



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΠΑΤΣΙΚΟΥΡΑΚΗΣ

Προπτυχιακός φοιτητής Γεωλογίας Α.Π.Θ.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΣΤΟ ΓΕΝΙ ΤΖΑΜΙ
ΤΗΣ ΕΔΕΣΣΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2017



ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΠΑΤΣΙΚΟΥΡΑΚΗΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΣΤΟ ΓΕΝΙ ΤΖΑΜΙ
ΤΗΣ ΕΔΕΣΣΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας – Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Καθηγητής: Δρ. Θωμάς Μακεδών Ε.ΔΙ.Π



© Δημήτριος Παπατσικουράκης, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος, All right reserved.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΣΤΟ ΓΕΝΙ ΤΖΑΜΙ ΤΗΣ ΕΔΕΣΣΑΣ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Δρ. Θωμά Μακεδών μέλος Ε.ΔΙ.Π για την επίβλεψη και την ουσιαστική βοήθεια του και τους κυρίους Βασίλειο Μαρίνο και Βασίλειο Χρηστάρα για την δυνατότητα να εκπονήσω τις εργαστηριακές μου δοκιμές στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου της Θεσσαλονίκης.

Στη συνέχεια, ευχαριστώ θερμά τον φίλο, διδάκτορα και επιστημονικό συνεργάτη του πανεπιστημίου κ. Νικόλαο Χατζηγώγο για την άψογη συνεργασία που είχαμε την αδιάκοπη επιστημονική υποστήριξη του και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της. Η συμβολή και καθοδήγηση του ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση αυτής της ερευνητικής προσπάθειας.

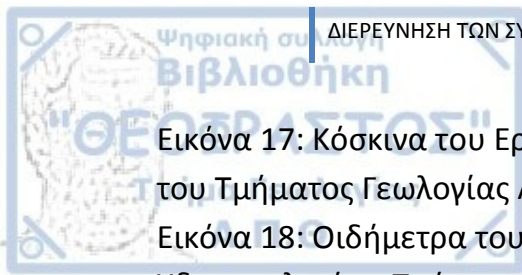
Τέλος θα ήθελα να εκφράσω την βαθιά μου ευγνωμοσύνη στους γονείς και την οικογένεια μου για την συνεχή ηθική και υλική στήριξη τους και τις θυσίες που κατέβαλλαν όλα αυτά τα χρόνια για να τα καταφέρω, γι' αυτό τους αφιερώνω την παρούσα εργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	IX
ABSTRACT	X
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	1
1.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	5
2.1 ΘΕΣΗ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	5
2.2 ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ	5
2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	10
3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	10
3.1.1 Λιθοστρωματογραφική Εξέλιξη	12
3.1.2 Η μετα – αλπική ηφαιστειότητα της Αλμωπίας	14
3.1.3 Ο σχηματισμός των τραβερτινών της Αλμωπίας	15
3.1.4 Γεωλογία της πόλης της Έδεσσας	15
3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	17
3.3 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	24
4.1 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ – ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ	24
4.2 ΤΙΜΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	27
4.3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ	32
6.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΦΥΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	32
6.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ	35
6.3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	42
7.1 ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ.....	42
7.2 ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΣΕ ΚΟΡΕΣΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	45
7.2.1 Διαδικασία δοκιμής.....	46
7.3 ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΣΕ ΑΚΟΡΕΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	49
7.3.1 Διαδικασία Δοκιμής.....	49
7.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΦΥΛΛΩΝ EXCEL ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	50
7.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ	53
7.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΚΟΡΕΣΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΑΚΟΡΕΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	75
7.6.1 Θεωρητικό πλαίσιο της χαρακτηριστικής καμπύλης μύζησης.....	79
7.6.2 Υπολογισμός της γωνίας ϕ^b	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	84
8.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΓΕΩΤΕΧ-ΝΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ.....	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΔΑΦΟΤΕΧΝΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ	86
9.1 ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ	86
9.2 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΤΑΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΘΡΑΥΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	86
9.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ – ΔΕΙΚΤΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	95
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	97

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Δορυφορική άποψη του υπό μελέτη μνημείο με σημείωση της θέσης της δειγματοληπτικής γεώτρησης (Google Earth, 2016).....	6
Εικόνα 2: Τοπογραφικό διάγραμμα περιοχής έρευνας με επισήμανση της θέσης δειγματοληπτικής γεώτρησης (απόσπασμα χάρτη Εφορείας Αρχαιοτήτων Πέλλας).	6
Εικόνα 3: Γεωτρητικές Εργασίες στον προαύλιο χώρο του μνημείου.	8
Εικόνα 4: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 0,00-5,00m.....	8
Εικόνα 5: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 5,00-10,00m.....	9
Εικόνα 6: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 10,00-15,00m.....	9
Εικόνα 7: Γεωτεκτονικές ζώνες Ελλάδας (Μουντράκης Δ. Μ., 2010). Με σταυρό συμβολίζεται η θέση της πόλης της Έδεσσας.	10
Εικόνα 8: Σχηματικός χάρτης με τις ενότητες της υποζώνης Αλμωπίας. 1: Ενότητες Αλμωπίας, 2: Πελαγονική Ζώνη, 3: υποζώνη Πάικου, 4: Τεταρτογενή, 5: μεταλπητικοί ηφαιστειακοί σχηματισμοί, f: ρήγματα, φ: ανώμαλες επαφές (Mercier, 1966). Με σταυρό συμβολίζεται η θέση της πόλης της Έδεσσας....	12
Εικόνα 9: Συνοπτική λιθοστρωματογραφική στήλη της υποζώνης Αλμωπίας. 1: ψαμμίτες, 2: αργιλικοί σχιστόλιθοι, 3: κροκαλοπαγή και άλλα κλαστικά ιζήματα, 4: φακοί ασβεστολίθων, 5: ασβεστόλιθοι, 6: κερατόλιθοι, 7: ηφαιστειακά υλικά, 8: τόφφοι και ηφαιστειοκλαστικά, 9: οφειόλιθοι, 10: οφειολιθικά μίγματα, 11: μάρμαρα και κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, 12: δολομίτες, 13: σχιστόλιθοι, 14: αμφιβολίτες, 15: γνεύσιοι. (Μουντράκης Δ. Μ., 2010)	13
Εικόνα 10: Η Πλειο-Πλειστοκαινική διάσπαρτη ηφαιστειότητα του Βόρειο-Ελλαδικού χώρου. ΗΚΑ-ΣΗ:ΥΚ ασβεσταλκαλικοί ηφαιστίτες - σοσονίτες (Βουγιουκαλάκης, 2002).....	14
Εικόνα 11: Γεωλογικός χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε. (φύλλο Έδεσσα κλ. 1:50.000).....	16
Εικόνα 12: Ενδεικτική εικόνα των εδαφικών στρωμάτων αμμώδους σύστασης στην περιοχή έρευνας.....	17
Εικόνα 13: Φάσμα Σχεδιασμού: $\Phi d(T)A * \gamma_1$ [Σχεδίαση για $\eta * \theta * \beta_0 q = 2,5/2$]	20
Εικόνα 14: Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003). Με σταυρό συμβολίζεται η περιοχή της πόλης της Έδεσσας.....	22
Εικόνα 15: Σεισμοτεκτονικός χάρτης περιοχής μελέτης. (ΙΓΜΕ, κ: 1:500.000). Με σταυρό συμβολίζεται η περιοχή της πόλης της Έδεσσας	23
Εικόνα 16: Παράρτημα γεώτρησης Γ-1 με επί τόπου και εργαστηριακές δοκιμές (φυσική υγρασία) (Χατζηγώγος, 2016)	26



Εικόνα 17: Κόσκινα του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ.....	38
Εικόνα 18: Οιδήμετρα του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ.	41
Εικόνα 19: Διάταξη συσκευής άμεσης διάτμησης κλειστού τύπου με δυνατότητα ελέγχου των πιέσεων των πόρων (τροποποιημένη από GDS Specification Datasheet, 2009 ως προς τα χρώματα και το υπόμνημα). (Βλάχος, 2015).....	42
Εικόνα 20: (α) Ηλεκτρονικός ελεγκτής υψηλής ακρίβειας νερού "Standard Pressure/Volume Controller (STDDPC) v2", (β) Πνευματικός ελεγκτής υψηλής ακρίβειας αέρα " Pneumatic Pressure Controller (GDSPPC)". (Βλάχος, 2015).....	43
Εικόνα 21: Συνολική πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε και αποτελείται από: (α) Συσκευή διάτμησης, (β) Ελεγκτή πιέσεων νερού, (γ) Ελεγκτή πιέσεων αέρα, (δ) Κονσόλα δεδομένων οχτώ (8) καναλιών, (ε) Γεννήτρια συμπίεσης αέρα και (στ) Ηλεκτρονικό υπολογιστή. (Βλάχος, 2015)	44
Εικόνα 22: Ηλεκτρονικός μετατροπέας υψηλής ακρίβειας (transducer) για τον έλεγχο των μετρήσεων μέσα στο θάλαμο. (Βλάχος, 2015)	45
Εικόνα 23: Τελική μορφή φύλλου παρουσίασης αποτελεσμάτων δοκιμής άμεσης διάτμησης. (α) Διάγραμμα διατμητικής – κάθετης τάσης (kPa) και χρήσιμα στοιχεία δοκιμής, (β) παρουσίαση παραγόμενων συγκεντρωτικών διαγραμμάτων δοκιμής, αξονικής παραμόρφωσης (%) - χρόνου (sec), αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης και διατμητικής τάσης – αξονικής παραμόρφωσης.	52
Εικόνα 24: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 22,5 kPa.....	53
Εικόνα 25: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 22,5 kPa.	54
Εικόνα 26: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 50 kPa.....	54
Εικόνα 27: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 50 kPa.	55
Εικόνα 28: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 100 kPa.....	55
Εικόνα 29: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 100 kPa.	56
Εικόνα 30: Διάγραμμα διατμητικής (kPa) – κάθετης τάσης (kPa). Αρχικά λαμβάνονται οι μέγιστες τιμές (peak) των διατμητικών τάσεων και	

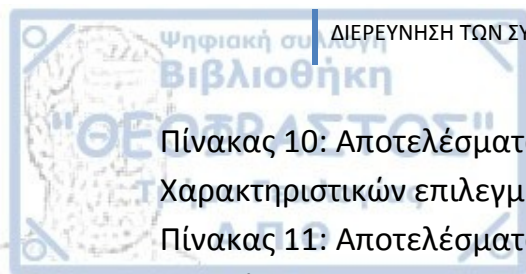
τοποθετούνται ως σημεία στο παραπάνω διάγραμμα. Από το διάγραμμα αυτό τελικώς εξάγονται οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών c' και ϕ' σύμφωνα με την μαθηματική σχέση του Coulomb $\tau=c+\sigma_n \tan \phi$. Στην προκειμένη περίπτωση $c=23,448$ και $\phi = \tan^{-1} 10,9603 = 43,84^\circ$	57
Εικόνα 31: Συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τα δείγματα της γεώτρησης Γ1 (2,45-3,00).	58
Εικόνα 32: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (3,00-3,90) στα 50 kPa.....	59
Εικόνα 33: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (3,00-3,90) στα 50 kPa.	59
Εικόνα 34: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (3,00-3,90) στα 100 kPa.....	60
Εικόνα 35: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (3,00-3,90) στα 100 kPa.	60
Εικόνα 36: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (3,00-3,90) στα 150 kPa.....	61
Εικόνα 37: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (3,00-3,90) στα 150 kPa.	61
Εικόνα 38: Συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τα δείγματα της γεώτρησης Γ1 (3,00-3,90).	62
Εικόνα 39: Διάγραμμα διατμητικής (kPa) – κάθετης τάσης (kPa). Αρχικά λαμβάνονται οι μέγιστες τιμές (peak) των διατμητικών τάσεων και τοποθετούνται ως σημεία στο παραπάνω διάγραμμα. Από το διάγραμμα αυτό τελικώς εξάγονται οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών c' και ϕ' σύμφωνα με την μαθηματική σχέση του Coulomb $\tau=c+\sigma_n \tan \phi$. Στην προκειμένη περίπτωση $c=16,667$ και $\phi = \tan^{-1} 10,56 = 29,25^\circ$	63
Εικόνα 40: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (5,00-6,00) στα 100 kPa.....	64
Εικόνα 41: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (5,00-6,00) στα 100 kPa.	65
Εικόνα 42: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (5,00-6,00) στα 150 kPa.....	65
Εικόνα 43: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (5,00-6,00) στα 150 kPa.	66
Εικόνα 44: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (5,00-6,00) στα 200 kPa.....	66
Εικόνα 45: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (5,00-6,00) στα 200 kPa.	67

Εικόνα 46: Διάγραμμα διατμητικής (kPa) – κάθετης τάσης (kPa). Αρχικά λαμβάνονται οι μέγιστες τιμές (peak) των διατμητικών τάσεων και τοποθετούνται ως σημεία στο παραπάνω διάγραμμα. Από το διάγραμμα αυτό τελικώς εξάγονται οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών c' και ϕ' σύμφωνα με την μαθηματική σχέση του Coulomb $\tau=c+\sigma_n \tan \phi$. Στην προκειμένη περίπτωση $c=0$ και $\phi = \tan^{-1} 10,9717 = 44,18^\circ$	68
Εικόνα 47: Συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τα δείγματα της γεώτρησης Γ1 (5,00-6,00).	69
Εικόνα 48: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 22,5 kPa.....	70
Εικόνα 49: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 22,5 kPa.	70
Εικόνα 50: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 50 kPa.....	71
Εικόνα 51: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 50 kPa.	71
Εικόνα 52: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 100 kPa.....	72
Εικόνα 53: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 100 kPa.	72
Εικόνα 54: Συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τα δείγματα της γεώτρησης Γ1 (2,45-3,00).	73
Εικόνα 55: Διάγραμμα διατμητικής (kPa) – κάθετης τάσης (kPa). Αρχικά λαμβάνονται οι μέγιστες τιμές (peak) των διατμητικών τάσεων και τοποθετούνται ως σημεία στο παραπάνω διάγραμμα. Από το διάγραμμα αυτό τελικώς εξάγονται οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών c' και ϕ' σύμφωνα με την μαθηματική σχέση του Coulomb $\tau=c+\sigma_n \tan \phi$. Στην προκειμένη περίπτωση $c=0$ και $\phi = \tan^{-1} 10,9209 = 42,64^\circ$	74
Εικόνα 56 (α), (β), (γ): Διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης ανά βαθμίδα φόρτισης για τις διαφορετικές συνθήκες κορεσμού. Με σ_{h1} συμβολίζεται η αξονική φόρτιση σε συνθήκες φυσικής υγρασίας ενώ με σ_h σε συνθήκες κορεσμού.	76
Εικόνα 57: Συνδυαστικό διάγραμμα μηχανικών παραμέτρων αντοχής για τις περιπτώσεις κορεσμού και φυσικής υγρασίας στα δείγματα, με βάση το κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb.	77
Εικόνα 58 : (α) Μεταβολή της περιβάλλουσας αστοχίας κατά Mohr-Coulomb κατά τον άξονα $\tau-(\sigma_a-\sigma_w)$. (β) Ενδεικτική αύξηση της διατμητικής αντοχής στον άξονα $\tau-(\sigma_a-\sigma_w)$ εξαρτώμενη από την τιμή $(\sigma_a-\sigma_w) \cdot \tan \phi^b$	78

Εικόνα 59: Τυπικές Χαρακτηριστικές Καμπύλες Μύζησης Εδάφους (από Fredlund & Rahardjo, 1993, εικόνα από Χατζηγώγο, 2015).	79
Εικόνα 60: Καταστατικές επιφάνειες του δείκτη κενών και της περιεχόμενης υγρασίας ακόρεστου εδάφους (κατά Fredlund & Rahardjo, 1993, εικόνα από Χατζηγώγο, 2015).....	81
Εικόνα 61: Καταστατικές επιφάνειες μεταβολής όγκου σε συνθήκες φόρτισης και αποφόρτισης για ακόρεστο έδαφος σταθερής δομής (κατά Fredlund & Rahardjo, 1993, εικόνα από Χατζηγώγο, 2015).....	82
Εικόνα 62: Καταστατικές επιφάνειες μεταβολής όγκου σε συνθήκες φόρτισης και αποφόρτισης για ακόρεστο έδαφος μετά-σταθερής δομής (κατά Fredlund & Rahardjo, 1993, εικόνα από Χατζηγώγο, 2015).....	82
Εικόνα 63: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας στη θέση του Ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου (Χατζηγώγος, 2016).	88
Εικόνα 64: Παραμετρικός υπολογισμός επιτρεπόμενης τάσης εδάφους σε συνθήκες αποστράγγισης για στατικές συνθήκες και συνθήκες σεισμικής φόρτισης για πεδιλοδοκό με γεωμετρία $L/B=10$ (Χατζηγώγος, 2016).	89
Εικόνα 65: Παραμετρικός υπολογισμός επιτρεπόμενης τάσης εδάφους σε συνθήκες αποστράγγισης με σεισμική φόρτιση για κοιτόστρωση με γεωμετρία $L/B=2$ (Χατζηγώγος, 2016).	89
Εικόνα 66: Παραμετρικός υπολογισμός καθιζήσεων στις θέσεις μελέτης (Χατζηγώγος, 2016).....	90
Εικόνα 67: 3D υπολογισμός αναμενόμενης καθίζησης 10,4cm για τάση 130kPa (Χατζηγώγος, 2016).....	91

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Στοιχεία γεωτεχνικής έρευνας	7
Πίνακας 2: Συντελεστές σπουδαιότητας γ_1 (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000)	18
Πίνακας 3: Σεισμική επιτάχυνση εδάφους : $A=\alpha \cdot g$ (g : επιτάχυνση της βαρύτητας).....	19
Πίνακας 4: Τιμές ποσοστού απόσβεσης ζ	19
Πίνακας 5: Συντελεστής θεμελίωσης θ	20
Πίνακας 6: Τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων T_1 και T_2	20
Πίνακας 7: Συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής q	21
Πίνακας 8: Αποτελέσματα έρευνας επί τόπου δοκιμών N_{SPT}	27
Πίνακας 9: Αποτελέσματα μηχανικών χαρακτηριστικών υπεδάφους βάσει εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών (Χατζηγώγος, 2016)	28



Πίνακας 10: Αποτελέσματα Δοκιμών Προσδιορισμού Φυσικών Χαρακτηριστικών επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων.....	35
Πίνακας 11: Αποτελέσματα Δοκιμών Κατάταξης επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων	39
Πίνακας 12: Αποτελέσματα Δοκιμών Συμπιεστότητας επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων.	41
Πίνακας 13: Πλήθος και χαρακτηριστικά δειγμάτων που εφαρμόστηκε δοκιμή άμεσης διάτμησης σε κορεσμένες συνθήκες.....	45
Πίνακας 14: Πλήθος και χαρακτηριστικά δειγμάτων που εφαρμόστηκε δοκιμή άμεσης διάτμησης σε ακόρεστες συνθήκες.....	49
Πίνακας 15: Ποσοστό μεταβολής της διατμητικής αντοχής σε συνδυασμό με τη μεταβαλλόμενη τιμή της αξονικής φόρτισης.	75
Πίνακας 16: Πειραματικές θεωρητικές τιμές της γωνίας ϕ^b (Fredlund & Rahardjo, Soil mechanics for unsaturated soils., 1993).	83
Πίνακας 17: Παράδειγμα καταχώρησης δεδομένων κατά τη διαδικασία του κορεσμού για το δείγ-μα Γ1(2,45-3,00).....	97
Πίνακας 18: Παράδειγμα καταχώρησης δεδομένων κατά τη διαδικασία της στερεοποίησης για το δείγμα Γ1(2,45-3,00) και φόρτιση 22,5 kPa.	98
Πίνακας 19: Παράδειγμα καταχώρησης δεδομένων κατά τη διαδικασία της διάτμησης για το δείγ-μα Γ1 (2,45-3,00) και φόρτιση 22,5 kPa.....	99

Για τη διερεύνηση των συνθηκών θεμελίωσης ενός έργου σε εδαφικούς σχηματισμούς είναι σημαντικός ο προσδιορισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους θεμελίωσης και ειδικότερα ο προσδιορισμός της διατμητικής αντοχής και της συμπίεστότητας αυτού. Σε περιπτώσεις όπου παρατηρείται διακύμανση των μεταβολών υγρασίας του υπεδάφους ο προσδιορισμός της διατμητικής αντοχής διέπεται από τους κανόνες της μηχανικής συμπεριφοράς σε ακόρεστες συνθήκες. Για τον υπολογισμό της απαιτείται η διενέργεια δοκιμών διάτμησης (δοκιμή τριαξονικής θλίψης ή δοκιμή άμεσης διάτμησης) με έλεγχο του βαθμού κορεσμού.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία και στα πλαίσια διερεύνησης της μηχανικής συμπεριφοράς του υπεδάφους έδρασης του μνημείου Γενί Τζαμί Έδεσσας εκτελέστηκαν συμβατικές και ειδικές δοκιμές εδαφομηχανικής σε ακόρεστες συνθήκες. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών προέκυψε η μεταβολή της διατμητικής αντοχής σε σχέση με τη μεταβολή του βαθμού κορεσμού η οποία εξαρτάται από την Χαρακτηριστική Καμπύλη Μύζησης του Εδάφους και την χαρακτηριστική γωνία ϕ^b . Επιπρόσθετα δημιουργήθηκε ένα αρχείο μέσω του Microsoft Excel με σκοπό την αυτοματοποιημένη παραγωγή αποτελεσμάτων από την δοκιμή άμεσης διάτμησης και τα πρωτογενή δεδομένα που τη συνοδεύουν.

Τέλος και με βάση τα εργαστηριακά αποτελέσματα έγιναν εδαφοτεχνικοί έλεγχοι της επάρκειας της θεμελίωσης του εξεταζόμενου μνημείου με υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας του εδάφους και της αντίστοιχης τιμής της επιτρεπόμενης τάσης και υπολογισμός των παραγόμενων από αυτήν καθιζήσεων.



In order to investigate the foundation's conditions of a construction, it is important to determine the mechanical characteristics of the subsoil and specifically the determination of its shear strength and compressibility. In cases where fluctuations in the moisture content occur, the determination of shear strength is governed by the rules of behavior in unsaturated conditions. This requires, shear tests (triaxial compression test or direct shear test) performed with control of the degree of saturation.

In the present thesis and in the context of the investigation of the subsoil's mechanical behavior in the Geni Tzami of Edessa, conventional tests as well as soil mechanics tests in unsaturated conditions were carried out. The tests demonstrated a change in the shear strength in accordance with the degree of saturation which depends on the soil characteristic curve and the characteristic angle ϕ^b . Additionally a file was created through Microsoft Excel program for automated interpretation of the results from direct shear tests and the associated raw data.

Finally, based on the laboratory tests, trial tests were carried out on the foundation of the monument under consideration to estimate the bearing capacity of the soil and the corresponding value of allowable stress and respective settlement.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η παρούσα διπλωματική διατριβή εκπονήθηκε, στα πλαίσια της εκπλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών, στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κατά τρόπο σύμφωνο με τις σχετικές Δημόσιες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε106-85) και τις αντίστοιχες οδηγίες και προδιαγραφές της Α.S.T.M. (American Society for Testing and Materials).

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί στο εργαστήριο συσκευές εκτέλεσης δοκιμών αντοχής εδαφών σε ακόρεστες συνθήκες για τον προσδιορισμό της μηχανικής τους συμπεριφοράς σε σχέση με μεταβολές του βαθμού κορεσμού.

Η παρούσα διατριβή έχει ως αντικείμενο της την προσομοίωση των επί τόπου συνθηκών με δοκιμές άμεσης διάτμησης υπό κορεσμένες και ακόρεστες συνθήκες. Οι περισσότερες δοκιμές άμεσης διάτμησης εδαφών πραγματοποιούνται σε δείγματα είτε κορεσμένα είτε με περιεχόμενη υγρασία τροποποιημένη από τη φυσική, λόγω της διατάραξης κατά τη δειγματοληψία, τη μεταφορά τους στο εργαστήριο και σε αρκετές περιπτώσεις λόγω της παραμονής του δείγματος σε διαφορετικές συνθήκες μέχρι την εκτέλεση της δοκιμής. Τα αποτελέσματα των συγκεκριμένων δοκιμών δεν συμβαδίζουν με τις πραγματικές παραμέτρους του εδάφους με αποτέλεσμα ο ποσοτικός χαρακτηρισμός των διαφόρων υλικών που χρησιμοποιείται στο γεωτεχνικό σχεδιασμό ενός τεχνικού έργου να αποκλίνει από την πραγματικότητα.

Στα περισσότερα επιφανειακά έργα (π.χ. θεμελιώσεις, ανοιχτή οδοποιία) και στις περιπτώσεις τεχνικών έργων πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα τα εδάφη θεμελίωσης βρίσκονται σε ακόρεστες συνθήκες (ή μερικώς κορεσμένες). Σε αυτές τις περιπτώσεις οι διαφορές των παραμέτρων σχεδιασμού, ιδιαίτερα όταν βρισκόμαστε σε οριακές καταστάσεις ισορροπίας, χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή.

Η ανάγκη για τη διερεύνηση των παραμέτρων σχεδιασμού σε ακόρεστες συνθήκες οδήγησε στην εκπόνηση της παρούσας διατριβής μέσω της διάτμησης δειγμάτων υπό τον έλεγχο του ποσοστού μύζησης αυτών.

1.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Αντικείμενο της γεωτεχνικής έρευνας που διενεργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση και ο προσδιορισμός των εδαφικών συνθηκών που επικρατούν στη θέση θεμελίωσης του εν λόγω μνημείου (στρωματογραφία, υπόγεια νερά, φυσικά χαρακτηριστικά εδάφους, μηχανικά χαρακτηριστικά εδάφους κ.λπ.). Τα στοιχεία αυτά συνθέτονται και αξιολογούνται προκειμένου να εκτιμηθούν οι τιμές των εδαφικών εκείνων παραμέτρων που απαιτούνται στη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του υπεδάφους (χαρακτηριστικά αντοχής και συμπιεστότητας εδάφους, φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού θεμελίωσης - επιτρεπόμενη τάση, δείκτης εδάφους, κατάταξη από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας, κ.λπ.).

Στη συνέχεια, τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται σε υπολογιστικούς ελέγχους φέρουσας ικανότητας-καθιζήσεων, έτσι ώστε να διερευνηθεί η αναγκαιότητα η μη σχεδιασμού μέτρων ενίσχυσης-αποκατάστασης του μνημείου.

Επίσης εξίσου βασικό στόχο της πτυχιακής αποτελεί, η σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων δύο διαφορετικών εκτελέσεων της δοκιμής άμεσης διάτμησης για εδαφικά δείγματα ίδιου βάθους και σύστασης. Στη μία εκτέλεση πραγματοποιείται άμεση διάτμηση σε ακόρεστες συνθήκες ενώ στη δεύτερη σε κορεσμένες. Η σύγκριση των δύο αποτελεσμάτων δίνει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την αναγκαιότητα ή όχι της πραγμάτωσης κορεσμού στη διαδικασία εκτέλεσης δοκιμών άμεσης διάτμησης.

Επιπρόσθετα και δεδομένου ότι δεν υπήρχε διαθέσιμο στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας υπολογιστικό φύλλο επεξεργασίας των αποτελεσμάτων άμεσης διάτμησης, ως στόχο της παρούσας διατριβής αποτέλεσε η παραγωγή ενός αρχείου μέσω του Microsoft Excel με σκοπό την αυτοματοποιημένη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της δοκιμής άμεσης διάτμησης και των πρωτογενών δεδομένων που τη συνοδεύουν.

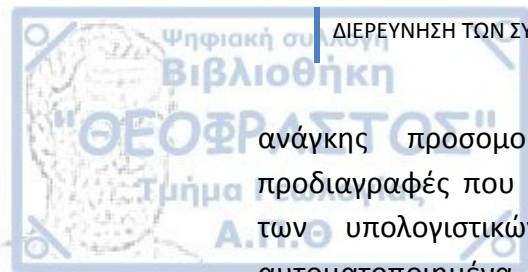
Στη διατριβή εφαρμόζεται η παραπάνω αξιολόγηση της διατμητικής αντοχής σε δείγματα από αμμώδη εδάφη του νομού Έδεσσας, και πιο συγκεκριμένα της περιοχής που βρίσκεται στο Γενί Τζαμί στην πόλη της Έδεσσας, σε ακόρεστες και κορεσμένες συνθήκες. Τα επιτόπου γεωτεχνικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται στα αποτελέσματα της γεωτεχνικής μελέτης που εκπονήθηκε από τον Δρ. Χατζηγώγο Νικόλαο την περίοδο του Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου 2016 στα πλαίσια της διερεύνησης των συνθηκών θεμελίωσης του μνημείου.

Όλες οι παραπάνω δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.,

το διάστημα 15/09/2016 με 10/02/2017 με βάση την προϋπάρχουσα τεχνογνωσία στην εκτέλεση δοκιμών άμεσης διάτμησης σε ακόρεστες συνθήκες.

Η διατριβή χωρίζεται θεματικά σε τρεις (3) κύριες ενότητες, οργανωμένες σε δέκα (10) κεφάλαια. Η πρώτη ενότητα αναφέρεται στην υφιστάμενη έρευνα σχετικά με τα στοιχεία του έργου σε θεωρητικό επίπεδο, η δεύτερη στα γεωτεχνικά στοιχεία του έργου όπως προκύπτουν από τα αποτελέσματα των συμβατικών δοκιμών εδαφομηχανικής ενώ η τρίτη ενότητα παρουσιάζει τα αποτελέσματα της εργαστηριακής προσομοίωσης διάτμησης εδαφικών δειγμάτων σε κορεσμένες και ακόρεστες συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα:

- Στο 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα στοιχεία του έργου. Αναφέρονται η θέση του έργου με μια λεπτομερή περιγραφή αυτού και το γεωερευνητικό πρόγραμμα που ακολουθήθηκε, ενώ στη συνέχεια αναλύεται η τεχνική περιγραφή των εργασιών της γεωτεχνικής έρευνας.
- Στο 3^ο κεφάλαιο παρατίθενται τα γεωλογικά στοιχεία της περιοχής. Αρχικά παρουσιάζονται τα γενικά γεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής με εκτενείς αναφορές στη γεωτεκτονική ζώνη, την λιθοστρωματογραφική εξέλιξη, την μετα-αλπική ηφαιστειότητα της περιοχής και τον χαρακτηριστικό σχηματισμό των τραβερτινών στην περιοχή. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα γεωλογικά στοιχεία της στενής περιοχής έρευνας καθώς επίσης και τα σεισμολογικά της στοιχεία.
- Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γεωτεχνικά στοιχεία του μνημείου. Αρχικά αναλύεται η στρωματογραφία του υπεδάφους και τα υπόγεια νερά παραθέτοντας και την αντίστοιχη εδαφική τομή. Στη συνέχεια αναφέρονται οι τιμές των εδαφικών παραμέτρων οι οποίες προκύπτουν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών ενώ τέλος παρατίθενται μια απλοποιημένη εδαφική τομή σχεδιασμού, το γεωτεχνικό προσομοίωμα.
- Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται η εκτενής παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε σύμφωνα με τους στόχους και τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.
- Στο 6^ο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά το πρόγραμμα σχεδιασμού των εργαστηριακών δοκιμών που ακολουθήθηκε. Στον κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται εκτενώς οι συμβατικές δοκιμές εδαφομηχανικής που εφαρμόστηκαν, με αναφορά στο θεωρητικό πλαίσιο κάθε δοκιμής καθώς επίσης και στα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτές.
- Στο 7^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η δοκιμή της άμεσης διάτμησης. Αρχικά γίνεται η παρουσίαση της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των δοκιμών με το θεωρητικό μέρος της



ανάγκης προσομοίωσης διάτμησης ακόρεστων εδαφών και τις προδιαγραφές που χρησιμοποιήθηκαν. Στη συνέχεια γίνεται η περιγραφή των υπολογιστικών φύλλων του αρχείου Microsoft Excel που αυτοματοποιημένα παράγει και παρουσιάζει τα αποτελεσμάτα από την δοκιμή άμεσης διάτμησης και τα πρωτογενή δεδομένα που τη συνοδεύουν. Έπειτα περιγράφονται αναλυτικά οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν κατά την εκπόνηση των δοκιμών τόσο σε κορεσμένες όσο και σε ακόρεστες συνθήκες, τα δείγματα στα οποία έγιναν οι δοκιμές και τα αποτελέσματα των δοκιμών. Στα αποτελέσματα περιλαμβάνονται πίνακες και διαγράμματα που προέκυψαν από τα δεδομένα των δοκιμών. Επιπρόσθετα γίνεται η σύγκριση της μηχανικής συμπεριφοράς στις διαφορετικές συνθήκες του βαθμού κορεσμού, καθώς σχολιάζονται και τα διάφορα συμπεράσματα - προβληματισμοί που προκύπτουν. Τέλος παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο της χαρακτηριστικής καμπύλης μύζησης με τον ορισμό, τη χρησιμότητά της στην εδαφομηχανική των ακόρεστων εδαφών και τις πληροφορίες που προκύπτουν από την καμπύλη μύζησης και τελικώς γίνεται ο υπολογισμός της γωνίας ϕ^b του εξεταζόμενου εδαφικού υλικού.

