 5.15 μελετάται η επίδραση της σχετικής πυκνότητας του δοκιμίου στη μέγιστη και τη κρίσιμη διατμητική αντοχή για το σύνολο των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν.

5.1.5 Επίδραση του ρυθμού παραμόρφωσης

Τα αποτελέσματα για τις δοκιμές καθαρής άμμου M31 σε πολύ πυκνή κατάσταση σε διάφορους ρυθμούς διατμητικής παραμόρφωσης, rate (Πίνακας 4.16) και για σχετικές πυκνότητες, Dr 80-85% και 95-100% παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.16 και 5.17 αντίστοιχα. Προκύπτει το συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει επίδραση του ρυθμού παραμόρφωσης στη διατμητική αντοχή των καθαρών άμμων

5.1.6 Επίδραση της χρήσης οδοντωτών πλακών

Τα αποτελέσματα για τις δοκιμές καθαρής άμμου M31 σε πολύ πυκνή κατάσταση με και χωρίς χρήση οδοντωτών πλακών παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.18. Προκύπτει το συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει επίδραση της χρήσης οδοντωτών πλακών στη διατμητική αντοχή των καθαρών άμμων.

5.1 Καθαρή άμμος Toyoura

5.2.1 Χαλαρό δοκίμιο

Τα αποτελέσματα για τις δοκιμές καθαρής άμμου Toyoura σε χαλαρή κατάσταση στις διάφορες τάσεις στερεοποίησης, σ_n (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.19 Στο Σχήμα 5.20 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από διόρθωση επιφάνειας.

5.2.2 Μέσης πυκνότητας δοκίμιο

Τα αποτελέσματα για τις δοκιμές καθαρής άμμου Toyoura σε μέσης πυκνότητας κατάσταση στις διάφορες τάσεις στερεοποίησης, σ_n (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.21 Στο Σχήμα 5.22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από διόρθωση επιφάνειας.

5.2.3 Πολύ πυκνό δοκίμιο

Τα αποτελέσματα για τις δοκιμές καθαρής άμμου Toyoura σε πολύ πυκνή κατάσταση στις διάφορες τάσεις στερεοποίησης, σ_n (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.23 Στο Σχήμα 5.24 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από διόρθωση επιφάνειας.

5.2.4 Επίδραση της σχετικής πυκνότητας στη διατμητική αντοχή

Τα αποτελέσματα των δοκιμών καθαρής άμμου Toyoura στις διάφορες καταστάσεις πυκνότητας για ορθές τάσεις 50,13 kPa, 97,36 kPa, 197,43 kPa και 398,92 kPa (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.25, 5.26, 5.27 και 5.28 αντίστοιχα. Στα Σχήματα 5.29, 5.30, 5.31 και 5.32 παρουσιάζονται αντιστοίχως τα αποτελέσματα μετά από διόρθωση επιφάνειας.

Στο Σχήμα 5.33 μελετάται η επίδραση της σχετικής πυκνότητας του δοκιμίου στη μέγιστη και τη κρίσιμη διατμητική αντοχή για το σύνολο των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν.

5.3 Καθαρή άμμος Hostun

5.3.1 Χαλαρό δοκίμιο

Τα αποτελέσματα για τις δοκιμές καθαρής άμμου Hostun σε χαλαρή κατάσταση στις διάφορες τάσεις στερεοποίησης, σ_n (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.34 Στο Σχήμα 5.35 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από διόρθωση επιφάνειας.

5.3.2 Μέσης πυκνότητας δοκίμιο

Τα αποτελέσματα για τις δοκιμές καθαρής άμμου Hostun σε μέσης πυκνότητας κατάσταση στις διάφορες τάσεις στερεοποίησης, σ_n (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.36 Στο Σχήμα 5.37 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από διόρθωση επιφάνειας.

5.3.3 Πολύ πυκνό δοκίμιο

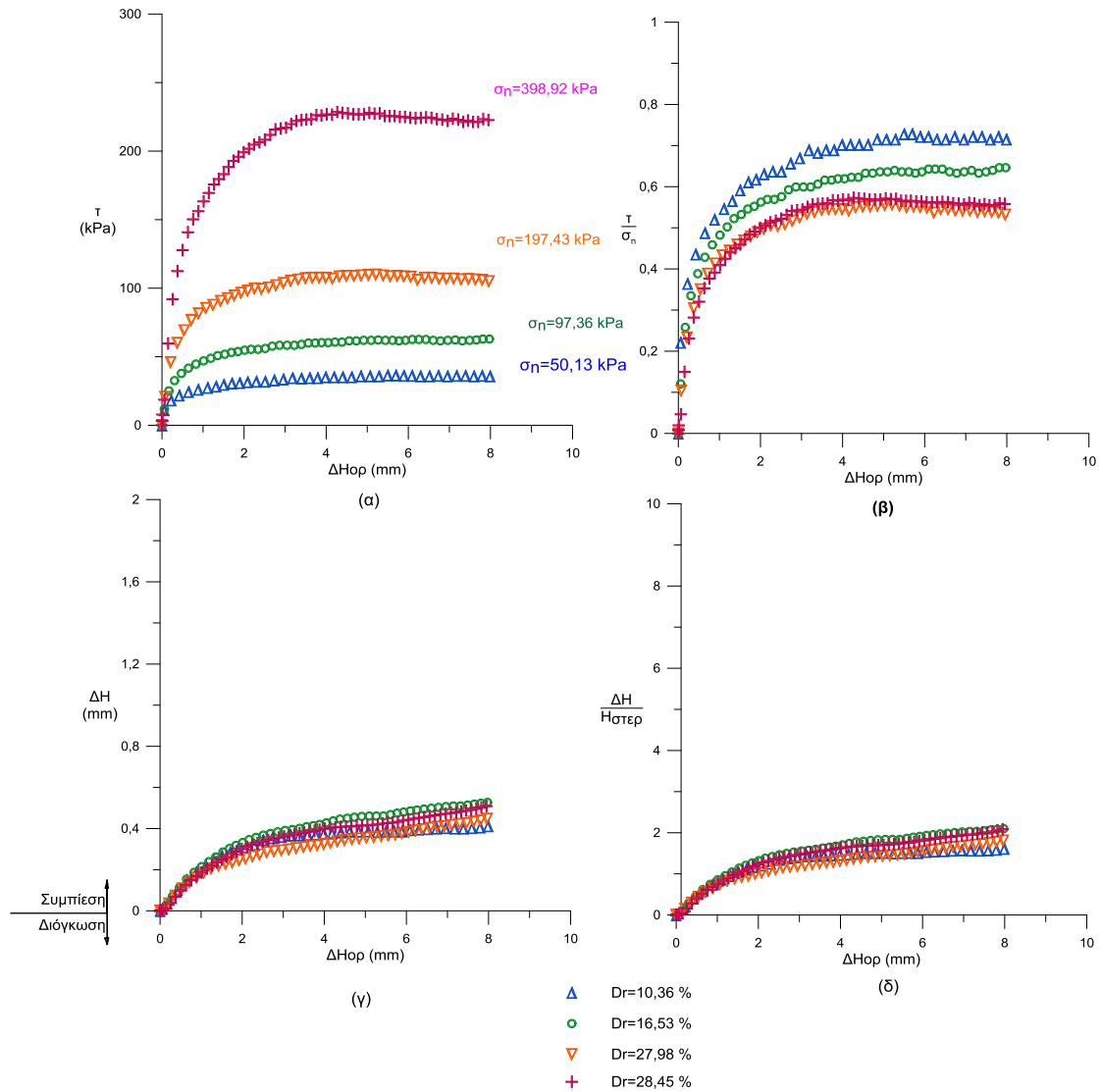
Τα αποτελέσματα για τις δοκιμές καθαρής άμμου Hostun σε πολύ πυκνή κατάσταση στις διάφορες τάσεις στερεοποίησης, σ_n (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.38 Στο Σχήμα 5.39 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από διόρθωση επιφάνειας.

5.3.4 Επίδραση της σχετικής πυκνότητας στη διατμητική αντοχή

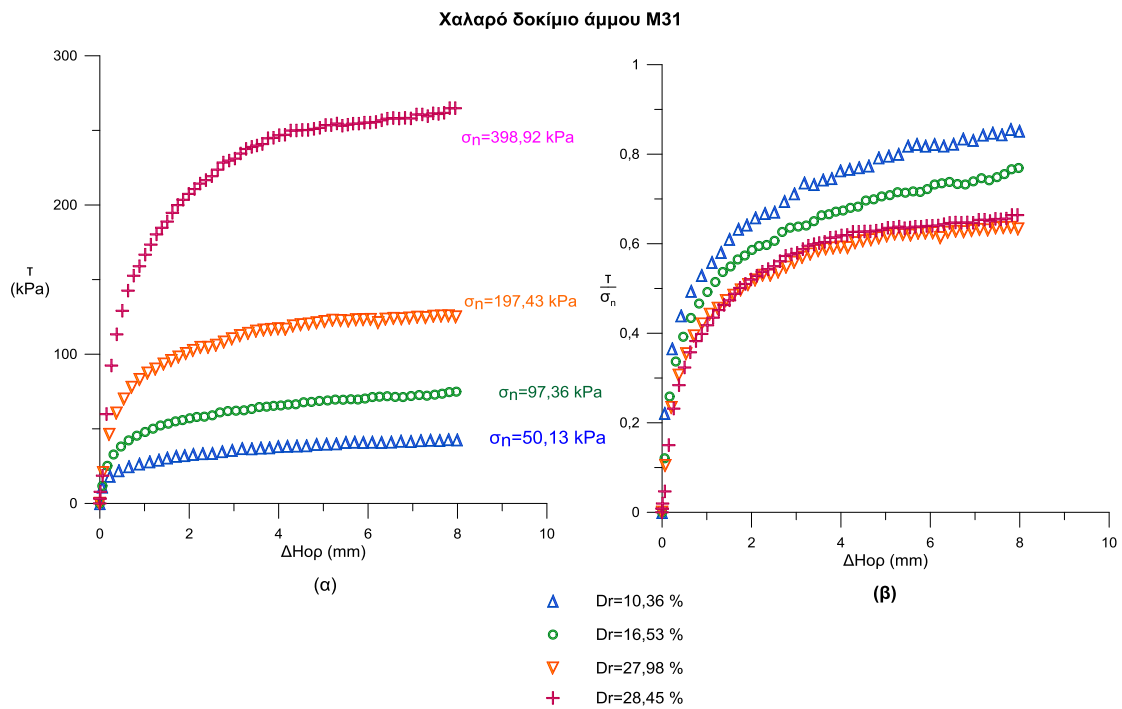
Τα αποτελέσματα των δοκιμών καθαρής άμμου Hostun στις διάφορες καταστάσεις πυκνότητας για ορθές τάσεις 50,13 kPa, 97,36 kPa, 197,43 kPa και 398,92 kPa (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.40, 5.41, 5.42 και 5.43 αντίστοιχα. Στα Σχήματα 5.44, 5.45, 5.46 και 5.47 παρουσιάζονται αντιστοίχως τα αποτελέσματα μετά από διόρθωση επιφάνειας.

Στο Σχήμα 5.48 μελετάται η επίδραση της σχετικής πυκνότητας του δοκιμίου στη μέγιστη και τη κρίσιμη διατμητική αντοχή για το σύνολο των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν.

Χαλαρό δοκίμιο άμμου M31

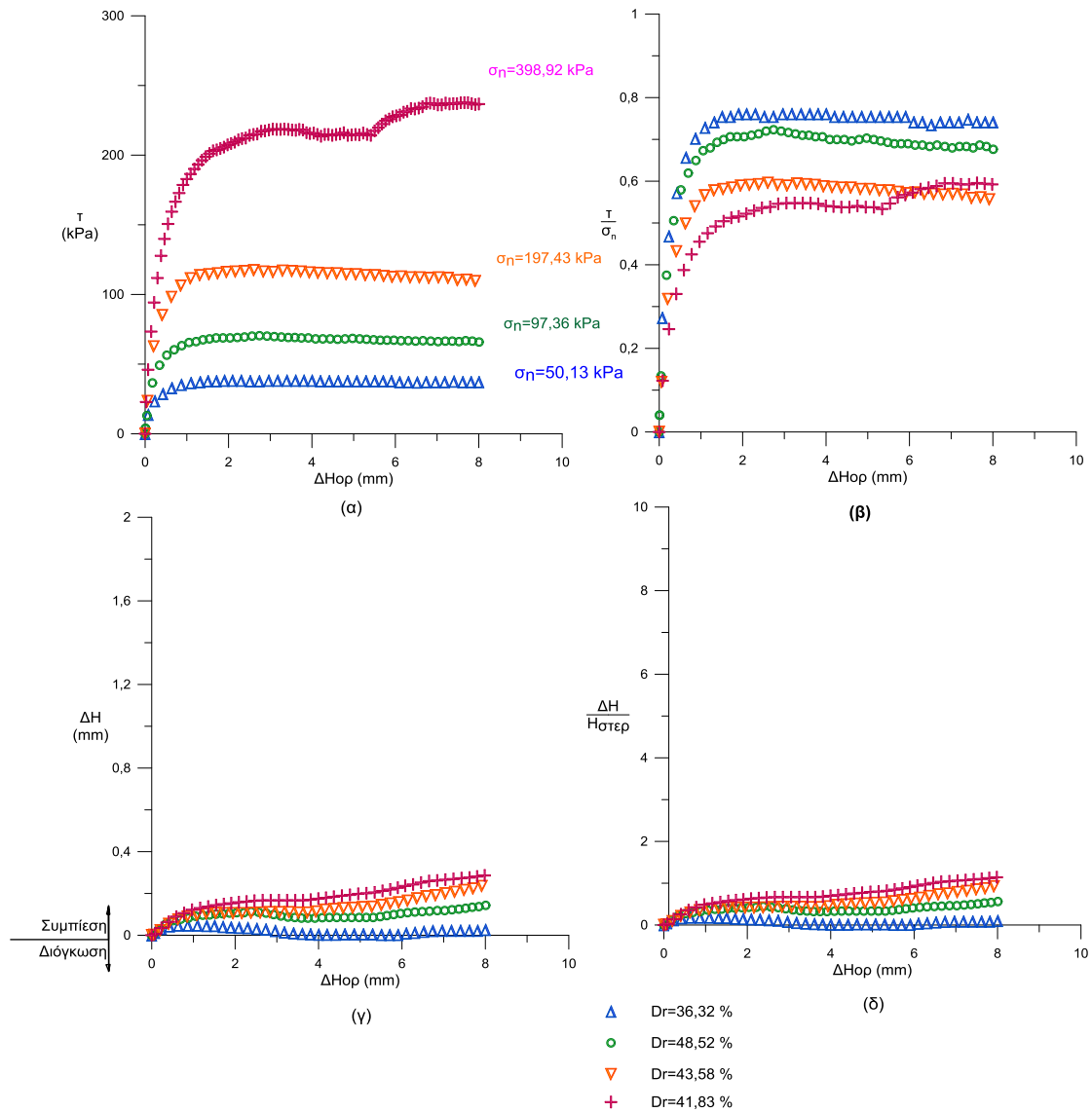


Σχήμα 5.1 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma\tau\epsilon\rho}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{\text{ορ}}$, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης χαλαρών δοκιμίων άμμου M31



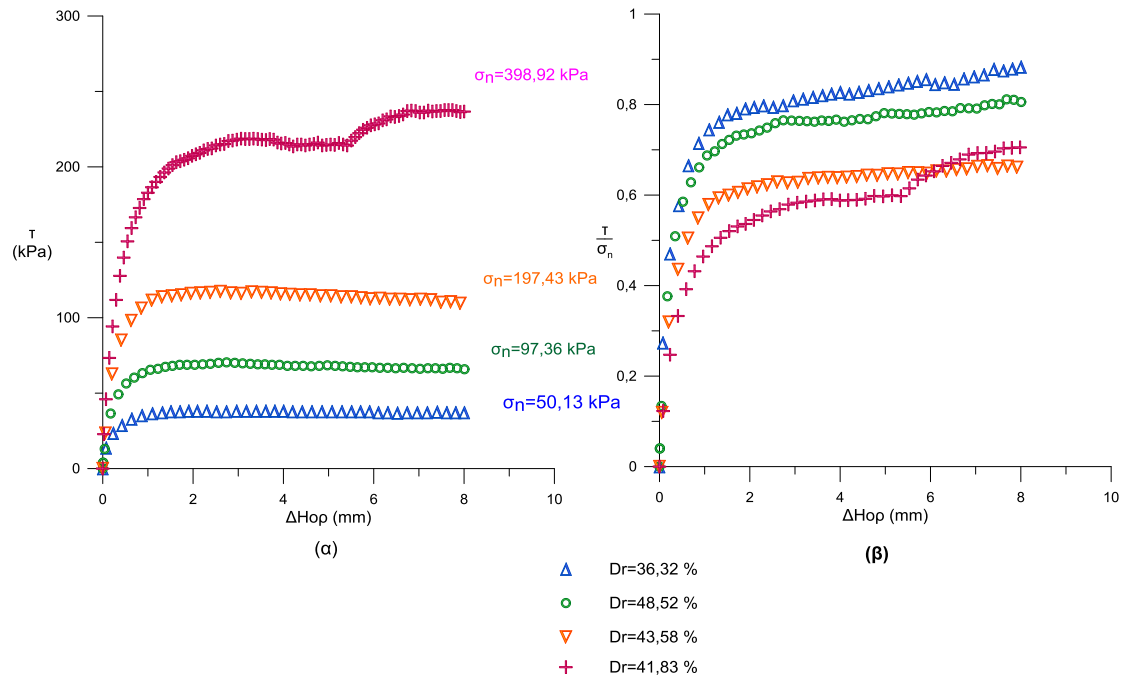
Σχήμα 5.2 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης ,τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{op} , για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης χαλαρών δοκιμών άμμου M31

Μέσης πυκνότητας δοκίμιο άμμου M31



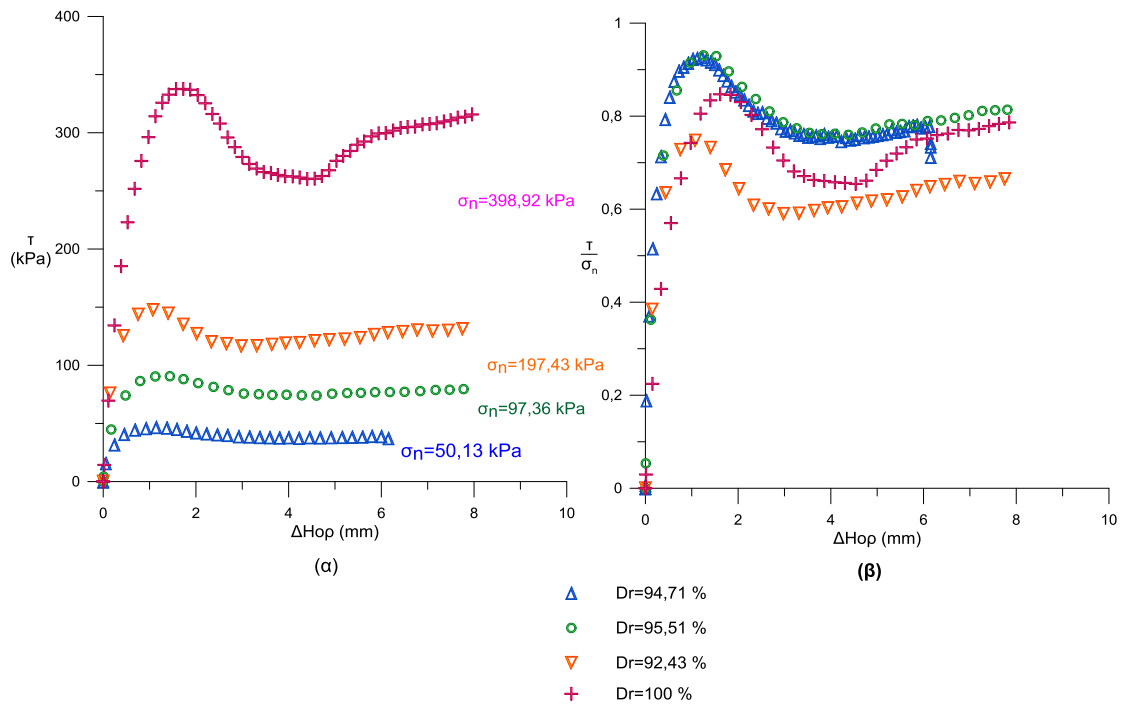
Σχήμα 5.3 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/ H_{\sigma_{τερ}}$ του δοκίμιου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{ορ}$ για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης μεσαίων πυκνοτήτων δοκιμών άμμου M31

Μέσης πυκνότητας δοκίμιο άμμου M31



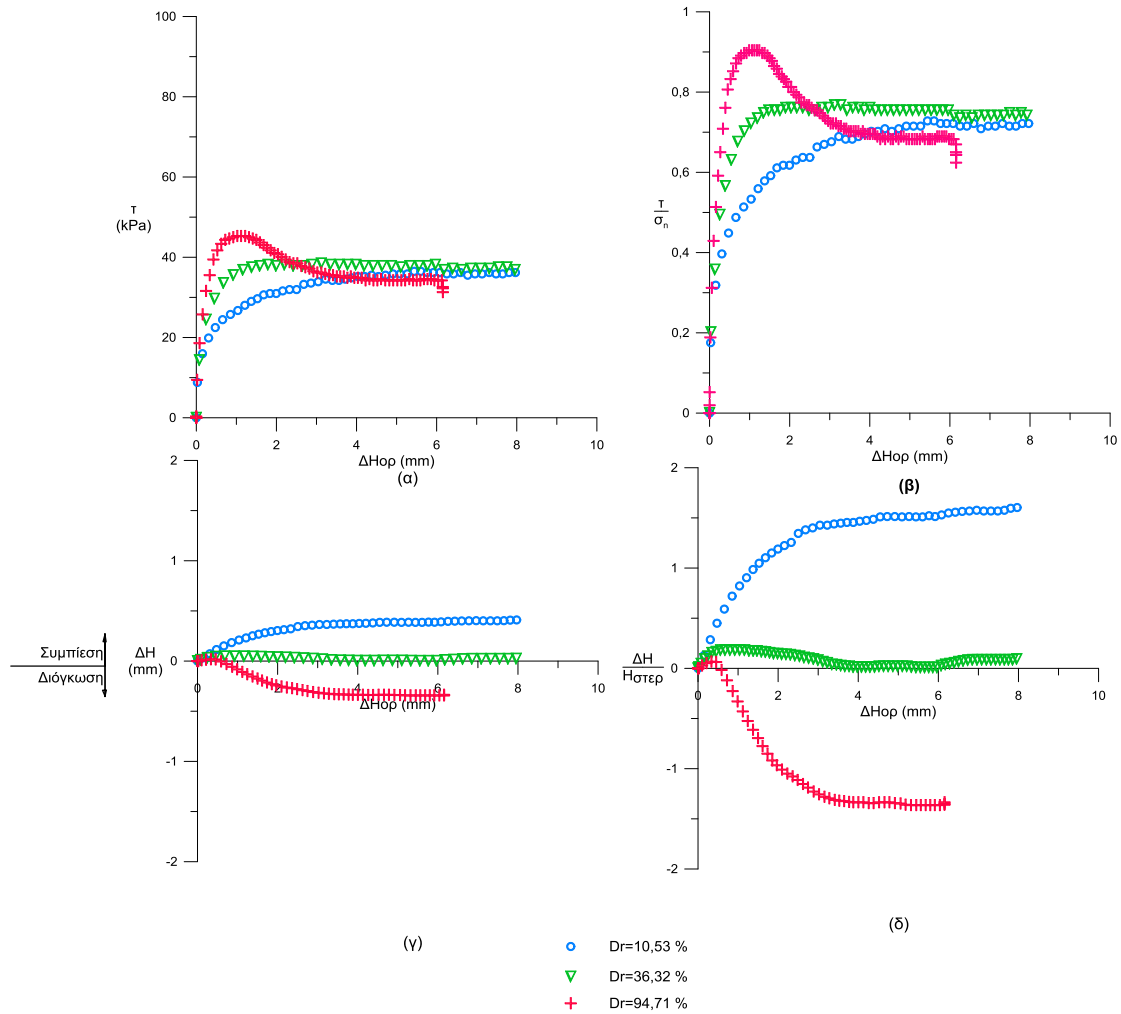
Σχήμα 5.4 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{op} για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης μέσης πυκνότητας δοκιμίων άμμου M31