- Στο 8^ο κεφάλαιο γίνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από την παρούσα έρευνα και εντοπίζονται οι γεωτεχνικοί κίνδυνοι που προκύπτουν.
- Στο 9^ο κεφάλαιο παρατίθενται οι εδαφοτεχνικοί έλεγχοι επάρκειας της θεμελίωσης και καθιζήσεων του εξεταζόμενου μνημείου. Εκτιμάται η επιτρεπόμενη τάση έναντι θραύσης εδάφους, παρουσιάζονται το είδος και τα μέτρα βελτίωσης ενώ τέλος εκτιμώνται οι καθιζήσεις του εδάφους που θα προκύψουν.
- Τέλος στο 10^ο κεφάλαιο συνοψίζονται και αξιολογούνται συνολικά τα ξεχωριστά συμπεράσματα κάθε κεφαλαίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

2.1 ΘΕΣΗ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η θέση, στην οποία εκτελέσθηκε η γεωτεχνική έρευνα βρίσκεται στον προαύλιο χώρο μπροστά από την κεντρική είσοδο του μνημείου, στον τριγωνικό κόμβο κάθετα στην οδό Σταδίου, σε υψόμετρο 318m περίπου και επίπεδο σχετικά ανάγλυφο (**Εικόνα 1**). Το μνημείο εκτιμάται πως είναι θεμελιωμένο σε βάθος τουλάχιστον 1,8m ή και βαθύτερα, με βάση τα ευρήματα δοκιμαστικής τομής αντίστοιχου βάθους περιμετρικά αυτού. Το μνημείο δεν παρουσιάζει εμφανείς παραμορφώσεις ή ρωγμές και η μηχανική του συμπεριφορά του κτίσματος αλλά και του υπεδάφους θεμελίωσης κρίνεται ικανοποιητική στο χρόνο ύπαρξής του. Με βάση τα παραπάνω εκτελέσθηκε μία δειγματοληπτική γεώτρηση (Γ1), ώστε να διασαφηνιστούν οι συνθήκες θεμελίωσης του μνημείου και τα χαρακτηριστικά του υπεδάφους της ευρύτερης περιοχής επιρροής του. Η θέση εκτέλεσης της δειγματοληπτικής γεώτρησης φαίνεται στην (**Εικόνα 1**) και στην (**Εικόνα 2**).

2.2 ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Αντικείμενο της γεωτεχνικής έρευνας - μελέτης αποτέλεσε η διερεύνηση και ο προσδιορισμός των εδαφικών συνθηκών που επικρατούν στη θέση θεμελίωσης του εν λόγω μνημείου (στρωματογραφία, υπόγεια νερά, φυσικά χαρακτηριστικά εδάφους, μηχανικά χαρακτηριστικά εδάφους κ.λπ.). Τα στοιχεία αυτά συνθέτονται και αξιολογούνται προκειμένου αφενός μεν να εκτιμηθούν οι τιμές των εδαφικών εκείνων παραμέτρων που απαιτούνται στη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του υπεδάφους (χαρακτηριστικά αντοχής και συμπίεστότητας εδάφους, φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού θεμελίωσης - επιτρεπόμενη τάση, δείκτης εδάφους, κατάταξη από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας, κ.λπ.), αφετέρου δε να διατυπωθούν τεκμηριωμένες προτάσεις που αφορούν στο σχεδιασμό έργων συντήρησης και αποκατάστασης.

Στη συνέχεια, τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται σε υπολογιστικούς ελέγχους φέρουσας ικανότητας-καθιζήσεων, έτσι ώστε να διερευνηθεί η αναγκαιότητα ή μη σχεδιασμού μέτρων ενίσχυσης-αποκατάστασης του μνημείου.



Εικόνα 1: Δορυφορική άποψη του υπό μελέτη μνημείο με σημείωση της θέσης της δειγματοληπτικής γεώτρησης (Google Earth, 2016).



Εικόνα 2: Τοπογραφικό διάγραμμα περιοχής έρευνας με επισήμανση της θέσης δειγματοληπτικής γεώτρησης (απόσπασμα χάρτη Εφορείας Αρχαιοτήτων Πέλλας).

2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η έρευνα του υπεδάφους στη θέση του έργου πραγματοποιήθηκε με τη διεξαγωγή μίας δειγματοληπτικής γεώτρησης (θέση Γ-1, βάθους 15,00m), όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 1: Στοιχεία γεωτεχνικής έρευνας

Γεωτρήσεις	Υψόμετρο (m)	Βάθος έρευνας (m)	Στάθμη υπόγειου υδάτινου ορίζοντα (m)	x	ψ
Γ-1	317,9	15,00	- (-)	334991.997	4517936.947

Η γεώτρηση Γ-1 πραγματοποιήθηκε με συνεχή δειγματοληψία αντιπροσωπευτικών δειγμάτων εδάφους. Η τεχνική δειγματοληψίας που ακολουθήθηκε ήταν από μονό δειγματολήπτη λεπτού τοιχώματος SHELBY (καροταρία) καρβιδίων.

Τα δείγματα της γεώτρησης εξετάσθηκαν μακροσκοπικά και ορισμένα αντιπροσωπευτικά εξ' αυτών υποβλήθηκαν σε εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής, που εκτελέστηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κατά τρόπο σύμφωνο με τις σχετικές Δημόσιες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε106-85).

Όλες οι ερευνητικές εργασίες πεδίου διεξήχθησαν από εξειδικευμένο συνεργείο της εταιρίας ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΠΕ κατά τρόπο σύμφωνο με τις σχετικές Δημόσιες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε101-83, Ε106-86).



Εικόνα 3: Γεωτρητικές Εργασίες στον προαύλιο χώρο του μνημείου.



Εικόνα 4: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 0,00-5,00m.



Εικόνα 5: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 5,00-10,00m.

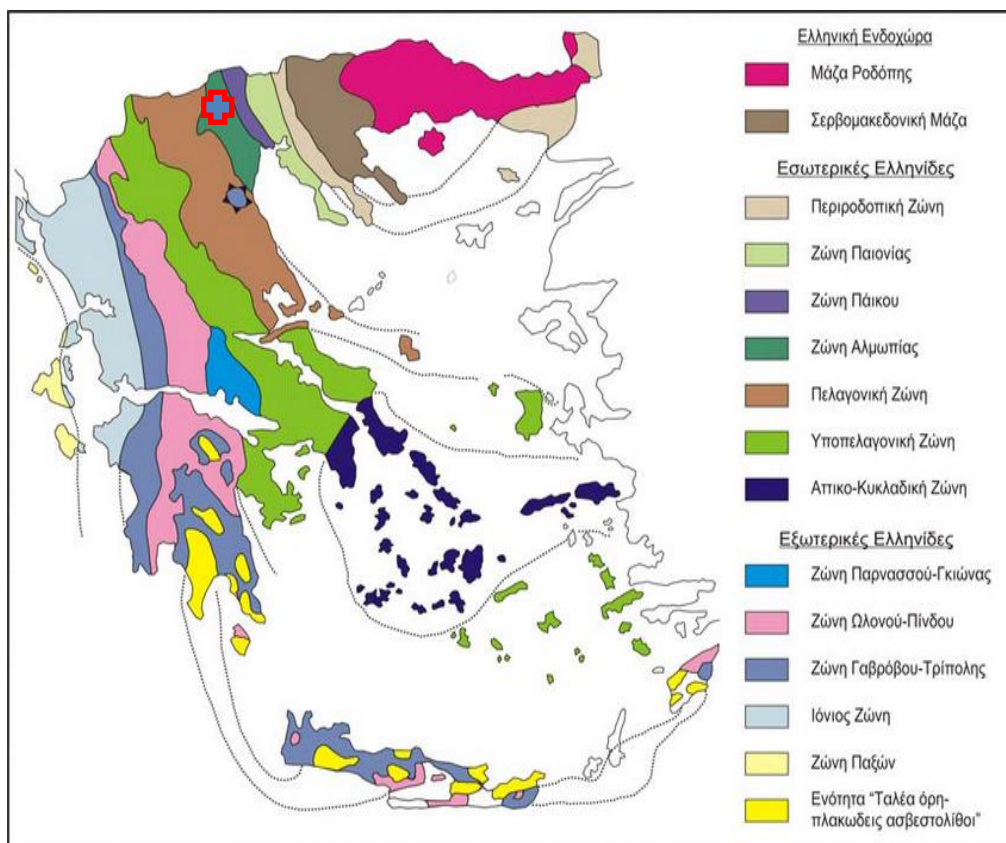


Εικόνα 6: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 10,00-15,00m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η ευρύτερη περιοχή της Έδεσσας ανήκει γεωτεκτονικά στη ζώνη Αξιού η οποία αποτελεί τμήμα των Εσωτερικών Ελληνικών ζωνών. Στα γενικά χαρακτηριστικά των Εσωτερικών Ελληνίδων αξίζει να επισημανθεί ότι δέχθηκαν τη δράση της πρώιμης ορογενετικής περιόδου Άνω Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού η οποία πτύχωσε και ανέδυσσε προσωρινά τις οροσειρές των ζωνών αυτών. Η ανάδυση και χέρσευση κράτησε μερικά εκατομμύρια χρόνια στο Κάτω Κρητιδικό και επακολούθησε η Μέσο- Άνω Κρητιδική επίκλυση της θάλασσας, η οποία κάλυψε ολόκληρο σχεδόν το χώρο των Εσωτερικών ζωνών και απόθεσε τα Μέσο- Άνω Κρητιδικά ιζήματα με ασυμφωνία πάνω στα προϋπάρχοντα πετρώματα. Η τελική ορογενετική δράση με πτύχωση και οριστική πλέον ανάδυση των Εσωτερικών ζωνών έλαβε χώρα μετά το τέλος Κρητιδικού στις αρχές του Τριτογενούς. (Μουντράκης Δ. Μ., 2010)



Εικόνα 7: Γεωτεκτονικές ζώνες Ελλάδας (Μουντράκης Δ. Μ., 2010). Με σταυρό συμβολίζεται η θέση της πόλης της Έδεσσας.

Η ζώνη Αξιού αποτελεί μια ζώνη ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης και πλάτους 30-70 Km, παρεμβαλλόμενη μεταξύ της Περιροδοπικής ζώνης προς τα Ανατολικά και της Πελαγονικής προς τα Δυτικά. Βασικό χαρακτηριστικό της ζώνης αυτής είναι η

παρουσία μεγάλων οφειολιθικών μαζών και η εξάπλωση τους σε όλο το χώρο της. Η παρουσία των οφειολίθων έχει μεγάλη σημασία και καθορίζει τη γεωτεκτονική θέση της ζώνης Αξιού σαν τον παλιό ωκεάνιο χώρο με ωκεάνιο φλοιό και ιζήματα βαθιάς θάλασσας στη διάρκεια του Μεσοζωικού (Μουντράκης Δ. Μ., 2010).

Η ζώνη αυτή διαιρείται αντίστοιχα σε επιμέρους τρεις υποζώνες από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά:

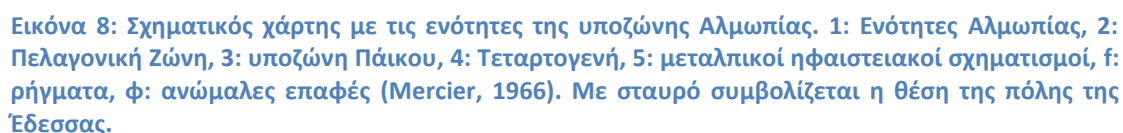
- Την Υποζώνη της Παιονίας
- Την Υποζώνη του Παίκου
- Την Υποζώνη της Αλμωπίας

Όσον αφορά την πόλη της Έδεσσας αυτή ανήκει στην Υποζώνη της Αλμωπίας δηλαδή στο δυτικό τμήμα της ζώνης Αξιού η οποία θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει το δυτικότερο (εξωτερικό) τμήμα της παλιάς ωκεάνιας περιοχής της Τηθύος. Η Αλμωπία δομείται κυρίως από οφειολίθους και τα συνοδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας, από τα Άνω Κρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα, καθώς και από μεταμορφωμένα πετρώματα προ-οφειολιθικά που αποτελούσαν πετρώματα του Πελαγονικού ηπειρωτικού περιθωρίου (Μουντράκης Δ. Μ., 2010).

Όλοι οι παραπάνω σχηματισμοί της ζώνης βρίσκονται υπό μορφή τεκτονικών λεπίων τα οποία από Ανατολικά προς Δυτικά εφίππευουν ή επωθούνται το ένα πάνω στο άλλο. Σαν αποτέλεσμα λοιπόν της λεπιοειδούς τεκτονικής, τα πετρώματα της Αλμωπίας εμφανίζονται σε συνεχείς επαναλήψεις και σχηματίζουν λέπια μικρής έκτασης καθώς και μεγαλέπια, χιλιομετρικής κλίμακας. Με βάση τα μεγαλέπια, η υποζώνη της Αλμωπίας διαιρείται σε ενότητες η κάθε μια από τις οποίες συνιστά ένα μεγάλο τεκτονικό λέπι. Οι ενότητες αυτές, που συνήθως έχουν ονόματα χωριών της περιοχής, είναι οι εξής (Μουντράκης Δ. Μ., 2010) **(Εικόνα 8)** :

- Ενότητες ανατολικές: Άνω Γαρέφη, Μαυρόλακου, Κρανίων
- Ενότητες μεσαίες: Λύκων, Μαργαρίτας, Κλισοχωρίου, Νέας Ζωής, Μεσημερίου.
- Ενότητες δυτικές: Κερασιάς, Κεδρώνα.
- Ενότητες βόρειες: Πέτερνικ, Λουτρών Πόζαρ.

Ο χώρος των δυτικών ενοτήτων θεωρήθηκε ότι αντιπροσωπεύει την κατωφέρεια του Πελαγονικού ηπειρωτικού τεμάχους προς την Αλμωπία και γι' αυτό το λόγο αναφέρεται συχνά με το όνομα «Προαλμωπία» (Μουντράκης Δ. Μ., 2010).



Οι σχηματισμοί της υποζώνης Αλμωπίας εμφανίζουν αρκετές διαφορές από περιοχή σε περιοχή, οι οποίες αντανakλούν σε πιθανές παλαιογεωγραφικές διαφορές των ενοτήτων. Γενικά οι βασικοί σχηματισμοί της ζώνης από τους βαθύτερους ορίζοντες προς τους ανώτερους μπορούν να συνοψισθούν στην παρακάτω λιθοστρωματογραφική στήλη (Μουντράκης Δ. Μ., 2010):

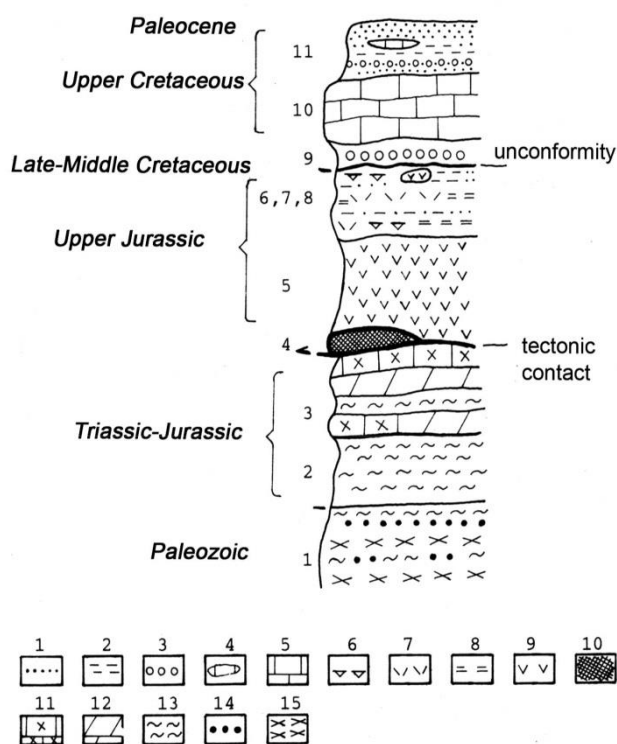
ασβεστολιθικών, χλωριτικών, σερίκτιτικών σχιστολίθων, φυλλιτών, μαρμάρων και σιπολινών.

- **ΑΙ 3.** Ακολουθεί ένας ορίζοντας μεταμορφωμένων ανθρακικών πετρωμάτων. Μαζί με τη σειρά ΑΙ 2 συνιστούν την ιζηματογένεση Τριαδικού- Ιουρασικού του ηπειρωτικού περιθωρίου χωρίς να είναι καθορισμένα τα όρια τους.
- **ΑΙ 4.** Με τεκτονική τοποθέτηση πάνω στον προηγούμενο ορίζοντα βρίσκεται ένας σχηματισμός «οφειολιθικών μίγμάτων» που αποτελεί τη βάση των επωθημένων οφειολιθικών μαζών. Πρόκειται για τεκτονικό σχηματισμό που σχηματίστηκε κατά την επώθηση των οφειολίθων πάνω στο ηπειρωτικό περιθώριο. Η ηλικία σχηματισμού του τεκτονικού αυτού μίγματος είναι το Άνω Ιουρασικό και εμφανίζεται σε πολλές από τις ενότητες της Αλμωπίας.
- **ΑΙ 5.** Ο σπουδαιότερος σχηματισμός της ζώνης Αλμωπίας είναι οι οφειόλιθοι που εμφανίζονται με μεγάλες μάζες σε όλες σχεδόν τις ενότητες.
- **ΑΙ 6,7,8.** Πάνω από τους οφειόλιθους βρίσκονται συμπτυχωμένες με αυτούς ορισμένες ιζηματογενείς (6), ηφαιστειοϊζηματογενείς (7) και κλαστικές σειρές (8).
- **ΑΙ 9.** Η ιζηματογένεση της Μέσο – Άνω Κρητιδικής επίκλυσης στην Αλμωπία

αρχίζει συνήθως με την απόθεση ενός κροκαλοπαγούς βάσης η ακριβής ηλικία του οποίου ποικίλλει στις διάφορες ενότητες στο Άπτιο – Άλβιο – Κενομάνιο – Τουρώνιο του Κρητιδικού.

- **ΑΙ 10.** Προς τα πάνω η επικλυσιογενής ιζηματογένεση συνεχίζεται με την απόθεση τυπικού ασβεστολιθικού ορίζοντα του Άνω Κρητιδικού. Είναι ασβεστόλιθοι τεφροί και μαύροι, μερικές φορές ψαμμιτοειδείς ή κροκαλοπαγείς.

- **ΑΙ 11.** Ο τελευταίος αλπικός σχηματισμός είναι ο φλύσχος ηλικίας Ανωτέρου Μαιστριχτίου (Ανώτερο Κρητιδικό) – Κάτω Παλαιόκαινο.

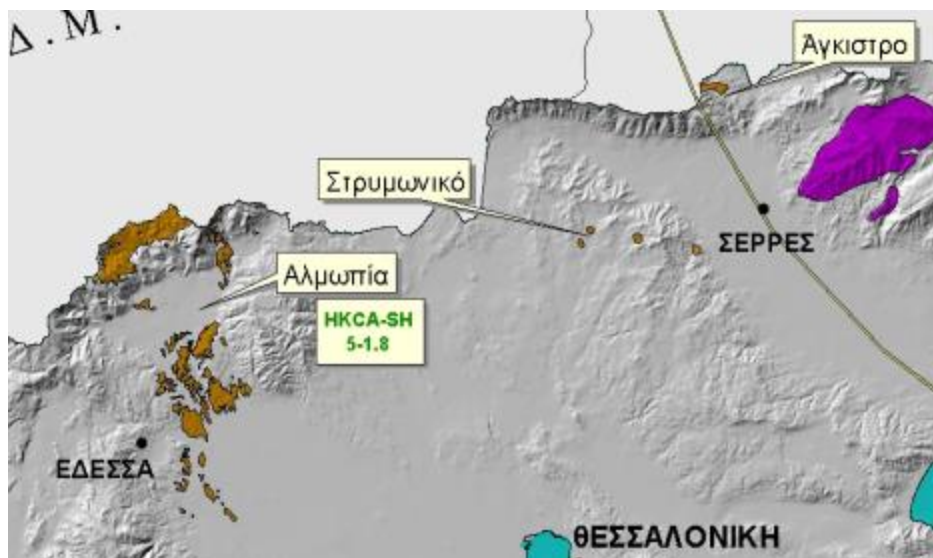


Εικόνα 9: Συνοπτική λιθοστρωματογραφική στήλη της υποζώνης Αλμωπίας. 1: ψαμμίτες, 2: αργιλικόι σχιστόλιθοι, 3: κροκαλοπαγή και άλλα κλαστικά ιζήματα, 4: φακοί ασβεστολίθων, 5: ασβεστόλιθοι, 6: κερατόλιθοι, 7: ηφαιστειακά υλικά, 8: τόφφοι και ηφαιστειοκλαστικά, 9: οφειόλιθοι, 10: οφειολιθικά μίγματα, 11: μάρμαρα και κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, 12: δολομίτες, 13: σχιστόλιθοι, 14: αμφιβολίτες, 15: γνεύσιοι. (Μουντράκης Δ. Μ., 2010)

3.1.2 Η μετα – αλπική ηφαιστειότητα της Αλμωπίας

Στο τέλος του Τριτογενούς – αρχές Τεταρτογενούς εκδηλώθηκε στο χώρο της Αλμωπίας, που ήταν ήδη διαμορφωμένος οριστικά από τις αλπικές πτυχώσεις, μια έντονη ηφαιστειότητα. Η ακριβής αιτιολογία γένεσης της ηφαιστειότητας δεν έχει ακόμη πλήρως διευκρινισθεί ωστόσο ως επικρατέστερος λόγος της δημιουργίας της είναι ότι κατά τη διάρκεια του Πλειοκαίνου – Τεταρτογενούς ενήργησαν ισχυρές εφελκυστικές τεκτονικές δυνάμεις στην περιοχή οι οποίες είχαν σαν αποτέλεσμα την δημιουργία νέων ρηγμάτων και την ενεργοποίηση παλαιότερων μέσω των οποίων αναδύθηκε μαγματικό υλικό από τα βαθύτερα τμήματα του φλοιού προς τα ανώτερα συμβάλλοντας στην δημιουργία ηφαιστειακών κέντρων.

Με την ηφαιστειότητα αυτή δημιουργήθηκε μια σειρά από μεγάλα ηφαιστειακά κέντρα στην περιοχή του όρους Βόρας, ενώ τα τοφφικά υλικά από τις εκρήξεις αυτών κάλυψαν μια πολύ μεγαλύτερη έκταση τόσο στο Βόρα όσο και στην Νότια Αλμωπία. Η ακριβής ηλικία των ηφαιστειακών εκρήξεων προσδιορίστηκε στο Άνω Πλειόκαινο – Κατώτερο Τεταρτογενές τόσο με παλυνολογικές έρευνες όσο και με ραδιοχρονολογήσεις (5-2 Ma) και παλαιομαγνητικές μελέτες (Μουντράκης Δ. Μ., 2010).



Εικόνα 10: Η Πλειο-Πλειστοκαινική διάσπαρτη ηφαιστειότητα του Βόρειο-Ελλαδικού χώρου. HKCA-SH:ΥΚ ασβεσταλκαλικοί ηφαιστίτες - σοσσόνιτες (Βουγιουκαλάκης, 2002).

Με βάση τον πετρολογικό τύπο και τη χημική σύσταση τα ηφαιστειακά πετρώματα της περιοχής διακρίνονται σε τρεις κύριες ομάδες (Σολδάτος, 1955):

- ❖ Την ομάδα των Ανδεσιτών – Δακιτών με εξάπλωση στο ανατολικό τμήμα του Βόρα.
- ❖ Την ομάδα Δελλενιτών – Λατιτών (ή Τραχειανδεσιτών) με εξάπλωση στο βορειοδυτικό Βόρα.

❖ Την ομάδα των τραχειτών στη νοτιοδυτική περιοχή του Βόρα.

Τέλος η ηφαιστειακή δραστηριότητα εκδηλώνεται σε τρεις διακριτές χρονικά και μαγματολογικά περιόδους: Η πρώτη περίοδος εκδηλώνεται μεταξύ 5,6 και 5 Ma περιορίζεται στον ανατολικό και κεντρικό τομέα του χώρου εμφάνισης των ηφαιστειακών κέντρων και τροφοδοτείται από υψηλά σε κάλιο ανδεσιτικά και δακιτικά μάγματα. Η δεύτερη περίοδος εκδηλώνεται μεταξύ 4,9 και 4,2 Ma και τροφοδοτείται από λατιτικής – τραχειτικής σύστασης μάγματα και η τρίτη και τελευταία, μεταξύ 4 και 1,8 Ma, περιορίζεται στο ΝΔ τμήμα του χώρου εμφάνισης των ηφαιστειακών κέντρων και τροφοδοτείται από τραχειτικά αρχικά (έως περίπου τα 3 Ma) και κατόπιν λατιτικά μάγματα (Βουγιουκαλάκης, 2002).

3.1.3 Ο σχηματισμός των τραβερτινών της Αλμωπίας

Οι αποθέσεις τραβερίνη αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους σχηματισμούς της ζώνης της Αλμωπίας οι οποίοι εμφανίζονται στα σπήλαια του σπηλαιοπάρκου αυτής αλλά και στην ευρύτερη περιοχή της Αριδαίας. Αυτή τους η σπουδαιότητα είναι αποτέλεσμα της ποσότητας αλλά και της ποιότητας τους. Γενικά οι αποθέσεις τραβερίνη στην Αλμωπία κατέχουν την πρώτη θέση σε σχέση με τους υπόλοιπους τραβερίνες του Ελλαδικού χώρου. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η καθαρότητα τους και η καλή κρυστάλλωση τους καθώς και η απουσία ξενολίθων (Eleftheriadis, 2006).

3.1.4 Γεωλογία της πόλης της Έδεσσας

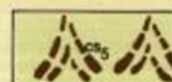
Σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, (Φύλλο Έδεσσα κλ: 1:50.000) το υπέδαφος στη θέση έρευνας αποτελείται επιφανειακά από Τεταρτογενείς εδαφικούς σχηματισμούς και πιο συγκεκριμένα από σύγχρονους κώνους χειμαρρωδών αποθέσεων, με υποκείμενους τους χαρακτηριστικούς ασβεστολιθικούς τραβερίνες που αποτελούν το βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής. Σε μεγαλύτερο βάθος αναμένεται να συναντηθούν σερπεντινίτες. Οι σύγχρονες επιφανειακές εδαφικές αποθέσεις συνίστανται κατά κύριο λόγο από υλικά ασβεστιτικής προέλευσης, προερχόμενα από την αποσάθρωση των ασβεστιτικών τραβερτινών που δεσπόζουν στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.



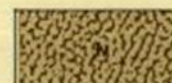
Εικόνα 11: Γεωλογικός χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε. (φύλλο Έδεσσα κλ. 1:50.000)

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

Σύγχρονοι και πρόσφατοι κώνοι χειμαρροδών αποθέσεων.



Λοβεστολιθικοί τραβερτίνες: αναβαθμίδες Έδεσσας και Φλαμουριάς, με σπόρους και γύρη τεταρτογενούς ηλικίας (όπου περιλαμβάνεται το κατώτερο Πλειστόκαινο).



ΜΑΓΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕΣΟΖΩΙΚΟΥ

Σερπεντινίτες: υπολείμματα ενός οφιολιθικού καλύμματος παλαιότερου από το ανώτερο Ιουραϊκό - κατώτερο Κρητιδικό.
Ο σχηματισμός (Js - Ci)5 περιέχει ογκόλιθους εξαλλοιωμένων σερπεντινιτών.



3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, το υπέδαφος στη θέση του Τζαμιού και μέχρι το βάθος διεξαγωγής της έρευνας, 15m, συνίσταται κυρίως από εναλλαγές εδαφικών στρωμάτων κυρίως αμμώδους σύστασης (**Εικόνα 12**) με κυμαινόμενο ποσοστό λεπτόκοκκων συστατικών και μικρό ποσοστό χαλικιών. Συναντώνται επίσης εξολοκλήρου αμμώδεις ορίζοντες χωρίς λεπτόκοκκα, σε εναλλαγή με λεπτόκοκκους σχηματισμούς αργιλοϊλυώδους σύστασης. Οι ορίζοντες αυτοί εκτιμάται πως αναπτύσσουν εποχιακή υδροφορία μικρής δυναμικότητας. Επιφανειακά συναντήθηκαν τεχνητές επιχώσεις πάχους περίπου 1m. Όλα τα εδαφικά στρώματα έχουν ασβεστιτική σύσταση και αποτελούν προϊόντα αποσάθρωσης των τραβερτινών της ευρύτερης περιοχής.



Εικόνα 12: Ενδεικτική εικόνα των εδαφικών στρωμάτων αμμώδους σύστασης στην περιοχή έρευνας

3.3 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σύμφωνα με την ισχύουσα τροποποίηση των διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003), η ευρύτερη περιοχή της Έδεσσας εντάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι (**Εικόνα 14**), με μέγιστη σεισμική επιτάχυνση $\alpha=0,16g$ (όπου g , επιτάχυνση της βαρύτητας) με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη, το δε υπέδαφος κατατάσσεται στην κατηγορία Β, έτσι όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Ο συντελεστής σεισμικής επιβάρυνσης ο οποίος είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό της κατασκευής, δίδεται σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 με τον τύπο:

$$R_d(T) = \gamma_1 A \eta \theta \beta_0 / q \quad (1)$$

Όπου:

γ_1 : ο συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου (παρ.2.3.4)

Πίνακας 2: Συντελεστές σπουδαιότητας γ_1 (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000)

Κατηγορία Σπουδαιότητας		γ_1
Σ1	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού , όπως αγροτικά οικήματα και αγροτικές αποθήκες, υπόστεγα, στάβλοι, βουστάσια, χοιροστάσια, ορνιθοτροφεία, κλπ.	0.85
Σ2	Συνήθη κτίρια , όπως κατοικίες και γραφεία, βιομηχανικά - βιοτεχνικά κτίρια, ξενοδοχεία (τα οποία δεν περιλαμβάνουν χώρους συνεδρίων), ξενώνες, οικότροφεία, χώροι εκθέσεων, χώροι εστίασεως και ψυχαγωγίας (ζαχαροπλαστεία, καφεενεία, μπόουλινγκ, μπιλιάρδου, ηλεκτρονικών παιχνιδιών, εστιατόρια, μπαρ, κλπ), τράπεζες, ιατρεία, αγορές, υπεραγορές, εμπορικά κέντρα, καταστήματα, φαρμακεία, κουρεία, κομμωτήρια, ινστιτούτα γυμναστικής, βιβλιοθήκες, εργοστάσια, συνεργεία συντήρησης και επισκευής αυτοκινήτων, βαφεία, ξυλουργεία, εργαστήρια ερευνών, παρασκευαστήρια τροφίμων, καθαριστήρια, κέντρα μηχανογράφησης, αποθήκες, κτίρια στάθμευσης αυτοκινήτων, πρατήρια υγρών καυσίμων, ανεμογεννήτριες, γραφεία δημοσίων υπηρεσιών και τοπικής αυτοδιοίκησης που δεν εμπίπτουν στην κατηγορία Σ4, κλπ	1.00
Σ3	Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας, καθώς και κτίρια δημόσιων συναθροίσεων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου , όπως αίθουσες αεροδρομίων, χώροι συνεδρίων, κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες, εκπαιδευτικά κτίρια, αίθουσες διδασκαλίας, φροντιστήρια, νηπιαγωγεία, χώροι συναυλιών, αίθουσες δικαστηρίων, ναοί, χώροι αθλητικών συγκεντρώσεων, θέατρα, κινηματογράφοι, κέντρα διασκέδασης, αίθουσες αναμονής επιβατών, ψυχιατρεία, ιδρύματα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ιδρύματα χρονίως πασχόντων, οίκοι ευγηρίας, βρεφοκομεία, βρεφικοί σταθμοί, παιδικοί σταθμοί, παιδότοποι, αναμορφωτήρια, φυλακές, εγκαταστάσεις καθαρισμού νερού και αποβλήτων, κλπ.	1.15

Σ4	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, κλινικές, αγροτικά ιατρεία, υγειονομικοί σταθμοί, κέντρα υγείας, διυλιστήρια, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, πυροσβεστικοί και αστυνομικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών από σεισμό. Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας, όπως μουσεία, αποθήκες μουσείων, κλπ.	1.30
----	---	------

$A = \alpha g$: μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους

Πίνακας 3: Σεισμική επιτάχυνση εδάφους : $A = \alpha * g$ (g: επιτάχυνση της βαρύτητας)

Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	I	II	III	IV
α	0.12	0.16	0.24	0.36

η : διορθωτικός συντελεστής για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης $\neq 5\%$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \zeta}} \geq 0.7 \quad (2)$$

Πίνακας 4: Τιμές ποσοστού απόσβεσης ζ

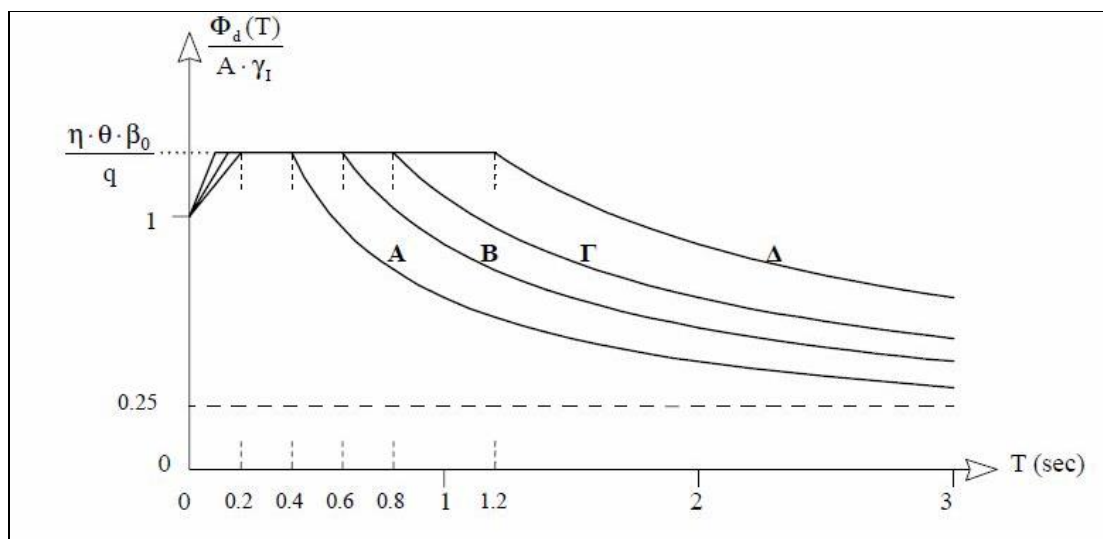
Είδος Κατασκευής	$\zeta\%$
Μεταλλική: με συγκολλήσεις	2
με κοχλιώσεις	4
Σκυρόδεμα: άοπλο	3
οπλισμένο	5
προεντεταμένο	4
Τοιχοποιία: οπλισμένη	6
διαζωματική	5
Ξύλινη: κολλητή	4
κοχλιωτή	4
ηλωτή	5

θ : συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης (παρ. 2.3.7)

Πίνακας 5: Συντελεστής θεμελίωσης θ

Προϋποθέσεις		
1α.	Το κτίριο διαθέτει ένα υπόγειο	0.90
1β.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι γενική κοιτόστρωση	
1γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που φέρουν δοκούς σύνδεσης στην κεφαλή	
2α.	Το κτίριο διαθέτει δύο τουλάχιστον υπόγεια	0.80
2β.	Το κτίριο διαθέτει ένα τουλάχιστον υπόγειο και η θεμελίωση είναι γενική κοιτόστρωση	
2γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που συνδέονται με ενιαίο κεφαλόδεσμο (όχι αναγκαστικά ενιαίου πάχους)	
Παρατήρηση: Υπόγειος θεωρείται ένας όροφος όταν έχει περιμετρικά τοιχώματα έτσι, ώστε οι συνδεόμενες πλάκες να είναι πρακτικά αμετάθετες.		

β_0 : συντελεστής φασματικής ενίσχυσης



Εικόνα 13: Φάσμα Σχεδιασμού: $\frac{\Phi_d(T)}{A \cdot \gamma_I}$ [Σχεδίαση για $\frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} = 2, 5/2$]

Πίνακας 6: Τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων T_1 και T_2

Κατηγορία εδάφους	A	B	Γ	Δ
T_1	0.10	0.15	0.20	0.20
T_2	0.40	0.60	0.80	1.20

q : συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής (παρ.2.3.5)

Πίνακας 7: Συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής q

ΥΛΙΚΟ	ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	q
1. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	α. Πλαίσια ή μικτά συστήματα	3.50
	β. Συστήματα τοιχωμάτων που λειτουργούν σαν πρόβολοι	3.00
	γ. Συστήματα στα οποία τουλάχιστον το 50% της συνολικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους.	2.00
2. ΧΑΛΥΒΑΣ	α. Πλαίσια	4.00
	β. Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα *	4.00
	γ. Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα:	
	□ διαγώνιοι σύνδεσμοι	3.00
	□ σύνδεσμοι τύπου V ή L	1.50
	□ σύνδεσμοι τύπου K (όπου επιτρέπεται*)	1.00
3. ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	α. Με οριζόντια διαζώματα	1.50
	β. Με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα	2.00
	γ. Οπλισμένη (κατακόρυφα και οριζόντια)	2.50
4. ΞΥΛΟ	α. Πρόβολοι	1.00
	β. Δοκοί – Τόξα – Κολλητά πετάσματα	1.50
	γ. Πλαίσια με κοχλιώσεις	2.00
	δ. Πετάσματα με ηλώσεις	3.00

Σύμφωνα με τα στοιχεία του έργου οι ανωτέρω συντελεστές έχουν τις εξής τιμές:

$\gamma_1 = 1.3$ (παρ.2.3.4 ΕΑΚ 2000) για κτίρια σπουδαιότητας Σ4.

$A = 0.16g$ καθώς η Έδεσσα συγκαταλέγεται σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II σύμφωνα με τον ΕΑΚ

$\eta = 1$ για $\zeta = 5$ (βλ. εξίσωση (2) και Πίνακας 4)

$\theta = 1.0$ (παρ 2.3.7, ΕΑΚ 2000)

$\beta_o = 2.5$

$q = 2.0$ (παρ 2.3.5, ΕΑΚ 2000)

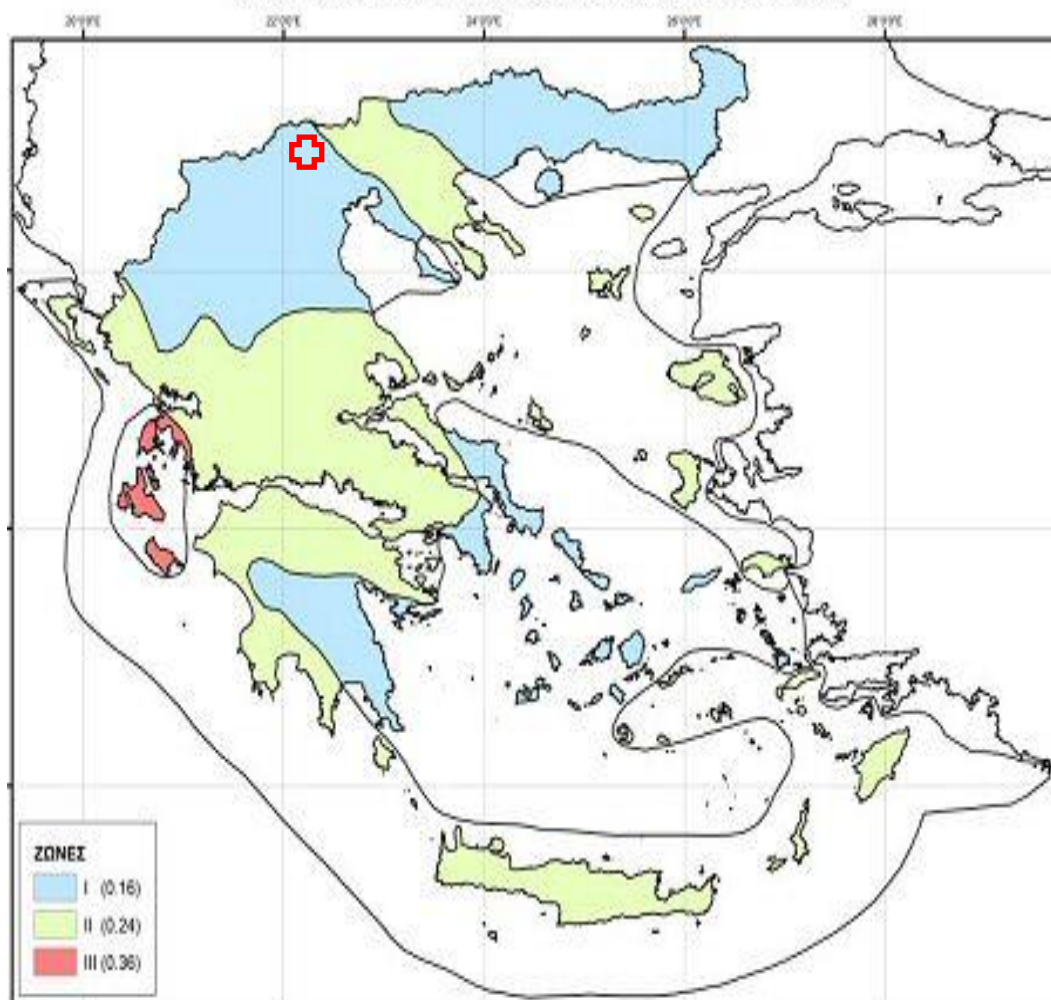
Σύμφωνα με την εξίσωση (1) ισχύει:

$$R_d(T) = 0.26$$

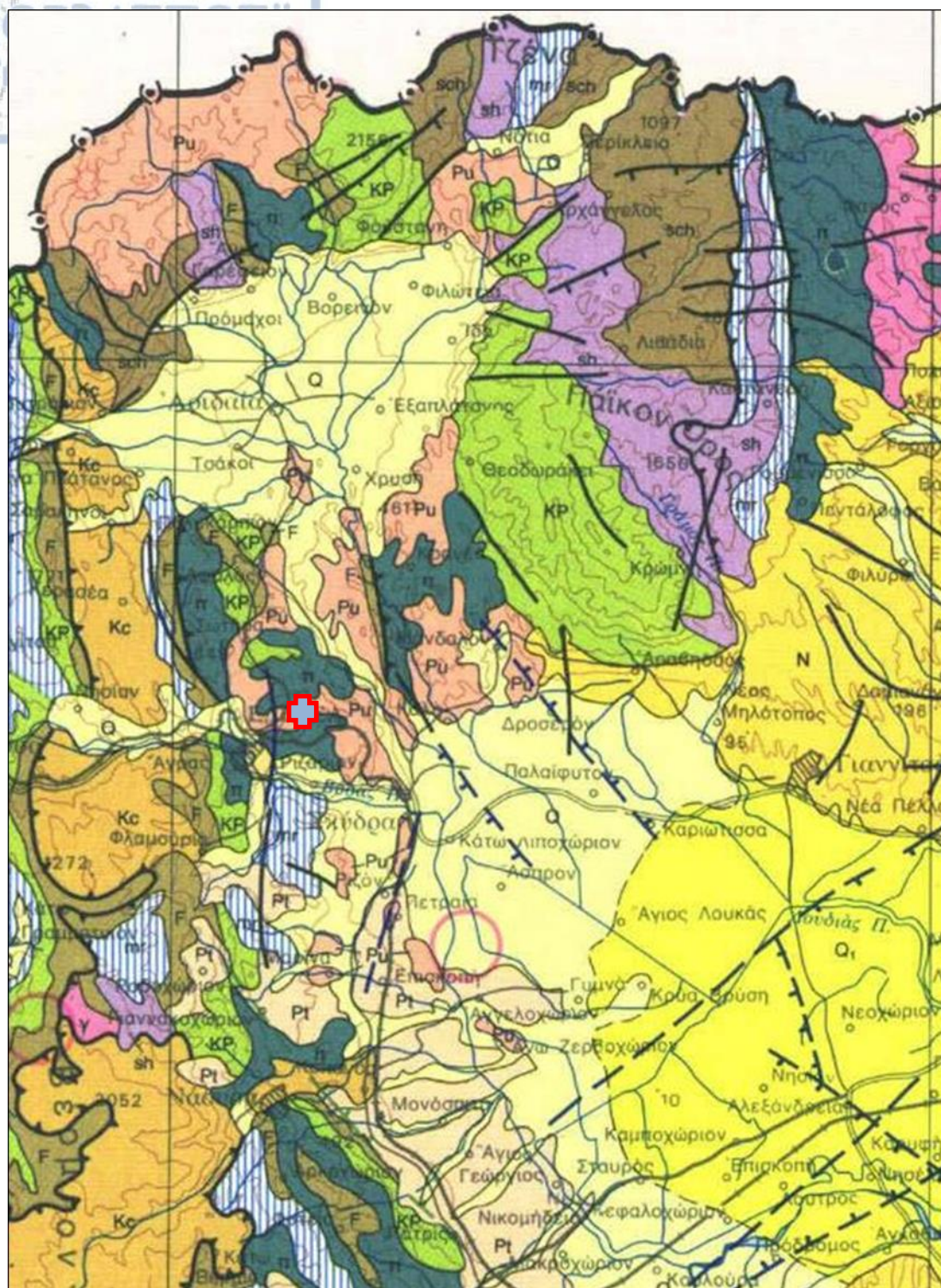
Οι υψηλές τιμές του συντελεστή σεισμικής επιβάρυνσης οφείλονται στη μέτρια συμπεριφορά της άοπλης λιθοδομής έναντι σεισμού. Σημειώνεται ότι σε περίπτωση όπου η ιδιοπερίοδος του κτιρίου δεν είναι μεταξύ των τιμών 0.2 sec και 0.8 sec η τιμή του $R_d(T)$, μειώνεται με βάση το τροποποιημένο ελαστικό φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με τους τύπους 2.1.α και 2.1.γ του ΕΑΚ 2000. Η ευστάθεια των φυσικών ή

- κατά την οριζόντια διεύθυνση προκύπτει: $a_h = 0,5 \cdot a \cdot \gamma_1 = 0,104$
- κατά την κατακόρυφο διεύθυνση προκύπτει: $a_v = 0,25 \cdot a \cdot \gamma_1 = 0,052$

ΝΕΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



22



Εικόνα 15: Σεισμοτεκτονικός χάρτης περιοχής μελέτης. (ΙΓΜΕ, κ: 1:500.000). Με σταυρό συμβολίζεται η περιοχή της πόλης της Έδεσσας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.1 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ – ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του τεύχους της γεωτεχνικής μελέτης (Χατζηγώγος, 2016), το υπέδαφος στη θέση του συγκεκριμένου οικοπέδου συνίσταται κυρίως από εναλλαγές στρωμάτων αμμώδους αργιλοϊλύος χαμηλής πλαστικότητας και ασβεστιτικής προέλευσης και στρωμάτων ιλυώδους άμμου. Η στρωματογραφία του υπεδάφους είναι οριζόντια και παρουσιάζεται στην εδαφική τομή που ακολουθεί (**Εικόνα 16**).

Πιο συγκεκριμένα, στη γεώτρηση Γ-1 (**Εικόνα 16**) βρέθηκαν τα εξής στρώματα:

Στρώμα "F1" : Επιφανειακά και μέχρι βάθος 1,1m περίπου, συναντήθηκαν τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από υπολείμματα δομικών υλικών, συγκρίματα και κεραμικά με συνδετικό υλικό ελαφρά υγρή σκουρόχρωμη ιλυώδη Άργιλο. (κατάταξη κατά USCS: GC).

Στρώμα "S1" : Από βάθος 1,1m μέχρι βάθος 1,7 εντοπίσθηκε ξηρή τεφροπράσινη αργιλώδης άμμος με συγκρίματα ασβεστιτικής προέλευσης. (κατάταξη κατά USCS: SC).

Στρώμα "S2" : Από βάθος 1,7m μέχρι βάθος 4,4m περίπου, συναντήθηκε ελαφρά υγρή, καστανοκίτρινη ιλυώδης άμμος με ποσοστό λεπτόκοκκων περίπου 15%, μέτρια πυκνή, προερχόμενη από υλικά αποσάθρωσης του υποβάθρου (Τραβερτίνης). (κατάταξη κατά USCS: SM).

Στρώμα "S3" : Από βάθος 4,4m μέχρι βάθος 5,8m, συναντήθηκε υγρή, καστανοκίτρινη άμμος με συγκρίματα, χωρίς λεπτόκοκκα συστατικά, ασβεστιτικής προέλευσης, μέτρια πυκνή, προερχόμενη από υλικά αποσάθρωσης του υποβάθρου. Πιθανός υδροφόρος ορίζοντας χαμηλής δυναμικότητας. (κατάταξη κατά USCS: SP).



Στρώμα "C1" : Από βάθος 5,8m μέχρι βάθος 6,7m, συναντήθηκε ελαφρά υγρή, καστανή ιλυώδης άργιλος με άμμο, μαλακή, χαμηλής πλαστικότητας. (κατάταξη κατά USCS: CL).

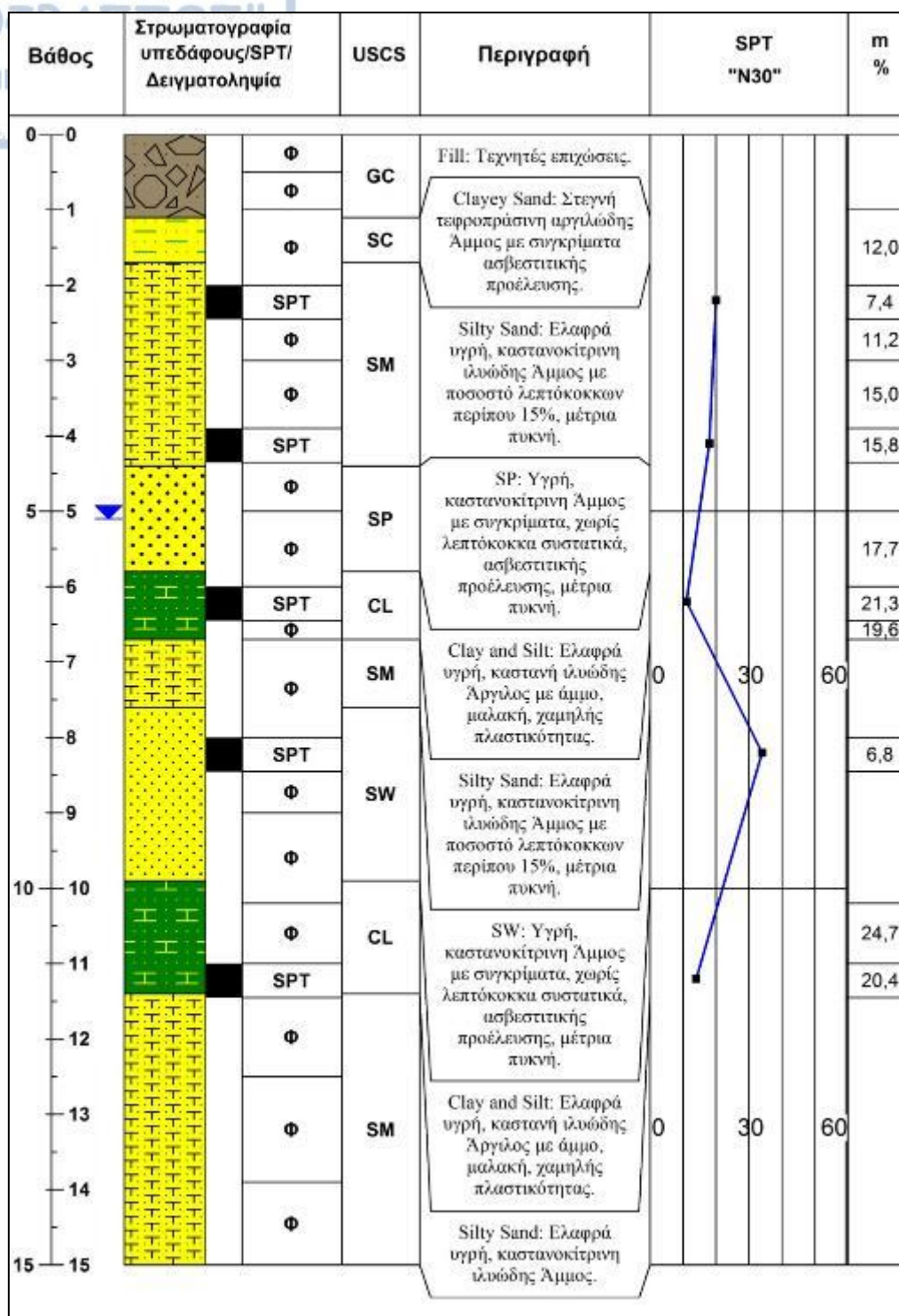
Στρώμα "S2" : Από βάθος 6,7m μέχρι βάθος 7,6m περίπου, συναντήθηκε Ελαφρά υγρή, καστανοκίτρινη ιλυώδης άμμος με ποσοστό λεπτόκοκκων περίπου 15%, μέτρια πυκνή, προερχόμενη από υλικά αποσάθρωσης του υποβάθρου. (κατάταξη κατά USCS: SM).

Στρώμα "S3" : Από βάθος 7,6m μέχρι βάθος 9,9m, συναντήθηκε υγρή, καστανοκίτρινη διαβαθμισμένη άμμος με συγκρίματα, χωρίς λεπτόκοκκα συστατικά, ασβεστιτικής προέλευσης, μέτρια πυκνή, προερχόμενη από υλικά αποσάθρωσης του υποβάθρου. (κατάταξη κατά USCS: SW).

Στρώμα "C1" : Από βάθος 9,9m μέχρι βάθος 11,4m, συναντήθηκε ελαφρά υγρή, καστανή ιλυώδης άργιλος με άμμο, μαλακή, χαμηλής πλαστικότητας. (κατάταξη κατά USCS: CL).

Στρώμα "S2" : Από βάθος 11,4m μέχρι βάθος 15,0m περίπου, συναντήθηκε ελαφρά υγρή, καστανοκίτρινη ιλυώδης άμμος με ποσοστό λεπτόκοκκων περίπου 15%, μέτρια πυκνή, προερχόμενη από υλικά αποσάθρωσης του υποβάθρου. (κατάταξη κατά USCS: SM).

Κατά την εποχή διεξαγωγής της γεωτρητικής έρευνας (Οκτώβριος 2016) δεν βρέθηκε υπόγεια στάθμη. Παρόλα αυτά εκτιμάται πως στα πιο αδρόκοκκα εδαφικά στρώματα (στρώμα S3) αναπτύσσονται εποχιακές υδροφορίες χαμηλής δυναμικότητας.



Εικόνα 16: Παράρτημα γεώτρησης Γ-1 με επί τόπου και εργαστηριακές δοκιμές (φυσική υγρασία)
(Χατζηγώγος, 2016)

4.2 ΤΙΜΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Οι τιμές των παραμέτρων των εδαφικών στρώσεων προκύπτουν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών στα δείγματα της δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ-1. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές των διαφόρων χαρακτηριστικών κατάταξης και φυσικής κατάστασης των διαχωριζόμενων στρωμάτων, προκύπτουν γενικά ως οι μέσοι όροι των τιμών των αντιστοίχων εργαστηριακών δοκιμών. Ομοίως οι τιμές των χαρακτηριστικών αντοχής και συμπιεστότητας εκτιμώνται ως οι μέσοι όροι των τιμών των εργαστηριακών δοκιμών ή κατά περίπτωση ως οι ελάχιστες χαρακτηριστικές τιμές κατόπιν στατιστικής επεξεργασίας με διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Τα παραπάνω αποτελέσματα αξιολογούνται και ερμηνεύονται σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών NSPT που εκτελέστηκαν κατά τη διάνοιξη της γεώτρησης και παρουσιάζονται στον **(Πίνακας 8)**.

Πίνακας 8: Αποτελέσματα έρευνας επί τόπου δοκιμών N_{SPT} .

Γ1 (υψομ.317,9m)	
ΒΑΘΟΣ(m)	$N_{30}SPT$
2,00-2,45	20
3,90-4,35	18
6,00-6,45	11
8,00-8,45	34
11,00-11,45	14

4.3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

Με βάση τα προαναφερθέντα στις παραγράφους 4.1 και 4.2, παρακάτω δίνεται απλοποιημένη εδαφική τομή σχεδιασμού (γεωτεχνικό προσομοίωμα), η οποία βασίζεται στην εδαφική τομή της γεώτρησης Γ-1, στα αποτελέσματα των εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών και χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τη διεξαγωγή των σχετικών εδαφοτεχνικών ελέγχων της θεμελίωσης.

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μηχανικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους βάσει των εργαστηριακών δοκιμών και των επί τόπου δοκιμών N_{spt} με τη χρήση εμπειρικών σχέσεων.

Πίνακας 9: Αποτελέσματα μηχανικών χαρακτηριστικών υπεδάφους βάσει εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών (Χατζηγώγος, 2016)

Στρώμα	Βάθος (m)	Μέσο Πάχος(m)	$N_{30}SPT$	C_u (kPa)	C_{uspt} (kPa)	E_{soed} (MPa)	E_{sspt} (MPa)	c' (kPa)	ϕ' ($^\circ$)	ϕ'_{spt} ($^\circ$)
S2	1,7-4,4	2,7	18-20	-	110	-	9300	1,5	38,6	32,4
C1	5,8-6,7	0,9	11	56,6	66	6389	8600			30,3
S3	4,4-5,8/7,6-9,9	1,4-2,3	34	-	-	-	24500	0	44	37,2
C2	9,9-11,4	1,5	14	-	84	24261	14500			31,2

Οι εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού των χαρακτηριστικών εδάφους από δοκιμή N_{spt} που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

$$C_u = 0,6 N \text{ t/m}^2 \text{ (Terzaghi \& Peck),}$$

$$\phi' = 0,3 N + 27^\circ \text{ ή } SPT (30-50) \text{ ---- } \phi = 40^\circ - 45^\circ \text{ (Peck),}$$

$$E_s = 5(N+15) \text{ kp/cm}^2 \text{ (Webb, 1969) για άμμους.}$$

Εξαιτίας της φύσης του υπεδάφους που αποτελείται από αμμώδη ιζήματα με παρατηρούμενο επί τόπου βαθμό συγκόλλησης προτείνεται να γίνει ο σχεδιασμός της θεμελίωσης με βάση τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών SPT και των μηχανικών χαρακτηριστικών που προκύπτουν από αυτές μέσω εμπειρικών των σχέσεων.