Πολύ πυκνό δοκίμιο άμμου M31



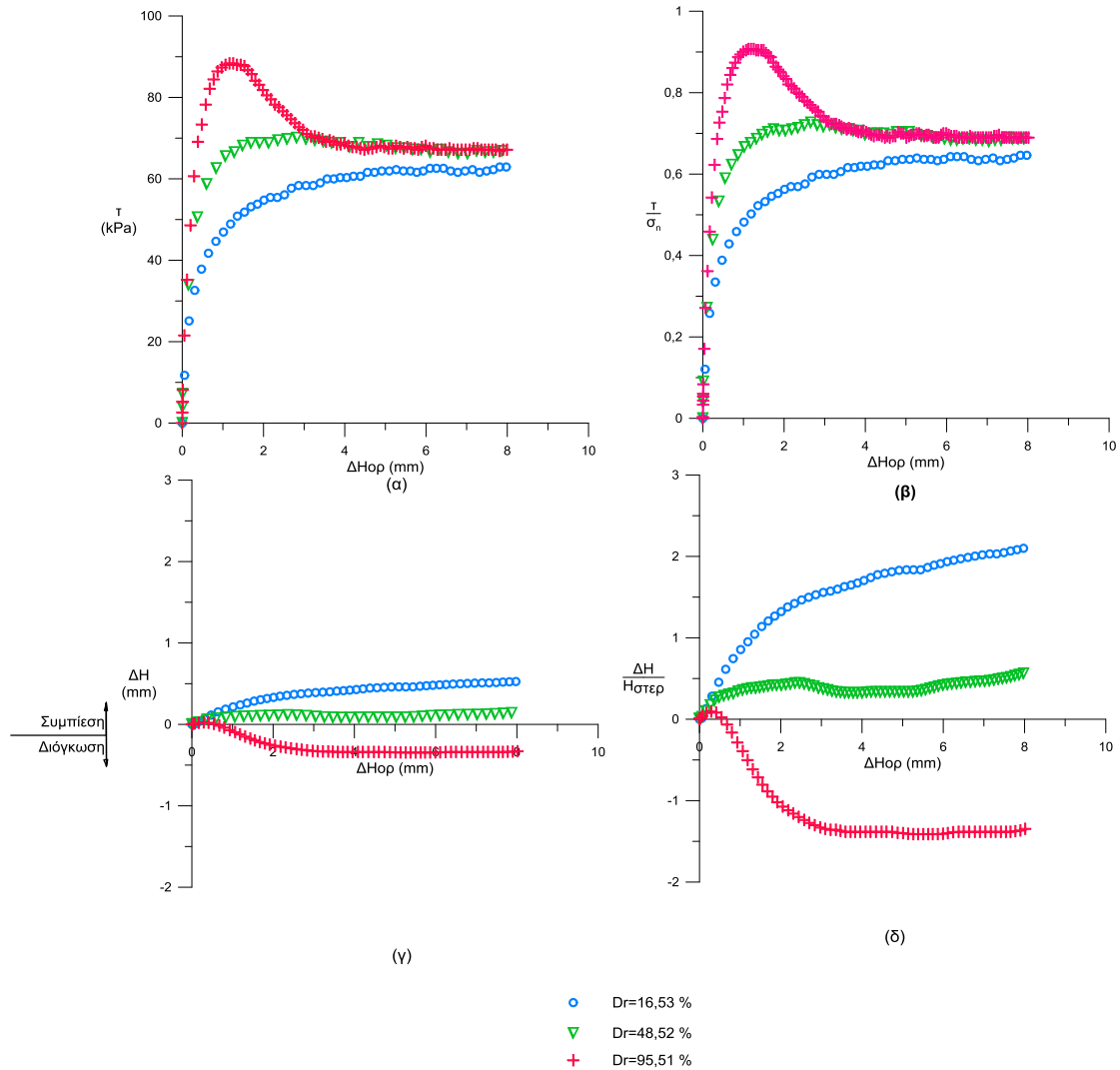
Σχήμα 5.6 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{op} για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πυκνών δοκιμίων άμμου M31

Καθαρή άμμος M31
Ορθή τάση $\sigma_n=50,13$ kPa



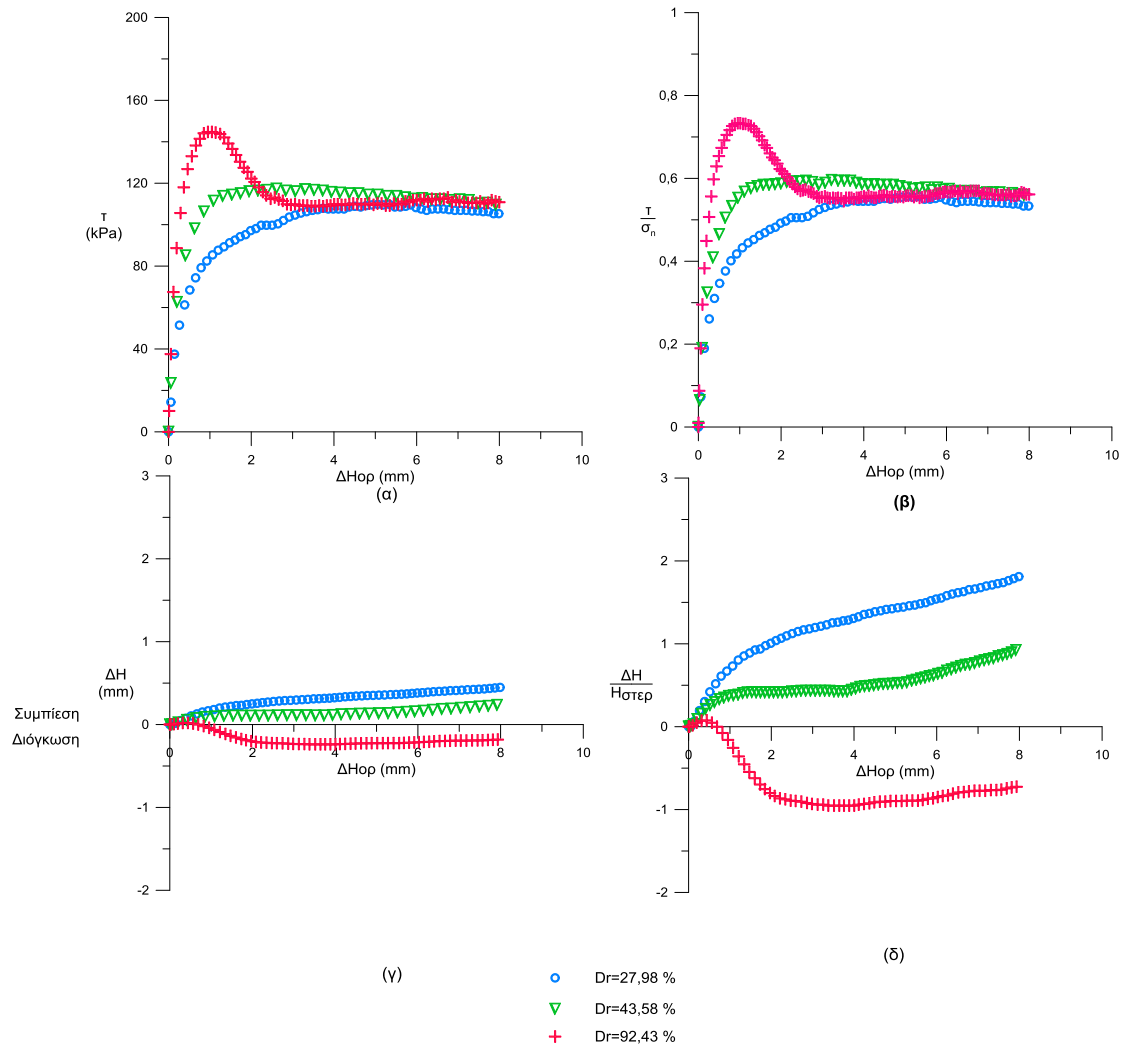
Σχήμα 5.7 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma_{\text{στερ}}}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{\text{ορ}}$, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου M31 σε τάση στερεοποίησης $\sigma_n=50,13$ kPa.

Καθαρή άμμος M31
Ορθή τάση $\sigma_n = 97,36$ kPa



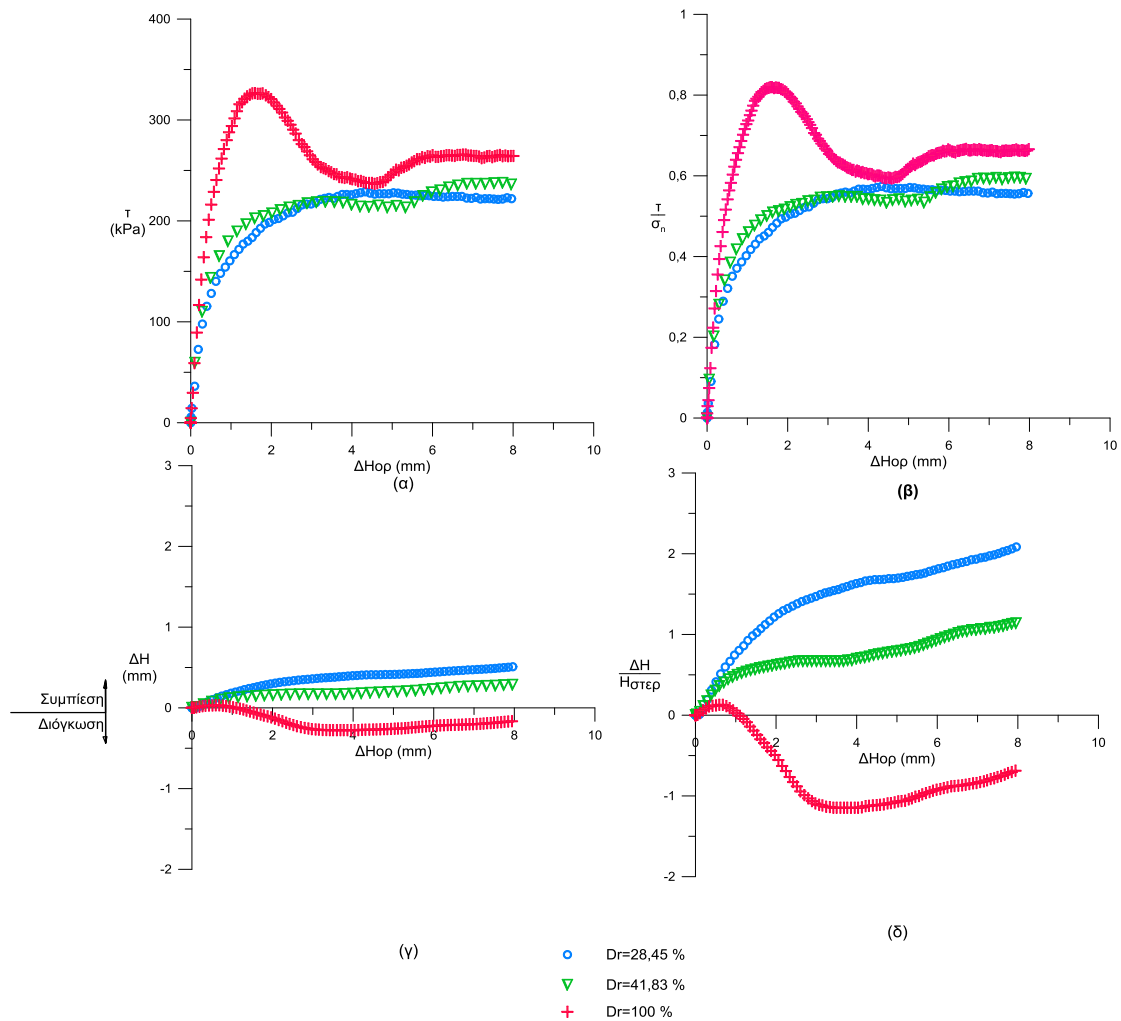
Σχήμα 5.8 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\text{στερ}}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{\text{ορ}}$, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου M31 σε τάση στερεοποίησης $\sigma_n=97,36$ kPa.

Καθαρή άμμος M31
Ορθή τάση $\sigma_n=197,43$ kPa

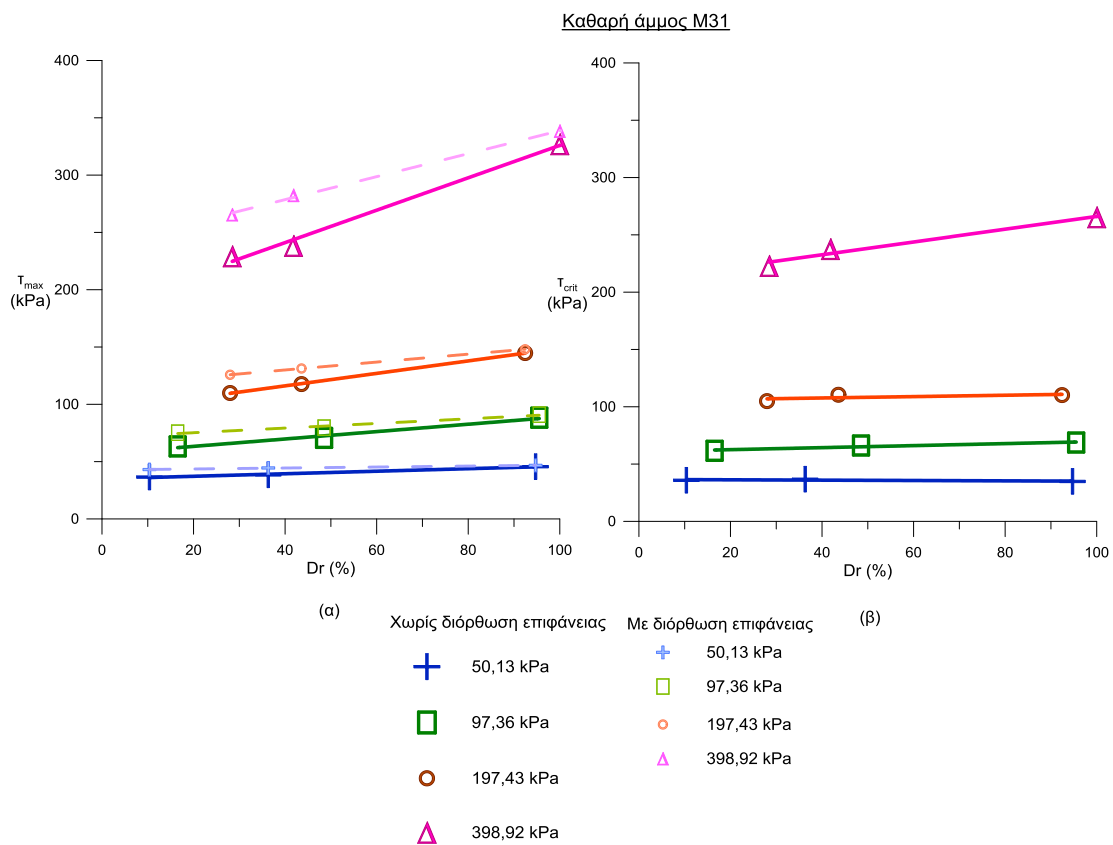


Σχήμα 5.9 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma_{\text{στερ}}}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{\text{ορ}}$, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου M31 σε τάση στερεοποίησης $\sigma_n=197,43$ kPa.

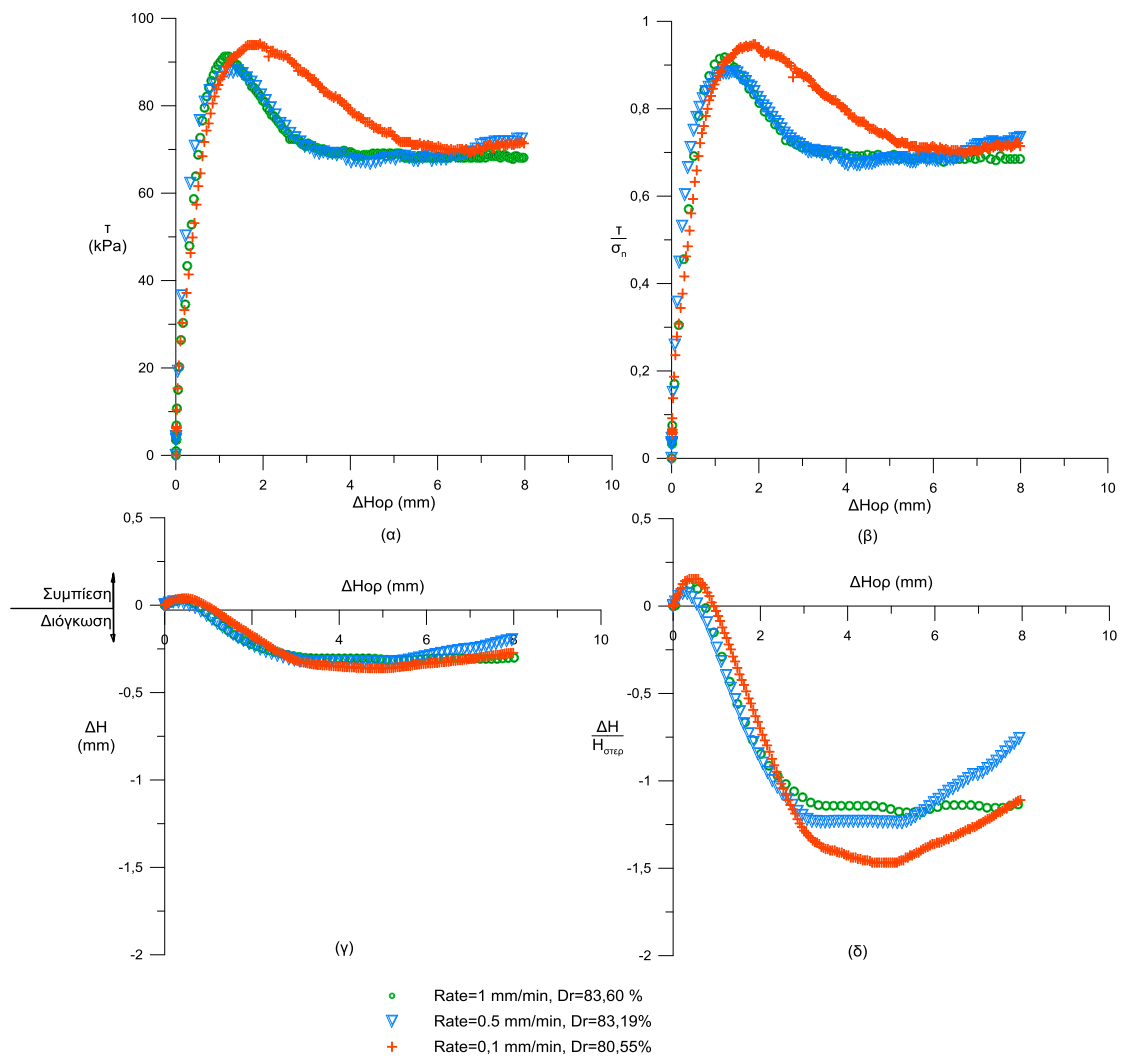
Καθαρή άμμος M31
Ορθή τάση $\sigma_n=398,92$ kPa



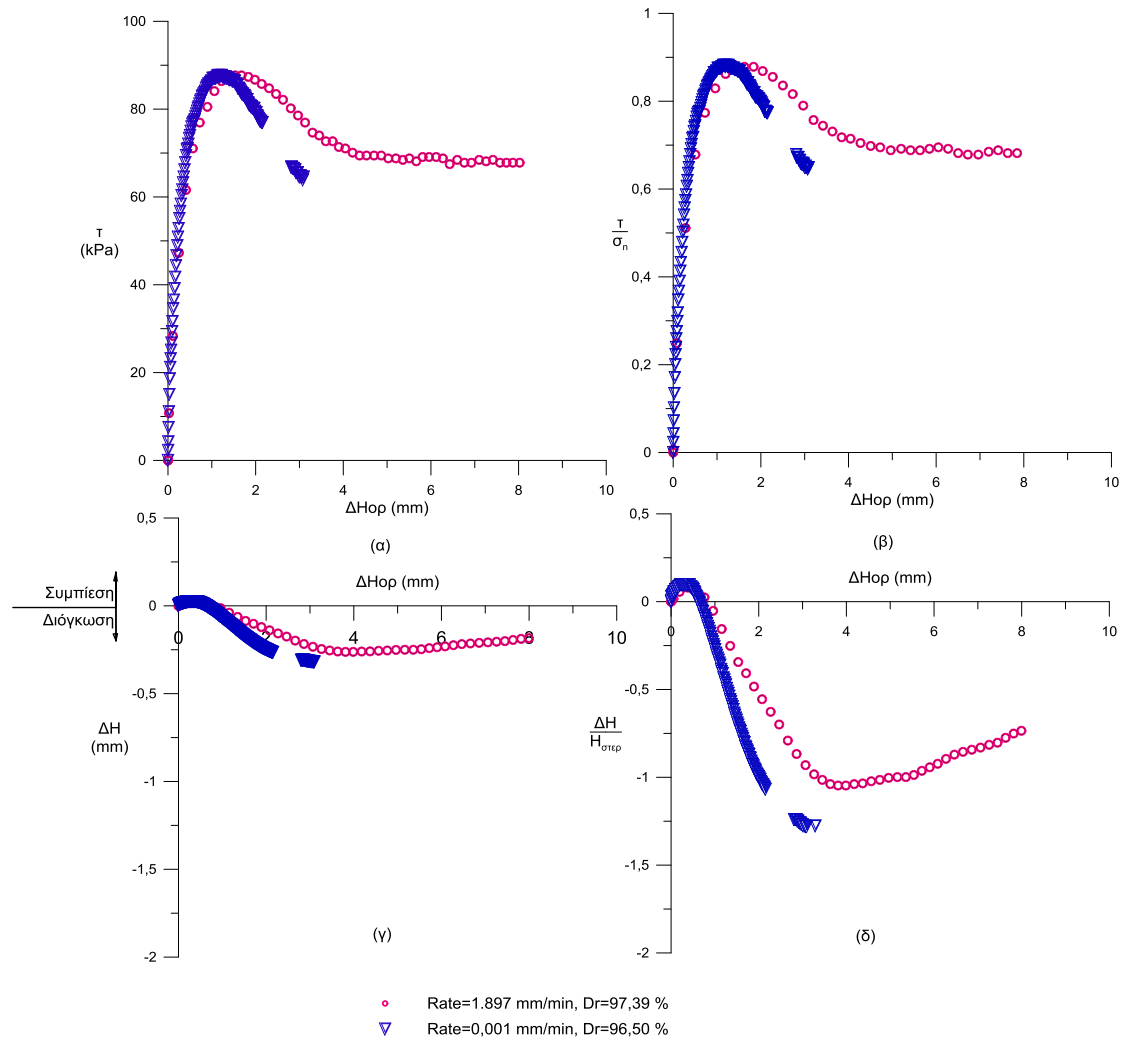
Σχήμα 5.10 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma_{\text{στερ}}}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{\text{ορ}}$, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου M31 σε τάση στερεοποίησης $\sigma_n=398,92$ kPa.