Βάθη (m)	Φυσικό έδαφος			
0,0	Στρώμα "F1": Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από υπολείμματα δομικών υλικών, συγκρίματα και κεραμικά με συνδετικό υλικό ελαφρά υγρή σκουρόχρωμη ιλυώδη Άργιλο. [GC]			
	$W \approx 12-15$	$\gamma \approx 19,0$	$\gamma_{sat} \approx 20,0$	$(C_u \approx 20)$
1,1	Στρώμα "S1": Στεγνή τεφροπράσινη αργιλώδης Άμμος με συγκρίματα ασβεστιτικής προέλευσης. [SC]			
	$W \approx 12$	$\gamma \approx 15,3$	$\gamma_{sat} \approx 18,5$	$(c' \approx 0 \text{ } \phi' \approx 30^\circ)$
1,7				

4,4		Στρώμα "S2": Ελαφρά υγρή, καστανοκίτρινη ιλυώδης Άμμος με ποσοστό λεπτόκοκκων περίπου 15%, μέτρια πυκνή, προερχόμενη από υλικά αποσάθρωσης του υποβάθρου (Τραβερτίνης). [SM]	$W \approx 7,4-15,8$ $E_s \approx 9,3$	$\gamma \approx 15,7$ $N_{SPT} \approx 18-20$	$\gamma_{sat} \approx 18,5$ $c' \approx 1,5$	$e \approx 0,9-1,4$ $\phi' \approx 38,6^\circ$
Υ.Υ.Ο 5,1		Στρώμα "S3": Υγρή, καστανοκίτρινη Άμμος με συγκρίματα, χωρίς λεπτόκοκκα συστατικά, ασβεστιτικής προέλευσης, μέτρια πυκνή, προερχόμενη από υλικά αποσάθρωσης του υποβάθρου. [SP]	$W \approx 17,7$ $E_s \approx 9,3$	$\gamma \approx 17,0$ $N_{SPT} \approx 20$	$\gamma_{sat} \approx 19,0$ $c' \approx 0$	$e \approx 0,83$ $\phi' \approx 44$
5,8		Στρώμα "C1": Ελαφρά υγρή, καστανή ιλυώδης Άργιλος με άμμο, μαλακή, χαμηλής πλαστικότητας. [CL]	$W \approx 19,6$ $E_s \approx 6,3$	$\gamma \approx 18,1$ $N_{SPT} \approx 11$	$\gamma_{sat} \approx 19,2$ $C_u \approx 23$	$e \approx 0,62$ $C_c \approx 0,072$ $PI = 13$ $C_v \approx 11,9$
6,7		Στρώμα "S2": Ελαφρά υγρή, καστανοκίτρινη ιλυώδης Άμμος με ποσοστό λεπτόκοκκων περίπου 15%, μέτρια πυκνή. [SM]	$W \approx 7,4-15,8$ $E_s \approx 9,8$	$\gamma \approx 15,7$ $N_{SPT} \approx 20$	$\gamma_{sat} \approx 18,5$ $c' \approx 1,5$	$e \approx 0,9-1,4$ $\phi' \approx 38,6^\circ$
7,6		Στρώμα "S3": Υγρή, καστανοκίτρινη διαβαθμισμένη Άμμος με συγκρίματα, χωρίς λεπτόκοκκα συστατικά, ασβεστιτικής προέλευσης, μέτρια πυκνή. [SW]	$W \approx 6,8$ $E_s \approx 24,5$	$\gamma \approx 14,1$ $N_{SPT} \approx 34$	$\gamma_{sat} \approx 18,2$ $c' \approx 0$	$e \approx 1,01$ $\phi' \approx 37,2$
9,9		Στρώμα "C1": Ελαφρά υγρή, καστανή ιλυώδης Άργιλος με άμμο, μαλακή, χαμηλής πλαστικότητας. [CL]	$W \approx 24,7$ $E_s \approx 24,3$	$\gamma \approx 20,4$ $N_{SPT} \approx 14$	$\gamma_{sat} \approx 20,4$ $(C_u \approx 84)$	$e \approx 0,62$ $C_c \approx 0,042$ $PI = 13$ $C_v \approx 19,5$
11,4		Στρώμα "S2": Ελαφρά υγρή, καστανοκίτρινη ιλυώδης Άμμος με ποσοστό λεπτόκοκκων περίπου 15%, μέτρια πυκνή. [SM]	$W \approx 7,4-15,8$ $E_s \approx 9,8$	$\gamma \approx 15,7$ $N_{SPT} \approx 20$	$\gamma_{sat} \approx 18,5$ $c' \approx 1,5$	$e \approx 0,9-1,4$ $\phi' \approx 38,6^\circ$
15,0						

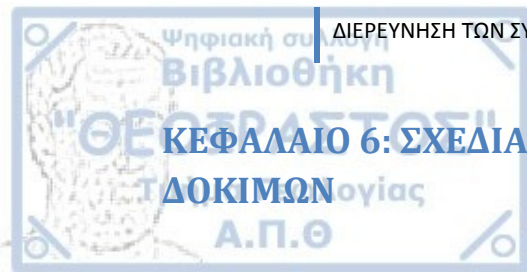
Υπόμνημα :

Υ.Υ.Ο. :	Υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας (m)
W :	Φυσική υγρασία (%)
WL :	Όριο υδαρότητας
γ :	Υγρό φαινόμενο βάρος (kN /m ³)
PI :	Δείκτης πλαστικότητας
e :	Λόγος κενών
ϕ' :	Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής (Deg)
C_u :	Αστράγγιστη συνοχή (kPa)
C_c :	Δείκτης συμπίεστότητας (περιοχή τάσεων κανονικής στερεοποίησης)
C_v :	Συντελεστής στερεοποίησης (cm ² /sec*10 ⁻⁴)
E_s :	Μέτρο συμπίεστότητας (MPa)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ακολουθήθηκε μια μεθοδολογία σύμφωνη με τους στόχους και τις ανάγκες της. Επικεντρώθηκε κυρίως στη διερεύνηση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους θεμελίωσης του μνημείου και στην εκτίμηση της μηχανικής του συμπεριφοράς. Για την πραγματοποίηση των παραπάνω στόχων εφαρμόστηκαν τα εξής βήματα έρευνας:

1. Σχεδιασμός και εκτέλεση προγράμματος συμβατικών δοκιμών εδαφομηχανικής. Πιο συγκεκριμένα εκτελέστηκαν δοκιμές προσδιορισμού των φυσικών χαρακτηριστικών, δοκιμές ταξινόμησης εδαφών και δοκιμές υπολογισμού μηχανικών χαρακτηριστικών.
2. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων επιτόπου δοκιμών και σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών.
3. Εκτέλεση δοκιμής άμεσης διάτμησης σε κορεσμένες και ακόρεστες συνθήκες για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής της ακόρεστης ζώνης και της αντοχής σε κορεσμένες συνθήκες με χρήση συσκευής διάτμησης εδαφών με δυνατότητα ελέγχου της μύζησης.
4. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών άμεσης διάτμησης για την αποσαφήνιση της μηχανικής συμπεριφοράς του υπεδάφους θεμελίωσης και των μηχανικών παραμέτρων σχεδιασμού.
5. Δημιουργία ενός υπολογιστικού φύλλου excel με σκοπό την επεξεργασία και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των δοκιμών άμεσης διάτμησης.
6. Έλεγχος φέρουσας ικανότητας και καθιζήσεων με χρήση ειδικών λογισμικών και υπολογισμός του συντελεστή ασφάλειας έναντι θραύσης και των εκτιμώμενων καθιζήσεων.
7. Ερμηνεία των υπολογιστικών ελέγχων και εκτίμηση των γεωτεχνικών κινδύνων στη θέση της έρευνας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Σε επιλεγμένα δείγματα των γεωτρήσεων εκτελέσθηκε ένα πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής κατάλληλα προσαρμοσμένο στη σύσταση των δειγμάτων, στις απαιτήσεις θεμελίωσης του έργου και των προβλημάτων ευστάθειας του υπεδάφους που έχουν παρατηρηθεί.

Οι εργαστηριακές δοκιμές περιελάμβαναν :

- Δοκιμές κατάταξης του εδάφους (κοκκομετρικές αναλύσεις με κόσκινα, κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο, μετρήσεις ορίων υδαρότητας - πλαστικότητας).
- Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών χαρακτηριστικών (φυσική υγρασία, φαινόμενο βάρος και εξ αυτών προσδιορισμό του δείκτη κενών και του βαθμού κορεσμού του εδάφους).
- Δοκιμές προσδιορισμού των παραμέτρων συμπίεστότητας (δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης).
- Δοκιμές προσδιορισμού των παραμέτρων αντοχής (δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης, δοκιμή άμεσης διάτμησης).
- Συγκριτική δοκιμή άμεσης διάτμησης εδαφικού δείγματος σε κορεσμένες και ακόρεστες συνθήκες.

Οι εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής εκτελέστηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κατά τρόπο σύμφωνο με τις σχετικές Δημόσιες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε106-85) και τις αντίστοιχες οδηγίες και προδιαγραφές της Α.Σ.Τ.Μ. (American Society for Testing and Materials).

6.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΦΥΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Οι δοκιμές προσδιορισμού των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους αποτελούν τη βάση όλων των υπολογισμών των γεωτεχνικών συνθηκών και της μηχανικής συμπεριφοράς. Είναι δοκιμές σύντομης χρονικής διάρκειας και χαμηλού κόστους και εκτελούνται πάντοτε στα πλαίσια μιας γεωτεχνικής έρευνας. Οι φυσικές ιδιότητες που υπολογίζονται είναι η φυσική υγρασία, το φαινόμενο βάρος

και το ειδικό βάρος και εξ' αυτών προσδιορίζονται ο δείκτης πόρων, ο βαθμός κορεσμού και το ξηρό φαινόμενο βάρος. Στην περίπτωση μας υπολογίστηκαν συνολικά σε 10 εδαφικά δείγματα οι φυσικές ιδιότητες τους όπως φαίνεται στον Πίνακας 10.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Αρχικά πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε άλλη δοκιμή υπολογίζεται η φυσική υγρασία του εδάφους. Η δοκιμή αυτή έχει ως σκοπό τη μέτρηση της μάζας του νερού που περιέχεται στο δείγμα του εδαφικού σχηματισμού. Ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του νερού που υπάρχει μέσα στους πόρους (W_w) προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους (W_s), δηλαδή:

$$m = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

Η διαδικασία της δοκιμής της φυσικής υγρασίας που ακολουθήθηκε είναι σύμφωνη με την προδιαγραφή ASTM D2216-80.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

Το φαινόμενο βάρος ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους του εδάφους προς τον όγκο του εδάφους:

$$\gamma = \frac{W}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

όπου W το συνολικό βάρος του δείγματος όπου συμπεριλαμβάνονται και οι πόροι με το περιεχόμενο τους (αέρας + νερό) και V ο συνολικός όγκος του δείγματος (Χρηστάρας, 2006).

Η διαδικασία προσδιορισμού του φαινόμενου βάρους που ακολουθήθηκε είναι σύμφωνη με την προδιαγραφή ASTM C-29.

Επίσης το φαινόμενο βάρος συνδέεται με τις άλλες φυσικές ιδιότητες των εδαφών με τις σχέσεις:

$$\gamma = \gamma_d * (1 + m)$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{m + 1}{m + 1/\gamma_s}$$

όπου γ_d το ξηρό φαινόμενο βάρος, m η υγρασία και γ_s το ειδικό βάρος.

Όσον αφορά τον προσδιορισμό του δείκτη κενών (πόρων), ο δείκτης πόρων ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών V_v ενός εδαφικού σχηματισμού προς τον όγκο των στερεών συστατικών V_s :

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1 - n}$$

Όπου n είναι το πορώδες

Επίσης μπορεί να υπολογιστεί σε σχέση με τις άλλες φυσικές παραμέτρους με βάση τους τύπους:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 = \frac{\gamma_s * (1 + m)}{\gamma} - 1$$

Σε συνθήκες κορεσμού ισχύει $e = m \cdot \gamma_s / \gamma_w$, ενώ για μερικά κορεσμένο έδαφος είναι $e = m \cdot \gamma_s / S$.

Όσον αφορά τον προσδιορισμό του ξηρού φαινομένου βάρους, το ξηρό φαινόμενο βάρος είναι το ξηρό βάρος του υλικού προς τον συνολικό όγκο του δείγματος και υπολογίζεται από:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Επίσης μπορεί να συνδεθεί και από άλλες φυσικές ιδιότητες από τις σχέσεις:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + m} = \frac{\gamma_s}{1 + e} = (1 - n) * \gamma_s$$

Σε συνθήκες κορεσμού: $\gamma_d < \gamma < \gamma_{\text{sat}}$.

Τέλος ο **Βαθμός κορεσμού** προκύπτει από τη σχέση των κενών χώρων (του πορώδους) που είναι γεμάτοι με νερό προς το συνολικό πορώδες:
 $S_w = \frac{n_w}{n} = \frac{V_w}{V_v} = \frac{\gamma_s * m}{\gamma_w * e}$. Στην κατάσταση κορεσμού ($S=1$), η περιεκτικότητα σε νερό έχει τη μεγαλύτερη τιμή της.

Πίνακας 10: Αποτελέσματα Δοκιμών Προσδιορισμού Φυσικών Χαρακτηριστικών επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ					
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	ΒΑΘΜΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ
			M	γ	γ_d	γ_s		S
			%	t/m ²	t/m ²			%
1	2	3	5	6	7	8	9	10
Γ1	1	1,00-2,00	12,00	1,53	1,37	2,65	0,94	34,47
Γ1	2	2,00-2,45	7,40	1,23	1,15	2,65	1,31	15,21
Γ1	3	2,45-3,00	11,20	1,41	1,27	2,65	1,09	27,74
Γ1	4	3,00-3,90	15,00	1,57	1,37	2,65	0,94	43,04
Γ1	5	3,90-4,35	15,80	1,25	1,08	2,65	1,45	29,32
Γ1	6	5,00-6,00	17,70	1,70	1,44	2,65	0,83	57,25
Γ1	7	6,00-6,45	21,30	1,81	1,49	2,65	0,78	74,12
Γ1	8	6,45-6,70	19,60	1,96	1,64	2,65	0,62	85,76
Γ1	9	8,00-8,45	6,80	1,41	1,32	2,65	1,01	18,23
Γ1	10	10,20-11,00	24,70	2,04	1,64	2,65	0,62	107,59
Γ1	11	11,00-11,45	20,40	1,48	1,23	2,65	1,16	47,65

6.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

Οι δοκιμές αυτές είναι απαραίτητες για την ταξινόμηση εδαφών και κατάταξη τους σε ομάδες με σκοπό να εκτιμηθεί κατ' αρχάς η καταλληλότητα τους για την κατασκευή τεχνικών έργων καθώς και η μηχανική συμπεριφορά τους. Στην προκειμένη περίπτωση πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ταξινόμησης κοκκομετρικής διαβάθμισης και προσδιορισμού ορίων Atterberg σε συνολικά δέκα επιλεγμένα δείγματα της γεώτρησης Γ1.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG

Η περιεκτικότητα σε νερό διαδραματίζει αποφασιστικό ρόλο στις ιδιότητες αντοχής και στερεότητας του υλικού. Στα κοκκώδη εδάφη η μεταβολή του περιεχόμενου νερού παίζει μικρό ρόλο στην αντοχή του, αλλά στα συνεκτικά εδάφη

μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές. Η συμπεριφορά των αργιλικών εδαφών σε σχέση με την περιεκτικότητά τους σε νερό προκύπτει από τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg (Χρηστάρας, 2006). Συνεπώς τα όρια αυτά βοηθούν άμεσα στην ταξινόμηση ενός λεπτόκοκκου εδάφους.

Όριο υδαρότητας (LL)

Ορίζεται ως η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό κατά τη χρονική στιγμή που το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή (ρευστή) κατάσταση.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για τη διερεύνηση του ορίου υδαρότητας ήταν η **μέθοδος πενετρόμετρου πίπτοντος κώνου**.

Είναι εργαστηριακή μέθοδος που χρησιμοποιείται συνήθως για λεπτόκοκκα εδάφη. Κατά τη μέθοδο αυτή κωνικό βαρίδιο συγκεκριμένου βάρους και γωνίας ανοίγματος, κρέμεται με την κορυφή του κώνου σε επαφή με το εδαφικό δείγμα. Το βαρίδιο απελευθερούμενο βυθίζεται εντός του εδάφους. Το βάθος διείσδυσης του κώνου, ανάλογα με το βάρος του, σχετίζεται με την διατμητική αντοχή του εδάφους.

$$C_u = 9,8 * \frac{K * M}{p^2} \text{ (kPa)}$$

Όπου M η μάζα του κώνου(gr), p το βάθος διείσδυσης του κώνου μέσα στο έδαφος και K σταθερά που εξαρτάται από τη γωνία ανοίγματος του κώνου.

Όριο πλαστικότητας (PL)

Το όριο πλαστικότητας αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm χωρίς αυτός να θραύεται (AASHTO T-90/70, ASTM D-4318/83). Από (Χρηστάρας & Χατζηαγγέλου, 2011)

Δείκτης πλαστικότητας PI

Ορίζεται ως η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία στην περιοχή ανάμεσα στο όριο υδαρότητας και στο όριο πλαστικότητας ($PI = LL - PL$), όπου το υλικό συμπεριφέρεται πλαστικά. Τα συνεκτικά εδάφη παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό πλαστικότητας, ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων τους (όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το έδαφος, τόσο ο δείκτης πλαστικότητας είναι μεγαλύτερος) και από την πετρογραφική τους σύσταση. Με ελαττούμενη περιεκτικότητα σε νερό τα εδάφη αυτά μεταβαίνουν από τη στερεή δια μέσου της πλαστικής στην ημιστερεή κατάσταση. (Χρηστάρας & Χατζηαγγέλου, 2011)

Δείκτης υδαρότητας (LI)

Ορίζεται από τον τύπο $LI = \frac{m-PL}{PI} * 100\%$. Η συμπεριφορά ενός εδάφους θεμελίωσης εξαρτάται από τη φυσική του υγρασία σε σχέση με τα όρια Atterberg και εκφράζεται με το δείκτη υδαρότητας. Όταν $LI=100\%$, το έδαφος βρίσκεται στο όριο υδαρότητας, ενώ όταν $LI=0\%$, το έδαφος βρίσκεται στο όριο πλαστικότητας. (Χρηστάρας & Χατζηαγγέλου, 2011)

Ενεργότητα

Ο δείκτης PI αποτελεί γραμμική συνάρτηση του % ποσοστού καθαρής αργίλου του εδάφους. Η κλίση της ευθείας καλείται ενεργότητα και ισούται με $PI / \% \text{ αργίλου}$ ($d < 0.002\text{mm}$). Η ενεργότητα αποτελεί κατά κάποιο τρόπο μέτρο της δραστηριότητας του αργιλικού κλάσματος όσον αφορά την ικανότητά του να προσροφήσει νερό. Όταν η ενεργότητα είναι μικρότερη του 0,75 τότε το έδαφος χαρακτηρίζεται ως μη ενεργό, όταν είναι μεταξύ 0,75 και 1,25 ως κανονικό και όταν είναι μεγαλύτερη του 1,25 ως ενεργό. (Χρηστάρας & Χατζηαγγέλου, 2011)

Δείκτης συνεκτικότητας (Ic)

$Ic = \frac{LL-m}{PI}$. Η αντοχή ενός εδάφους θεμελίωσης που αποτελείται από συνεκτικό χαλαρό πέτρωμα εξαρτάται από τον Ic του υλικού. Επομένως χαρακτηρίζει την διατμητική αντοχή ενός εδάφους η οποία αυξάνει καθώς ο Ic αυξάνει μεταξύ 0 και 1. (Χρηστάρας & Χατζηαγγέλου, 2011).

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΚΟΣΚΙΝΑ

Με σκοπό την ταξινόμηση των εδαφών υπολογίζεται επίσης στο εργαστήριο η κοκκομετρική τους διαβάθμιση (Unified Soil Classification System USCS – USAE, 1953, AASHO, 1961, IAE, 1981).

Μέθοδος κοσκινίσματος (Χονδρόκοκκα υλικά)

Εικόνα 17: Κόσκινα του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την διαδικασία για τον προσδιορισμό της κατανομής των διαφόρων μεγεθών κόκκων σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα υλικά και με τη χρησιμοποίηση πρότυπων κόσκινων τετραγωνικών οπών (AASHTO T-27/66, ASTM C-136).

Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιούμε, ανάλογα με το υλικό που έχουμε να εξετάσουμε και διαφορετική ποσότητα δείγματος. Έτσι για λεπτή έως μέση άμμο χρειαζόμαστε 100-200 gr, για χοντρή άμμο μέχρι λεπτά χαλίκια χρειαζόμαστε 0,5 kg και για χονδρά χαλίκια και κροκάλες 5 kg και περισσότερο.

Τα κόσκινα χρησιμοποιούνται με σειρά μεγέθους αυξανόμενη από κάτω προς τα πάνω: 0.075 (No. 200), 0.15 (No. 100), 0.30 (No. 50), 0.425 (No. 40), 2.0 (No. 10), 4.75 (No. 4), 6.30 (1/4"), 12.50 (1/2"), 19.0 3/4"), 25.0 (1") .

Το δείγμα που θα κοσκινίσουμε πρέπει να αποτελείται από χονδρόκοκκα υλικά, στεγνά, με διαχωρισμένους κόκκους και χωρίς ξένα σώματα.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΡΑΙΟΜΕΤΡΟ
Μέθοδος Αραιόμετρου (λεπτόκοκκα υλικά)

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για τον ποσοτικό προσδιορισμό της κατά μέγεθος κατανομής των κόκκων στα λεπτόκοκκα εδάφη. Για την ανάλυση χρησιμοποιείται αραιόμετρο (ή υδρόμετρο ή πυκνόμετρο) τύπου 152H. Η κλίμακά του έχει υποδιαίρεσεις από 0-60 gr/lit και η βαθμονόμησή του έγινε με βάση την παραδοχή ότι το αποσταγμένο νερό έχει ειδικό βάρος 1,000 στους 20°C και ότι το

ειδικό βάρος του εδάφους που βρίσκεται σε διασπορά είναι 2,65 gr/cm³. (Χρηστάρας & Χατζηαγγέλου, 2011)

Το αραιόμετρο μετράει την πυκνότητα του εν αιώρηση στερεού υλικού μέσα σ' ένα υγρό μέσο. Αποτελείται από ένα κυλινδρικό σώμα και ένα στέλεχος. Το στέλεχος έχει υποδιαίρεσεις που οι τιμές τους αυξάνονται από το ανώτερο προς το κατώτερο τμήμα του στελέχους. Όταν η συγκέντρωση του εν αιώρηση υλικού είναι μεγάλη, τότε το στέλεχος του αραιόμετρου συναντά την επιφάνεια του νερού μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο στο κατώτερο τμήμα του, δηλαδή δίνει μεγάλες τιμές πυκνότητας. Αντίθετα όταν η συγκέντρωση είναι μικρή τότε το στέλεχος βυθίζεται μέσα στο αιώρημα και αυτό μας δείχνει μικρές τιμές πυκνότητας. (Χρηστάρας & Χατζηαγγέλου, 2011)

Η ταχύτητα καθίζησης των κόκκων μέσα στο νερό του ογκομετρικού κυλίνδρου εξαρτάται από το μέγεθός τους και προσδιορίζεται από το νόμο του Stokes. Οι μεγάλοι κόκκοι θα καθιζάνουν στον πυθμένα του κυλίνδρου πρώτοι και οι μικροί τελευταίοι. Άρα οι διαφορές που παρατηρούνται κατά τη μέτρηση της πυκνότητας του αιωρήματος σε ορισμένα χρονικά διαστήματα δίνουν την καθίζηση των αιωρούμενων κόκκων και τελικά αποκαλύπτουν το μέγεθός τους. (Χρηστάρας & Χατζηαγγέλου, 2011).

Πίνακας 11: Αποτελέσματα Δοκιμών Κατάταξης επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ								
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ					ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ USCS
			ΚΟΣΚΙΝΑ				αραιόμετρο	ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	
			4	10	40	200	<2μ				
Διερχόμενα %					LL	PL	PI				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Γ1	1	1,00-2,00	100,00	100,00	78,94	27,06					SC
Γ1	2	2,00-2,45	94,43	86,43	44,64	12,20					SM
Γ1	3	2,45-3,00	98,54	86,69	53,01	13,95					SM
Γ1	4	3,00-3,90	99,48	94,42	59,79	18,19					SM
Γ1	5	3,90-4,35	98,98	96,23	63,29	15,19					SM
Γ1	6	5,00-6,00	93,65	74,92	12,54	0,32					SP
Γ1	7	6,00-6,45	97,05	88,65	46,36	14,43					SM
Γ1	8	6,45-6,70						35	22	13	CL
Γ1	9	8,00-8,45	79,22	63,43	27,73	6,16					SW
Γ1	10	10,20-11,00	98,58	97,13	91,33	78,79					CL
Γ1	11	11,00-11,45	100,00	99,42	75,39	28,45					SM-SC

6.3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται ο βαθμός στερεοποίησης και η συμπίεστικότητα εδαφικού υλικού όταν είναι πλευρικά μη παραμορφώσιμο, φορτίζεται δε και στραγγίζεται αξονικά. Η καθίζηση είναι έτσι ίση με τη μεταβολή σε όγκο του δοκιμίου, δηλαδή είναι ανάλογη με τη μεταβολή του δείκτη πόρων.

Οι κατακόρυφες παραμορφώσεις των εδαφών εξετάζονται στη συσκευή του οιδημέτρου. Αυτή αποτελείται από :

Συσκευή φορτίσεως για την εφαρμογή κατακόρυφων φορτίων στο δοκίμιο.

Συσκευή στερεοποίησης: Το δοκίμιο (ύψος: 2cm, διάμετρος: 50.8mm) συγκρατείται μέσα σε δακτύλιο, ο οποίος έχει συνδεθεί με τη βάση της συσκευής. Στην άνω και κάτω επιφάνεια του δοκιμίου προσαρμόζονται πορόλιθοι. Η συσκευή θα πρέπει να επιτρέπει συνεχή κορεσμό του δοκιμίου, επιβολή κατακόρυφου φορτίου και μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου.

Οι **πορόλιθοι** είναι υλικά που δεν διαβρώνονται από την υγρασία. Το πάχος τους θα πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μην θραύονται κατά τη δοκιμή.

Μηκυνσιόμετρο για την μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου κατά το στάδιο στερεοποίησης με ακρίβεια 0.0025mm. (Χρηστάρας & Χατζηαγγέλου, 2011)

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην δοκιμή ήταν σύμφωνη με τις προδιαγραφές ASTM D-2435/80, E 105-86.



Εικόνα 18: Οιδήμετρα του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ.

Στην περίπτωση μας πραγματοποιήθηκαν δοκιμές συμπιεστότητας σε δύο εδαφικά δείγματα. Το πρώτο δείγμα επιλέχθηκε από εδαφικό υλικό σε βάθος 6,45-6,70 και το δεύτερο από υλικό σε βάθος 10,20-11,00.

Πίνακας 12: Αποτελέσματα Δοκιμών Συμπιεστότητας επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ			
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ			
			ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΜΕΤΡΟ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΑΣΕΩΝ
			Cc	$C_v \times 10^{-6}$ cm ² /sec	Es kPa	p kPa
1	2	3	4	5	6	7
Γ1	1	6,45-6,70	0,072	11,97	6389	90-180
Γ1	2	10,20-11,00	0,042	19,53	2461	180-360

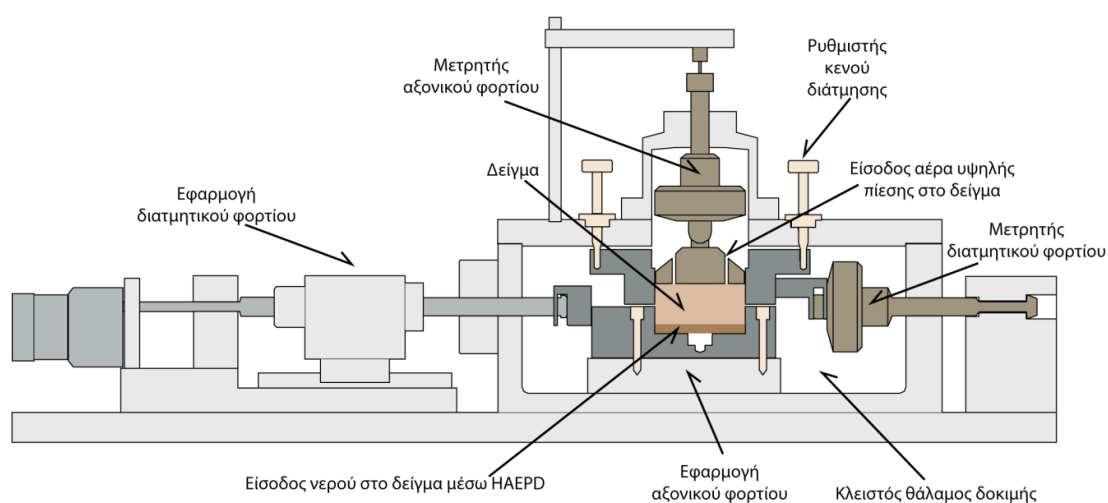
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

7.1 ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

Κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας για την εκτέλεση των δοκιμών άμεσης διάτμησης χρησιμοποιήθηκε η αυτοματοποιημένη συσκευή δοκιμών άμεσης διάτμησης κλειστού τύπου με δυνατότητα ελέγχου των πιέσεων των πόρων της GDS (μοντέλο: Saturated/Unsaturated Back Pressured Shearbox "GDSBPS") που διαθέτει το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Η διάταξη της συσκευής δίνεται στην Εικόνα 19 σε τομή όπου παρατηρούνται βασικά χαρακτηριστικά όπως:

- ο κλειστός θάλαμος ελέγχου της πίεσης του αέρα,
- η θέση του δείγματος που βρίσκεται σε επαφή με τον πορόλιθο υψηλής πίεσης εισόδου αέρα (HAEPD) 500 kPa (5 bar),
- η είσοδος του νερού μέσω του HAEPD στο δείγμα,
- η εφαρμογή του αξονικού φορτίου και ο μετρητής της αξονικής μετατόπισης/δύναμης/πίεσης,
- η εφαρμογή του διατμητικού φορτίου και ο μετρητής της οριζόντιας μετατόπισης/δύναμης/πίεσης. (Βλάχος, 2015)

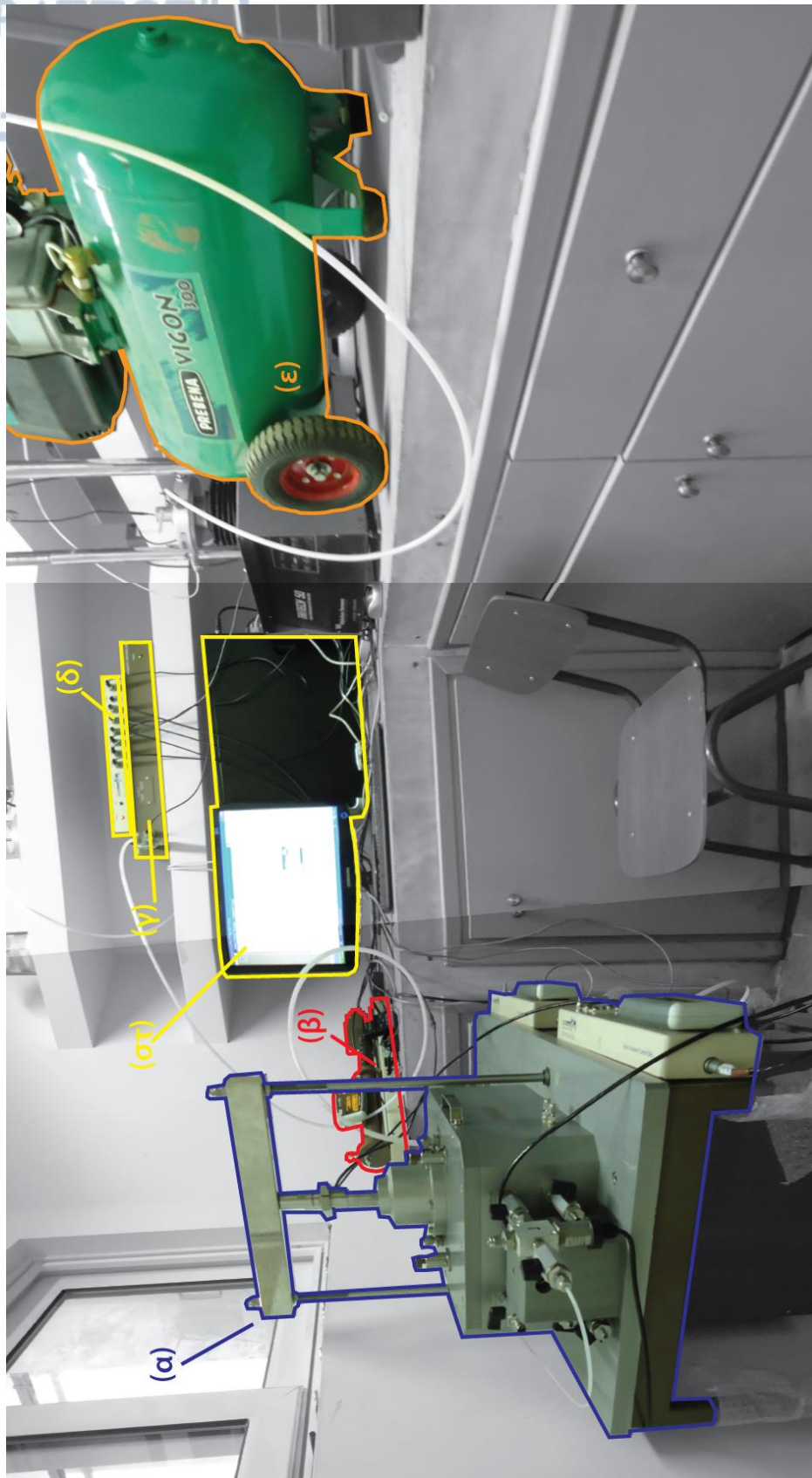


Εικόνα 19: Διάταξη συσκευής άμεσης διάτμησης κλειστού τύπου με δυνατότητα ελέγχου των πιέσεων των πόρων (τροποποιημένη από GDS Specification Datasheet, 2009 ως προς τα χρώματα και το υπόμνημα). (Βλάχος, 2015).