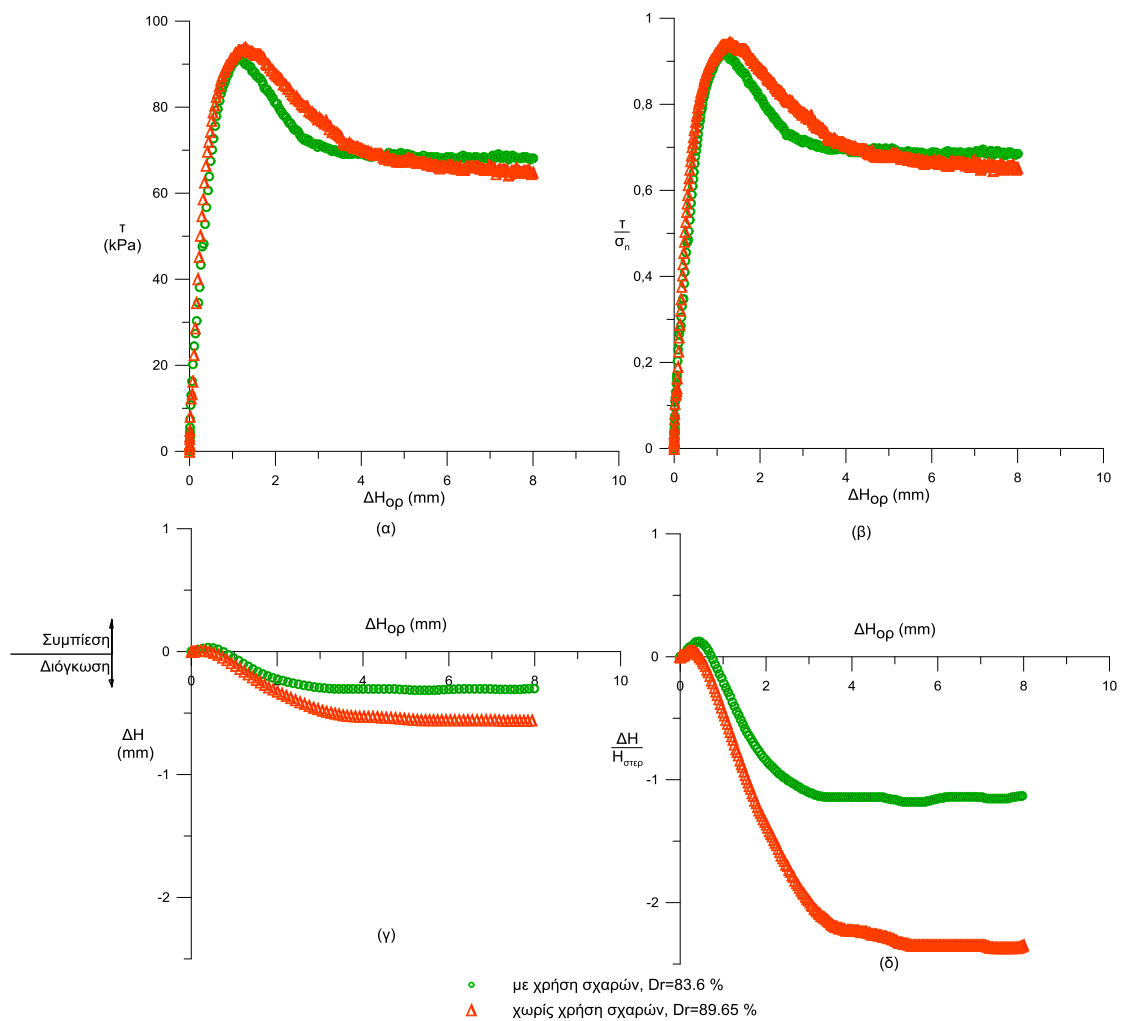
Σχήμα 5.11 Μεταβολή α) της μέγιστης διατμητικής τάσης, T_{max} και β) οριακής διατμητικής τάσης, T_{crit} , με τη σχετική πυκνότητα στο σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της άμμου M31 με και χωρίς διόρθωση επιφάνειας



Σχήμα 5.12 Αποτελέσματα της επίδρασης του ρυθμού παραμόρφωσης. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{στερ}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{op} , για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης δοκιμίων άμμου M31 με πικνότητα $D_r=80-85\%$ με διάφορους ρυθμούς παραμόρφωσης

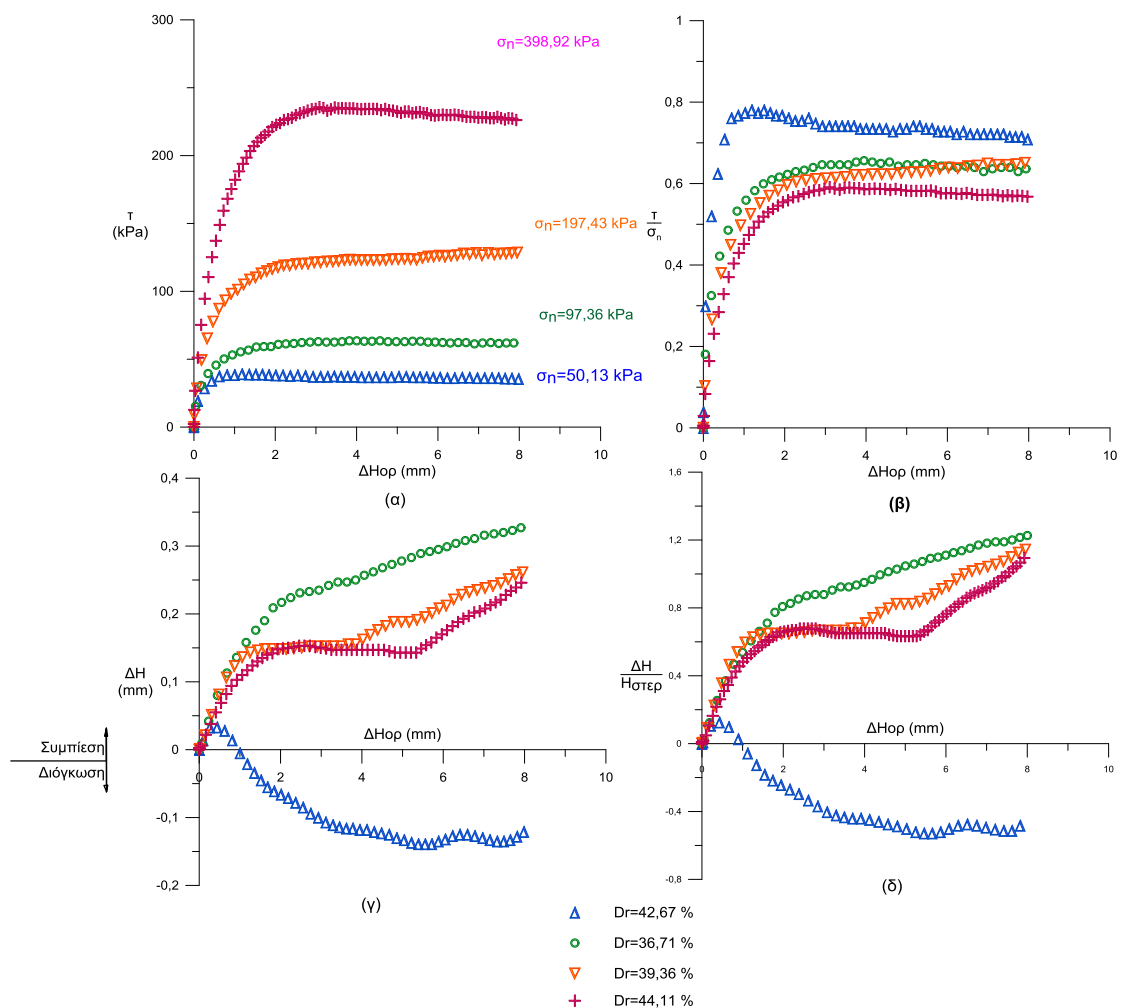


Σχήμα 5.13 Αποτελέσματα της επίδρασης του ρυθμού παραμόρφωσης. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔΗ δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης ΔΗ/Η_{σ_{τερ}} του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{op}, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης δοκιμίων άμμου M31 με πικνότητα Dr=95-100% με διάφορους ρυθμούς παραμόρφωσης



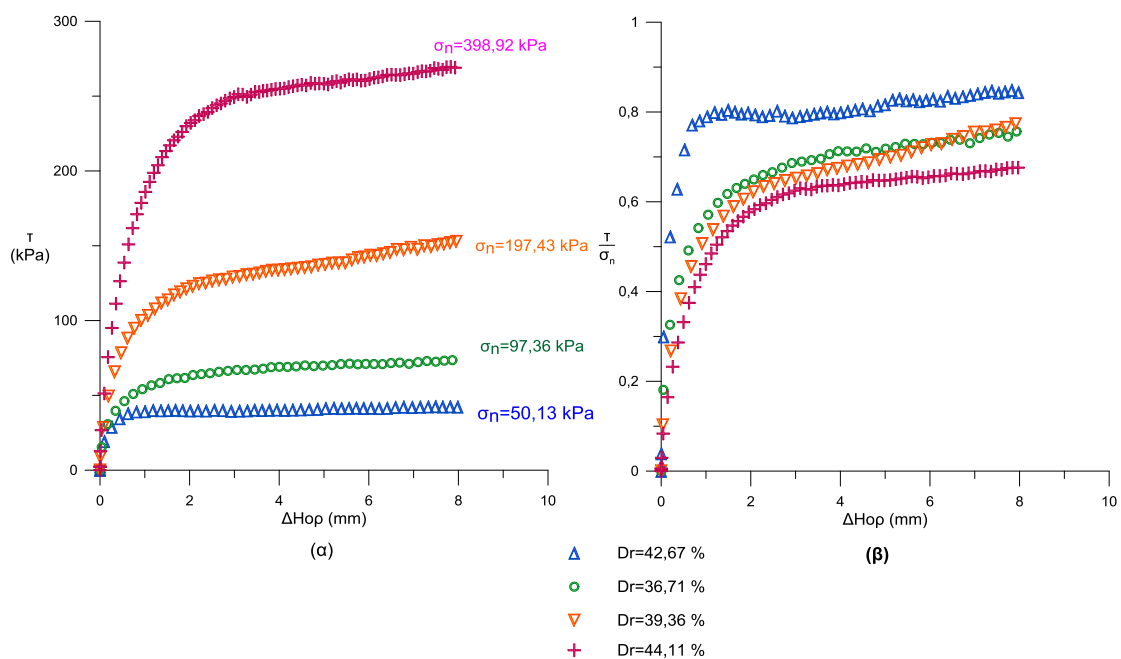
Σχήμα 5.14 Αποτελέσματα της επίδρασης της χρήσης οδοντωτών πλακών. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma_{\text{στερ}}}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{op} , για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πολύ πικνών δοκιμών άμμου M31 με και χωρίς χρήση σχαρών

Μέσης πυκνότητας δοκίμιο άμμου Τογoura



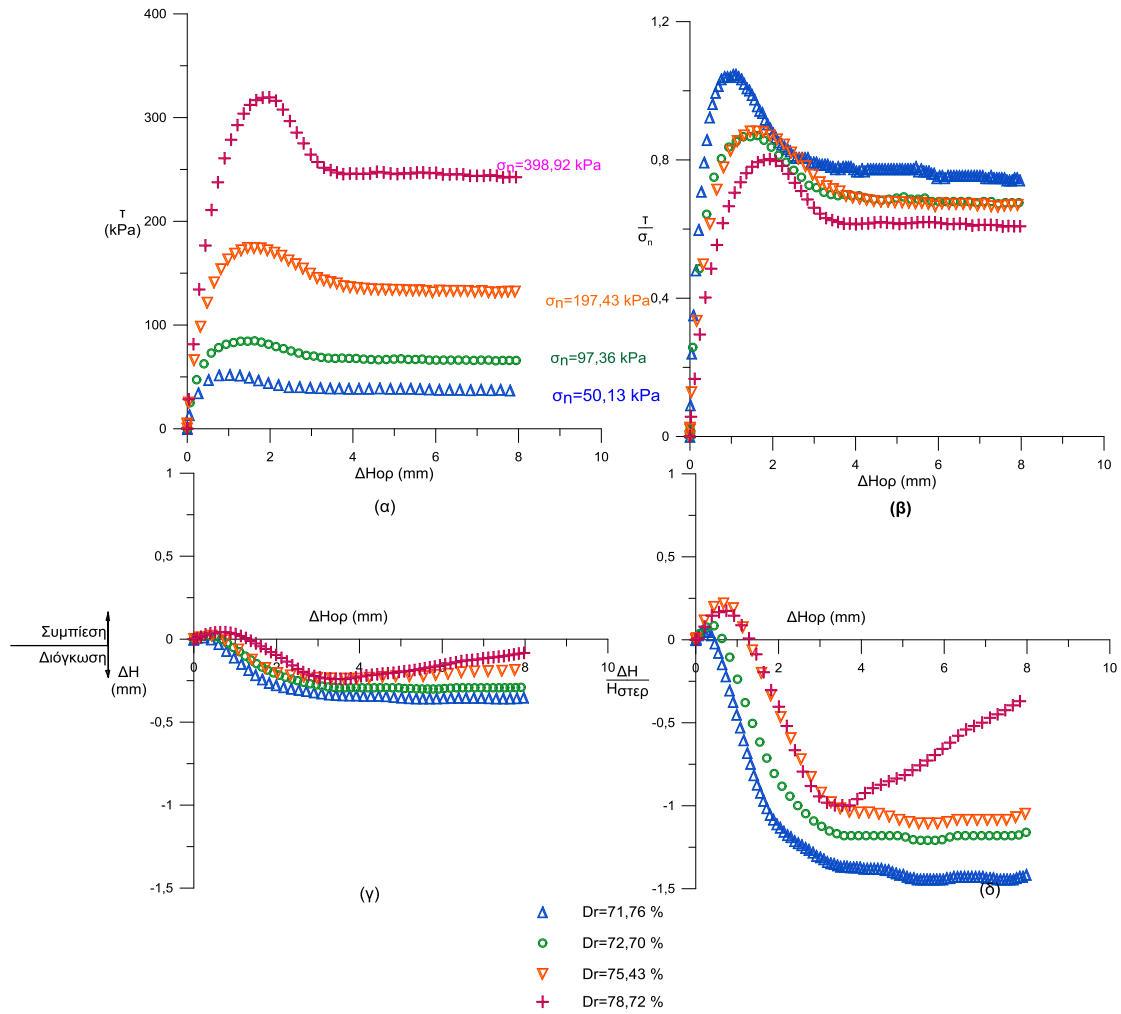
Σχήμα 5.15 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigmaτερ}$ του δοκίμιου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{ορ}$, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης μέσης πυκνότητας δοκιμίων άμμου Τογoura

Μέσης πυκνότητας δοκίμιο άμμου Τογούρα



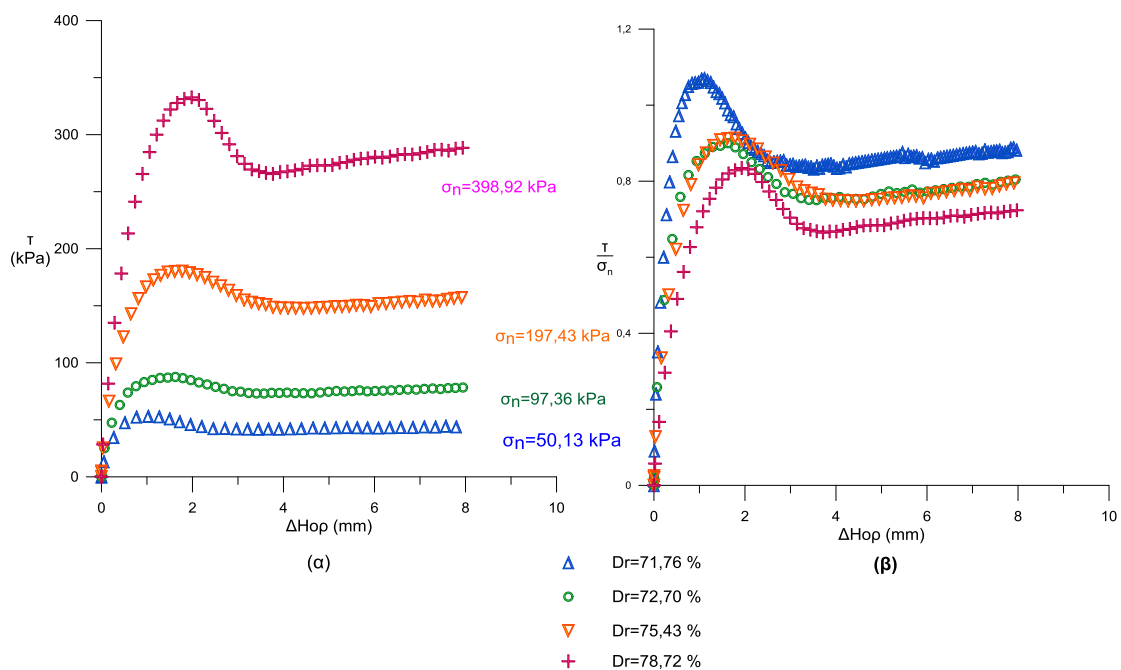
Σχήμα 5.16 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/ση του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔHor για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης μέσης πυκνότητας δοκιμίων άμμου Τογούρα

Πυκνό δοκίμιο άμμου Τογούρα



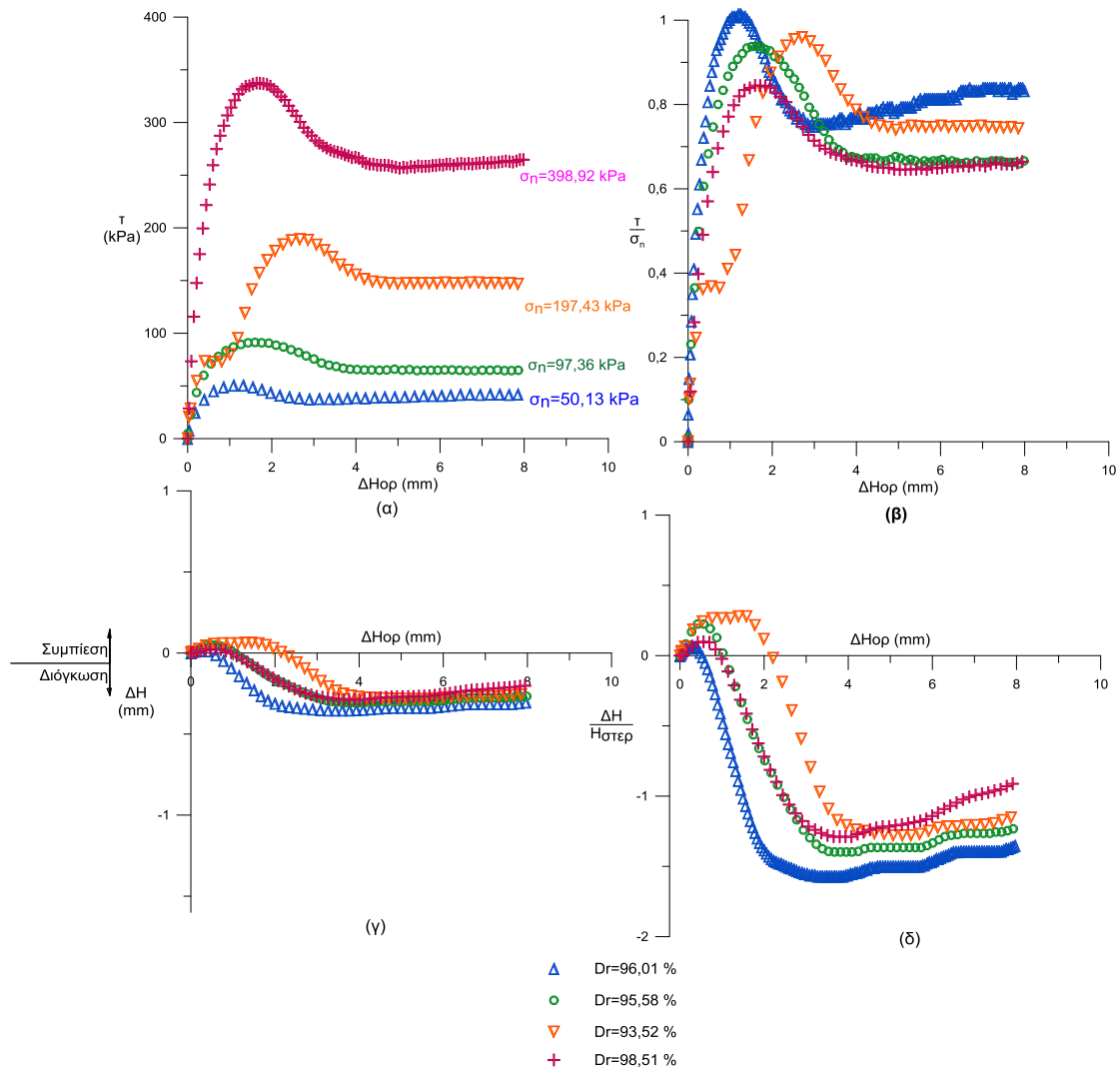
Σχήμα 5.17 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_h γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{στερ}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{ορ}$, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πυκνών δοκιμών άμμου Τογούρα

Πυκνό δοκίμιο άμμου Τογούρα



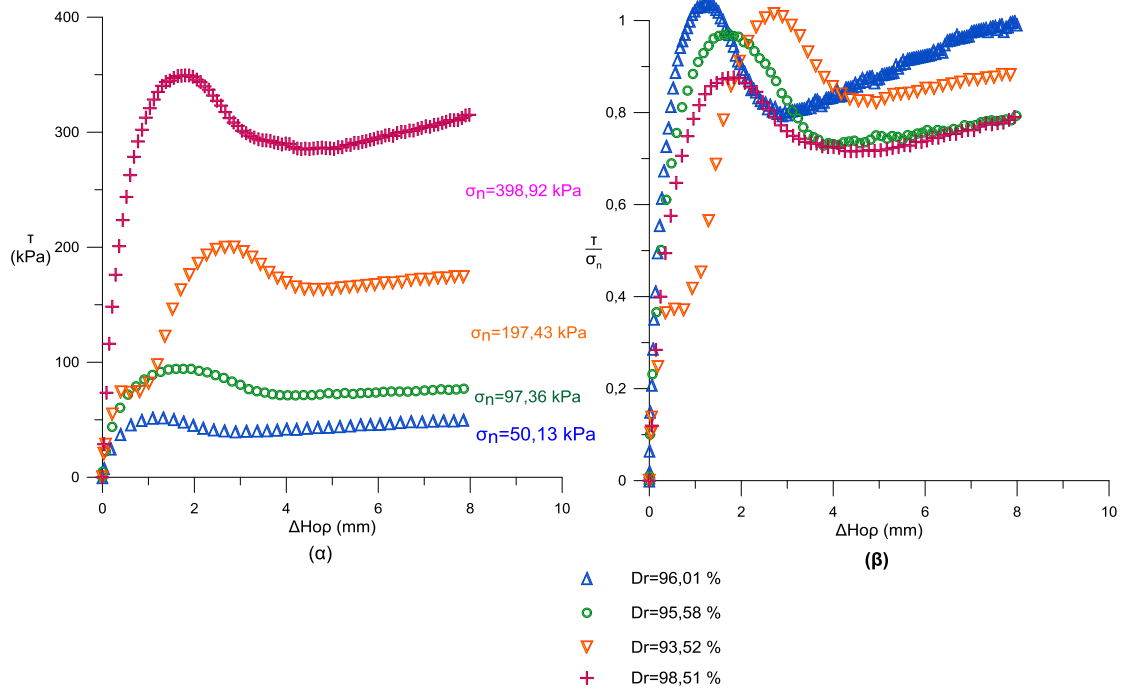
Σχήμα 5.18 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διαμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διαμητικής τάσης, τ/ση του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔHop για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πυκνών δοκιμίων άμμου Τογούρα

Πολύ πυκνό δοκίμιο άμμου Τογούρα



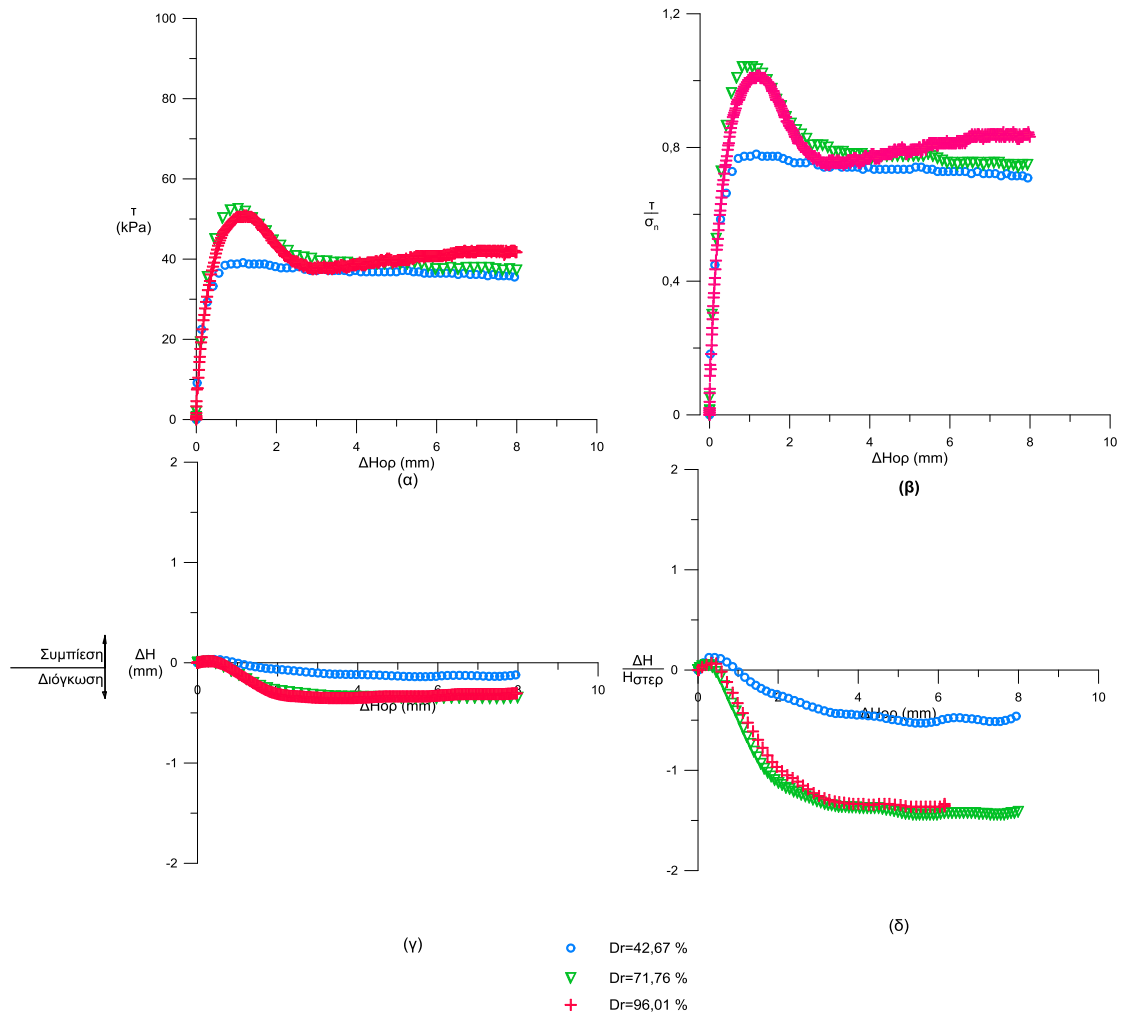
Σχήμα 5.19 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma\tau\epsilon\rho}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{ορ}$, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πολύ πυκνών δοκιμίων άμμου Τογούρα