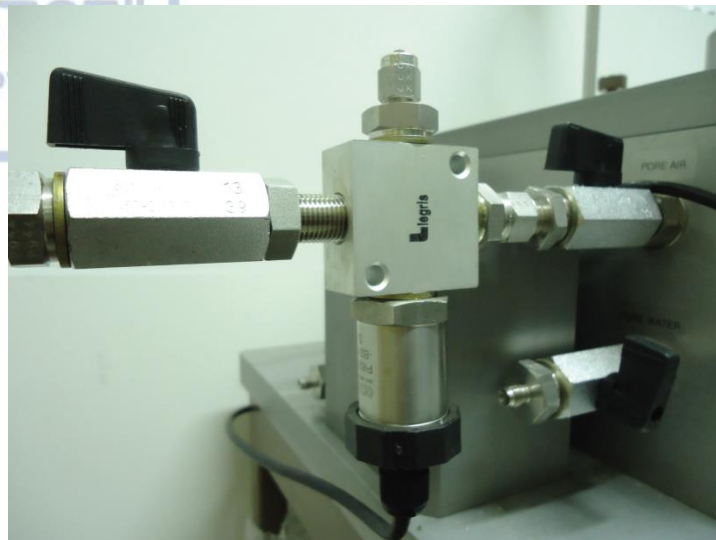
Η συνολική πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε (Εικόνα 21) βρίσκεται στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. σε ξεχωριστό κλειστό θάλαμο με έλεγχο της θερμοκρασίας του χώρου κατά την εκτέλεση της δοκιμής. Η καταγραφή των δεδομένων, από κάθε ελεγκτή και μετατροπέα, έγινε σε κονσόλα οχτώ (8) καναλιών που μεταφέρει τα δεδομένα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η αποτύπωση των δεδομένων και ο χειρισμός της πειραματικής διάταξης έγινε μέσω του προγράμματος GDSLAB που συνοδεύεται από κλειδί γνησιότητας.



Εικόνα 20: (α) Ηλεκτρονικός ελεγκτής υψηλής ακρίβειας νερού "Standard Pressure/Volume Controller (STDDPC) v2", (β) Πνευματικός ελεγκτής υψηλής ακρίβειας αέρα "Pneumatic Pressure Controller (GDSPPC)". (Βλάχος, 2015)



Εικόνα 21: Συνολική πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε και αποτελείται από: (α) Συσκευή διάτμησης, (β) Ελεγκτή πιέσεων νερού, (γ) Ελεγκτή πιέσεων αέρα, (δ) Κονσόλα δεδομένων οχτώ (8) καναλιών, (ε) Γεννήτρια συμπίεσης αέρα και (στ) Ηλεκτρονικό υπολογιστή. (Βλάχος, 2015)



Εικόνα 22: Ηλεκτρονικός μετατροπέας υψηλής ακρίβειας (transducer) για τον έλεγχο των μετρήσεων μέσα στο θάλαμο. (Βλάχος, 2015)

7.2 ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΣΕ ΚΟΡΕΣΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Στην παρούσα διατριβή δόθηκε η δυνατότητα πραγματοποίησης διατμήσεων των δειγμάτων τόσο σε κορεσμένες συνθήκες όσο και σε ακόρεστες για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής της ακόρεστης ζώνης και της αντοχής σε κορεσμένες συνθήκες έτσι ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση των μηχανικών παραμέτρων ενός γεωυλικού σε διαφορετικές τιμές βαθμού κορεσμού και ο συσχετισμός των παραμέτρων αυτών με τις διαφορετικές συνθήκες που μπορεί να βρεθεί το υλικό επί τόπου. Στη συγκεκριμένη παράγραφο αναλύονται οι δοκιμές σε κορεσμό και η διαδικασία των δοκιμών αυτών. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τρεις δοκιμές τριών (3) σημείων σε ακόρεστες συνθήκες και μία τριών (3) σημείων σε κορεσμένες. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για την δοκιμή της άμεσης διάτμησης σε κορεσμένες συνθήκες δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 13) με τα βασικά χαρακτηριστικά της κάθε δοκιμής.

Πίνακας 13: Πλήθος και χαρακτηριστικά δειγμάτων που εφαρμόστηκε δοκιμή άμεσης διάτμησης σε κορεσμένες συνθήκες.

Πλήθος δειγμάτων	Είδος δοκιμής	Αξονικό φορτίο δοκιμής (kPa)	Κατάταξη δείγματος	Γεώτρηση	Βάθος (m)
3	Διάτμηση σε κορεσμένες, στραγγιζόμενες συνθήκες	22.5	S2 (USCS:SM)	Γ1	2.45 – 3.00
		50			
		100			

Η άμεση διάτμηση σε κορεσμό αποτελεί μια βραδεία δοκιμή διάτμησης όπου έχει προηγηθεί κορεσμός και στερεοποίηση του δοκιμίου. Ο κορεσμός επιτυγχάνεται μέσω της εφαρμογής αντισπίεσης (back pressure) νερού στο δείγμα με την παράλληλη εφαρμογή αξονικού φορτίου ελαφρώς μεγαλύτερου της πίεσης του νερού ώστε να μπορεί να εισέλθει νερό στο δείγμα, να αποτρέπεται από την είσοδο του νερού η διόγκωση του δείγματος και επιπρόσθετα η διαφορά των πιέσεων αυτών να διατηρείται σε τιμές κάτω των 50 kPa ώστε να μην καταστραφεί ο δίσκος υψηλής εισόδου αέρα που βρίσκεται στη βάση της συσκευής. Εφόσον πραγματοποιηθεί ο κορεσμός ακολουθεί η στερεοποίηση του δείγματος, σε στραγγιζόμενες συνθήκες, με το επιθυμητό αξονικό φορτίο ανά περίπτωση. Μετά τη στερεοποίηση και όταν επιτευχθεί ισορροπία στο δείγμα (σταθεροποίηση της αξονικής μετατόπισης) πραγματοποιείται διάτμηση μέχρι το 20% της διατμητικής παραμόρφωσης του δείγματος. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης υπολογίζεται η μέγιστη (peak) και υπολειμματική (residual) αντοχή (τ , τ_r) του δείγματος (Βλάχος, 2015).

7.2.1 Διαδικασία δοκιμής

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

- **Προετοιμασία και τοποθέτηση του δείγματος**

Σε όλες τις συνολικά τέσσερις δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν αναζυμωμένα δείγματα λόγω το ότι δεν ήταν εφικτό να πραγματοποιηθεί δειγματοληψία αδιατάρακτου δείγματος. Η αναζύμωση του δοκιμίου πραγματοποιήθηκε στη φυσική του υγρασία. Σκοπός της αναζύμωσης ήταν η διάσπαση όσο το δυνατόν περισσότερων συσσωματωμάτων (σε γουδί) για την καλύτερη τοποθέτηση του δείγματος στη συσκευή (Βλάχος, 2015).

Η τοποθέτηση του δείγματος πραγματοποιήθηκε σε στρώσεις, οι οποίες διαμορφώθηκαν με ειδικό εργαλείο για την καλύτερη δυνατή πλήρωση του δοκιμίου. Κατά την τοποθέτηση του δείγματος αφαιρείται ποσότητα για τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας του δείγματος πριν τη δοκιμή. Όταν επιτευχθεί το επιθυμητό ύψος, μετρίεται έμμεσα από το συνολικό ύψος του δειγματολήπτη (βλ. εικόνα 19 κεφ. 7.1) και σφραγίζεται η συσκευή (Βλάχος, 2015).



- **Κορεσμός**

Εφόσον έχει τοποθετηθεί το δείγμα και η συσκευή είναι έτοιμη για τη διεξαγωγή της δοκιμής ελέγχονται και μηδενίζονται, όσες είναι απαραίτητο, οι ενδείξεις των μετρήσεων που πρόκειται να καταγραφούν.

Το πρώτο στάδιο αφορά τον κορεσμό του δείγματος, ο οποίος πραγματοποιείται μέσω της επιβολής αντιπίεσης του νερού των πόρων στο κάτω μέρος ταυτόχρονα με την επιβολή αξονικού φορτίου στο πάνω μέρος του δείγματος. Σε όλες τις δοκιμές ο κορεσμός πραγματοποιήθηκε με πίεση του νερού στα τριανταπέντε (35) kPa και αξονικό φορτίο στα δέκα (10) kPa.

Ο χρόνος κορεσμού σε κάθε περίπτωση ήταν μεγαλύτερος από εικοσιτέσσερις (24) ώρες όπου: σταματούσε η δοκιμή, αποσυναρμολογούταν η συσκευή και γινόταν παρατήρηση για το αν υπήρχε περίσσεια νερού στην ανώτερη επιφάνεια του δείγματος.

Ο Πίνακας 17) (βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ σελ.96) αποτελεί απόσπασμα από την καταγραφή δεδομένων κατά τη φάση κορεσμού του δοκιμίου και από την πλήρη καταγραφή δεκαεπτά (17) παραμέτρων παρουσιάζονται στο παράδειγμα οι επτά (7) που μεταβάλλονται κατά τη συγκεκριμένη διαδικασία.

- **Στερεοποίηση**

Η στερεοποίηση πραγματοποιήθηκε με την επιβολή αξονικού φορτίου στα δείγματα και δυνατότητα αποστράγγισης του νερού των πόρων.

Το αξονικό φορτίο μεταβαλλόταν κάθε φορά ανάλογα με τις ανάγκες προσομοίωσης του δείγματος. Το δείγμα υποβλήθηκε σε στερεοποίηση με τα εξής φορτία: στο δείγμα Γ1 (2,45m – 3,00m) 22,5 kPa, 50 και 100 kPa.

Το συγκεκριμένο στάδιο διήρκησε μέχρι η καταγραφή της αξονικής μετατόπισης να παρουσιάζει μεταβολή μικρότερη από 0,001 mm/d.

Ο Πίνακας 18) (βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ σελ.97) αποτελεί απόσπασμα από την καταγραφή δεδομένων κατά τη φάση στερεοποίησης του δοκιμίου και από την πλήρη καταγραφή δεκαεπτά (17) παραμέτρων παρουσιάζονται στο παράδειγμα οι τέσσερις (4) που μεταβάλλονται κατά τη συγκεκριμένη διαδικασία.

- **Διάτμηση**

Η διάτμηση σε κάθε δοκίμιο πραγματοποιήθηκε με σταθερή ταχύτητα διάτμησης στα 0,002 mm/sec (0,12 mm/min). Από τις καταχωρήσεις των δεδομένων

προκύπτει η μέγιστη οριζόντια πίεση που ασκείται στο δείγμα η μέγιστη διατμητική αντοχή του (Βλάχος, 2015).

Ο Πίνακας 19) (βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ σελ.98) αποτελεί απόσπασμα από την καταγραφή δεδομένων κατά τη φάση διάτμησης του δοκιμίου και από την πλήρη καταγραφή δεκαεπτά (17) παραμέτρων παρουσιάζονται στο παράδειγμα οι επτά (7) που μεταβάλλονται κατά τη συγκεκριμένη διαδικασία.

7.3 ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΣΕ ΑΚΟΡΕΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Στη συγκεκριμένη παράγραφο αναλύονται οι δοκιμές διάτμησης σε ακόρεστες συνθήκες. Αυτή η μέθοδος μας δίνει τη δυνατότητα να γνωρίζουμε ακριβώς της συνθήκες αρνητικών πιέσεων πόρων στο δείγμα ανάλογα με την τιμή της υγρασίας έτσι ώστε να είναι δυνατόν να προσομοιαστεί σε δοκιμή διάτμησης το υφιστάμενο εντατικό πεδίο.

Σε περιπτώσεις δοκιμών διάτμησης στη φυσική υγρασία των δειγμάτων ώστε να αποτυπωθεί η αντοχή σε ακόρεστες συνθήκες χωρίς τον έλεγχο της μύζησης, η μεταβολή του όγκου του δείγματος συνεπάγεται και μεταβολή του βαθμού κορεσμού κατά τη διάρκεια αυτής, με αποτέλεσμα τα παραγόμενα χαρακτηριστικά αντοχής να μην μπορούν να αναφερθούν για συγκεκριμένη τιμή βαθμού κορεσμού.

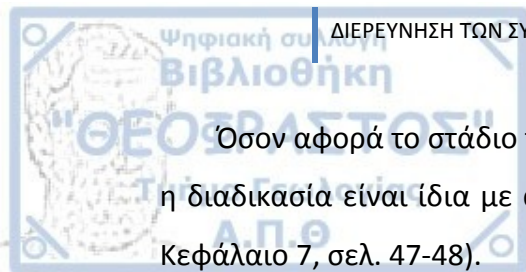
Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται στον Πίνακα 14) με τα βασικά χαρακτηριστικά της κάθε δοκιμής. Πρόκειται για δείγματα της γεώτρησης Γ1 σε βάθος 2,45-3,00 μέτρων, 3,00-3,90 μέτρων και από 5,00 έως 6,00 μέτρων.

Πίνακας 14: Πλήθος και χαρακτηριστικά δειγμάτων που εφαρμόστηκε δοκιμή άμεσης διάτμησης σε ακόρεστες συνθήκες.

Πλήθος δειγμάτων	Είδος δοκιμής	Αξονικό φορτίο δοκιμής (kPa)	Κατάταξη δείγματος	Γεώτρηση	Βάθος (m)
3	Διάτμηση σε φυσική υγρασία, στραγγιζόμενες συνθήκες	22,5,50,100	S2(USCS:SM)	Γ1	2,45-3,00
3		50,100,150	S2(USCS:SM)		3,00-3,90
3		100,150,200	S3(USCS:SP)		5,00-6,00

7.3.1 Διαδικασία Δοκιμής

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ως προς την προετοιμασία και τοποθέτηση, καθώς και στερεοποίηση του δείγματος παραλείποντας το στάδιο του κορεσμού είναι πανομοιότυπη με τη διαδικασία που προαναφέρθηκε στην παράγραφο 7.2.1 του έβδομου (7^{ου}) κεφαλαίου (βλέπε Κεφάλαιο 7, σελ. 46-47).



Όσον αφορά το στάδιο της διάτμησης στα δείγματα με τη φυσική υγρασία η διαδικασία είναι ίδια με αυτή του έβδομου (7^{ου}) κεφαλαίου επίσης (βλέπε Κεφάλαιο 7, σελ. 47-48).

7.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΦΥΛΛΩΝ EXCEL ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής κατασκευάστηκε ένα αρχείο με υπολογιστικά φύλλα στο Microsoft Excel με σκοπό την αυτοματοποιημένη παραγωγή αποτελεσμάτων από την δοκιμή άμεσης διάτμησης και τα πρωτογενή δεδομένα που τη συνοδεύουν. Τα πρωτογενή δεδομένα προέρχονται από την καταγραφή των τάσεων που εφαρμόζονται στο δείγμα σε πραγματικό χρόνο και των αντίστοιχων παραμορφώσεων που προκαλούν σε αυτό. Πιο συγκεκριμένα γίνεται καταγραφή του αξονικού και διατμητικού φορτίου και των αντίστοιχων αξονικών και διατμητικών μετακινήσεων μέσω αυτοματοποιημένων καταγραφικών συστημάτων (controllers και transducers).

Στην συγκεκριμένη παράγραφο γίνεται παρουσίαση των υπολογιστικών φύλλων του αρχείου αυτού όπου και παρατίθενται παραδείγματα εικόνων της τελικής μορφής παρουσίασης των αποτελεσμάτων της δοκιμής.

Πιο συγκεκριμένα το αρχείο αυτό αποτελείται από επτά (7) συνολικά υπολογιστικά φύλλα. Αρχικά τα πρώτα τρία (3) φύλλα αποτελούν τμήμα του σταδίου της στερεοποίησης των τριών (3) διαφορετικών τιμών φόρτισης του δείγματος. Στη συνέχεια τα επόμενα τρία (3) αποτελούν τμήμα του σταδίου της διάτμησης αντίστοιχα ενώ τέλος το τελευταίο φύλλο αποτελεί το φύλλο παρουσίασης των παραγόμενων διαγραμμάτων:

- i) τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης
- ii) αξονικής παραμόρφωσης-χρόνου
- iii) διατμητικής τάσης-κάθετης τάσης από το οποίο υπολογίζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά αντοχής c' και ϕ' .

Στο τελικό φύλλο παρουσίασης αναγράφονται επίσης τα φυσικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων όπως η φυσική υγρασία, το υγρό φαινόμενο βάρος, το ξηρό φαινόμενο βάρος, ο λόγος των κενών, το ειδικό βάρος και ο βαθμός κορεσμού των δειγμάτων ενώ τέλος και χρήσιμα στοιχεία της δοκιμής όπως ο αριθμός της γεώτρησης, η ημερομηνία, ο αριθμός και το βάθος του κάθε δείγματος.

(α)

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (Α.Π.Θ.) ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ-
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ &
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**



ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ASTM D 3080, BS 1377

SHEAR TEST ASTM D 3080, BS 1377

Γεώτρηση (Borehole) :	Γ1	Ημερομηνία (Date):	19/9/16
Δείγμα (Sample):	S1	Βάθος (Depth) m:	2,45-3,00

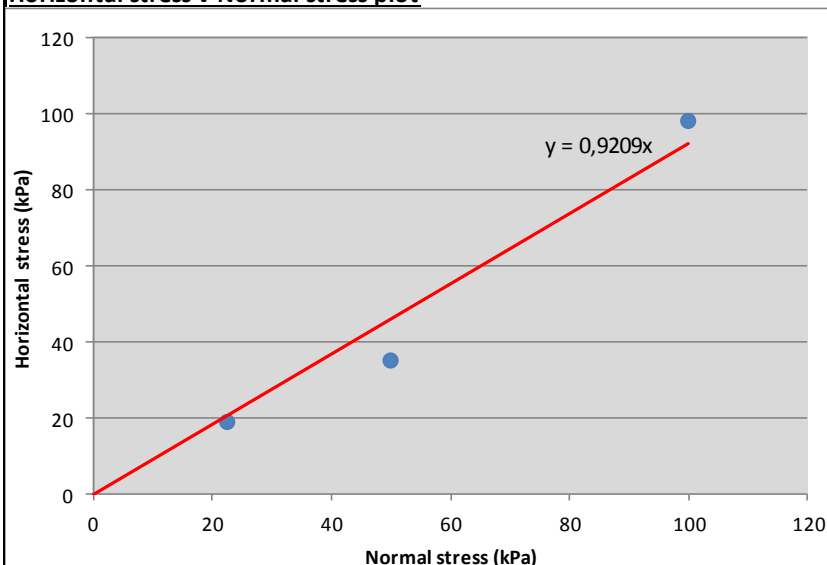
Sample data :

Αριθμός Δοκιμής Test No		1	2	3
Moisture content	%	13,47	26,62	28,22
Wet Bulk density	kN/m ³	0,00	0,00	0,00
Dry Bulk Density	kN/m ³			
Void ratio		#ΤΙΜΗ!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!
Saturation	%	#ΤΙΜΗ!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!
Specific Gravity		26,5	26,5	26,5

Failure Measurements :

Normal stress	kN/m ³	22,5	50	100
Horizontal stress	kN/m ³	19	35	98
Res. Horizontal stress	kN/m ³			
Pore Pressure	kN/m ³	N/A	N/A	N/A
Strain	%			

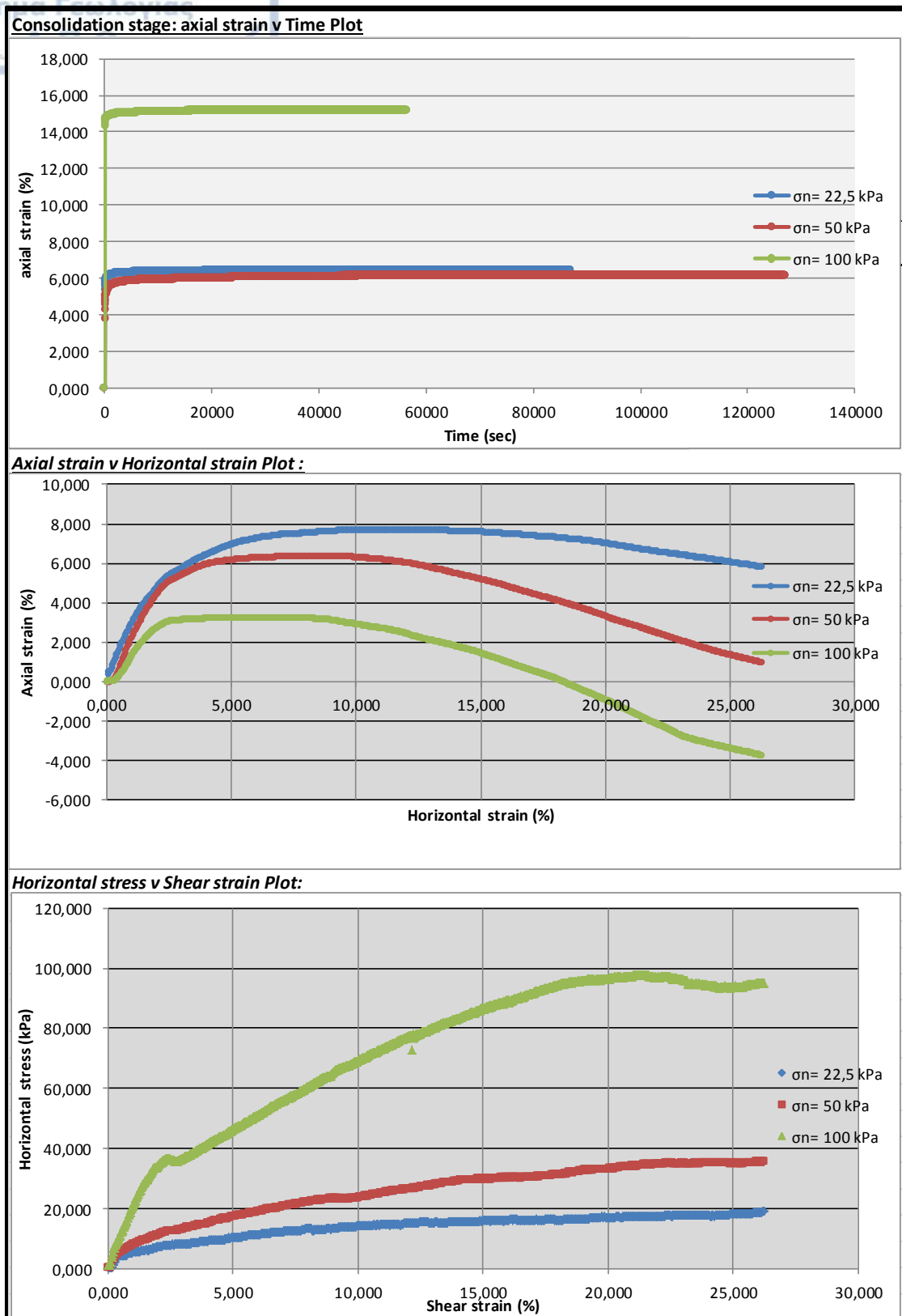
Horizontal stress v Normal stress plot



Results:

$\phi (^{\circ})=$	42,64
$c=$	0

(β)

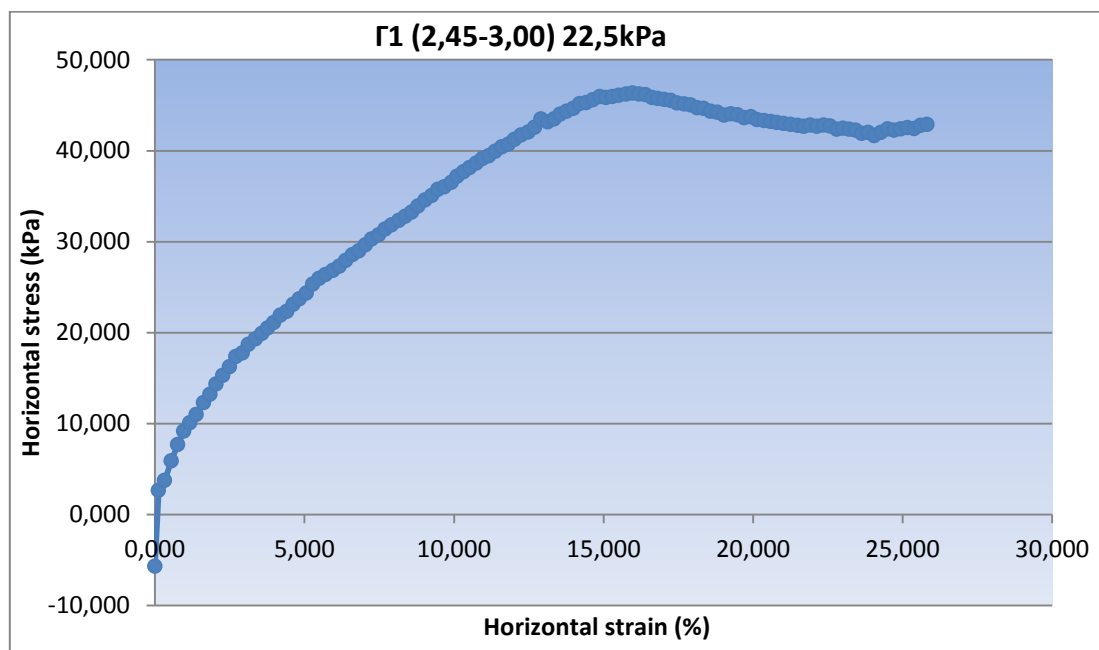


Εικόνα 23: Τελική μορφή φύλλου παρουσίασης αποτελεσμάτων δοκιμής άμεσης διάτμησης. (α) Διάγραμμα διατμητικής – κάθετης τάσης (kPa) και χρήσιμα στοιχεία δοκιμής, (β) παρουσίαση παραγόμενων συγκεντρωτικών διαγραμμάτων δοκιμής, αξονικής παραμόρφωσης (%) - χρόνου (sec), αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης και διατμητικής τάσης – αξονικής παραμόρφωσης.

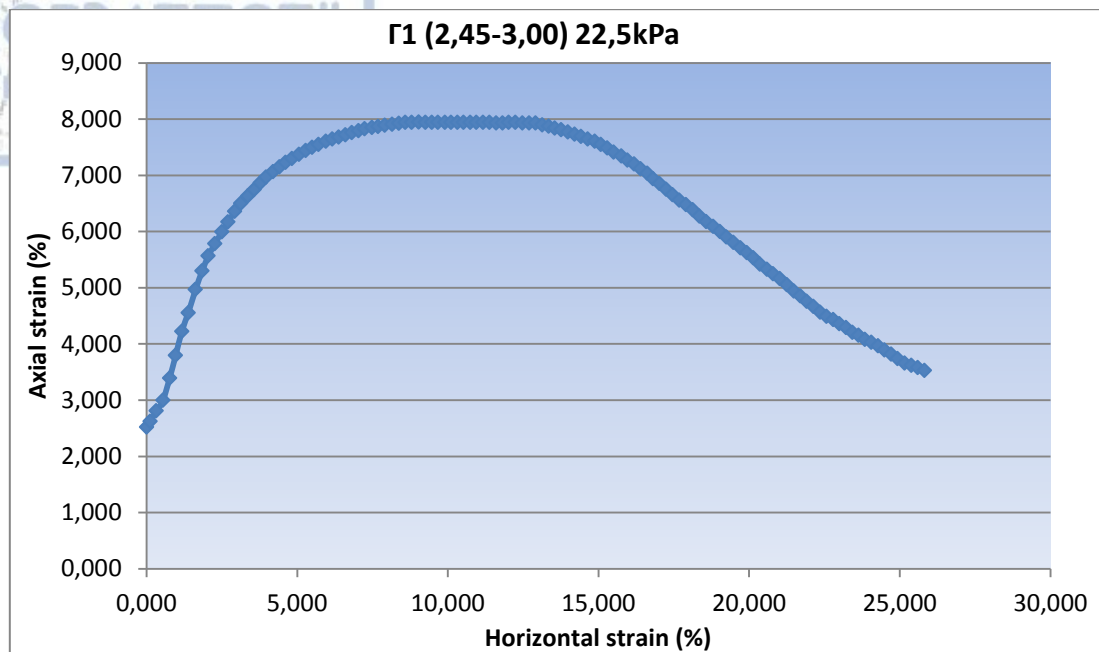
7.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

Στην παράγραφο αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα που παρήχθησαν τόσο από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης σε κορεσμένες συνθήκες όσο και σε ακόρεστες.

- Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που παρήχθησαν από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε ακόρεστες συνθήκες. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής:
- Για τα δείγματα της γεώτρησης Γ1 (2,45-3,00) πραγματοποιήθηκε μία σειρά από δοκιμές στη φυσική τους υγρασία με σκοπό τον προσδιορισμό των μηχανικών παραμέτρων υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες:
- 1. Διάτμηση σε φυσική υγρασία για στερεοποίηση στα 22,5 kPa. Στην Εικόνα 24 και Εικόνα 25 παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 46 kPa και αντιστοιχεί σε 13% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 42 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 25%.

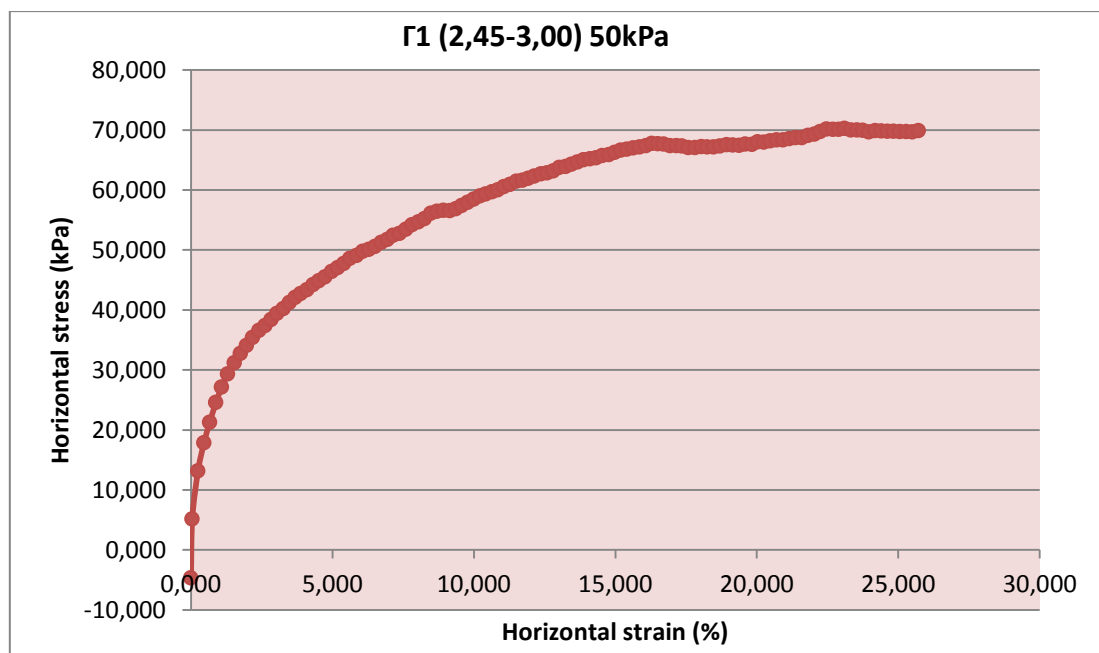


Εικόνα 24: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 22,5 kPa.

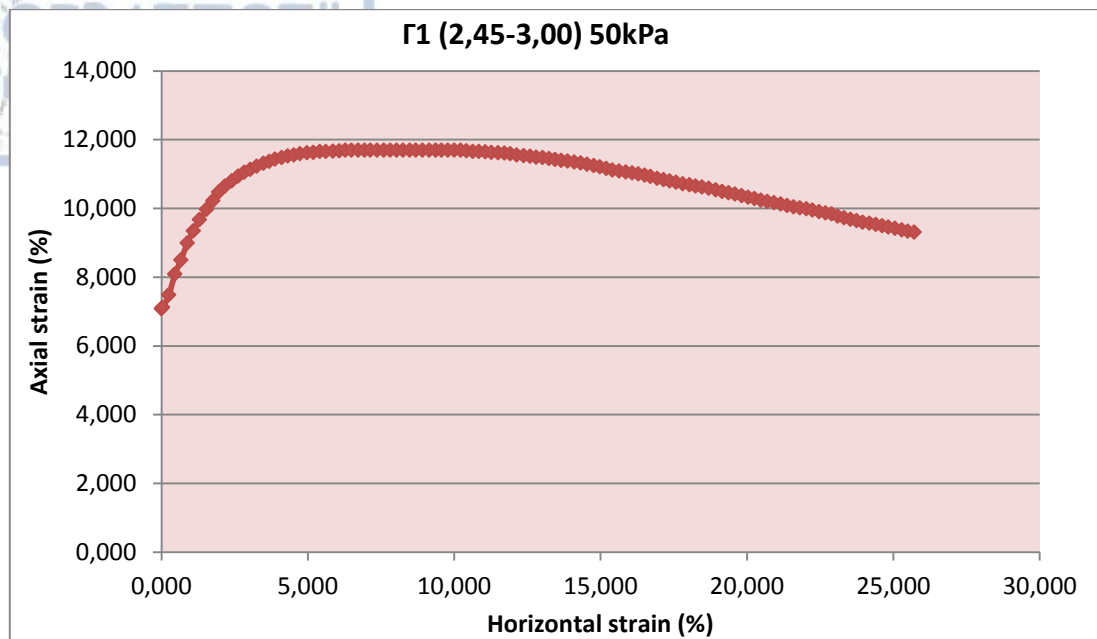


Εικόνα 25: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 22,5 kPa.

- Διάτμηση σε φυσική υγρασία για στερεοποίηση 50 kPa. Στην Εικόνα 26) και Εικόνα 27) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 70 kPa και αντιστοιχεί σε 13% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 68 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 25%.

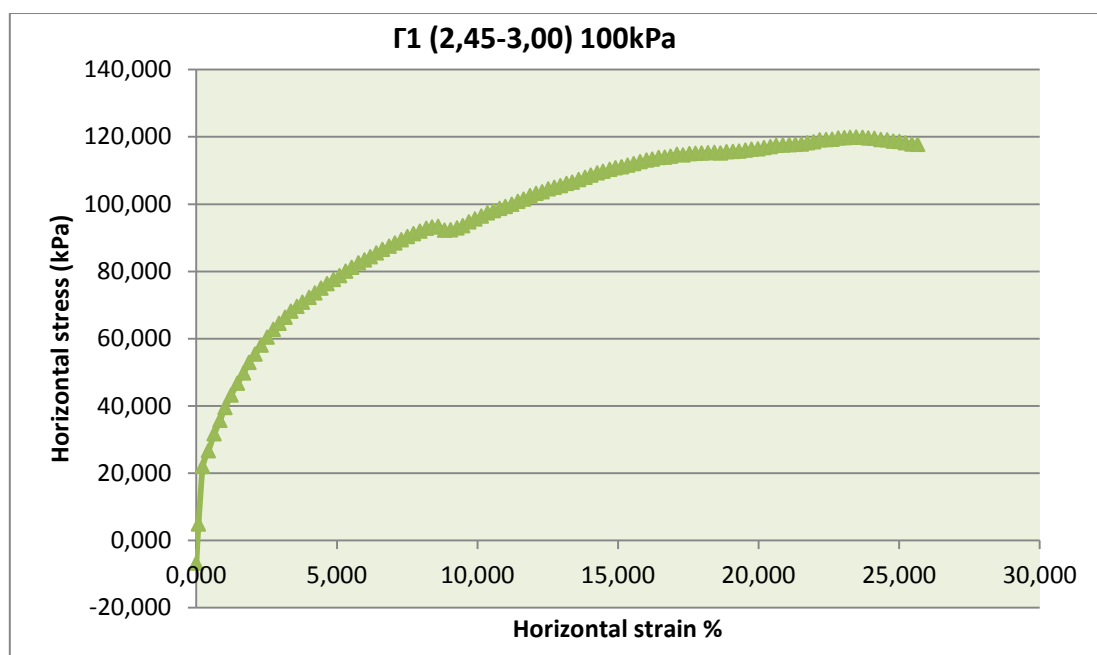


Εικόνα 26: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 50 kPa.

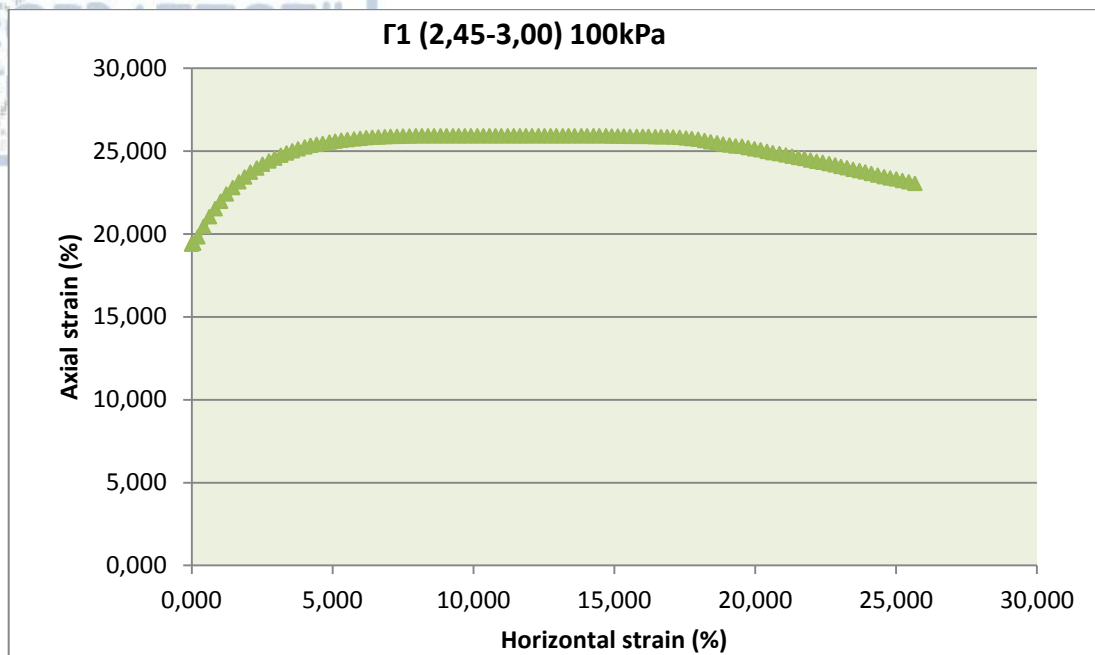


Εικόνα 27: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 50 kPa.

- Διάτμηση σε φυσική υγρασία για στερεοποίηση 100 kPa. Στην Εικόνα 28) και Εικόνα 29) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 120 kPa και αντιστοιχεί σε 13% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 118 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 25%.



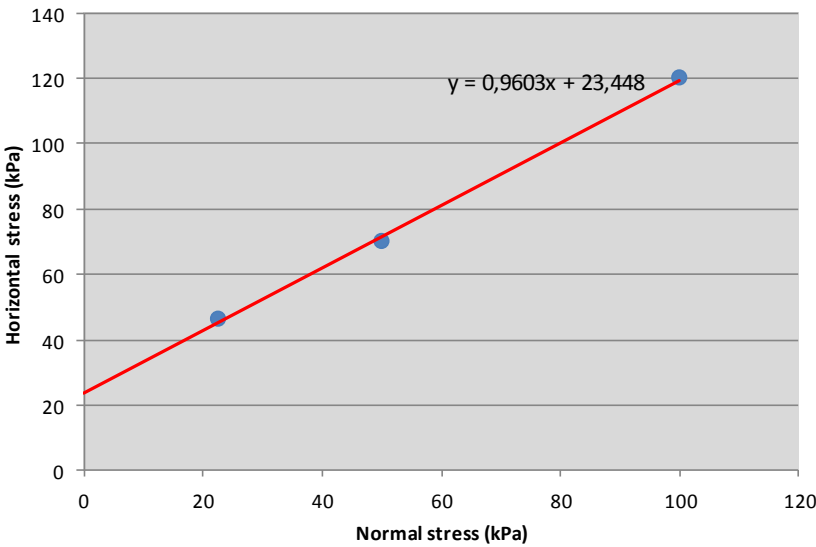
Εικόνα 28: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 100 kPa.



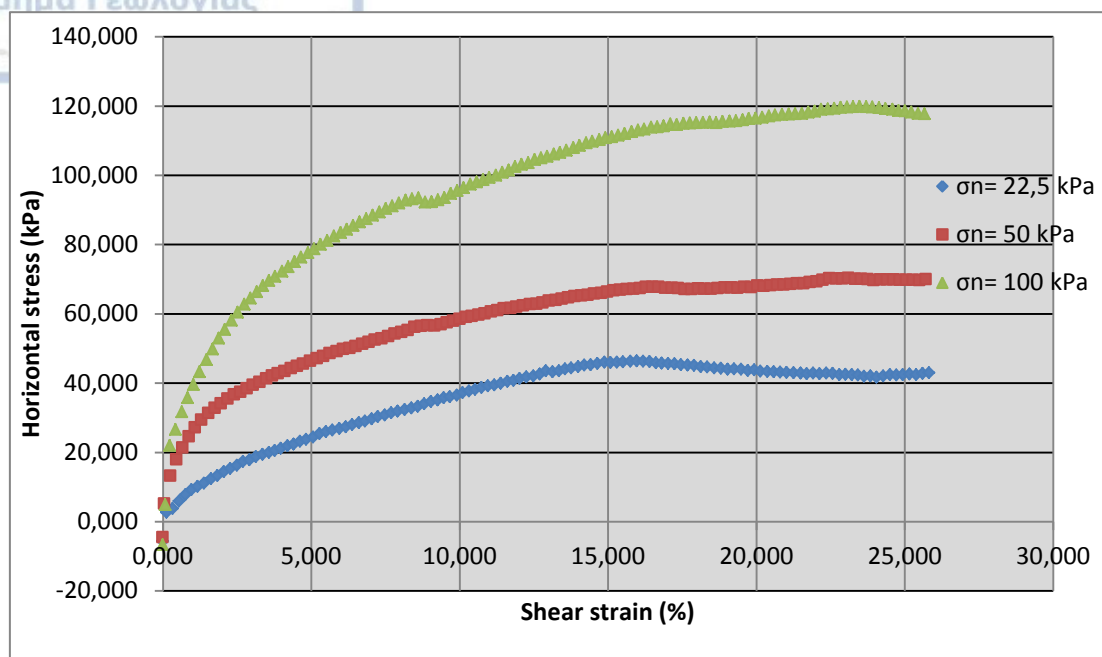
Εικόνα 29: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 100 kPa.

4. Από τις παραπάνω δοκιμές σε διαφορετική αξονική τάση προκύπτει στην Εικόνα 31) το συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης. Στο διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται η αναμενόμενη αύξηση της διατμητικής αντοχής αναλογικά με την αύξηση του αξονικού φορτίου στο δείγμα.

Οι μέγιστες τιμές της διατμητικής τάσης σε σχέση με την αξονική τάση μας δίνουν στο διάγραμμα διατμητικής τάσης (τ) – αξονικής τάσης (σ_n) τα σημεία της περιβάλλουσας θραύσης κατά Mohr – Coulomb από τα οποία υπολογίζονται οι μηχανικές παράμετροι του υλικού c' και ϕ' όπως φαίνεται παρακάτω. Στην Εικόνα 30) παρατηρούμε ότι η ευθεία βρίσκεται σχεδόν πάνω και στα τρία σημεία οπότε το αποτέλεσμα της συνοχής και της γωνίας τριβής έχει μεγάλη ακρίβεια.

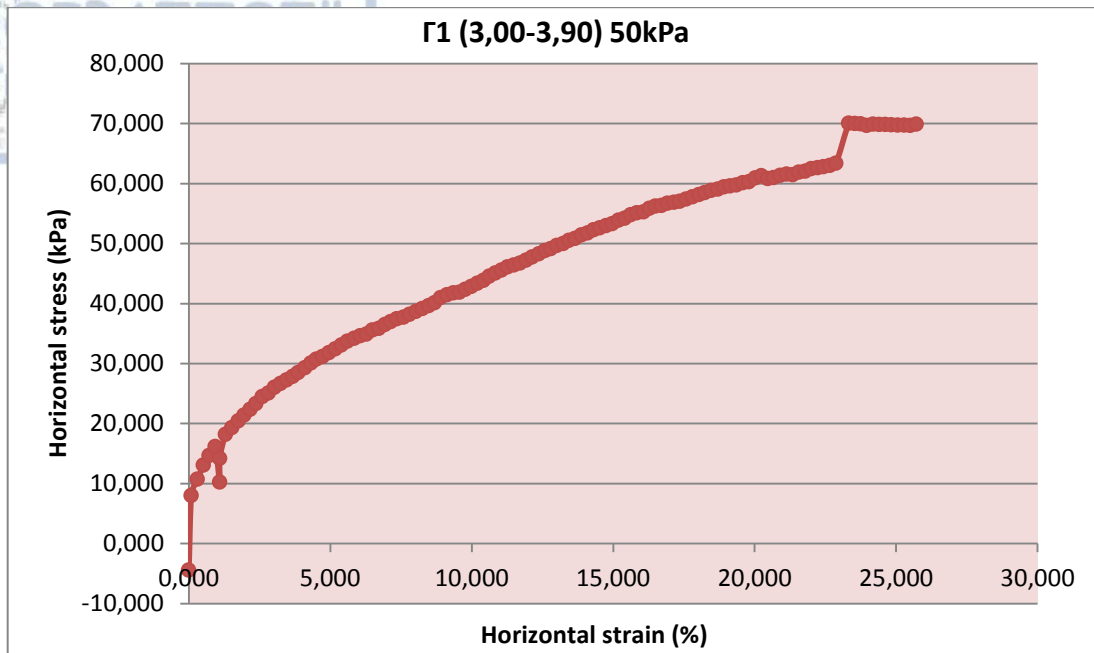
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (Α.Π.Θ.) ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ- ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ							
ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ASTM D 3080, BS 1377							
SHEAR TEST ASTM D 3080, BS 1377							
Γεώτρηση (Borehole) :	Γ1	Ημερομηνία (Date):	19/9/16				
Δείγμα (Sample):	S1	Βάθος (Depth) m:	2,45-3,00				
Sample data :							
Αριθμός Δοκιμής Test No		1	2				
Moisture content	%						
Wet Bulk density	kN/m ³		0,00				
Dry Bulk Density	kN/m ³						
Void ratio			#ΔΙΑΙΡ./0!				
Saturation	%		#ΔΙΑΙΡ./0!				
Specific Gravity		26,5	26,5				
Failure Measurements :							
Normal stress	kN/m ³	22,5	50				
Horizontal stress	kN/m ³	46	70				
Res. Horizontal stress	kN/m ³						
Pore Pressure	kN/m ³	N/A	N/A				
Strain	%						
Horizontal stress v Normal stress plot							
		Results: <table border="1"> <tr> <td>φ (°)=</td> <td>43,84</td> </tr> <tr> <td>c=</td> <td>23,448</td> </tr> </table>		φ (°)=	43,84	c=	23,448
φ (°)=	43,84						
c=	23,448						

Εικόνα 30: Διάγραμμα διατμητικής (kPa) – κάθετης τάσης (kPa). Αρχικά λαμβάνονται οι μέγιστες τιμές (peak) των διατμητικών τάσεων και τοποθετούνται ως σημεία στο παραπάνω διάγραμμα. Από το διάγραμμα αυτό τελικώς εξάγονται οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών c' και ϕ' σύμφωνα με την μαθηματική σχέση του Coulomb $\tau=c+\sigma_n \tan \phi$. Στην προκειμένη περίπτωση $c=23,448$ και $\phi = \tan^{-1}(0,9603) = 43,84^\circ$

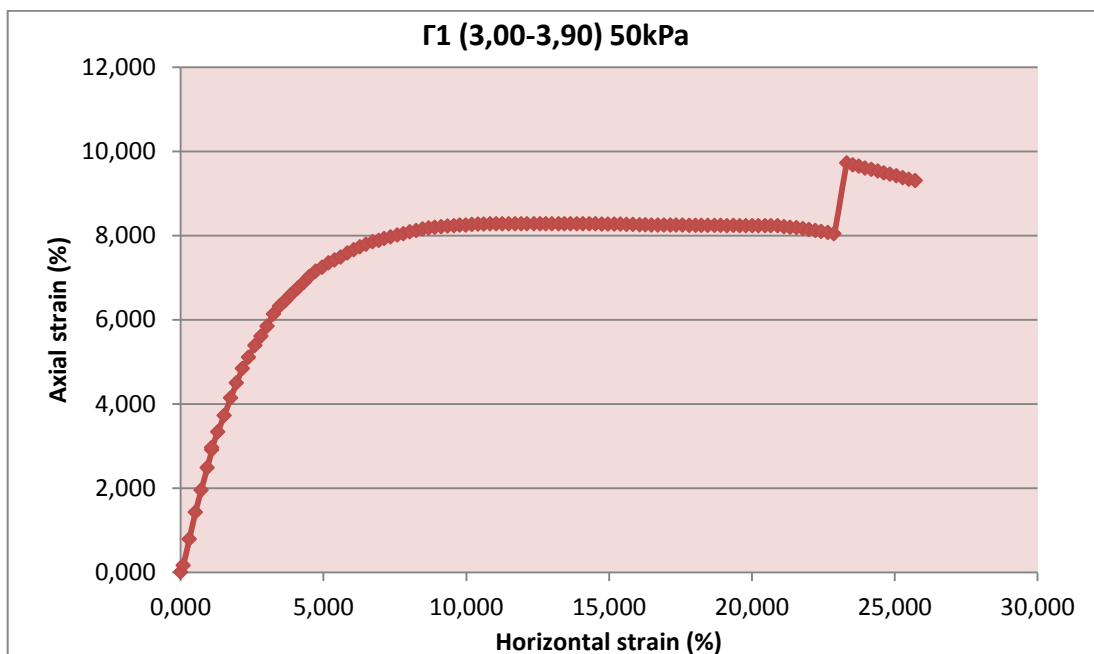
Horizontal stress v Shear strain Plot: Γ1 (2,45-3,00)

Εικόνα 31: Συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τα δείγματα της γεώτρησης Γ1 (2,45-3,00).

- Για τα δείγματα της γεώτρησης Γ1 (3,00-3,90) πραγματοποιήθηκε μία σειρά από δοκιμές στη φυσική τους υγρασία με σκοπό τον προσδιορισμό των μηχανικών παραμέτρων υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες:
1. Διάτμηση σε φυσική υγρασία για στερεοποίηση στα 50 kPa. Στην Εικόνα 32) και Εικόνα 33) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 42 kPa και αντιστοιχεί σε 13% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 42 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 25%.



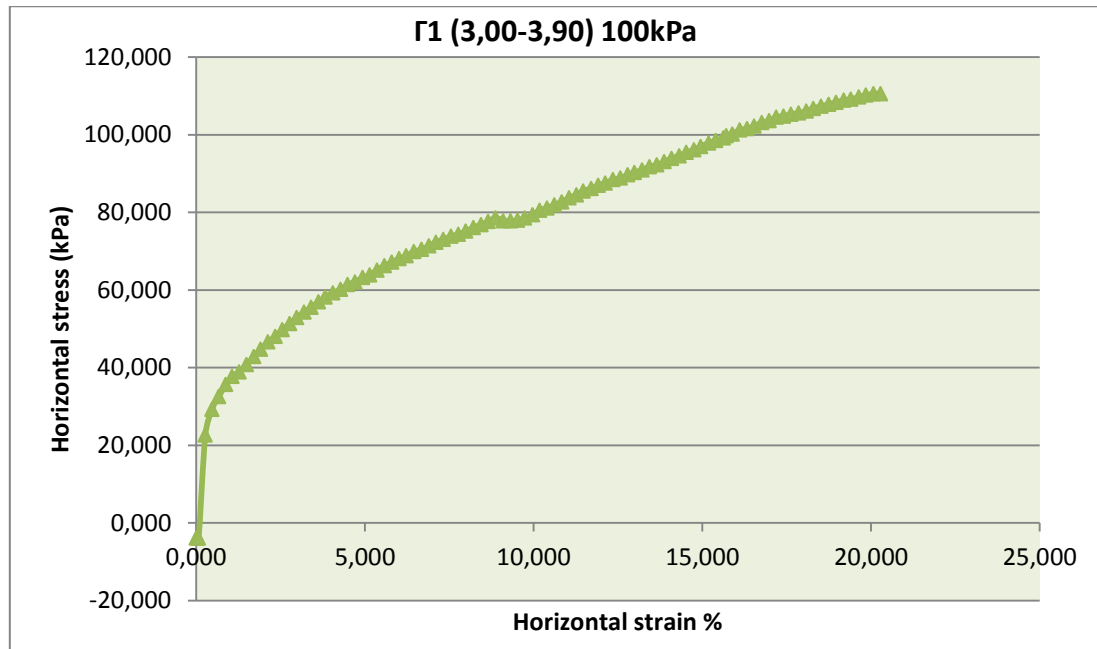
Εικόνα 32: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (3,00-3,90) στα 50 kPa.



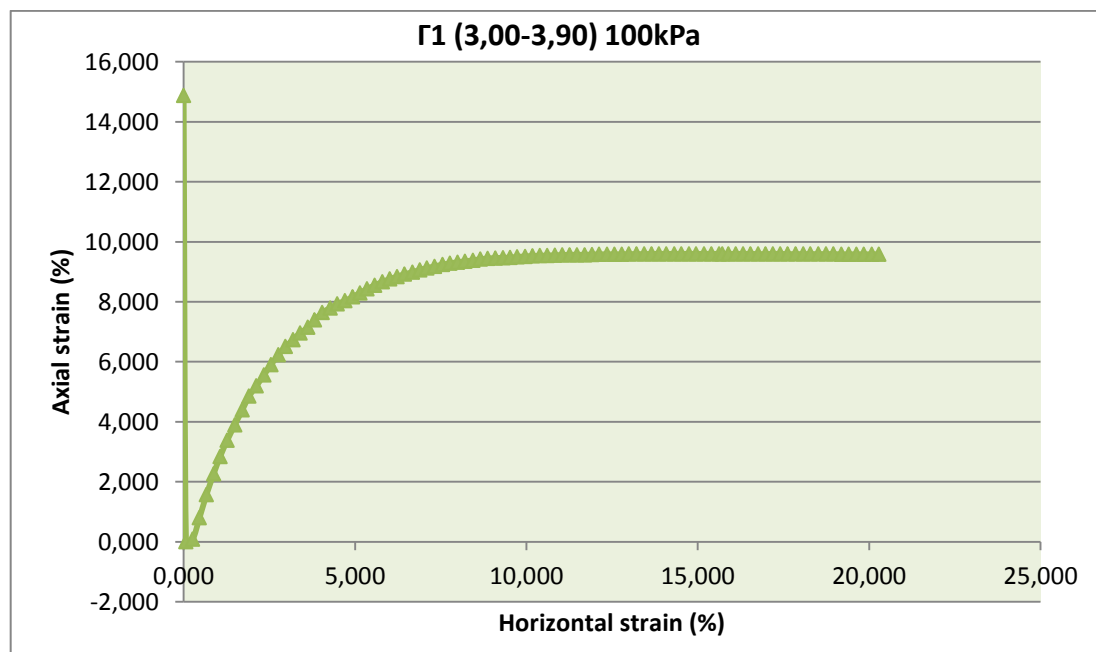
Εικόνα 33: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (3,00-3,90) στα 50 kPa.

- Διάτμηση σε φυσική υγρασία για στερεοποίηση στα 100 kPa. Στην Εικόνα 34) και Εικόνα 35) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παρα-

μόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 78 kPa και αντιστοιχεί σε 13% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 78 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 25%.

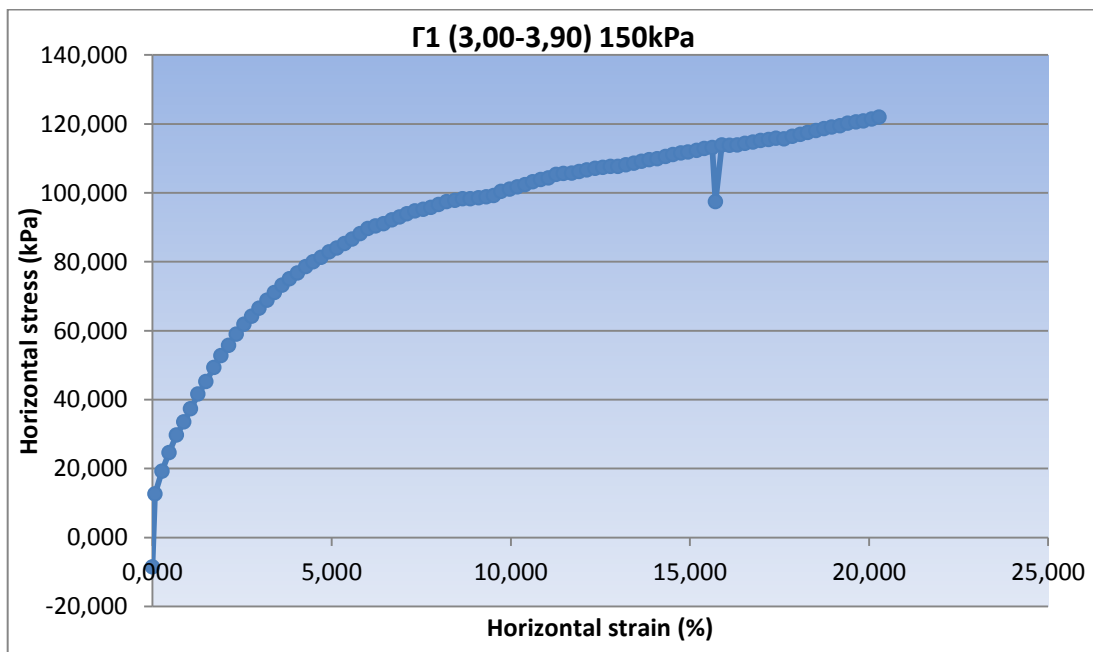


Εικόνα 34: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του G1 (3,00-3,90) στα 100 kPa.

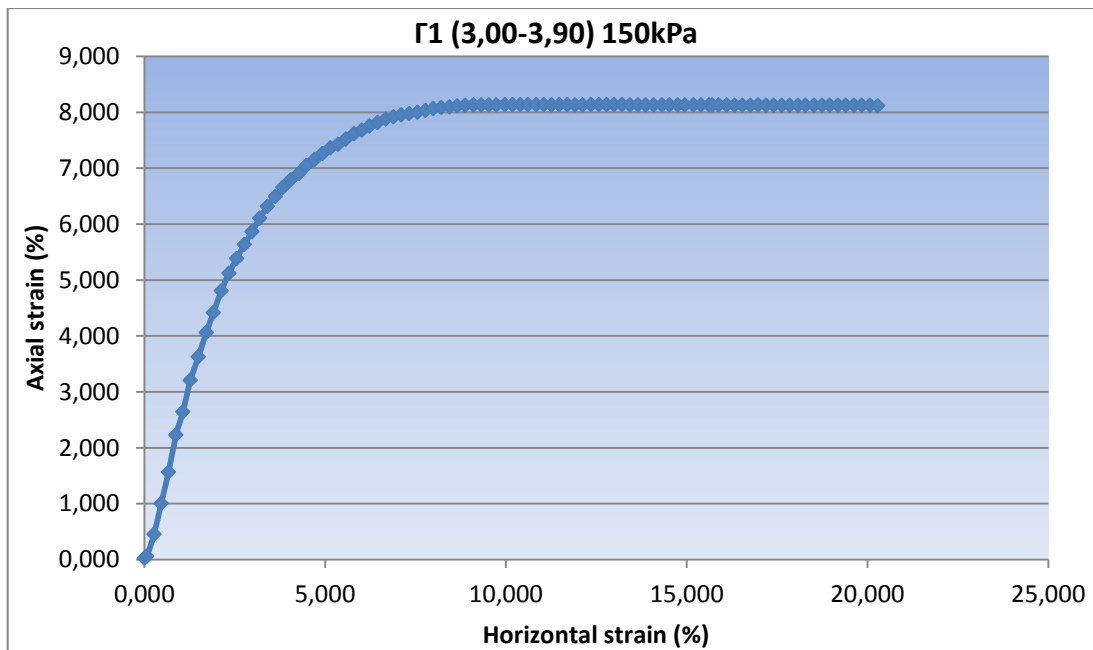


Εικόνα 35: Διάγραμμα αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του G1 (3,00-3,90) στα 100 kPa.

3. Διάτμηση σε φυσική υγρασία για στερεοποίηση στα 150 kPa. Στην Εικόνα 36) και Εικόνα 37) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 98 kPa και αντιστοιχεί σε 13% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 98 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 25%.



Εικόνα 36: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (3,00-3,90) στα 150 kPa.

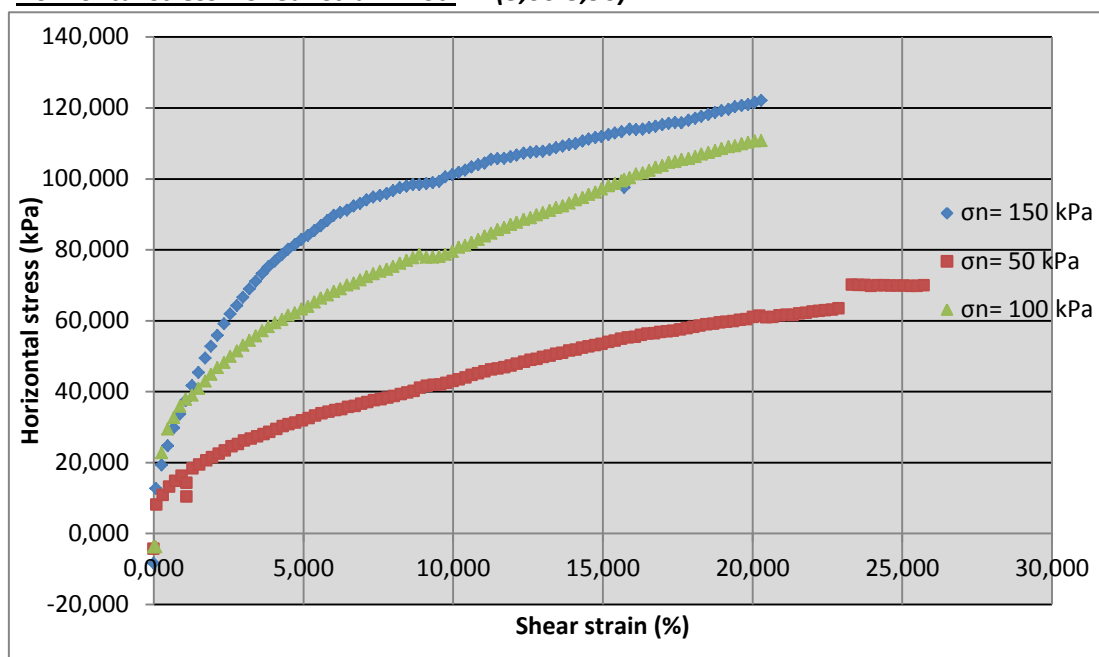


Εικόνα 37: Διάγραμμα αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (3,00-3,90) στα 150 kPa.