Πολύ πυκνό δοκίμιο άμμου Τογούρα



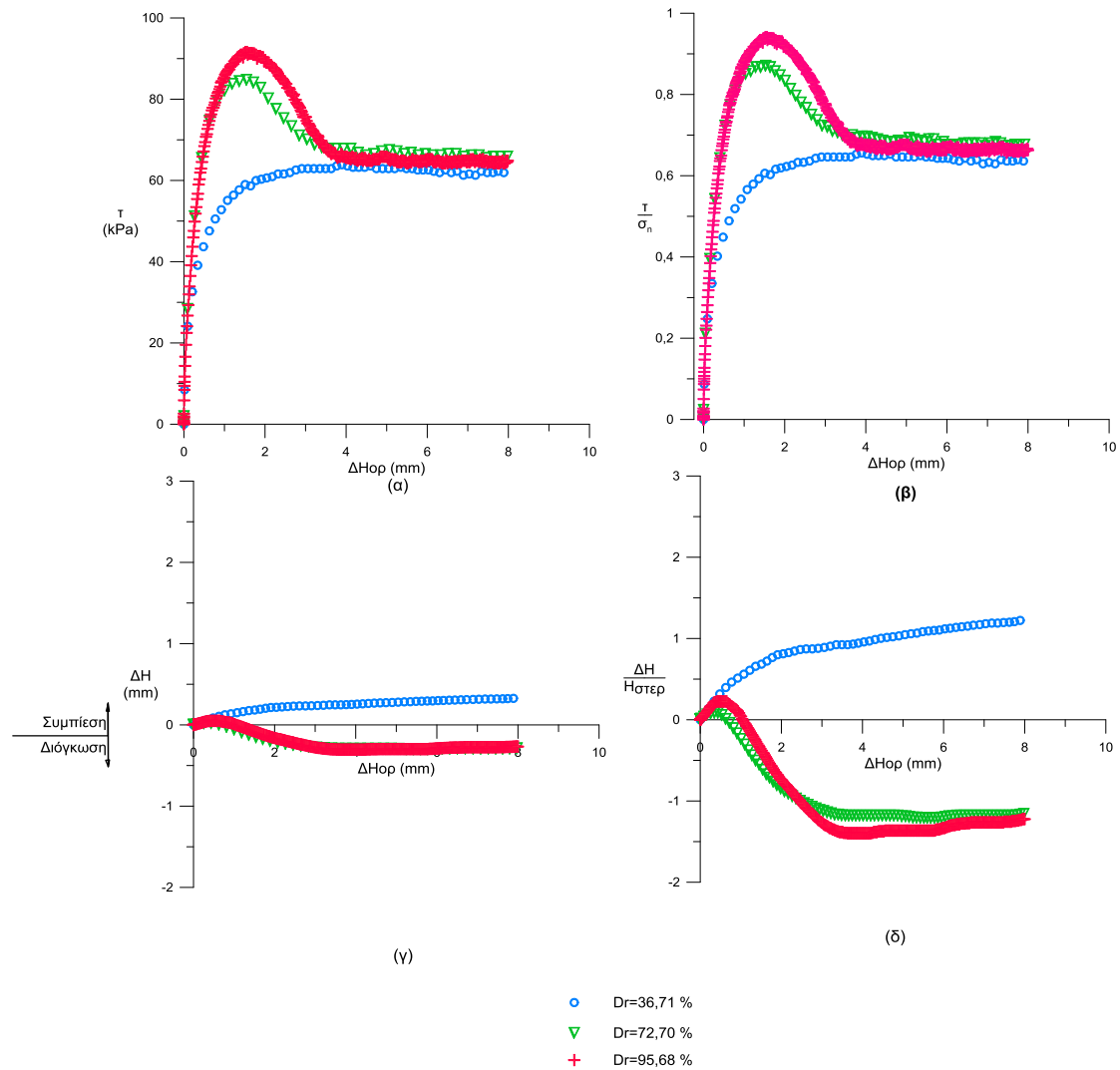
Σχήμα 5.20 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{op} για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πολύ πυκνών δοκιμίων άμμου Τογούρα

Καθαρή άμμος Τογούρα
Ορθή τάση $\sigma_n=50,13$ kPa



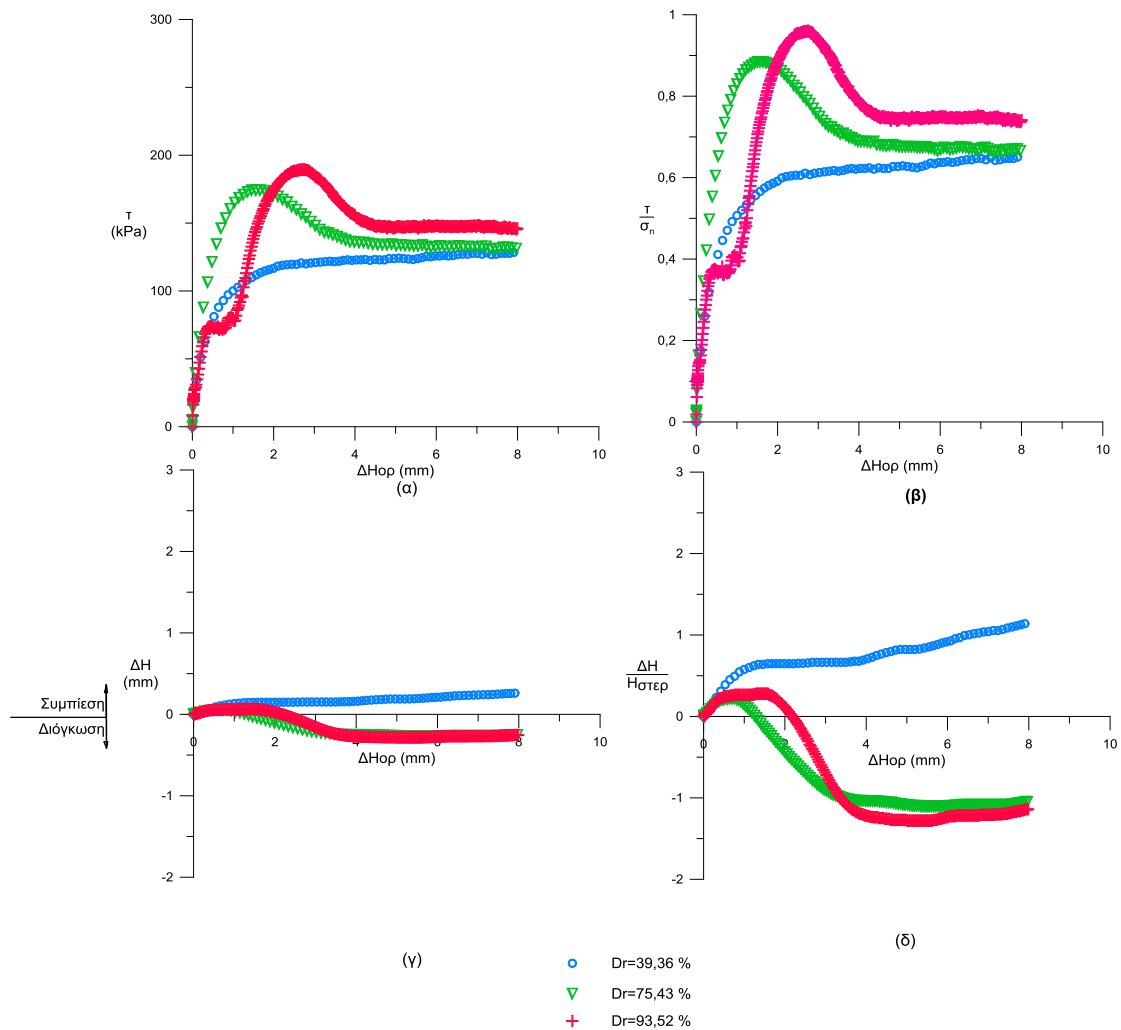
Σχήμα 5.21 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma\tau\epsilon\rho}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{ορ}$, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Τογούρα σε τάση στερεοποίησης $\sigma_n=50,13$ kPa.

Καθαρή άμμος Τογούρα
Ορθή τάση $\sigma_n=97,36$ kPa



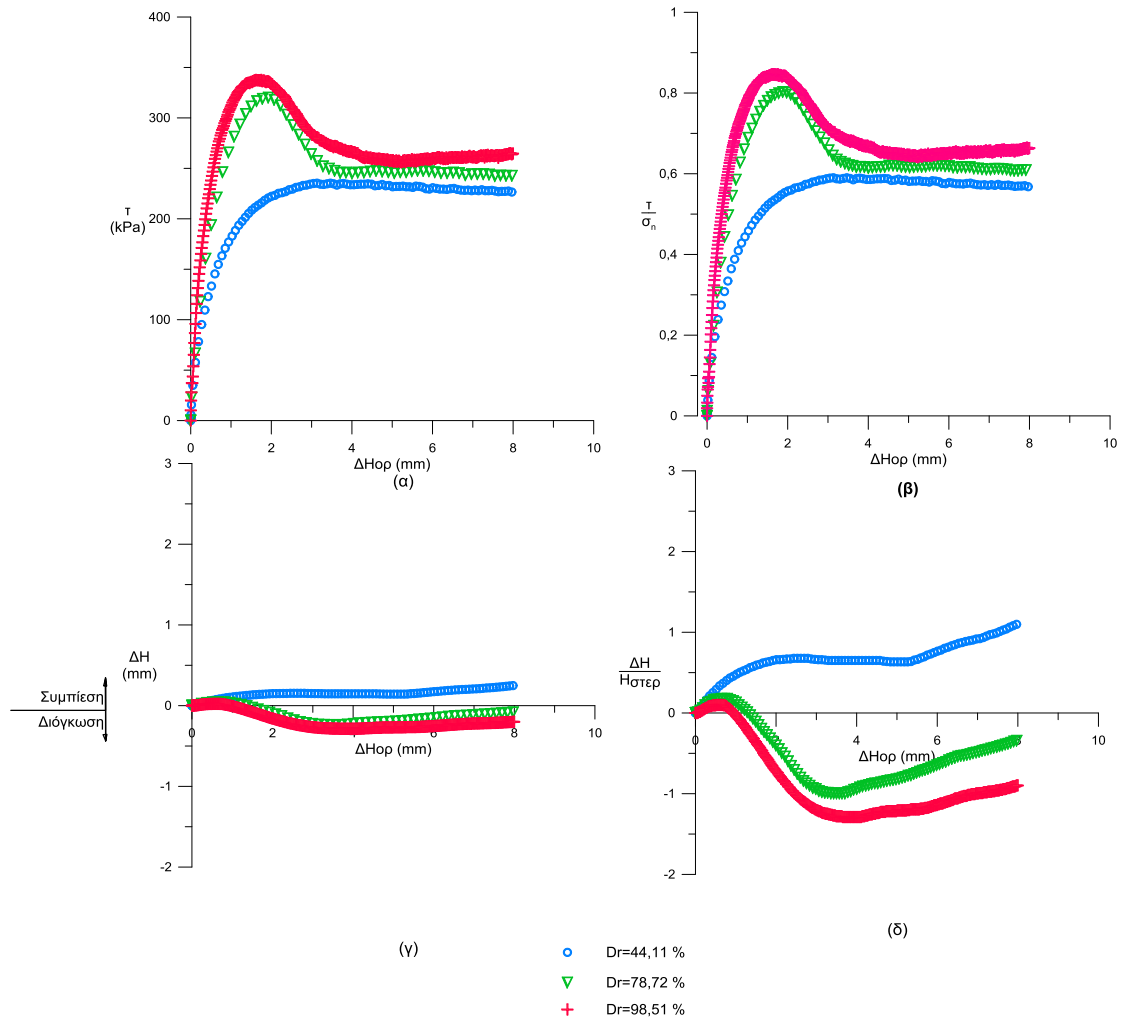
Σχήμα 5.22 Μεταβολή α) της διαμηθικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διαμηθικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{στερ}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{ορ}$, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Τογούρα σε τάση στερεοποίησης $\sigma_n=97.36$ kPa.

Καθαρή άμμος Τογούρα
Ορθή τάση $\sigma_n=197,43$ kPa

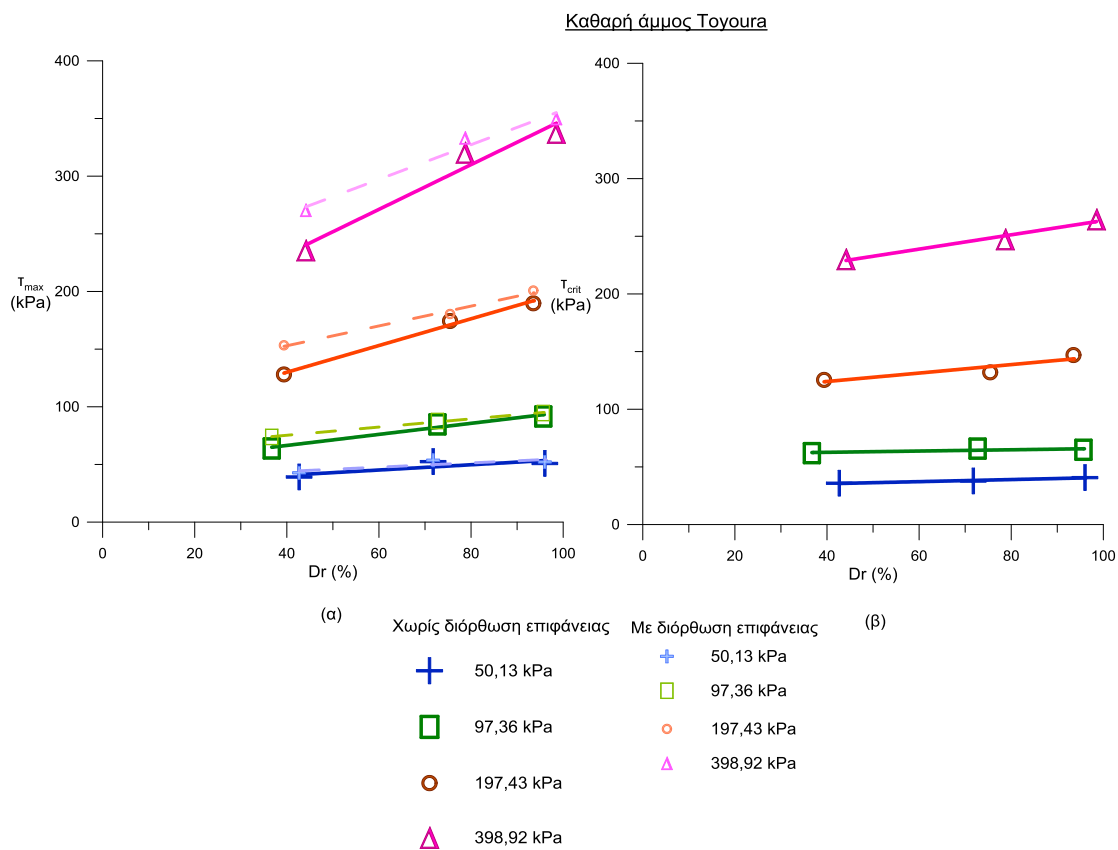


Σχήμα 5.23 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma_{\text{στερ}}}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{\text{ορ}}$, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Τογούρα σε τάση στερεοποίησης $\sigma_n=197,43$ kPa.

Καθαρή άμμος Τογούρα
Ορθή τάση $\sigma_n=398,92$ kPa

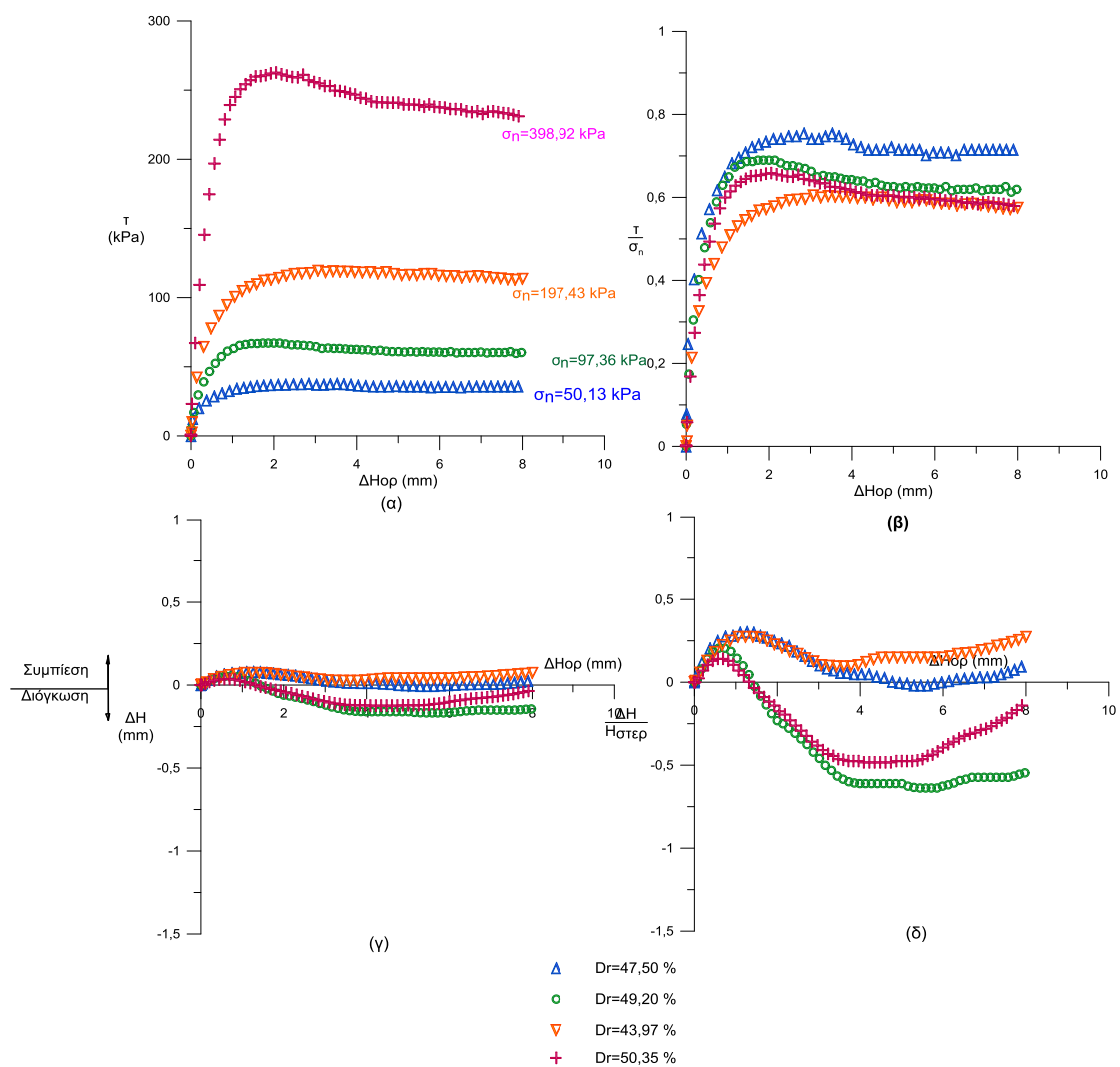


Σχήμα 5.24 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma_{\text{στερ}}}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{\text{ορ}}$, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Τογούρα σε τάση στερεοποίησης $\sigma_n=398,92$ kPa.



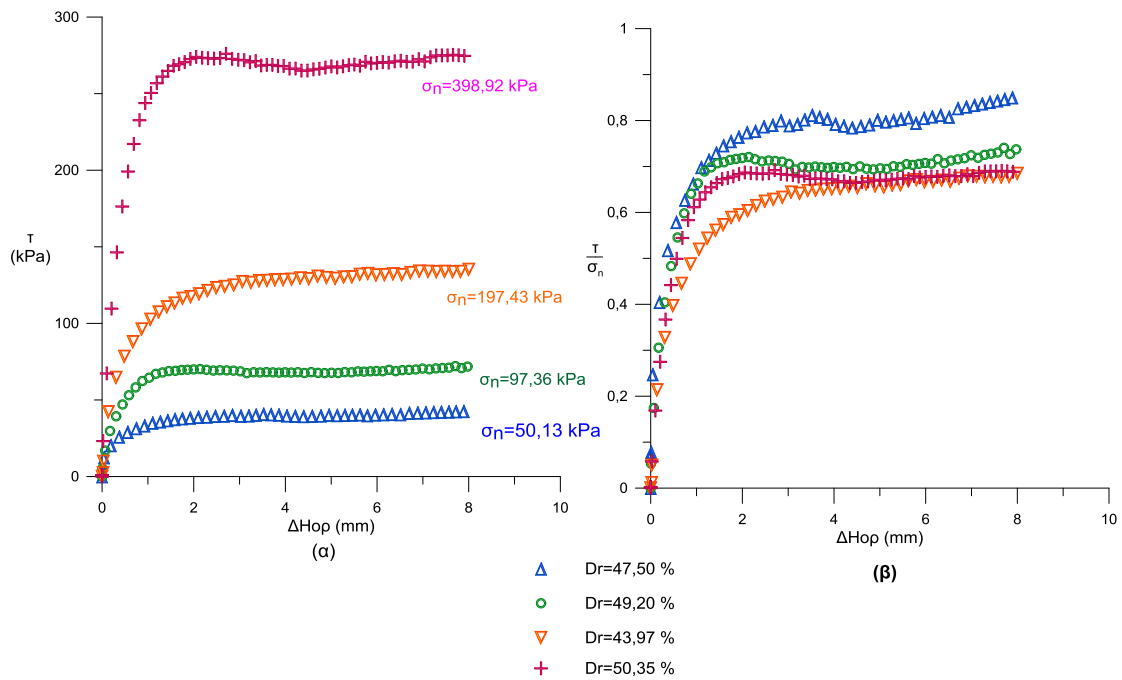
Σχήμα 5.25 Μεταβολή α) της μέγιστης διατμητικής τάσης, T_{max} και β) οριακής διατμητικής τάσης, T_{crit} , με τη σχετική πυκνότητα στο σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της άμμου Toyoura με και χωρίς διόρθωση επιφάνειας

Μέσης πυκνότητας δοκίμιο άμμου Hostun



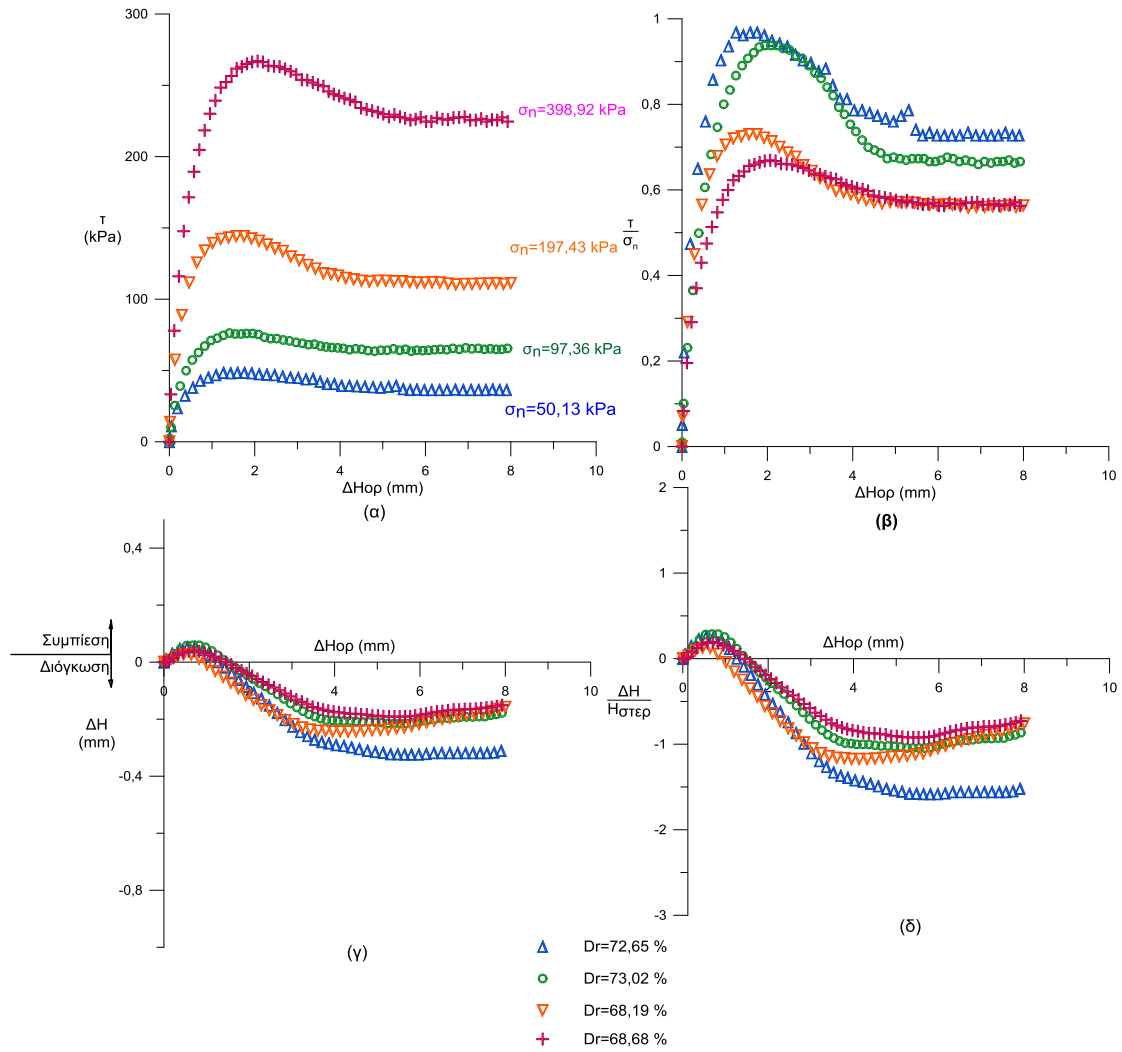
Σχήμα 5.26 Μεταβολή α) της διαμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διαμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma ΤΕΡ}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{ορ}$, για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης μέσης πυκνότητας δοκιμίων άμμου Hostun

Μέσης πυκνότητας δοκίμιο άμμου Hostun



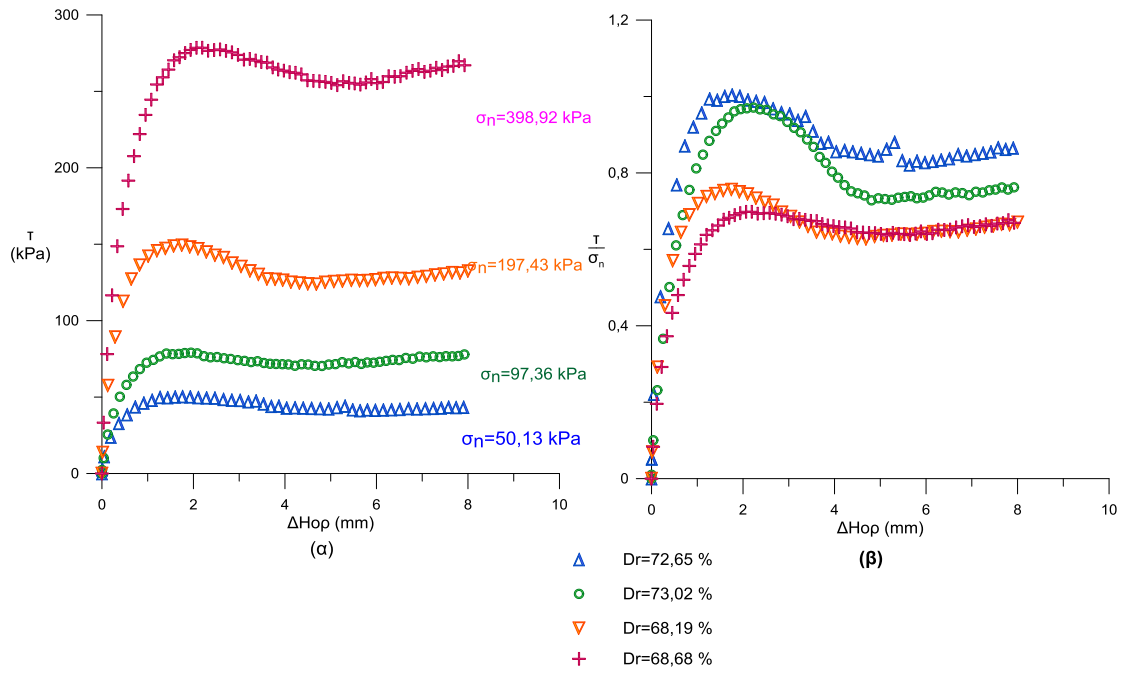
Σχήμα 5.27 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{op} για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης μέσης πυκνότητας δοκιμίων άμμου Hostun

Πυκνό δοκίμιο άμμου Hostun



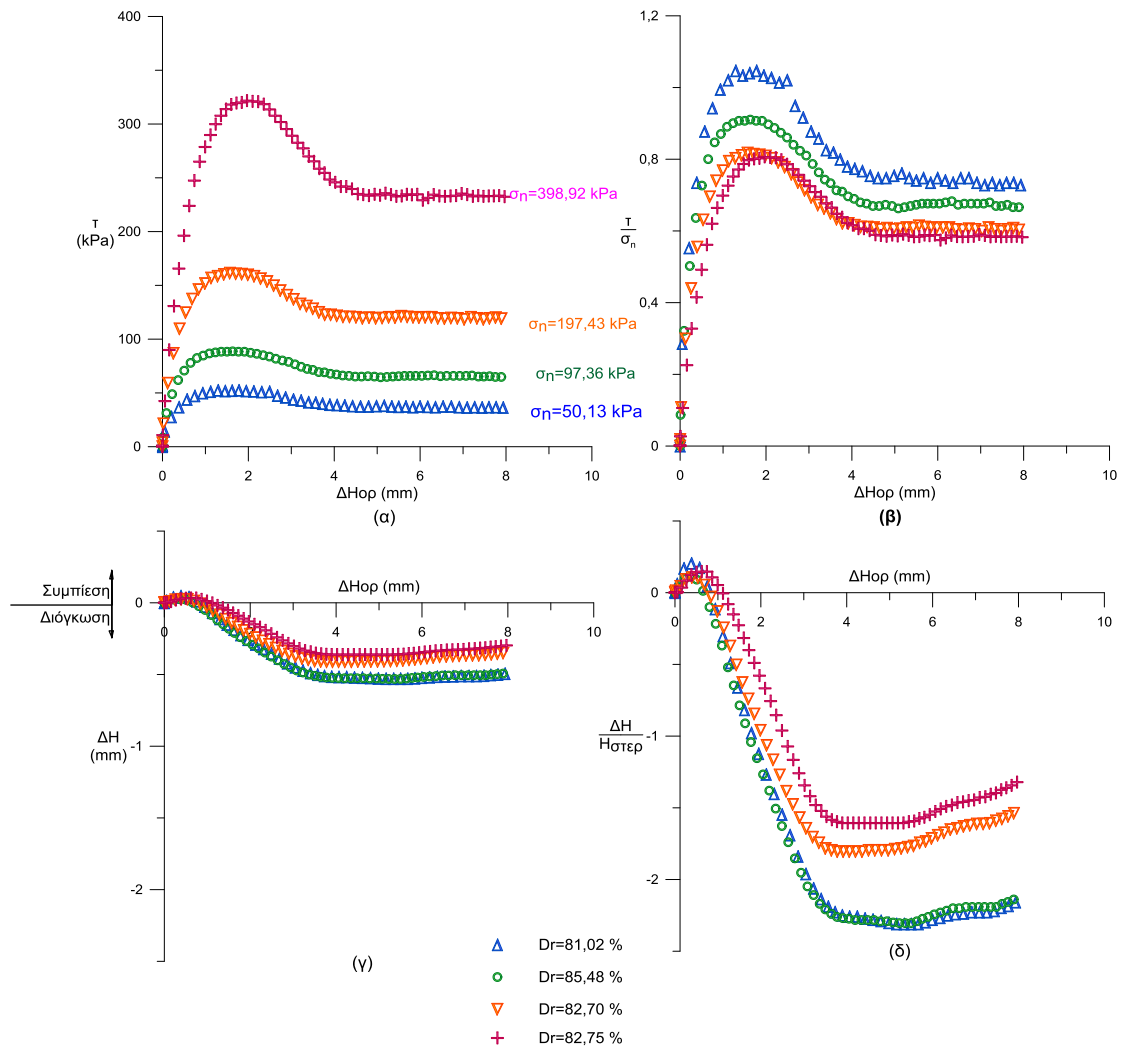
Σχήμα 5.28 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\text{στερ}}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{hor} , για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πυκνών δοκιμίων άμμου Hostun

Πυκνό δοκίμιο άμμου Hostun



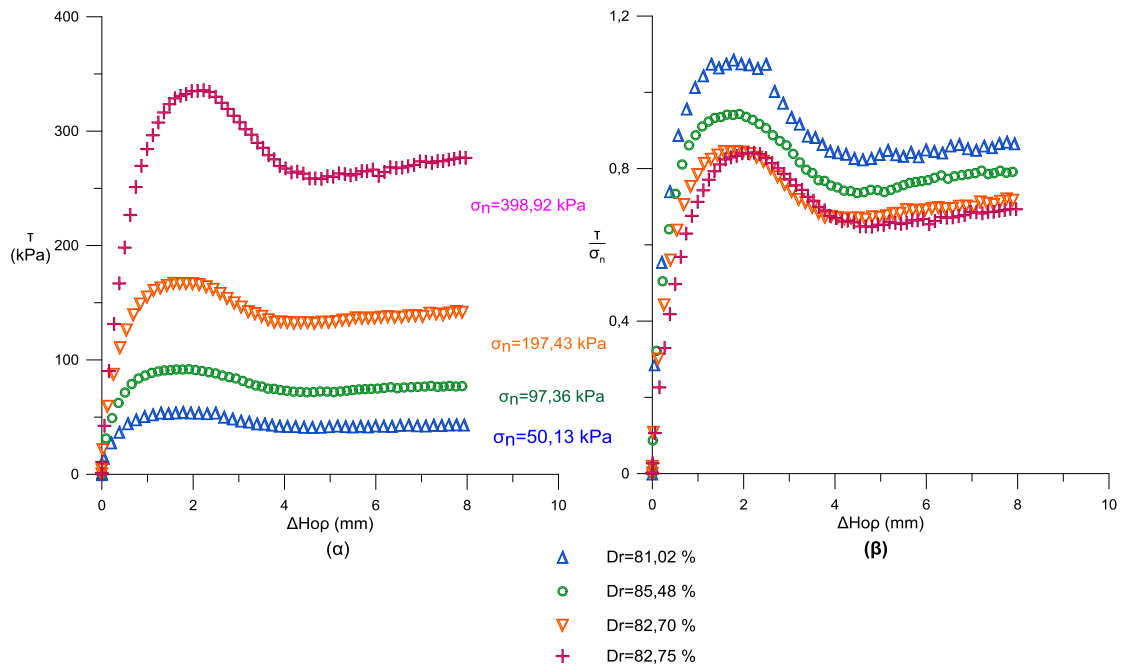
Σχήμα 5.29 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{op} για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πυκνών δοκιμίων άμμου Hostun

Πολύ πικνό δοκίμιο άμμου Hostun



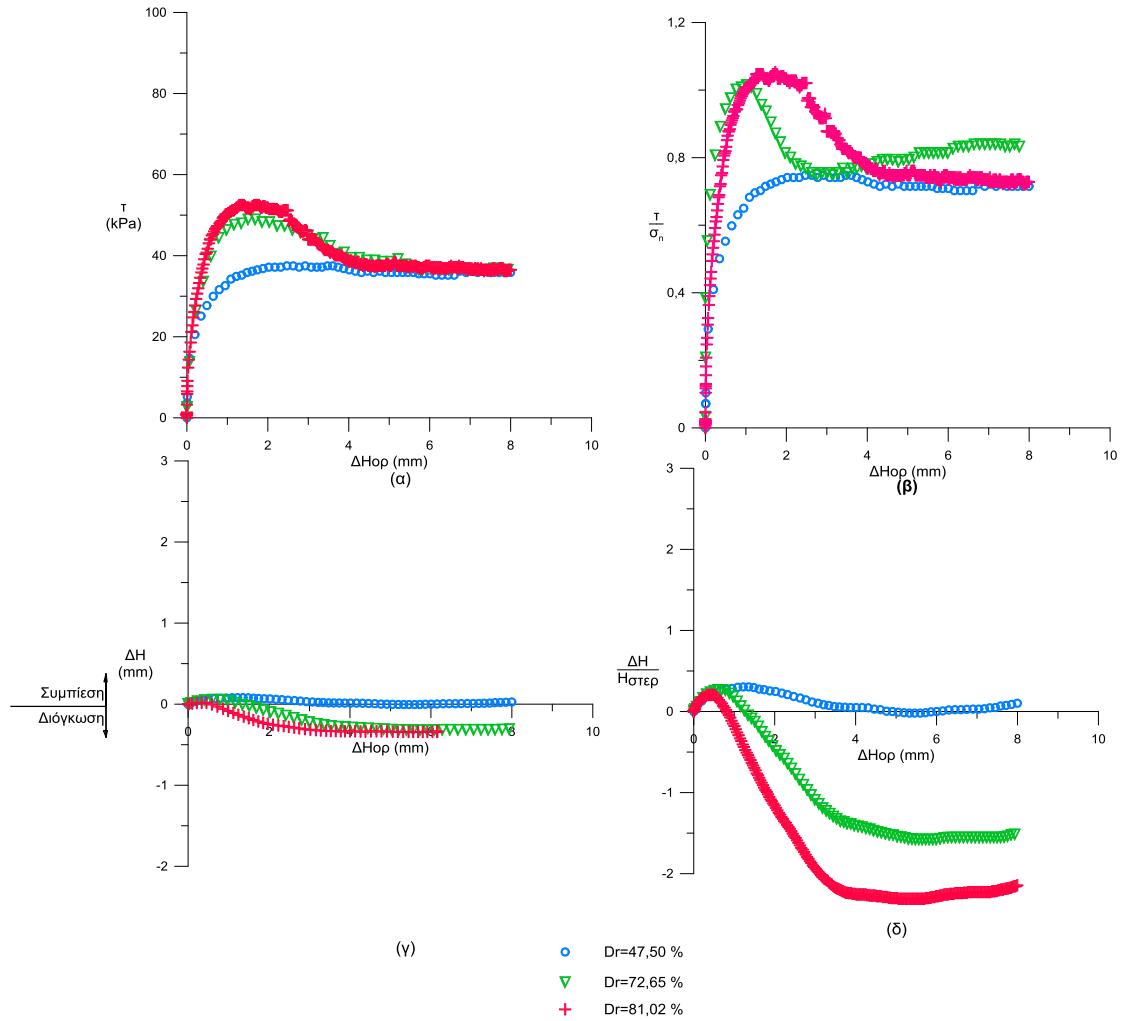
Σχήμα 5.30 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{στερ}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{op} , για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πολύ πικνών δοκιμών άμμου Hostun

Πολύ πυκνό δοκίμιο άμμου Hostun



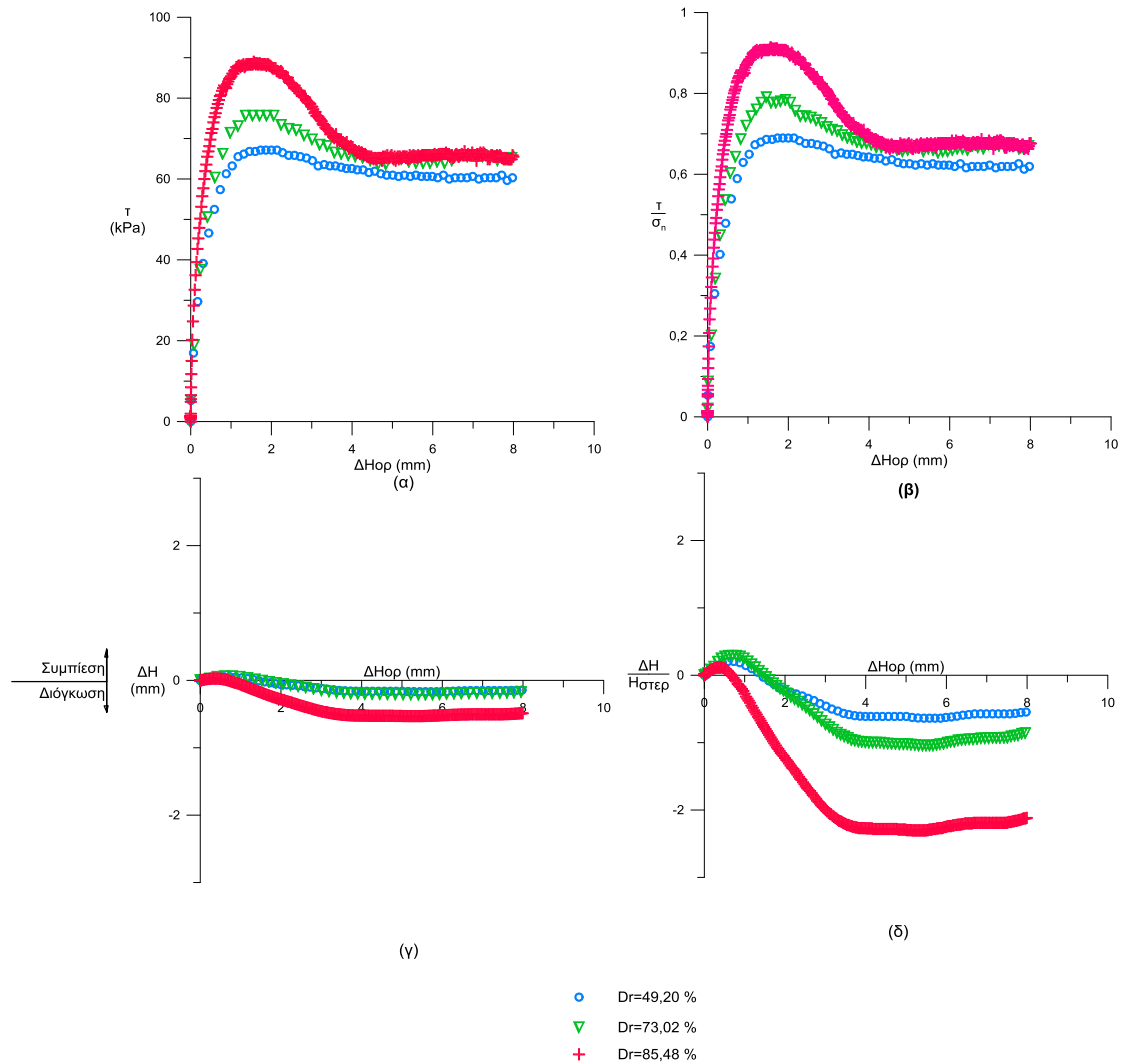
Σχήμα 5.31 Διαγράμματα μετά από διόρθωση επιφάνειας. Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, ΔH_{op} για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης πολύ πυκνών δοκιμίων άμμου Hostun

Καθαρή άμμος Hostun
Ορθή τάση $\sigma_n=50,13$ kPa



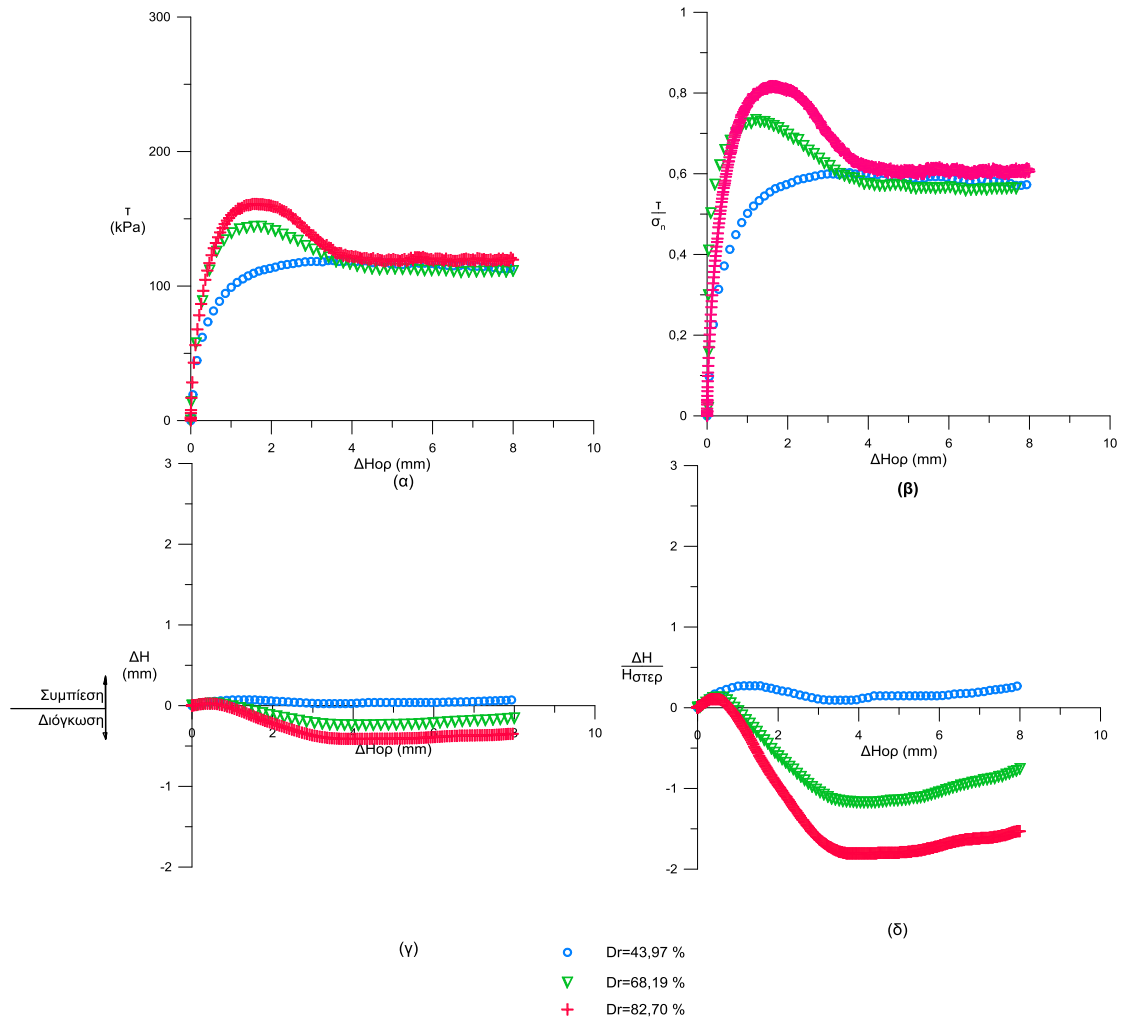
Σχήμα 5.32 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, τ β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, τ/σ_n γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma_{\text{στερ}}}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{\text{ορ}}$, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Hostun σε τάση στερεοποίησης $\sigma_n=50,13$ kPa.

Καθαρή άμμος Hostun
Ορθή τάση $\sigma_n=97,36$ kPa



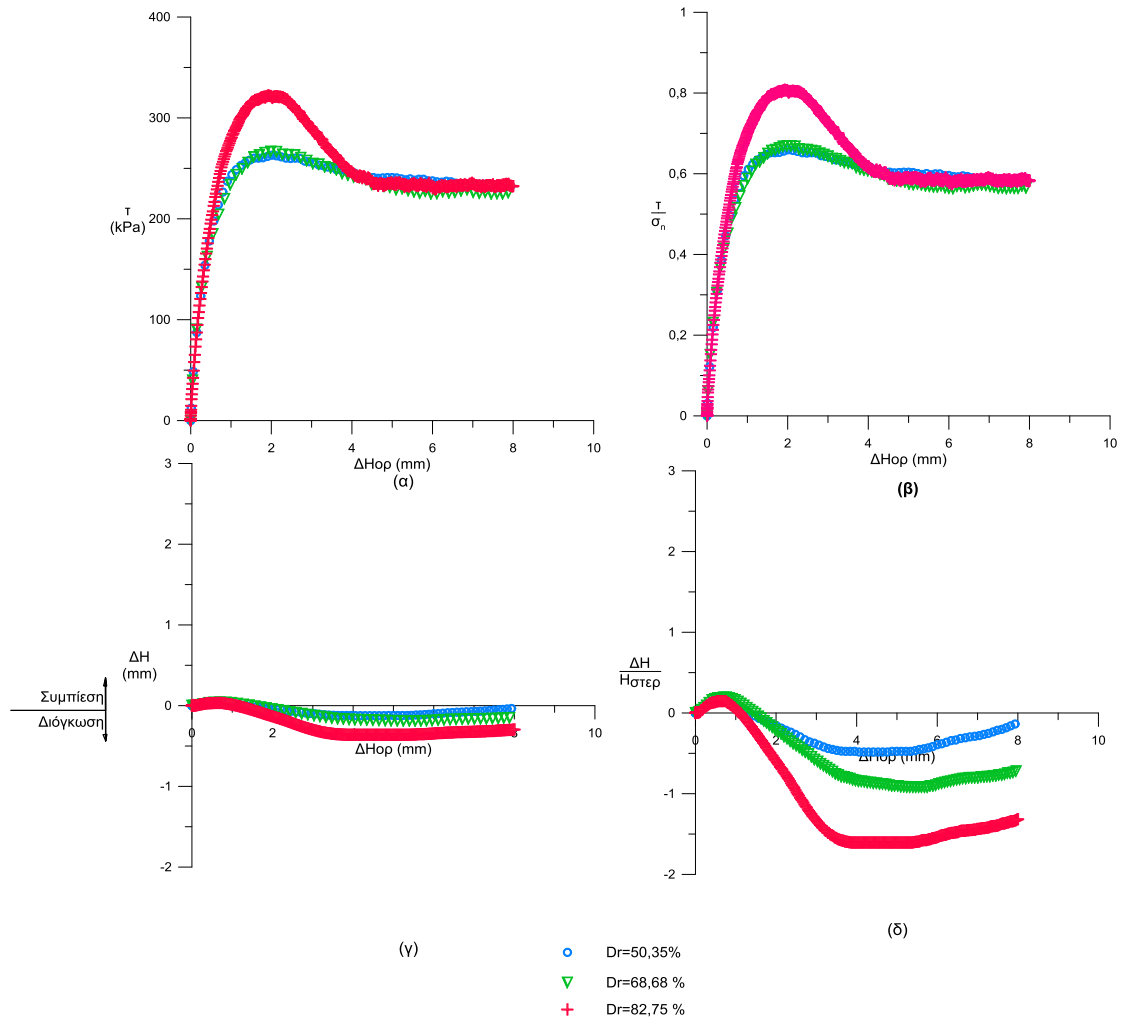
Σχήμα 5.33 Μεταβολή α) της διαμητικής τάσης, β) της κανονικοποιημένης διαμητικής τάσης, γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma_{\text{στερ}}}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{\text{ορ}}$, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Hostun σε τάση στερεοποίησης $\sigma_n=97,36$ kPa.