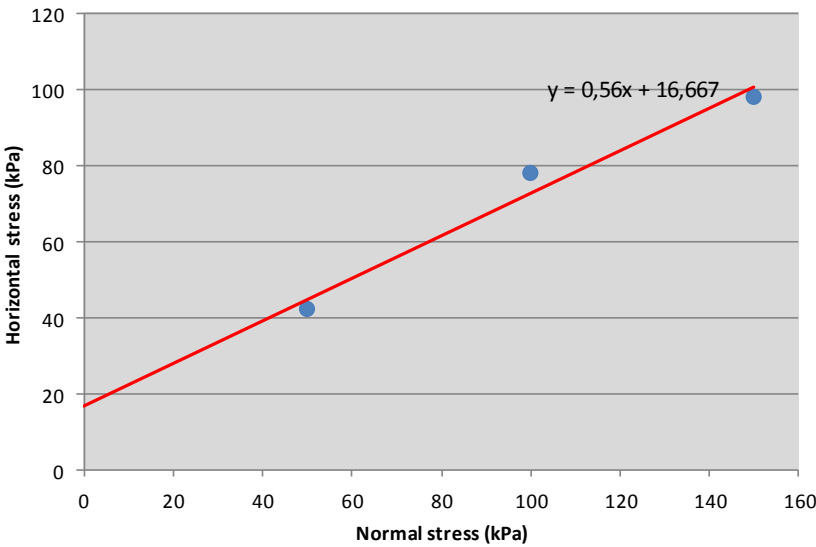
4. Από τις παραπάνω δοκιμές σε διαφορετική αξονική τάση προκύπτει στην Εικόνα 38) το συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης. Στο διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται η αναμενόμενη αύξηση της διατμητικής αντοχής αναλογικά με την αύξηση του αξονικού φορτίου στο δείγμα.

Οι μέγιστες τιμές της διατμητικής τάσης σε σχέση με την αξονική τάση μας δίνουν στο διάγραμμα διατμητικής τάσης (τ) – αξονικής τάσης (σ_n) τα σημεία της περιβάλλουσας θραύσης κατά Mohr – Coulomb από τα οποία υπολογίζονται οι μηχανικές παράμετροι του υλικού c' και ϕ' όπως φαίνεται παρακάτω. Στην Εικόνα 39) παρατηρούμε ότι η ευθεία δεν βρίσκεται σχεδόν πάνω και στα τρία σημεία οπότε το αποτέλεσμα της συνοχής και της γωνίας τριβής δεν έχει πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Horizontal stress v Shear strain Plot: Γ1 (3,00-3,90)



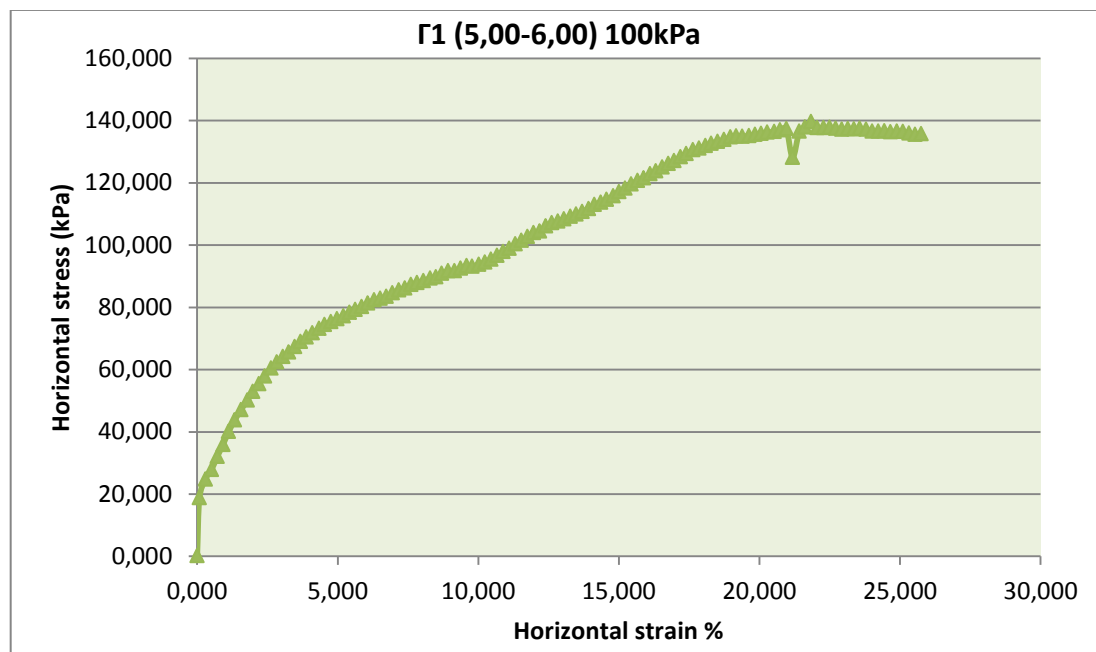
Εικόνα 38: Συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τα δείγματα της γεώτρησης Γ1 (3,00-3,90).

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (Α.Π.Θ.) ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ- ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ							
ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ASTM D 3080, BS 1377							
SHEAR TEST ASTM D 3080, BS 1377							
Γεώτρηση (Borehole):	Γ1	Ημερομηνία (Date):	19/9/16				
Δείγμα (Sample):	S1	Βάθος (Depth) m:	3,00-3,90				
Sample data :							
Αριθμός Δοκιμής Test No		1	2				
Moisture content	%						
Wet Bulk density	kN/m ³		0,00				
Dry Bulk Density	kN/m ³						
Void ratio			#ΔΙΑΙΡ./0!				
Saturation	%		#ΔΙΑΙΡ./0!				
Specific Gravity		26,5	26,5				
Failure Measurements :							
Normal stress	kN/m ³	150	50				
Horizontal stress	kN/m ³	98	42				
Res. Horizontal stress	kN/m ³						
Pore Pressure	kN/m ³	N/A	N/A				
Strain	%						
Horizontal stress v Normal stress plot							
		Results: <table border="1"> <tr> <td>φ (°)=</td> <td>29,25</td> </tr> <tr> <td>c=</td> <td>16,667</td> </tr> </table>		φ (°)=	29,25	c=	16,667
φ (°)=	29,25						
c=	16,667						

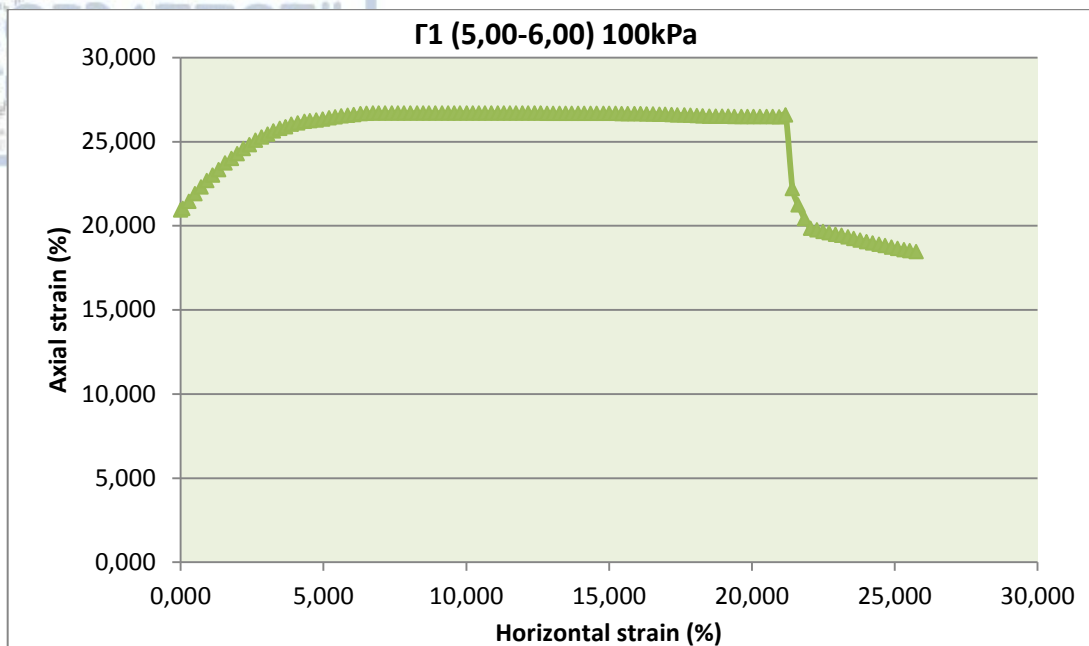
Εικόνα 39: Διάγραμμα διατμητικής (kPa) – κάθετης τάσης (kPa). Αρχικά λαμβάνονται οι μέγιστες τιμές (peak) των διατμητικών τάσεων και τοποθετούνται ως σημεία στο παραπάνω διάγραμμα. Από το διάγραμμα αυτό τελικώς εξάγονται οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών c' και ϕ' σύμφωνα με την μαθηματική σχέση του Coulomb $\tau=c+\sigma_n \tan \phi$. Στην προκειμένη περίπτωση $c=16,667$ και $\phi = \tan^{-1}(0,56) = 29,25^\circ$

- Τέλος πραγματοποιήθηκε για τα δείγματα της γεώτρησης Γ1 (5,00-6,00) μία σειρά από δοκιμές στη φυσική τους υγρασία με σκοπό τον προσδιορισμό των μηχανικών παραμέτρων υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες:

1. Διάτμηση σε φυσική υγρασία για στερεοποίηση στα 100 kPa. Στην Εικόνα 40) και Εικόνα 41) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 94 kPa και αντιστοιχεί σε 13% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 94 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 25%.

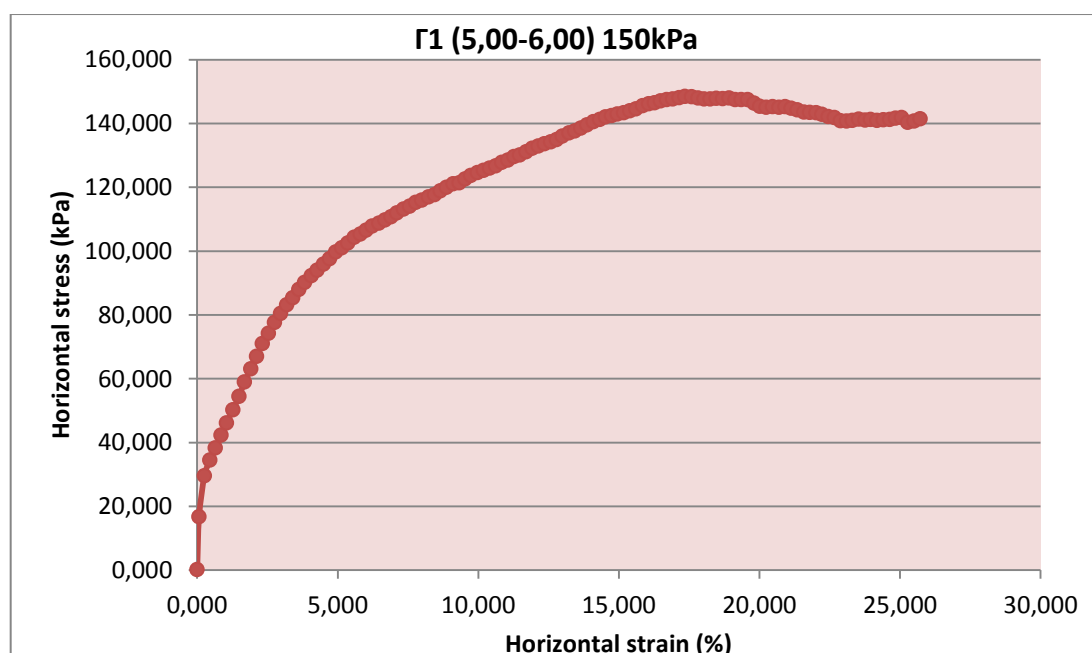


Εικόνα 40: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (5,00-6,00) στα 100 kPa.

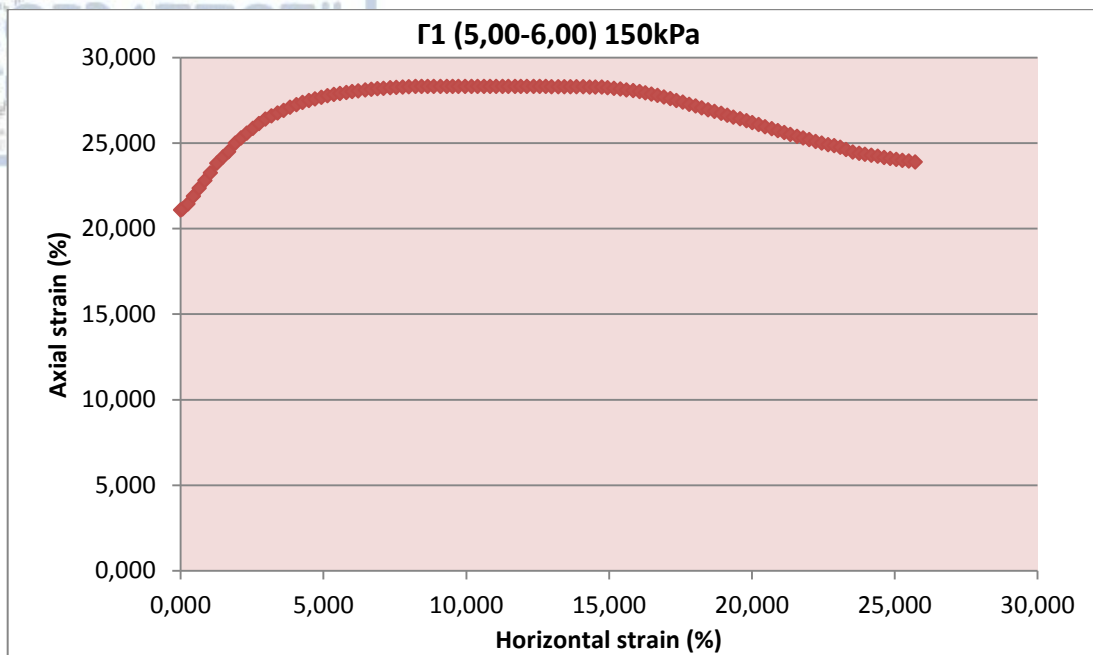


Εικόνα 41: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (5,00-6,00) στα 100 kPa.

2. Διάτμηση σε φυσική υγρασία για στερεοποίηση στα 150 kPa. Στην Εικόνα 42) και Εικόνα 43) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 148,3 kPa και αντιστοιχεί σε 13% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 141 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 25%.

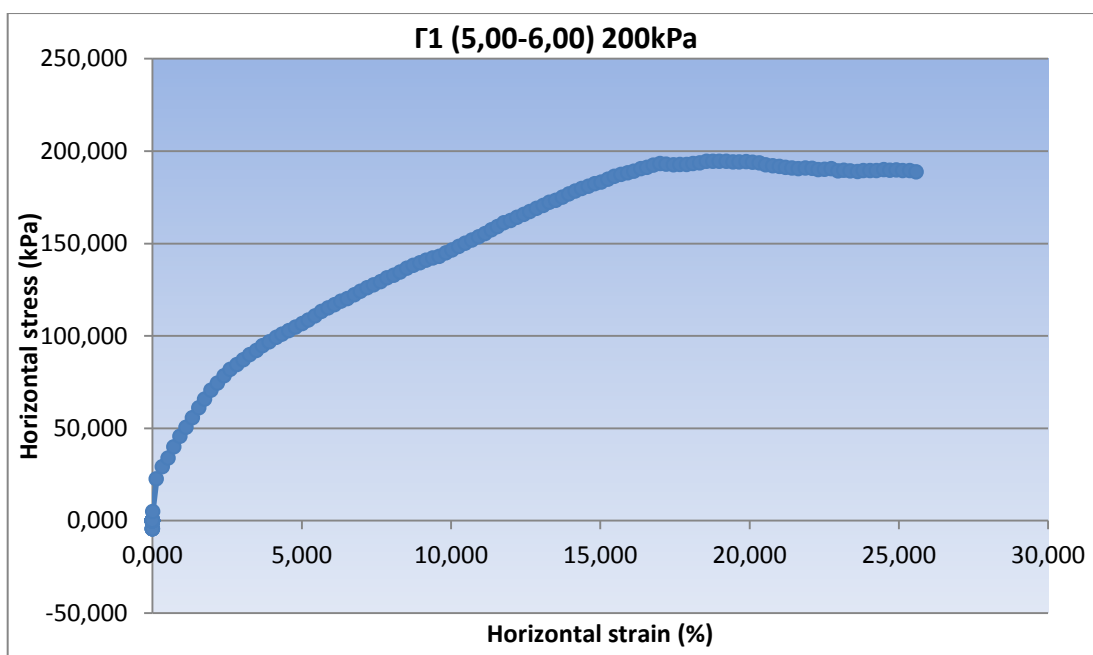


Εικόνα 42: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (5,00-6,00) στα 150 kPa.

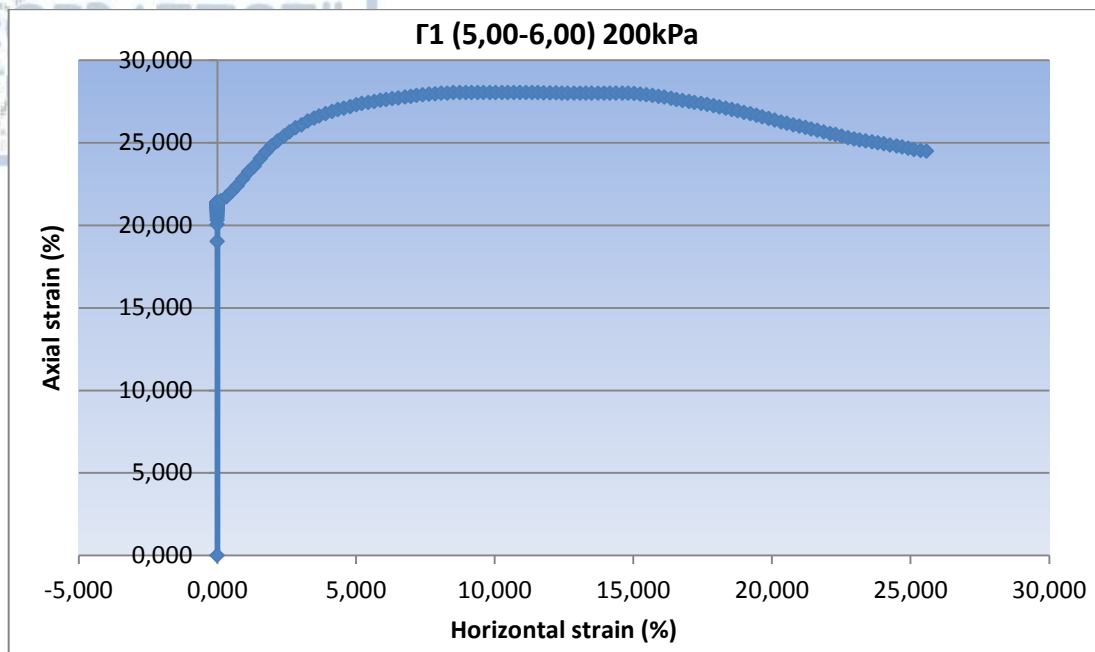


Εικόνα 43: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (5,00-6,00) στα 150 kPa.

3. Διάτμηση σε φυσική υγρασία για στερεοποίηση στα 200 kPa. Στην Εικόνα (42) και Εικόνα (43) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 194 kPa και αντιστοιχεί σε 13% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 190 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 25%.



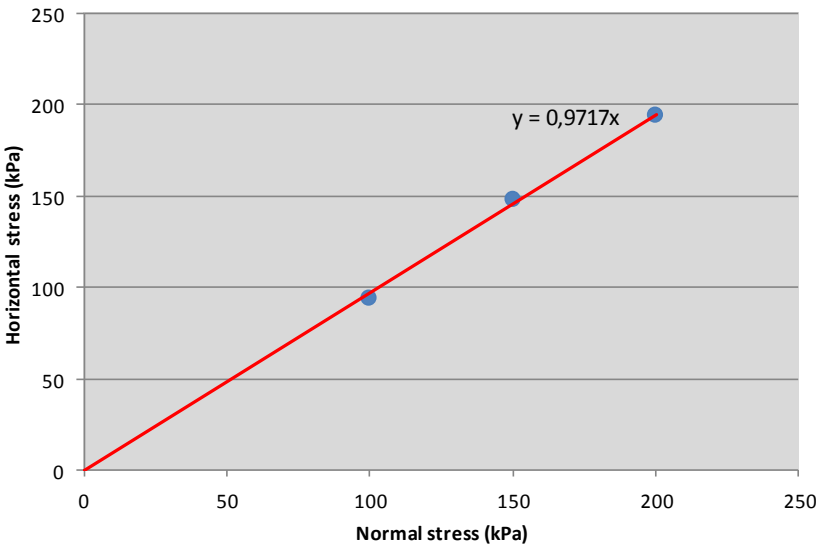
Εικόνα 44: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (5,00-6,00) στα 200 kPa.



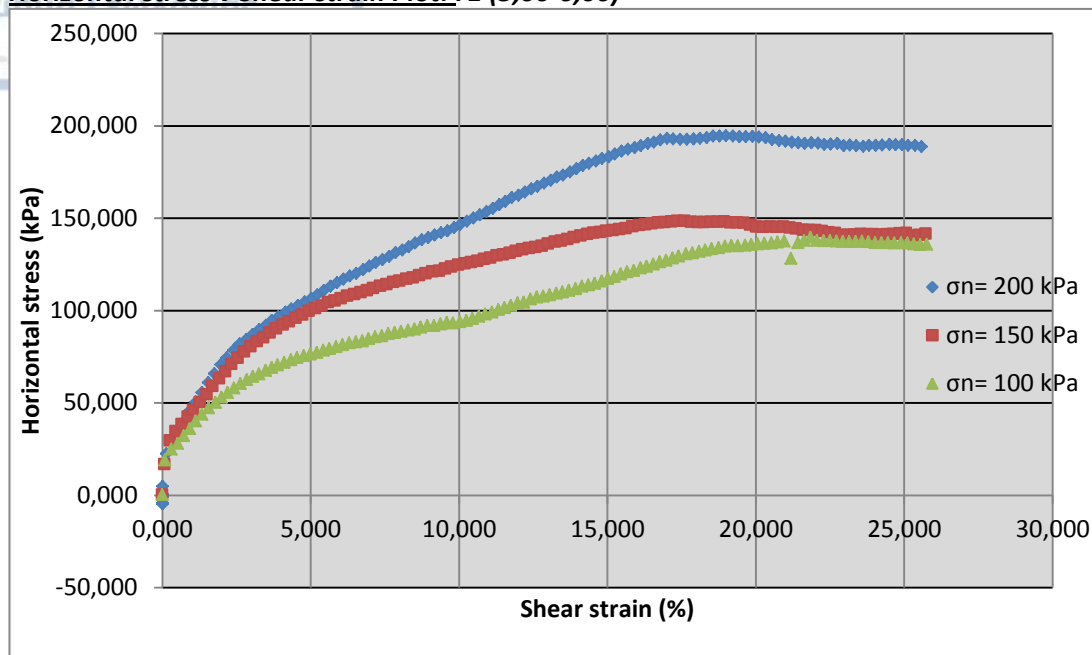
Εικόνα 45: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (5,00-6,00) στα 200 kPa.

4. Από τις παραπάνω δοκιμές σε διαφορετική αξονική τάση προκύπτει στην Εικόνα (38) το συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης. Στο διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται η αναμενόμενη αύξηση της διατμητικής αντοχής αναλογικά με την αύξηση του αξονικού φορτίου στο δείγμα.

Οι μέγιστες τιμές της διατμητικής τάσης σε σχέση με την αξονική τάση μας δίνουν στο διάγραμμα διατμητικής τάσης (τ) – αξονικής τάσης (σ_n) τα σημεία της περιβάλλουσας θραύσης κατά Mohr – Coulomb από τα οποία υπολογίζονται οι μηχανικές παράμετροι του υλικού c' και ϕ' όπως φαίνεται παρακάτω. Στην Εικόνα 46) παρατηρούμε ότι η ευθεία βρίσκεται σχεδόν πάνω και στα τρία σημεία οπότε το αποτέλεσμα της συνοχής και της γωνίας τριβής έχει αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (Α.Π.Θ.) ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ- ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ							
ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ASTM D 3080, BS 1377							
SHEAR TEST ASTM D 3080, BS 1377							
Γεώτρηση (Borehole) :	Γ1	Ημερομηνία (Date):	19/9/16				
Δείγμα (Sample):	S1	Βάθος (Depth) m:	5,00-6,00				
Sample data :							
Αριθμός Δοκιμής Test No		1	2				
Moisture content	%						
Wet Bulk density	kN/m ³		0,00				
Dry Bulk Density	kN/m ³						
Void ratio			#ΔΙΑΠ./0!				
Saturation	%		#ΔΙΑΠ./0!				
Specific Gravity		26,5	26,5				
Failure Measurements :							
Normal stress	kN/m ³	200	150				
Horizontal stress	kN/m ³	194	148,3				
Res. Horizontal stress	kN/m ³						
Pore Pressure	kN/m ³	N/A	N/A				
Strain	%						
Horizontal stress v Normal stress plot							
		Results: <table border="1"> <tr> <td>φ (°)=</td> <td>44,18</td> </tr> <tr> <td>c=</td> <td>0</td> </tr> </table>		φ (°)=	44,18	c=	0
φ (°)=	44,18						
c=	0						

Εικόνα 46: Διάγραμμα διατμητικής (kPa) – κάθετης τάσης (kPa). Αρχικά λαμβάνονται οι μέγιστες τιμές (peak) των διατμητικών τάσεων και τοποθετούνται ως σημεία στο παραπάνω διάγραμμα. Από το διάγραμμα αυτό τελικώς εξάγονται οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών c' και ϕ' σύμφωνα με την μαθηματική σχέση του Coulomb $\tau=c+\sigma_n \tan \phi$. Στην προκειμένη περίπτωση $c=0$ και $\phi = \tan^{-1}(0,9717) = 44,18^\circ$

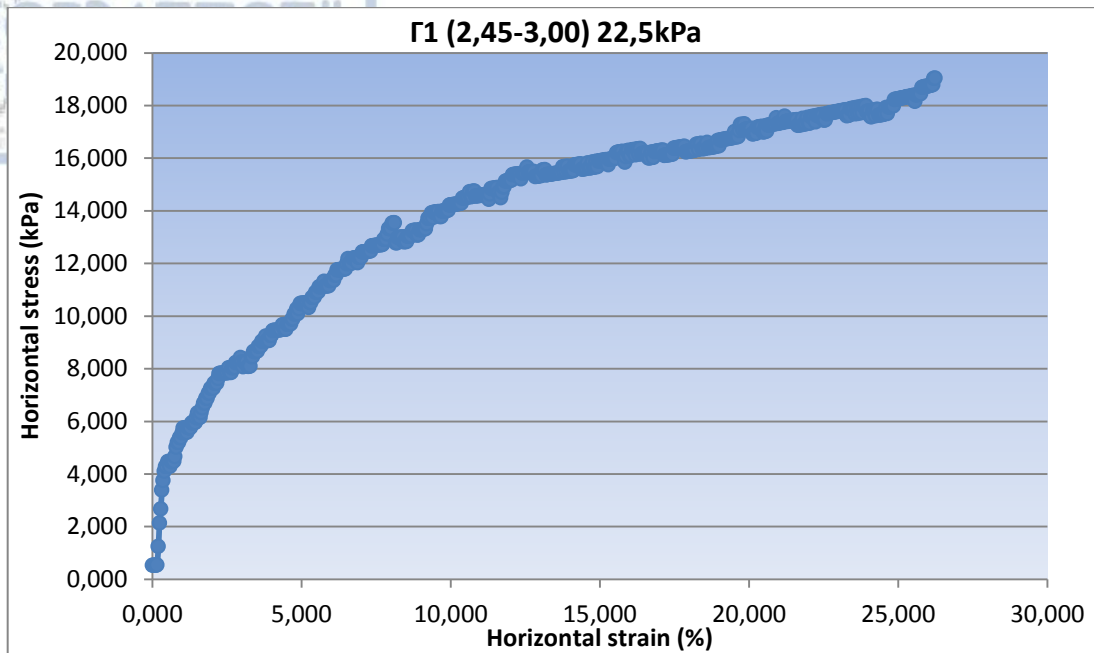
Horizontal stress v Shear strain Plot: Γ1 (5,00-6,00)

Εικόνα 47: Συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τα δείγματα της γεώτρησης Γ1 (5,00-6,00).

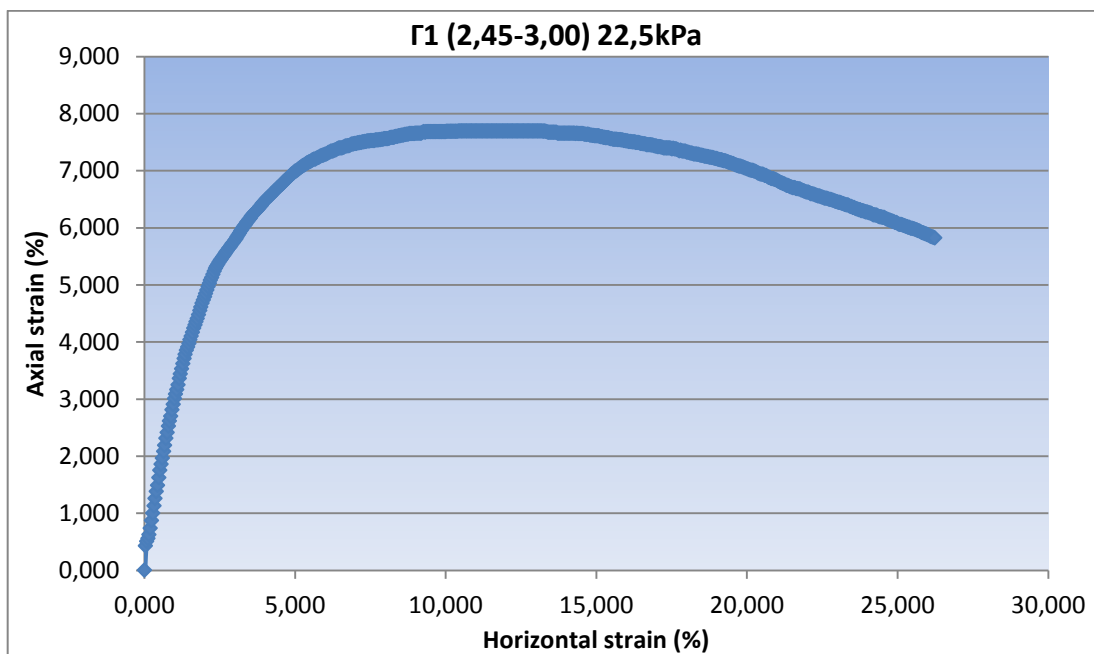
➤ Ακολούθως παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που παρήχθησαν από τις δοκιμές σε κορεσμένες συνθήκες. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

- Για τα δείγματα της γεώτρησης Γ1 (2,45-3,00) πραγματοποιήθηκαν:

4. Διάτμηση σε κορεσμένες συνθήκες για στερεοποίηση στα 22,5 kPa. Στην Εικόνα 48) και Εικόνα 49) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 19 kPa και αντιστοιχεί σε 13% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 19 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 25%.