Καθαρή άμμος Hostun
Ορθή τάση $\sigma_n=197,43$ kPa

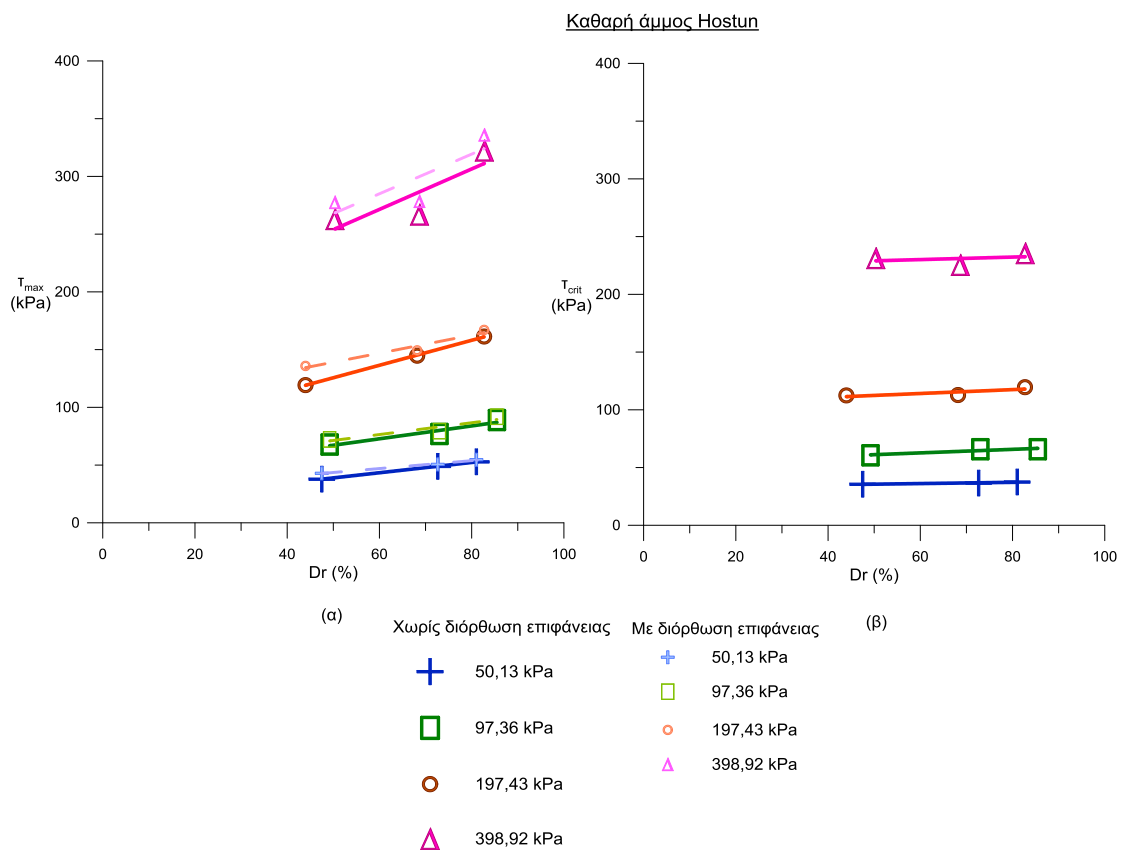


Σχήμα 5.34 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, ΔH δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma_{τερ}}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{ορ}$, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Hostun σε τάση στερεοποίησης $\sigma_n=197,43$ kPa.

Καθαρή άμμος Hostun
Ορθή τάση $\sigma_n=398,92$ kPa



Σχήμα 5.35 Μεταβολή α) της διατμητικής τάσης, β) της κανονικοποιημένης διατμητικής τάσης, γ) της κατακόρυφης παραμόρφωσης, δ) της ανηγμένης κατακόρυφης παραμόρφωσης $\Delta H/H_{\sigma_{τερ}}$ του δοκιμίου με την οριζόντια μετατόπιση, $\Delta H_{ορ}$, κατά το σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της καθαρής άμμου Hostun σε τάση στερεοποίησης $\sigma_n=398,92$ kPa.



Σχήμα 5.36 Μεταβολή α) της μέγιστης διατμητικής τάσης, T_{max} και β) οριακής διατμητικής τάσης, T_{crit} , με τη σχετική πυκνότητα στο σύνολο των δοκιμών άμεσης διάτμησης της άμμου Hostun με και χωρίς διόρθωση επιφάνειας

Κεφάλαιο 6

Ανάλυση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα

6.1 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών άμεσης διάτμησης στις καθαρές άμμους M31, Τοyouρα και Hostun προσδιορίζεται η περιβάλλουσα Coulomb στην κατάσταση αστοχίας (με και χωρίς διόρθωση επιφάνειας) και στη κρίσιμη κατάσταση. Παρακάτω παρουσιάζονται οι αναλύσεις των αποτελεσμάτων για τα μελετηθέντα εδάφη.

6.1.1 Καθαρή άμμος M31

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων για τη καθαρή άμμο M31 στις διάφορες καταστάσεις πυκνότητας, ενώ στο Σχήμα 6.1 δίνονται οι περιβάλλουσες Coulomb. Στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζονται οι τιμές της παραμέτρου αντοχής της καθαρής άμμου και στο Σχήμα 6.2 η μεταβολή της γωνίας τριβής της με τη σχετική πυκνότητα.

6.1.2 Καθαρή άμμος Τοyouρα

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων για τη καθαρή άμμο Τοyouρα στις διάφορες καταστάσεις πυκνότητας, ενώ στο Σχήμα 6.3 δίνονται οι περιβάλλουσες Coulomb. Στον Πίνακα 6.5 παρουσιάζονται οι τιμές της παραμέτρου αντοχής της καθαρής άμμου και στο Σχήμα 6.4 η μεταβολή της γωνίας τριβής της με τη σχετική πυκνότητα.

6.1.3 Καθαρή άμμος Hostun

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων για τη καθαρή άμμο Hostun στις διάφορες καταστάσεις πυκνότητας, ενώ στο Σχήμα 6.5 δίνονται οι περιβάλλουσες Coulomb. Στον Πίνακα 6.6 παρουσιάζονται οι τιμές της παραμέτρου αντοχής της καθαρής άμμου και στο Σχήμα 6.6 η μεταβολή της γωνίας τριβής της με τη σχετική πυκνότητα.

6.1.4 Μελέτη παραμέτρων επιρροής στη διατμητική αντοχή

Στο Σχήμα 6.7 παρουσιάζεται το εύρος των κοκκομετρικών καμπυλών των μελετηθέντων εδαφών. Όπως προκύπτει, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 4, οι τρεις άμμοι έχουν παρόμοιες κοκκομετρικές καμπύλες. Η επιλογή τους έγινε για την απαλοιφή της επίδρασης της κοκκομετρίας στη διατμητική αντοχή. Ως εκ τούτου, μελετάται μόνο η επίδραση του σχήματος και της ορυκτολογικής σύστασης των κόκκων.

6.2 Συμπεράσματα

Στον Πίνακα 6.7 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές των γωνιών τριβής ϕ'_{max} και ϕ'_{crit} και της διασταλτικότητας γ για τα μελετηθέντα εδάφη.

Η ιδέα της συσχέτισης της γωνίας γ με τη σχετική πυκνότητα βασίστηκε στη μελέτη του Bolton (1986), η οποία ωστόσο περιοριζόταν σε αποτελέσματα δοκιμών καθαρών άμμων σε δοκιμές τριαξονικής φόρτισης και απλής διάτμησης.

Στο Σχήμα 6.8 παρουσιάζονται οι περιβάλλουσες στη κατάσταση αστοχίας και στη κρίσιμη κατάσταση των καθαρών άμμων σε δοκίμια μέσης πυκνότητας και στο Σχήμα 6.10 σε πολύ πυκνή κατάσταση. Το Σχήμα 6.9 παρουσιάζει τις περιβάλλουσες στη κατάσταση αστοχίας και στη κρίσιμη κατάσταση των καθαρών άμμων Toyoura και Hostun σε πυκνή κατάσταση.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.11, 6.12, 6.13 και 6.14 η μεταβολή της μέγιστης γωνίας τριβής ϕ'_{max} , και της κρίσιμης γωνίας τριβής ϕ'_{crit} και της διασταλτικότητας γ για τα μελετηθέντα εδάφη με τη σχετική πυκνότητα D_r σε τάσεις στερεοποίησης 50,13 kPa, 97,36 kPa, 197,43 kPa και 398,92 kPa αντίστοιχα.

Μετά τη μελέτη των διαγραμμάτων προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- i) Από τα αποτελέσματα των δοκιμών προκύπτει, ότι η εργαστηριακή μελέτη αναζυμωμένων δοκιμών άμμου επαληθεύει τη θεωρία διάτμησης ως προς τη συμπεριφορά τους σε χαλαρή, μέσης πυκνότητας, πυκνή και πολύ πυκνή κατάσταση. Για την πυκνή και τη πολύ πυκνή κατάσταση παρατηρήθηκε η αναμενόμενη διόγκωση, ενώ για τη χαλαρή η αναμενόμενη συμπίεση.
- ii) Η παρουσία κόκκων αστρίων στις μελετηθείσες άμμους, οδηγεί σε αύξηση της κλίσης της περιβάλλουσας αστοχίας. Οι διαφορές αυξάνονται με την αύξηση της τάσης στερεοποίησης. Όπου παρουσιάζονται αντίθετα αποτελέσματα αυτά αποδίδονται στις διαφορές της πυκνότητας των δοκιμών.
- iii) Από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης που εκτελέστηκαν για την επίδραση του ρυθμού παραμόρφωσης (Σχήματα 5.12 και 5.13 και Πίνακας 6.8) προκύπτει το συμπέρασμα ότι δεν επηρεάζει τη διατμητική αντοχή των καθαρών άμμων.

iv) Η μέγιστη γωνία τριβής φ'_{\max} (Σχήμα 6.15α), των καθαρών άμμων, εξαρτάται από τη σχετική πυκνότητα D_r . Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται αύξηση του φ'_{\max} με το δείκτη σχετικής πυκνότητας D_r . Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης SPSS, προτείνονται οι παρακάτω εξισώσεις:

- Για την άμμο M31:

$$\varphi'_{\max} = 0,12 \cdot D_r + 26,769 \quad (R^2 = 0,960) \quad (6.1)$$

- Για τη καθαρή άμμο Hostun:

$$\varphi'_{\max} = 0,12 \cdot D_r + 27,604 \quad (R^2 = 0,752) \quad (6.2)$$

- Για την καθαρή άμμο Toyoura:

$$\varphi'_{\max} = 0,12 D_r + 28,858 \quad (R^2 = 0,831) \quad (6.3)$$

Παρατηρείται πως η κλίση των εξισώσεων είναι οι ίδιες.

v) Το εύρος τιμών της φ'_{\max} για το εύρος της D_r που μελετήθηκε κυμαίνεται από $29,95^\circ$ μέχρι $41,15^\circ$ με τις μεγαλύτερες τιμές να αντιστοιχούν στην άμμο Toyoura, λόγω της ύπαρξης αστριών και τις χαμηλότερες τιμές στις χαλαζιακές άμμους. Η επίδραση του σχήματος των κόκκων στις χαλαζιακές άμμους M31 και Hostun, στρογγυλό και γωνιώδες αντίστοιχα, είναι μικρή. Ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές της φ'_{\max} υπολογίστηκαν για την άμμο Hostun.

Στη φ'_{crit} η επίδραση της ύπαρξης κόκκων από αστριούς έχει το ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή προκαλεί αύξηση της φ'_{crit} , ενώ το σχήμα (στρογγυλό ή γωνιώδες) δεν επηρεάζει. Η επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης των κόκκων έχει απασχολήσει και τους Koerner, 1970 & Bolton, 1985, οι οποίοι κατέληξαν στο ίδιο συμπέρασμα για τις τιμές της φ'_{crit} .

vi) Η κρίσιμη γωνία τριβής, φ'_{crit} , (Σχήμα 6.15β) εξαρτάται ελαφρώς από τη σχετική πυκνότητα, D_r , του εδάφους στη περίπτωση των καθαρών άμμων. Οι διαφορές λόγω πυκνότητας είναι της τάξης των 3° προσεγγιστικά, για το εύρος των τάσεων που μελετήθηκαν. Από την ανάλυση στο πρόγραμμα στατιστικής SPSS Statistics, προτείνονται οι παρακάτω εξισώσεις που περιγράφουν τη συσχέτιση της κρίσιμης γωνίας τριβής φ'_{crit} , με τη σχετική πυκνότητα D_r :

- για την καθαρή άμμο M31:

$$\varphi'_{\text{crit}} = 0,073 \cdot D_r + 26,172 \quad (R^2 = 0,863) \quad (6.4)$$

- για την καθαρή άμμο Hostun:

$$\varphi'_{\text{crit}} = 0,073 \cdot D_r + 25,416 \quad (R^2 = 0,642) \quad (6.5)$$

- για την καθαρή άμμο Toyoura:

$$\varphi'_{\text{crit}} = 0,073 \cdot D_r + 27,265 \quad (R^2 = 0,956) \quad (6.6)$$

Παρατηρείται πως η κλίση των εξισώσεων είναι η ίδια.

vii) Από την ανάλυση στο πρόγραμμα στατιστικής SPSS Statistics, προτείνονται οι παρακάτω εξισώσεις που περιγράφουν τη συσχέτιση της διασταλτικότητας που εκφράζεται ως $y = \varphi'_{\max} - \varphi'_{\text{crit}}$, με τη σχετική πυκνότητα D_r :

- για την καθαρή άμμο M31:

$$y=0,053 \cdot Dr+0,254 \quad (R^2=0,639) \quad (6.7)$$

- για την καθαρή άμμο Hostun:

$$y=0,144 \cdot Dr-4,343 \quad (R^2=0,885) \quad (6.8)$$

- για την καθαρή άμμο Toyoura:

$$y=0,120 \cdot Dr-3,574 \quad (R^2=0,831) \quad (6.9)$$

Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα δοκιμών άμεσης διάτμησης στην καθαρή άμμο M31

Καθαρή άμμος M31										
		Χωρίς διόρθωση επιφανείας						Με διόρθωση επιφανείας		
Κατάσταση	Όνομα	Διατμητική Αντοχή			Κρίσιμη Διατμητική Αντοχή			Διατμητική Αντοχή		
πυκν/ας	Δοκιμής	τ_{max} (kPa)	ΔH_{op} (mm)	e	τ_{crit} (kPa)	ΔH_{op} (mm)	e	τ_{max} (kPa)	ΔH_{op} (mm)	e
ΧΑΛΑΡΗ	M31-7A	36,51	5,400	0,851	35,86	6,558	0,850	43,06	7,966	0,850
	M31-7B	63,24	5,342	0,829	61,61	5,757	0,828	75,29	7,983	0,824
	M31-7C	109,85	4,951	0,807	104,96	7,972	0,800	125,80	7,743	0,801
	M31-7F	229,15	4,317	0,802	222,95	7,800	0,795	265,44	7,857	0,795
ΜΕΣΗ	M31-8A	38,46	2,838	0,810	36,83	6,716	0,810	44,44	7,801	0,810
	M31-8B	70,73	2,711	0,772	66,17	6,760	0,772	79,70	7,850	0,770
	M31-8C	117,67	3,319	0,785	110,5	7,699	0,777	131,24	7,258	0,778
	M31-8D	238,27	7,141	0,778	237,62	7,655	0,778	282,36	7,898	0,777
ΠΟΛΥ ΠΥΚΝΗ	M31-1Aa	45,63	1,144	0,666	34,88	4,034	0,586	46,71	1,440	0,666
	M31-1B	88,33	1,088	0,664	68,78	3,991	0,595	91,00	1,461	0,669
	M31-1F	144,72	0,952	0,667	110,17	4,341	0,680	148,03	1,113	0,670
	M31-1D	326,93	1,546	0,649	265,33	5,984	0,660	338,39	1,784	0,651

Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα δοκιμών άμεσης διάτμησης στην καθαρή άμμο Τογούρα

Καθαρή άμμος Τογούρα										
		Χωρίς διόρθωση επιφάνειας						Με διόρθωση επιφάνειας		
Κατάσταση	Όνομα	Διατμητική Αντοχή			Κρίσιμη Διατμητική Αντοχή			Διατμητική Αντοχή		
πυκν/ας	Δοκιμής	τ_{max} (kPa)	ΔH_{op} (mm)	e	τ_{crit} (kPa)	ΔH_{op} (mm)	e	τ_{max} (kPa)	ΔH_{op} (mm)	e
ΜΕΣΗ	ΤΟΥΟ-2Α	39,11	1,159	0,831	35,86	7,501	0,839	42,71	7,616	0,839
	ΤΟΥΟ-2Β	63,89	3,896	0,834	61,93	7,709	0,829	73,84	7,825	0,829
	ΤΟΥΟ-2C	129,08	7,884	0,821	125,49	5,802	0,825	153,33	7,884	0,821
	ΤΟΥΟ-2D	235,67	3,084	0,812	230,12	5,866	0,811	270,45	0,973	0,804
ΠΥΚΝΗ	ΤΟΥΟ-1Α	52,48	1,353	0,735	37,81	7,238	0,747	53,69	1,122	0,732
	ΤΟΥΟ-1Β	84,75	1,492	0,728	65,84	6,384	0,739	87,68	1,667	0,730
	ΤΟΥΟ-1C	174,39	1,490	0,711	132,01	6,016	0,727	180,49	1,686	0,713
	ΤΟΥΟ-1D	320,41	1,943	0,702	247,4	4,661	0,710	333,27	1,923	0,702
ΠΟΛΥ ΠΥΚΝΗ	ΤΟΥΟ-3Ab	50,85	1,178	0,643	40,74	6,004	0,656	52,15	1,247	0,644
	ΤΟΥΟ-3B	91,59	1,518	0,639	64,87	4,514	0,655	94,62	1,765	0,642
	ΤΟΥΟ-3C	189,71	2,745	0,649	147,01	4,871	0,662	200,80	2,755	0,649
	ΤΟΥΟ-3Dc	337,69	1,618	0,630	264,68	7,884	0,637	350,03	1,757	0,631

Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα δοκιμών άμεσης διάτμησης στην καθαρή άμμο Hostun

Καθαρή άμμος Hostun										
		Χωρίς διόρθωση επιφάνειας						Με διόρθωση επιφάνειας		
Κατάσταση	Όνομα	Διατμητική Αντοχή			Κρίσιμη Διατμητική Αντοχή			Διατμητική Αντοχή		
πυκν/ας	Δοκιμής	τ_{max} (kPa)	ΔH_{op} (mm)	e	τ_{crit} (kPa)	ΔH_{op} (mm)	e	τ_{max} (kPa)	ΔH_{op} (mm)	e
ΜΕΣΗ	HOST-1Ab	37,81	2,542	0,804	35,53	5,957	0,807	42,90	7,803	0,805
	HOST-1Bb	67,8	1,881	0,804	60,63	5,533	0,812	72,19	7,982	0,810
	HOST-1Cb	119,3	3,069	0,819	112,45	7,800	0,816	135,87	7,992	0,816
	HOST-1D	263,05	1,998	0,798	281,43	7,917	0,798	277,62	7,983	0,798
ΠΥΚΝΗ	HOST-3A	48,89	1,515	0,710	35,61	6,164	0,734	50,61	1,690	0,712
	HOST-3B	76,93	1,433	0,706	65,84	7,005	0,722	79,42	1,977	0,710
	HOST-3C	144,72	1,465	0,730	112,78	4,926	0,745	149,32	1,751	0,725
	HOST-3D	266,96	2,037	0,727	225,56	6,001	0,739	278,55	2,192	0,728
ΠΟΛΥ ΠΥΚΝΗ	HOST-2A	52,8	1,717	0,690	37,48	4,986	0,713	54,70	1,726	0,690
	HOST-2B	88,99	1,562	0,671	65,84	7,004	0,694	91,90	1,933	0,677
	HOST-2C	161,35	1,571	0,679	119,95	6,058	0,697	167,10	1,715	0,681
	HOST-2D	322,37	1,927	0,677	235,67	4,694	0,695	336,07	2,225	0,681

Πίνακας 6.4 Τιμές της παραμέτρου αντοχής για την καθαρή άμμο M31

Καθαρή άμμος M31								
			Χωρίς διόρθωση επιφάνειας				Με διόρθωση επιφάνειας	
Κατάσταση	Όνομα	Dr (%)	Κατάσταση Αστοχίας		Οριακή κατάσταση		Κατάσταση Αστοχίας	
πυκν/ας	Δοκιμής		τ_{max} (kPa)	ϕ'_{max}	τ_{crit} (kPa)	ϕ'_{crit}	τ_{max} (kPa)	ϕ'_{max}
ΧΑΛΑΡΗ	M31-7A	10,36	36,51	29,95	35,86	29,21	43,06	33,72
	M31-7B	16,53	63,24		61,61		75,29	
	M31-7C	27,98	109,85		104,96		125,80	
	M31-7F	28,45	229,15		222,95		265,44	
ΜΕΣΗ	M31-8A	36,32	38,46	31,18	36,83	30,56	44,44	35,27
	M31-8B	48,52	70,73		66,17		79,70	
	M31-8C	43,58	117,67		110,5		131,24	
	M31-8D	41,83	238,27		237,62		282,36	
ΠΟΛΥ ΠΥΚΝΗ	M31-1Aa	94,71	45,63	38,96	34,88	32,92	46,71	39,86
	M31-1B	95,51	88,33		68,78		91,00	
	M31-1F	92,43	144,72		110,17		148,03	
	M31-1D	100,00	326,93		265,33		338,39	

Πίνακας 6.5 Τιμές της παραμέτρου αντοχής για την καθαρή άμμο Τογούρα

Καθαρή άμμος Τογούρα								
			Χωρίς διόρθωση επιφάνειας				Με διόρθωση επιφάνειας	
Κατάσταση	Όνομα	Dr (%)	Κατάσταση Αστοχίας		Οριακή κατάσταση		Κατάσταση Αστοχίας	
πυκν/ας	Δοκιμής		τ_{max} (kPa)	ϕ'_{max}	τ_{crit} (kPa)	ϕ'_{crit}	τ_{max} (kPa)	ϕ'_{max}
ΜΕΣΗ	ΤΟΥΟ-2Α	42,67	39,11	31,29	35,86	30,63	40,05	35,07
	ΤΟΥΟ-2Β	36,71	64,54		63,56		94,76	
	ΤΟΥΟ-2C	39,36	128,08		118,97		153,33	
	ΤΟΥΟ-2D	44,11	239,9		234,36		335,51	
ΠΥΚΝΗ	ΤΟΥΟ-1Α	71,76	52,48	39,49	37,81	32,35	52,27	40,55
	ΤΟΥΟ-1Β	72,70	84,75		67,8		87,36	
	ΤΟΥΟ-1C	75,43	174,39		135,6		179,76	
	ΤΟΥΟ-1D	78,72	320,41		245,77		333,27	
ΠΟΛΥ ΠΥΚΝΗ	ΤΟΥΟ-3Ab	96,01	51,5	41,15	38,35	34,24	52,80	42,29
	ΤΟΥΟ-3B	95,68	91,59		64,87		94,70	
	ΤΟΥΟ-3C	93,52	189,71		147,01		200,76	
	ΤΟΥΟ-3Dc	98,51	337,69		264,68		349,02	

Πίνακας 6.6 Τιμές της παραμέτρου αντοχής για την καθαρή άμμο Hostun

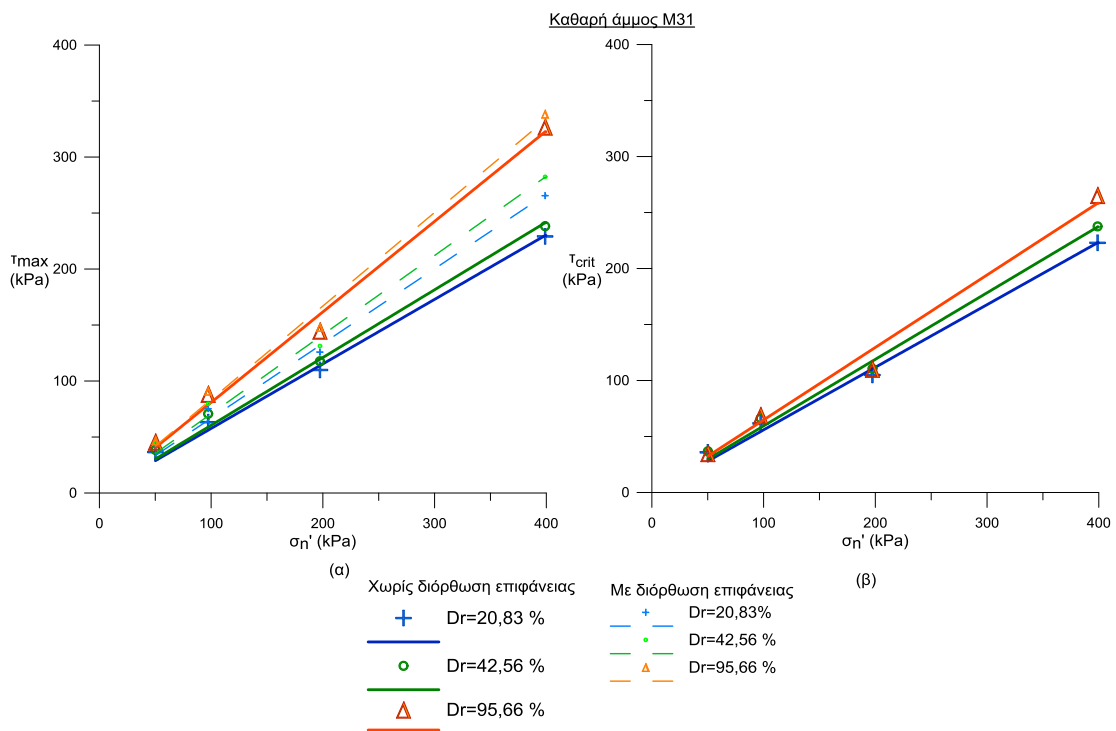
Καθαρή άμμος Hostun								
			Χωρίς διόρθωση επιφάνειας				Με διόρθωση επιφάνειας	
Κατάσταση	Όνομα	Dr (%)	Κατάσταση Αστοχίας		Οριακή κατάσταση		Κατάσταση Αστοχίας	
πυκν/ας	Δοκιμής		τ_{max} (kPa)	ϕ'_{max}	τ_{crit} (kPa)	ϕ'_{crit}	τ_{max} (kPa)	ϕ'_{max}
ΜΕΣΗ	HOST-1Ab	47,50	37,81	33,10	35,53	30,16	42,90	34,92
	HOST-1Bb	49,20	67,8		60,63		72,19	
	HOST-1Cb	43,97	119,3		112,45		135,87	
	HOST-1D	50,35	263,05		281,43		277,62	
ΠΥΚΝΗ	HOST-3A	72,65	48,89	34,61	35,61	29,82	50,61	35,68
	HOST-3B	73,02	76,93		65,84		79,42	
	HOST-3C	68,19	144,72		112,78		149,32	
	HOST-3D	68,68	266,96		225,56		278,55	
ΠΟΛΥ ΠΥΚΝΗ	HOST-2A	81,02	52,8	39,25	37,48	30,92	54,70	40,39
	HOST-2B	85,48	88,99		65,84		91,90	
	HOST-2C	82,70	161,35		119,95		167,10	
	HOST-2D	82,75	322,37		235,67		336,07	

Πίνακας 6.7 Τιμές των γωνιών τριβής ϕ'_{max} , ϕ'_{crit} και της διασταλτικότητας γ για τα μελετηθέντα εδάφη

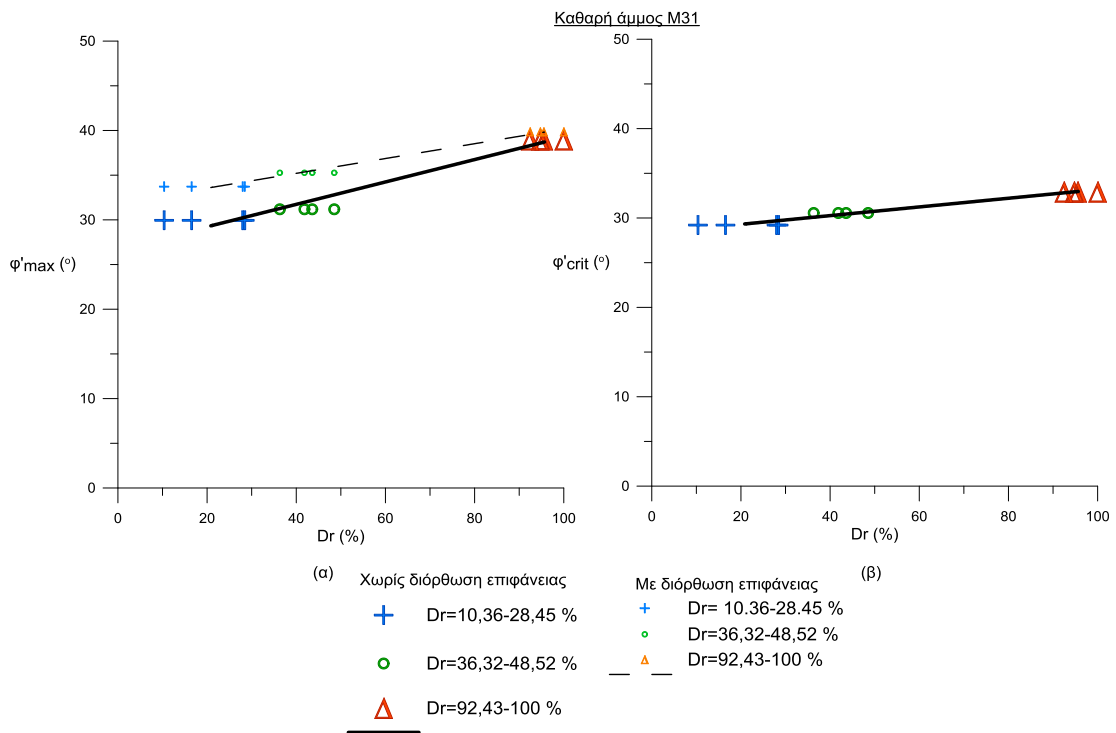
Κατάσταση	Μέσο	Χωρίς διόρθωση επιφάνειας			Με διόρθωση επιφάνειας
		ϕ'_{max} (°)	ϕ'_{crit} (°)	γ (°)	ϕ'_{max} (°)
M31					
χαλαρή	20,83	29,95	29,21	0,74	33,72
μέση	42,56	31,18	30,56	0,62	35,27
πολύ πυκνή	95,66	38,96	32,92	6,04	39,86
Toyoura					
μέση	40,71	31,29	30,63	0,66	35,07
πυκνή	74,65	39,49	32,35	7,14	40,55
πολύ πυκνή	95,93	41,15	34,24	6,91	32,29
Hostun					
μέση	47,76	33,1	30,18	2,92	34,92
πυκνή	70,64	34,61	29,82	4,79	35,68
πολύ πυκνή	82,99	39,27	30,95	8,32	40,39

Πίνακας 6.8 Αποτελέσματα δοκιμών άμεσης διάτμησης για την επίδραση του ρυθμού παραμόρφωσης

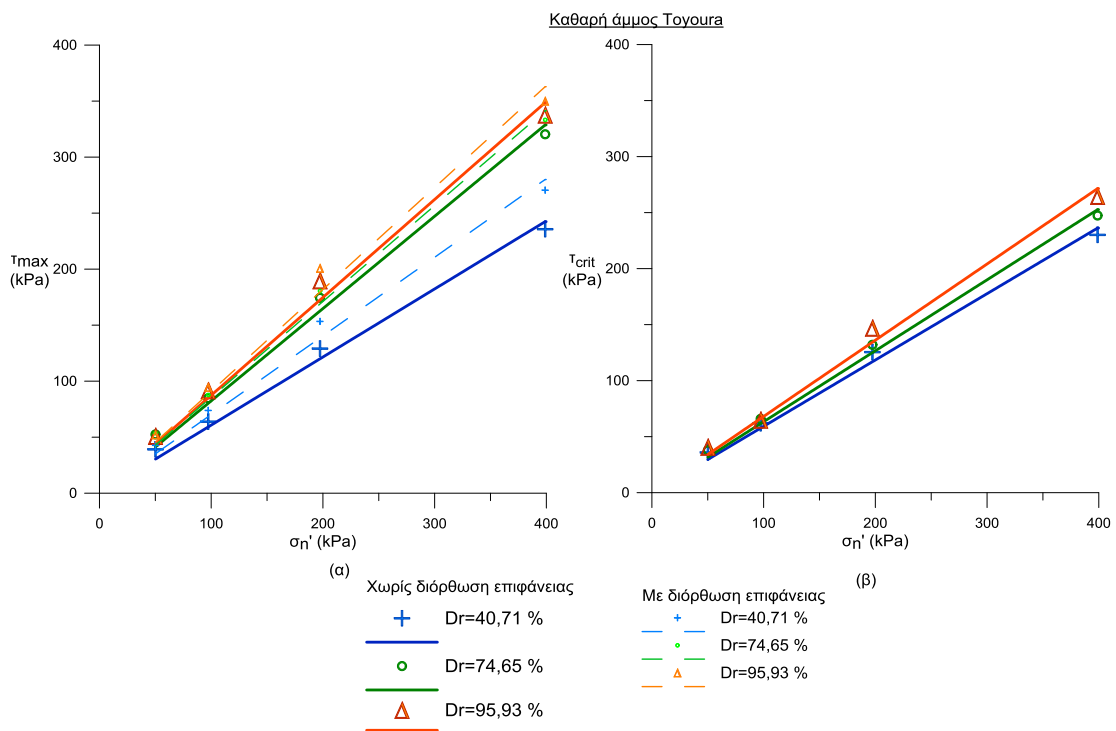
Επίδραση του ρυθμού παραμόρφωσης								
	Όνομα δοκιμής	Dr (%)	Διατμητική Αντοχή			Κρίσιμη Διατμητική Αντοχή		
			T_{max} (kPa)	ΔH_{op} (mm)	e	T_{crit} (kPa)	ΔH_{op} (mm)	e
Καθαρή άμμος M31	Dr=80-85 %							
	M31-2B	83,6	91,27	1,116	0,693	68,45	7,014	0,707
	M31-3Bc	83,19	88,01	1,299	0,697	67,15	4,294	0,710
	M31-4B	86,91	94,2	1,817	0,684	71,06	7,207	0,700
	Dr=95-100 %							
	M31-1Bb	97,39	88,01	1,499	0,657	68,78	7,318	0,665
	M31-6B	96,5	87,68	1,133	0,66	----	----	----



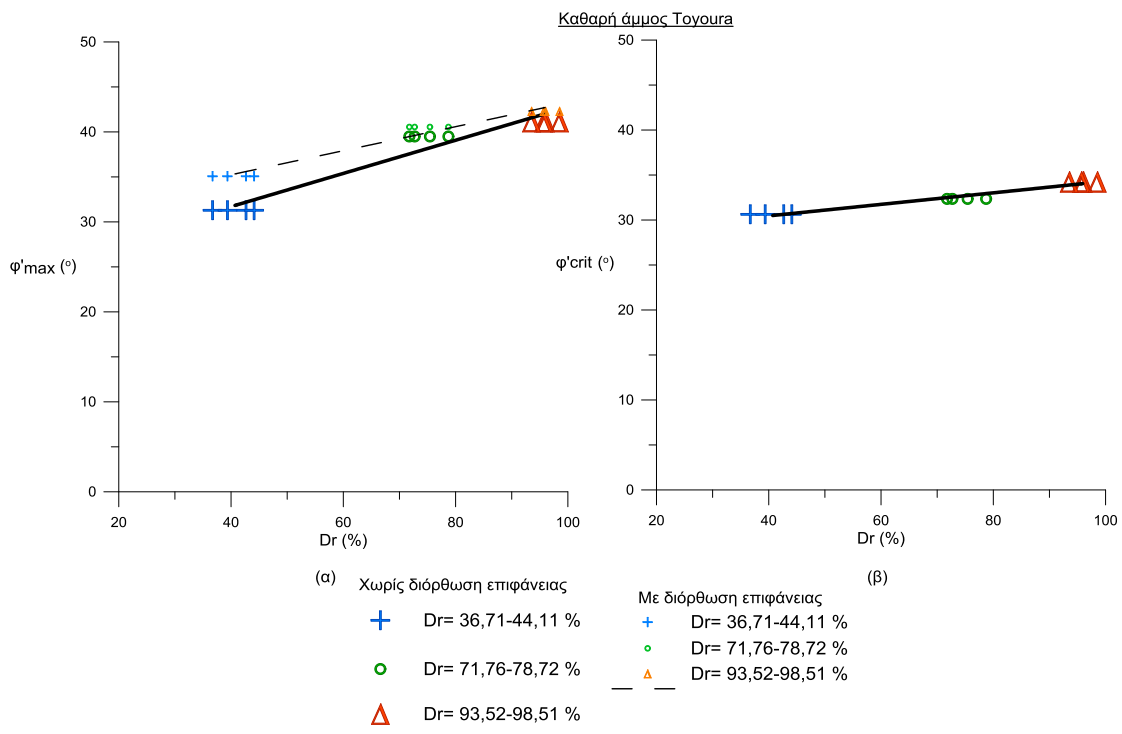
Σχήμα 6.1 Περιβάλλουσες αστοχίας Mohr-Coulomb α) στη κατάσταση αστοχίας και β) στη κρίσιμη κατάσταση για τη καθαρή άμμο M31



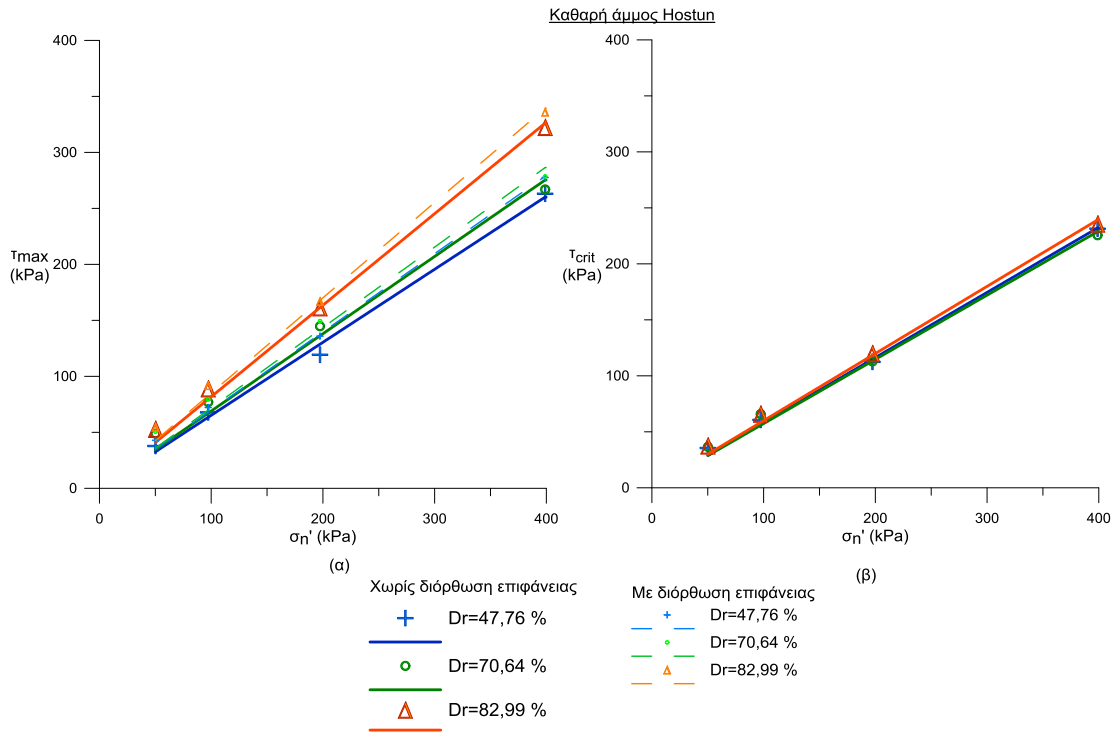
Σχήμα 6.2 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, ϕ'_{max} και β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, ϕ'_{crit} με σχετική πυκνότητα D_r για την καθαρή άμμο M31



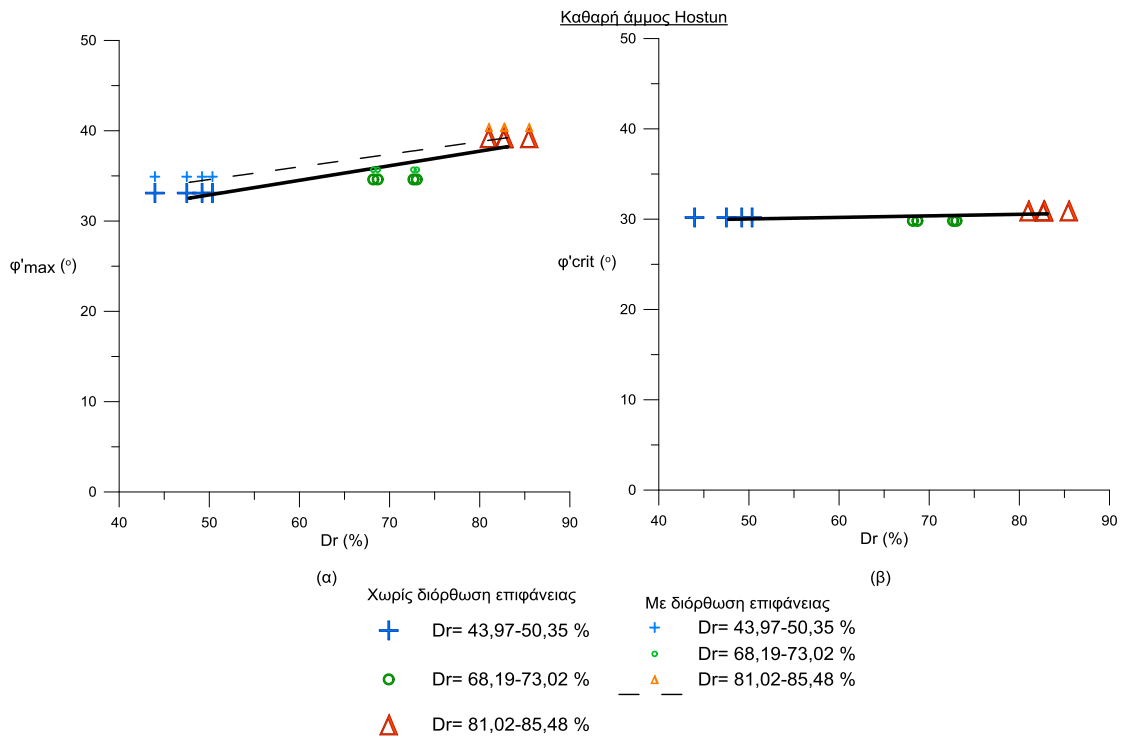
Σχήμα 6.3 Περιβάλλουσες αστοχίας Mohr-Coulomb α) στη κατάσταση αστοχίας και β) στη κρίσιμη κατάσταση για τη καθαρή άμμο Toyoura



Σχήμα 6.4 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, ϕ'_{max} και β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, ϕ'_{crit} με σχετική πυκνότητα D_r για την καθαρή άμμο Toyoura



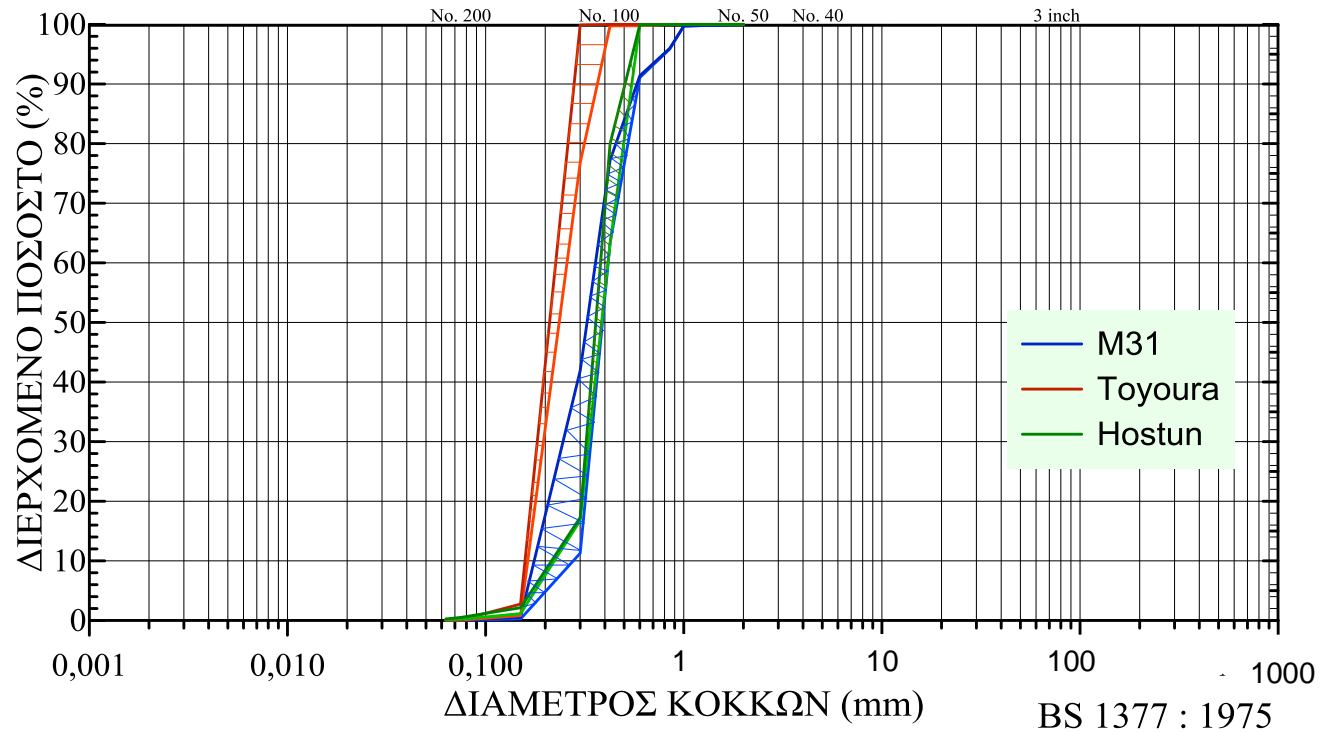
Σχήμα 6.5 Περιβάλλουσες αστοχίας Mohr-Coulomb α) στη κατάσταση αστοχίας και β) στη κρίσιμη κατάσταση για την καθαρή άμμο Hostun



Σχήμα 6.6 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, ϕ'_{max} και β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, ϕ'_{crit} με σχετική πυκνότητα Dr για την καθαρή άμμο Hostun

U.S.A. ASTM D422

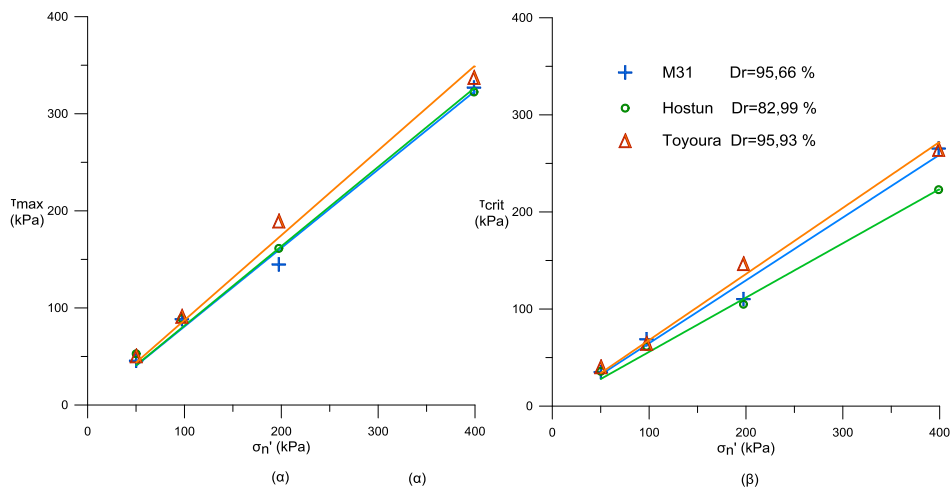
		ΛΕΠΤΗ	ΜΕΣΗ	ΧΟΝΔΡΗ		
ΑΡΓΙΛΟΣ	ΙΛΥΣ	ΑΜΜΟΣ			ΧΑΛΙΚΙΑ	ΚΡΟΚΑΛΕΣ



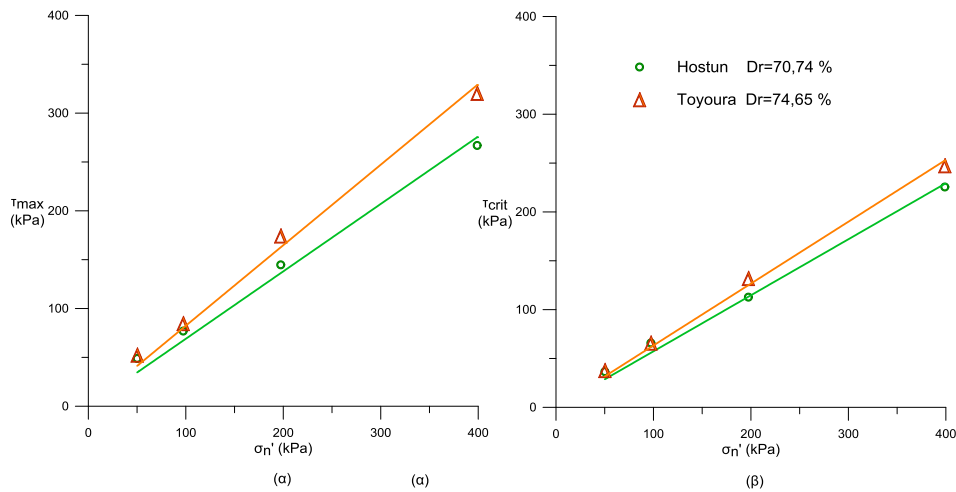
BS 1377 : 1975

ΑΡΓΙΛΑ	ΛΕΠΤΗ	ΜΕΣΗ	ΧΟΝΔΡΗ	ΛΕΠΤΗ	ΜΕΣΗ	ΧΟΝΔΡΗ	ΛΕΠΤΗ	ΜΕΣΗ	ΧΟΝΔΡΗ	
	ΙΛΥΣ			ΑΜΜΟΣ			ΧΑΛΙΚΙΑ			ΚΡΟΚΑΛΕΣ

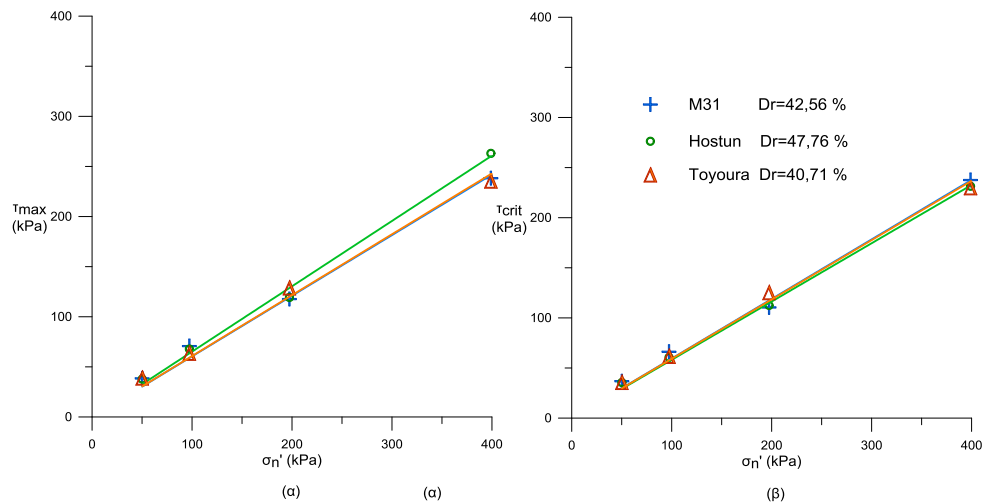
Σχήμα 6.7 Εύρη κοκκομετρικών καμπυλών για τα μελετηθέντα εδάφη



Σχήμα 6.8 Περιβάλλουσες Mohr-Coulomb α) για τη κατάσταση αστοχίας β) για την κρίσιμη κατάσταση για τις άμμους M31, Toyoura και Hostun σε μέσης πυκνότητας κατάσταση

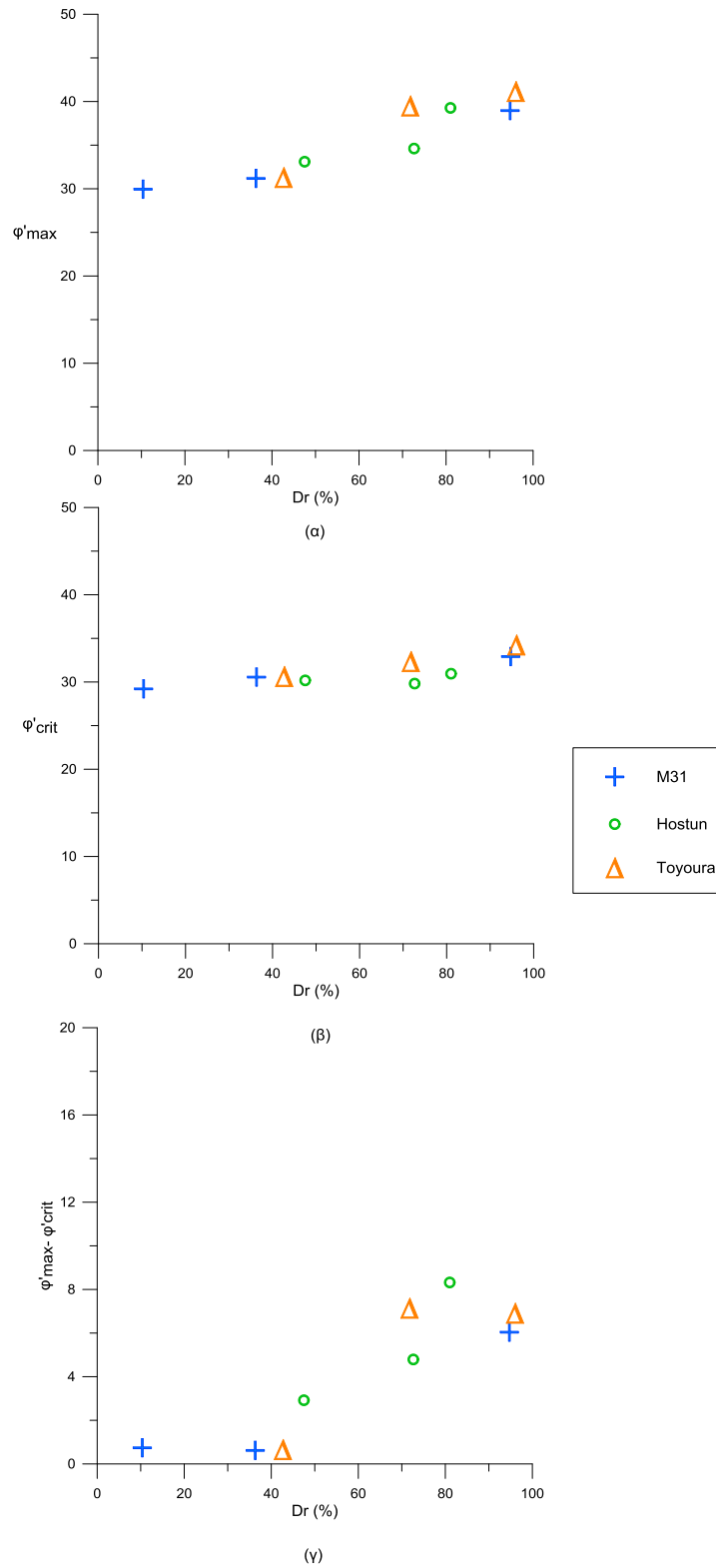


Σχήμα 6.9 Περιβάλλουσες Mohr-Coulomb α) για τη κατάσταση αστοχίας β) για την κρίσιμη κατάσταση για τις άμμους Toyoura και Hostun σε πυκνή κατάσταση

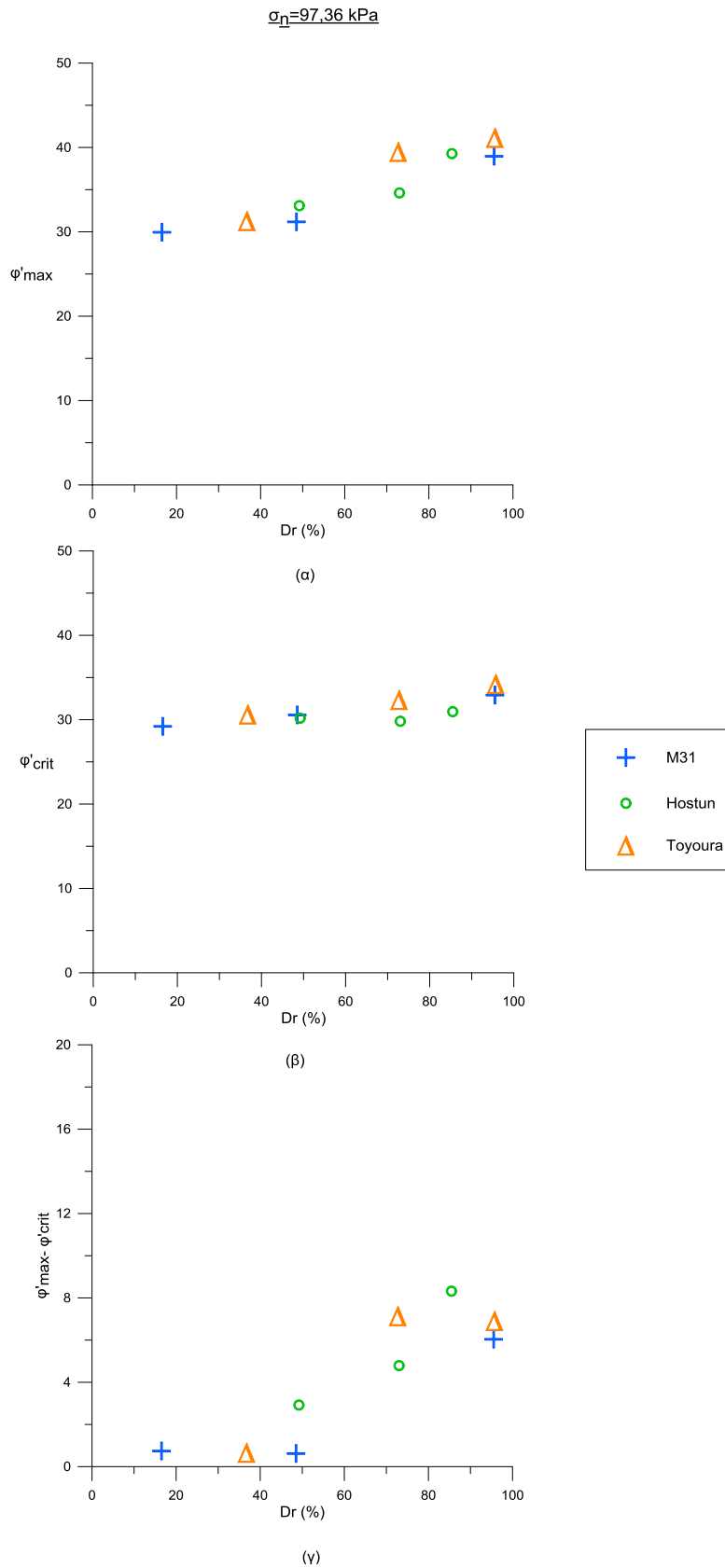


Σχήμα 6.10 Περιβάλλουσες Mohr-Coulomb α) για τη κατάσταση αστοχίας β) για την κρίσιμη κατάσταση για τις άμμους M31, Toyoura και Hostun σε πολύ πυκνή κατάσταση

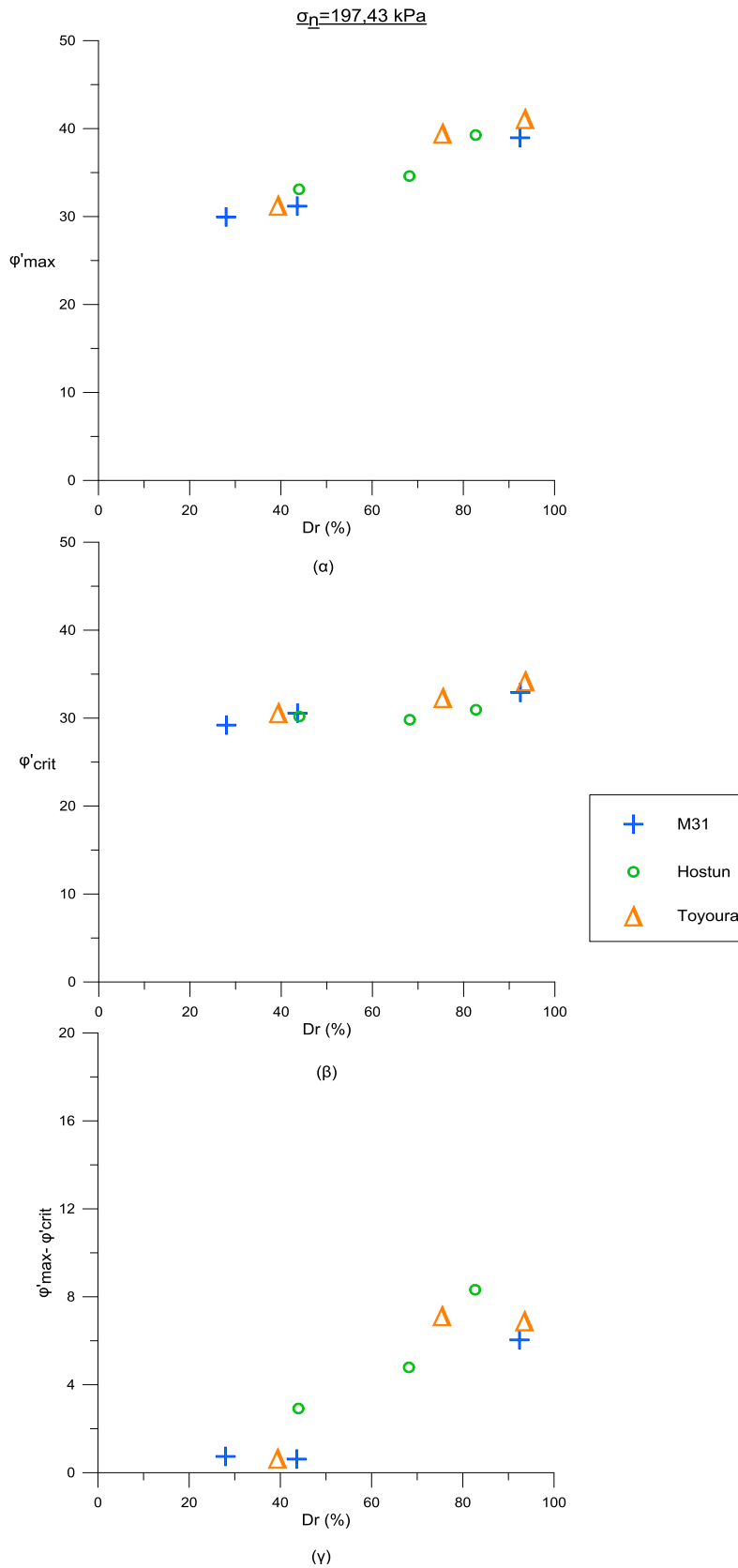
$\sigma_h=50,13 \text{ kPa}$



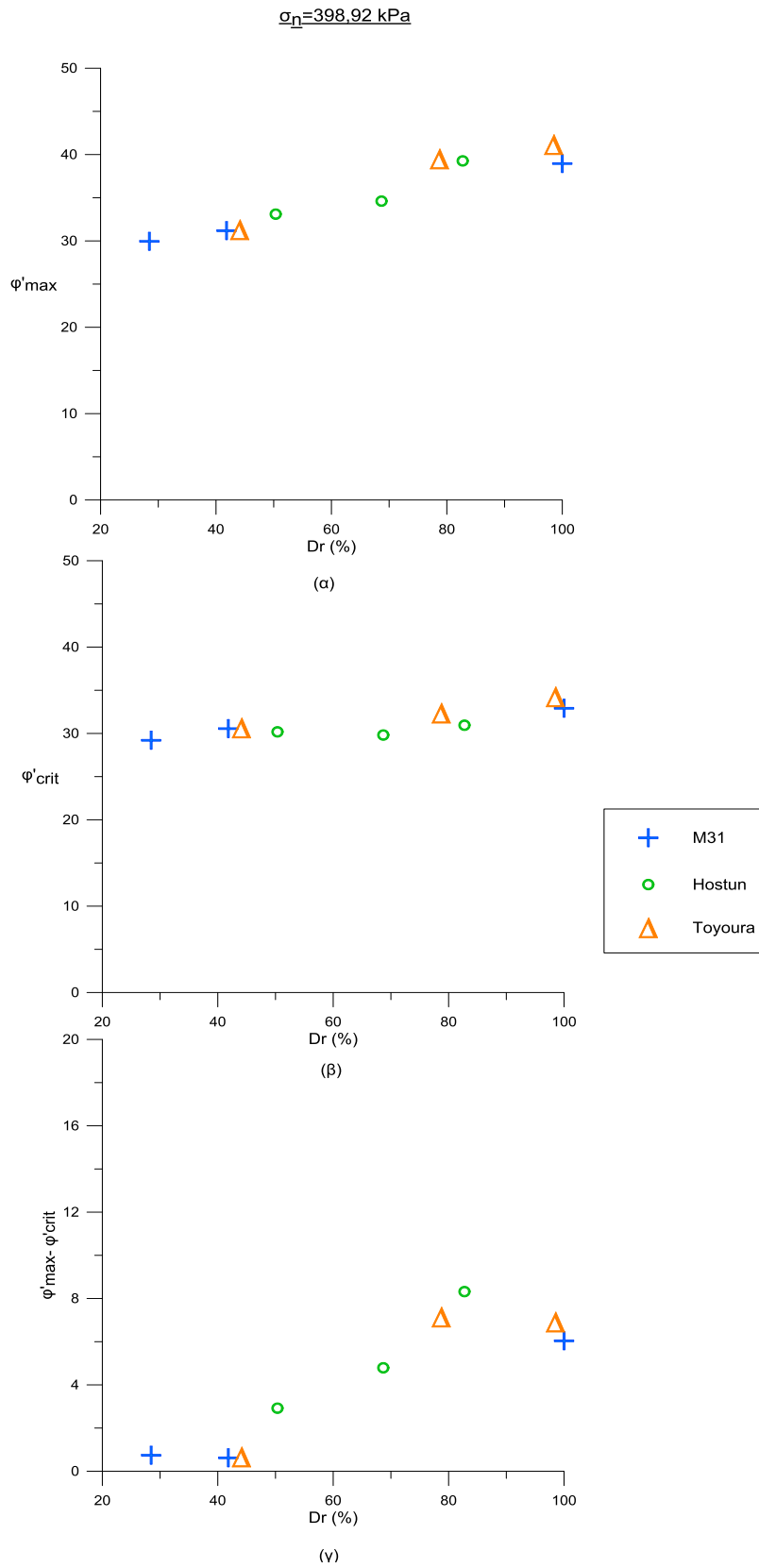
Σχήμα 6.11 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, ϕ'_{max} β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, ϕ'_{crit} και γ) της γωνίας διασταλτικότητας, $\phi'_{max} - \phi'_{crit}$ με τη σχετική πυκνότητα, D_r για τις καθαρές άμμους M31, Toyoura και Hostun για ορθή τάση $\sigma_h=50,13 \text{ kPa}$



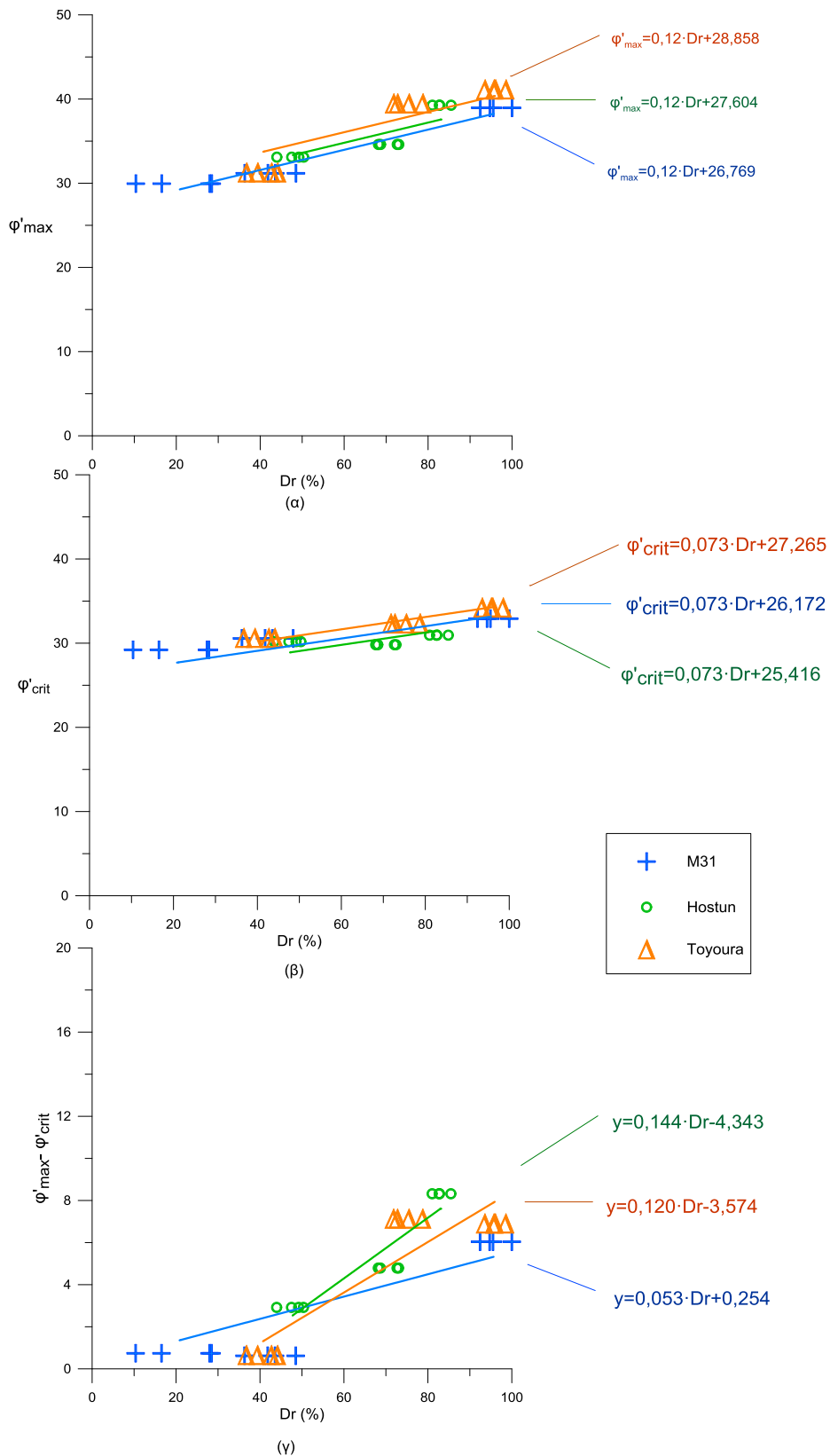
Σχήμα 6.12 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, ϕ'_{max} β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, ϕ'_{crit} και γ) της γωνίας διασταλτικότητας, $\phi'_{max} - \phi'_{crit}$ με τη σχετική πυκνότητα, D_r για τις καθαρές άμμους M31, Toyoura και Hostun για ορθή τάση $\sigma_h = 97,36 \text{ kPa}$



Σχήμα 6.13 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, ϕ'_{max} β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, ϕ'_{crit} και γ) της γωνίας διασταλτικότητας, $\phi'_{max} - \phi'_{crit}$ με τη σχετική πυκνότητα, D_r για τις καθαρές άμμους M31, Toyoura και Hostun για ορθή τάση $\sigma_n = 197,43 \text{ kPa}$



Σχήμα 6.14 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, ϕ'_{max} β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, ϕ'_{crit} και γ) της γωνίας διασταλτικότητας, $\phi'_{max} - \phi'_{crit}$ με τη σχετική πυκνότητα, D_r για τις καθαρές άμμους M31, Toyoura και Hostun για ορθή τάση $\sigma_v = 398,92 \text{ kPa}$



Σχήμα 6.15 Μεταβολή α) της μέγιστης γωνίας τριβής, ϕ'_{max} β) της κρίσιμης γωνίας τριβής, ϕ'_{crit} και γ) της γωνίας διασταλτικότητας, $\phi'_{max} - \phi'_{crit}$ με τη σχετική πυκνότητα, Dr για τις καθαρές άμμους M31, Toyoura και Hostun για τέσσερα επίπεδα τάσεων στερεοποίησης

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Coulomb, C.A. (1776), *Essai sur une application des regles des maximis et minimis e quelques problemes de statique relatifs a l' architecture. Mem. acad. roy .pres. divers savants. Vol. 7* , Paris.
- [2] Head, K.H, (2006), *Manual of Soil Laboratory Testing Volume 1: Soil Classification and Compaction Tests* (3rd edition).
- [3] Head, K.H, (1994), *Manual of Soil Laboratory Testing Volume 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests* (2rd edition).
- [4] ASTM D3080-98, (1998), *Standard Test Method for Direct Shear of Soils Under Consolidated Drained Conditions*, ASTM international, West Conshochocken, PA.
- [5] ASTM D4254, (2000), *Standard Test Method for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density*, ASTM International, West Conshochocken, PA.
- [6] ASTM Standard D698, (2007), *Standard Test Methods for Laboratory Characteristics of Soils Using Standard Effort*, ASTM International, West Conshochocken, PA.
- [7] STP479, (1970), *Special Procedures for Testing Soil and Rock for Engineering Purposes: Fifth Edition*, ASTM Committee D-18.
- [8] BS 1377-4, (1990), *Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes. Compaction-related Tests*, British Standards Institution.
- [9] BS 1377-2, (1990), *Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes. Classification Tests*, British Standards Institution.
- [10] BS1377-7, (1990), *Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes. Shear Strength Tests (total stress)*, British Standards Institution.
- [11] Ladd, R., (1978), *Preparing Test Specimens Using Undercompaction*, *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 1, No. 1, pp.16-23.
- [12] BOLTON, M.D., (1986), *Geotechnique* 36, No. 1. 65-78.
- [13] Καββαδάς, Μ., (2009), *Στοιχεία Εδαφομηχανικής*, Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα.
- [14] Τίκα, Θ., (2006), *Σημειώσεις Εδαφομηχανικής*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [15] Βράννα, Α. Δ., (2016), *Εργαστηριακή μελέτη της Μονοτονικής και Ανακυκλικής Συμπεριφοράς Βελτιωμένων Ρευστοποιήσιμων Εδαφών*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

- [16] O. Gay, L. Boutonnier, E. Flavigny and P. Foray, (2003), Deformation Characteristics of Geomaterials, Di Benedetto, Lisse.

Παράρτημα Α

Δίνεται σε CD το υλικό των καταγραφών από το μηχάνημα MPX3000 και οι αναλύσεις των δοκιμών.