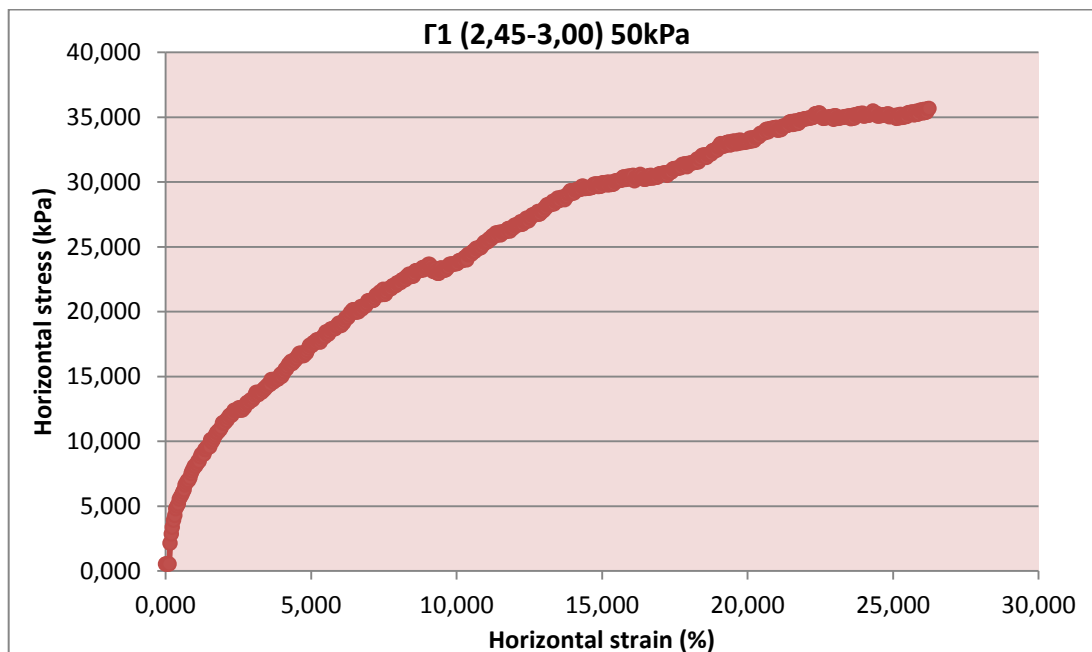


Εικόνα 48: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 22,5 kPa.

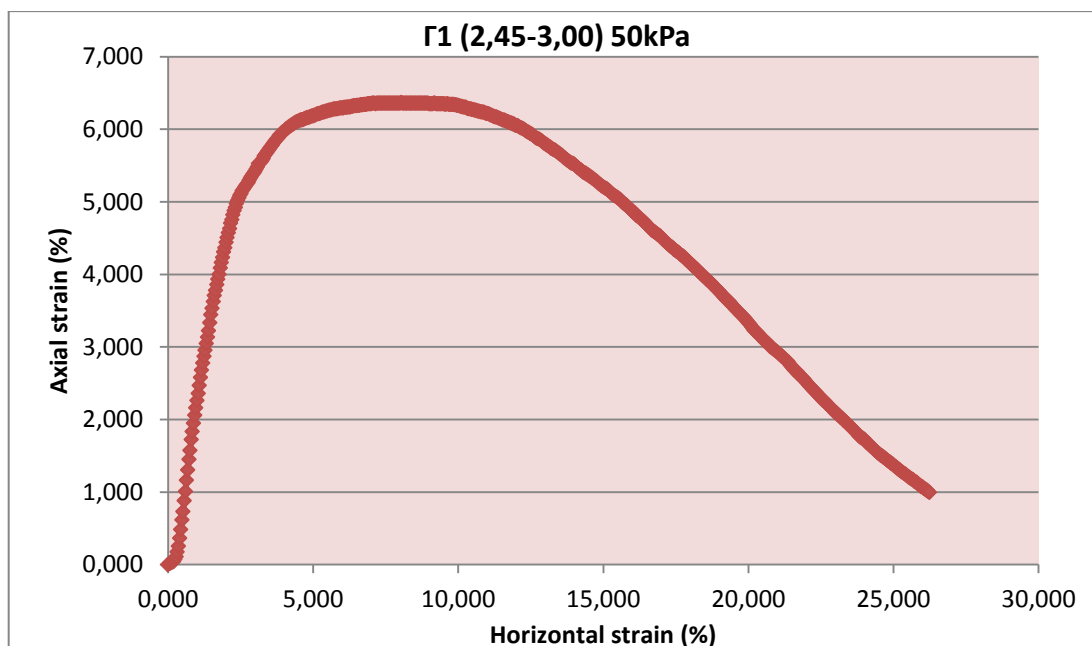


Εικόνα 49: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 22,5 kPa.

4. Διάτμηση σε κορεσμένες συνθήκες για στερεοποίηση στα 50 kPa. Στην Εικόνα 50) και Εικόνα 51) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 35 kPa και αντιστοιχεί σε 13% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 35 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 25%.

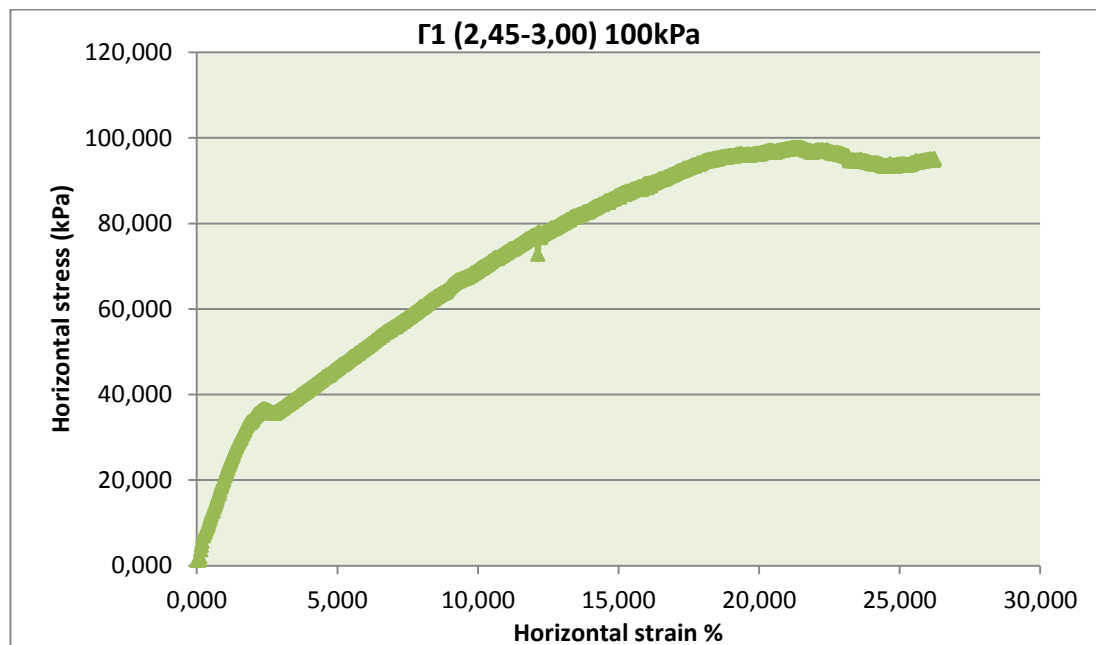


Εικόνα 50: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 50 kPa.

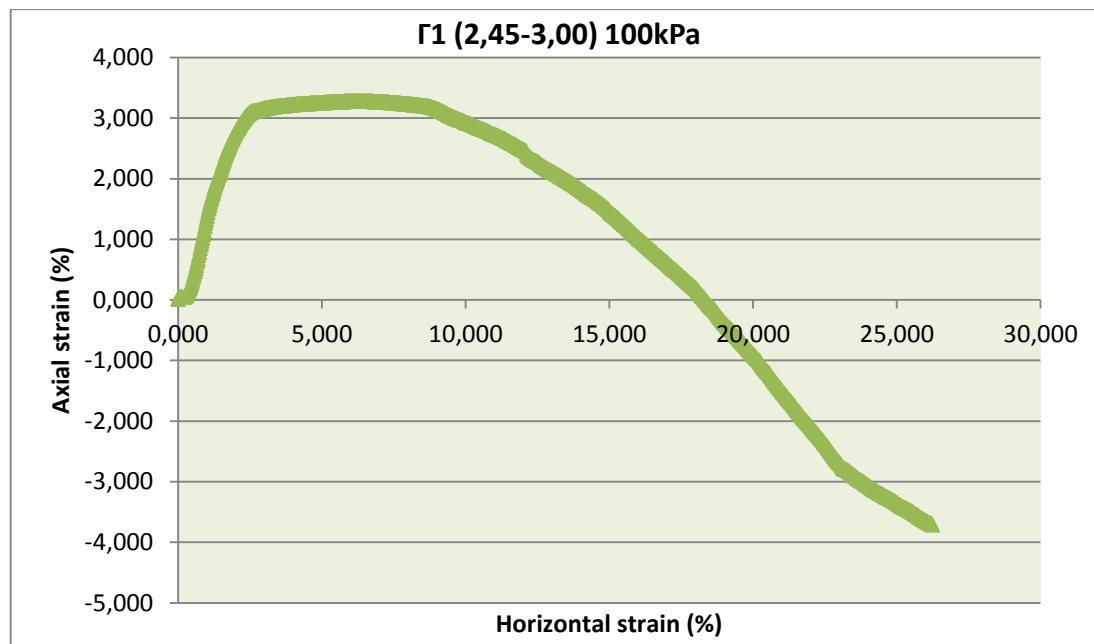


Εικόνα 51: Διάγραμμα αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 50 kPa.

4. Διάτμηση σε κορεσμένες συνθήκες για στερεοποίηση στα 100 kPa. Στην Εικόνα 52) και Εικόνα 53) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 98 kPa και αντιστοιχεί σε 13% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 94,2 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 25%.



Εικόνα 52: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 100 kPa.

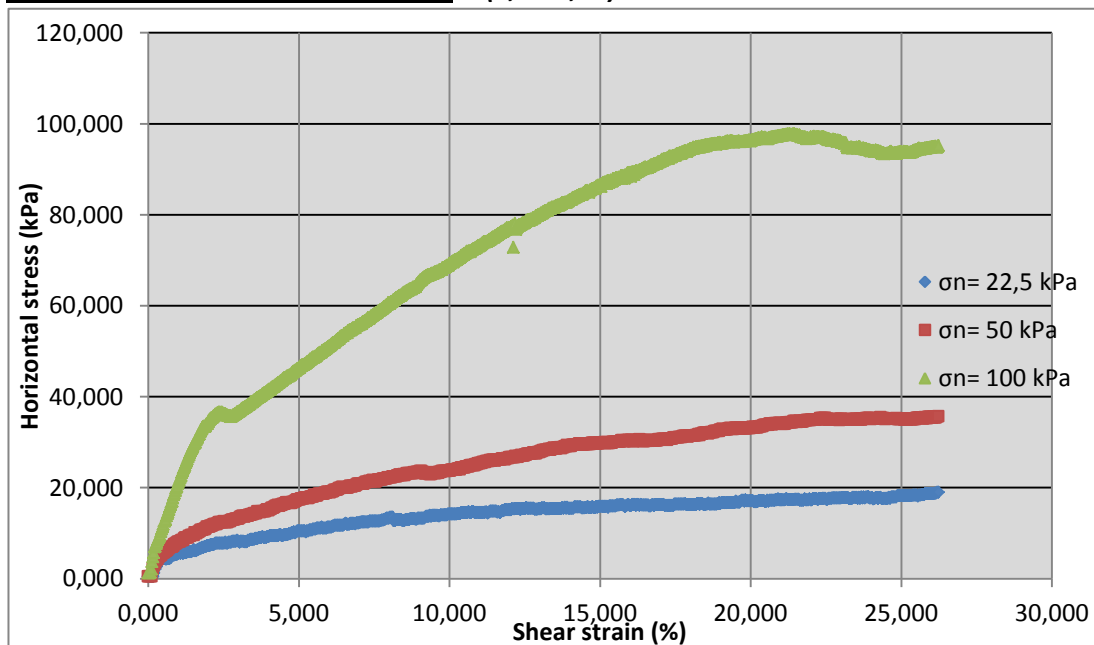


Εικόνα 53: Διάγραμμα αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ1 (2,45-3,00) στα 100 kPa.

4. Από τις παραπάνω δοκιμές με εφαρμογή διαφορετικής αξονικής τάσης προκύπτει στην Εικόνα 54) το συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης. Στο διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται η αναμενόμενη αύξηση της διατμητικής αντοχής αναλογικά με την αύξηση του αξονικού φορτίου στο δείγμα.

Οι μέγιστες τιμές της διατμητικής τάσης σε σχέση με την αξονική τάση μας δίνουν στο διάγραμμα διατμητικής τάσης (τ) – αξονικής τάσης (σ_n) τα σημεία της περιβάλλουσας θραύσης κατά Mohr – Coulomb από τα οποία υπολογίζονται οι μηχανικές παράμετροι του υλικού c' και ϕ' όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 55).

Horizontal stress v Shear strain Plot: Γ1 (2,45-3,00)



Εικόνα 54: Συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τα δείγματα της γεώτρησης Γ1 (2,45-3,00).

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (Α.Π.Θ.) ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ-
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ &
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ASTM D 3080, BS 1377

SHEAR TEST ASTM D 3080, BS 1377

Γεώτρηση (Borehole) :	Γ1	Ημερομηνία (Date):	19/9/16
Δείγμα (Sample):	S1	Βάθος (Depth) m:	2,45-3,00

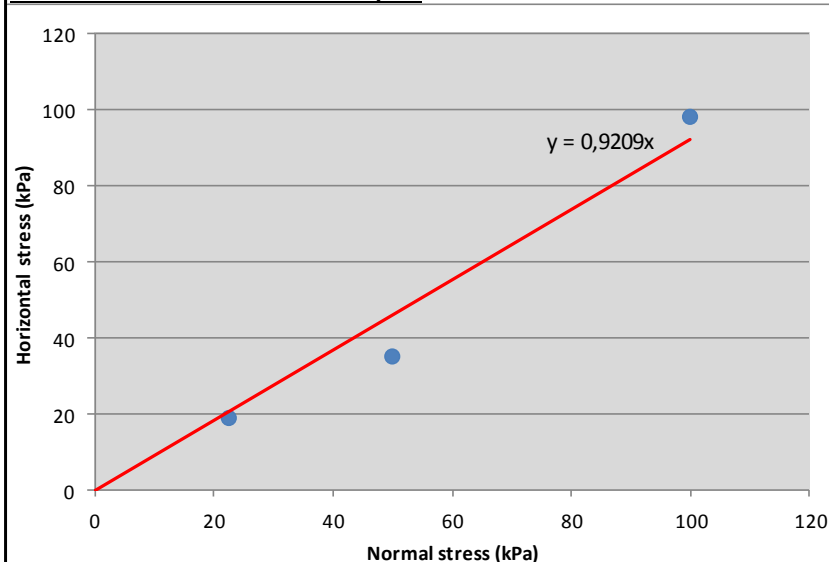
Sample data :

Αριθμός Δοκιμής Test No		1	2	3
Moisture content	%	13,47	26,62	28,22
Wet Bulk density	kN/m ³	0,00	0,00	0,00
Dry Bulk Density	kN/m ³			
Void ratio		#ΤΙΜΗ!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!
Saturation	%	#ΤΙΜΗ!	#ΔΙΑΙΡ./0!	#ΔΙΑΙΡ./0!
Specific Gravity		26,5	26,5	26,5

Failure Measurements :

Normal stress	kN/m ³	22,5	50	100
Horizontal stress	kN/m ³	19	35	98
Res. Horizontal stress	kN/m ³			
Pore Pressure	kN/m ³	N/A	N/A	N/A
Strain	%			

Horizontal stress v Normal stress plot



Results:

ϕ (°)=	42,64
c=	0

Εικόνα 55: Διάγραμμα διατμητικής (kPa) – κάθετης τάσης (kPa). Αρχικά λαμβάνονται οι μέγιστες τιμές (peak) των διατμητικών τάσεων και τοποθετούνται ως σημεία στο παραπάνω διάγραμμα. Από το διάγραμμα αυτό τελικώς εξάγονται οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών c' και ϕ' σύμφωνα με την μαθηματική σχέση του Coulomb $\tau=c+\sigma_n \tan \phi$. Στην προκειμένη περίπτωση $c=0$ και $\phi = \tan^{-1}(0,9209) = 42,64^\circ$

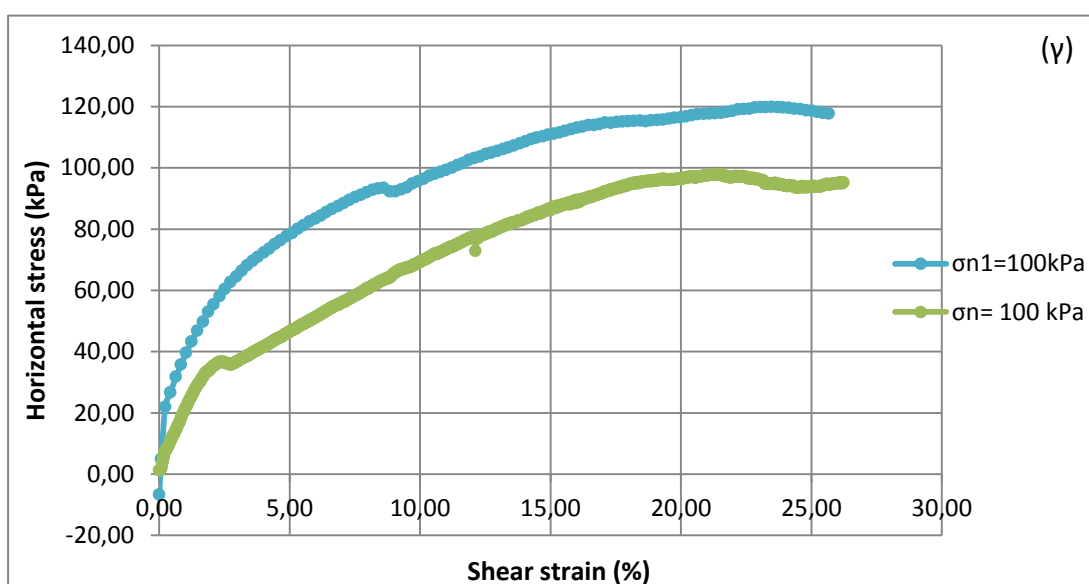
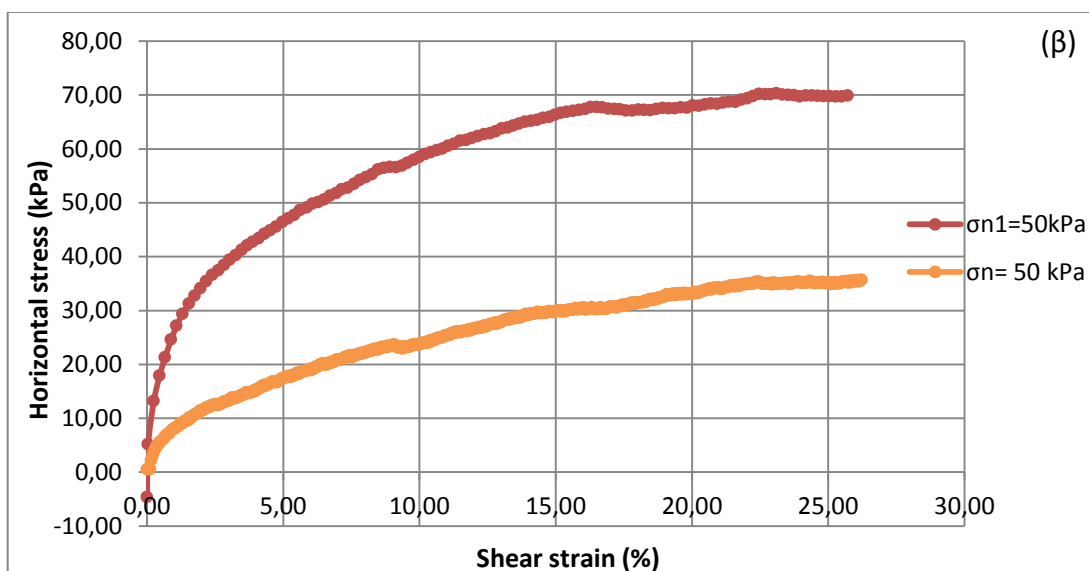
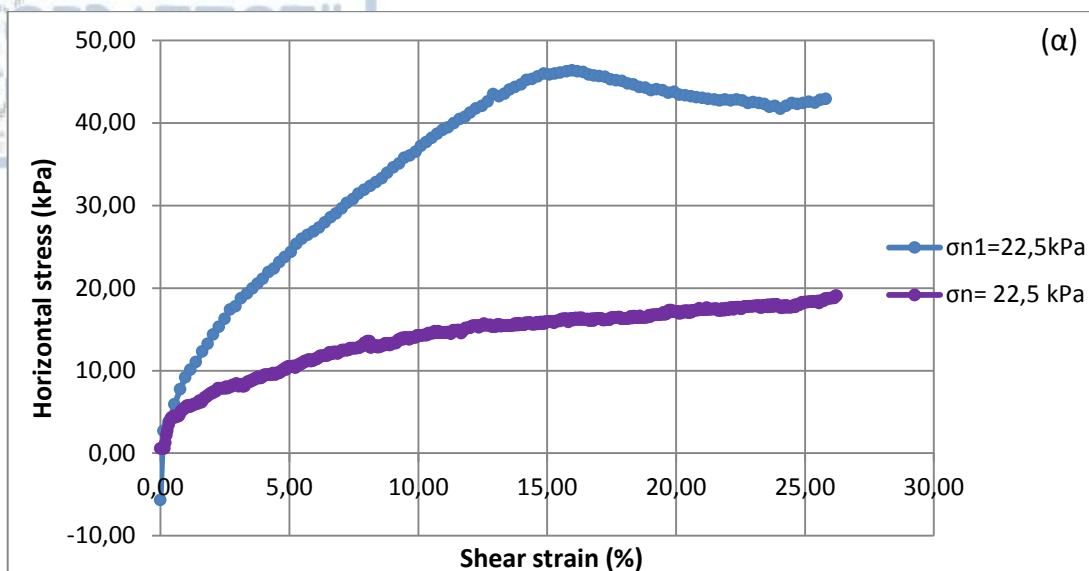
7.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΚΟΡΕΣΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΑΚΟΡΕΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η παράγραφος αυτή αποτελεί μία από τις σημαντικότερες της παρούσας διατριβής και η ανάλυση της έναν από τους κύριους στόχους της. Η σύγκριση της μηχανικής συμπεριφοράς στις διαφορετικές συνθήκες βαθμού κορεσμού γίνεται με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών άμεσης διάτμησης που διενεργήθηκαν για το ίδιο δείγμα σε συνθήκες κορεσμού και σε συνθήκες φυσικής υγρασίας. Οι δοκιμές εκτελέστηκαν στο δείγμα βάθους 2,45-3,00m όπου εντοπίζεται το στρώμα S2 που ταξινομείται με βάση το σύστημα USCS ως SM. Οι βαθμίδες φόρτισης των δοκιμών με φυσική υγρασία και κορεσμό ήταν αντίστοιχες ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα η κάθε δοκιμή αποτελούνταν από τρία στάδια αξονικής φόρτισης – στερεοποίησης ένα στα 22,5 kPa, ένα στα 50 kPa και ένα στα 100 kPa όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω (βλέπε παρ. 7.5 με τα αποτελέσματα δοκιμών). Στην Εικόνα 56) παρουσιάζονται τα διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης ανά βαθμίδα φόρτισης για τις διαφορετικές συνθήκες κορεσμού.

- Παρατηρείται αύξηση της διατμητικής αντοχής με τη μείωση του βαθμού κορεσμού και αύξηση του ποσοστού μεταβολής της διατμητικής αντοχής με μείωση της αξονικής φόρτισης (Πίνακας 15)($\sigma_n=22,5$ kPa αύξηση=120%, $\sigma_n=50$ kPa αύξηση=100% και $\sigma_n=100$ kPa αύξηση=20%).

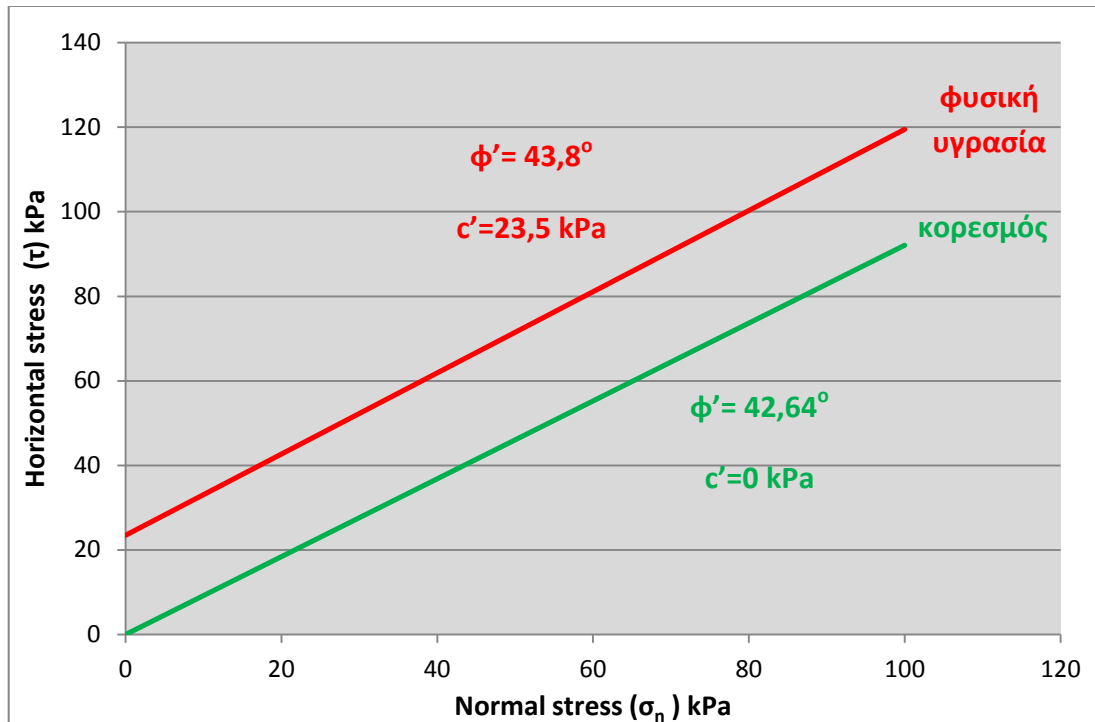
Πίνακας 15: Ποσοστό μεταβολής της διατμητικής αντοχής σε συνδυασμό με τη μεταβαλλόμενη τιμή της αξονικής φόρτισης.

Γεώτρηση	Δείγμα	Αξονική φόρτιση (kPa)	Ποσοστό μεταβολής της διατμητικής αντοχής (%)
Γ1	S2 (USCS:SM) 2,45-3,00	22,5kPa	120%
		50kPa	100%
		100kPa	20%



Εικόνα 56 (α), (β), (γ): Διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης ανά βαθμίδα φόρτισης για τις διαφορετικές συνθήκες κορεσμού. Με σ_{n1} συμβολίζεται η αξονική φόρτιση σε συνθήκες φυσικής υγρασίας ενώ με σ_n σε συνθήκες κορεσμού.

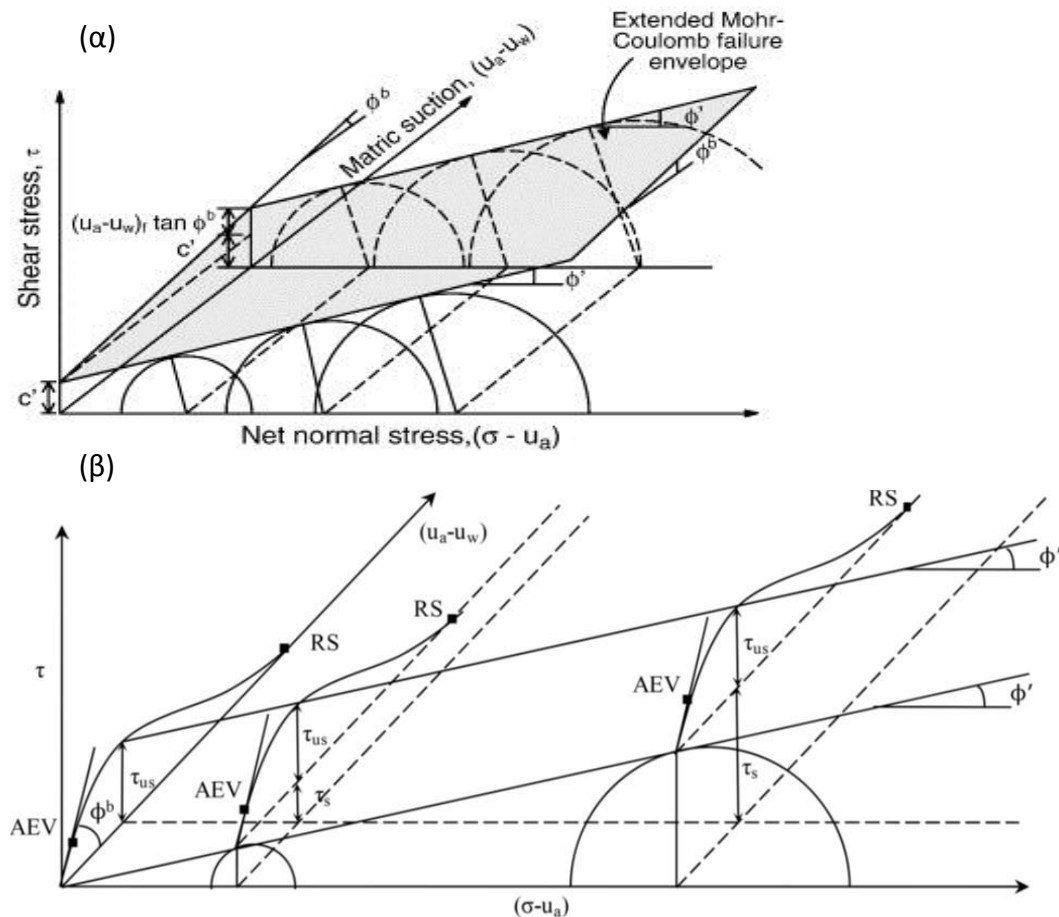
Τα μηχανικά χαρακτηριστικά αντοχής για τις δύο επιμέρους συνθήκες κορεσμού υπολογίστηκαν με βάση το κριτήριο αστοχίας κατά Mohr-Coulomb όπως φαίνεται στην Εικόνα 57). Προέκυψαν τιμές $c'=0$ kPa και $\phi'=42,64^\circ$ για συνθήκες κορεσμού (πράσινο χρώμα) και $c'=23,5$ kPa και $\phi'=43,8^\circ$ για συνθήκες φυσικής υγρασίας (κόκκινο χρώμα).



Εικόνα 57: Συνδυαστικό διάγραμμα μηχανικών παραμέτρων αντοχής για τις περιπτώσεις κορεσμού και φυσικής υγρασίας στα δείγματα, με βάση το κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb.

- Παρατηρείται η εμφάνιση συνοχής στο δείγμα με φυσική υγρασία ενώ η τιμή της εσωτερικής γωνίας τριβής παραμένει σχεδόν σταθερή για τις δύο επιμέρους συνθήκες κορεσμού. Η παρατήρηση αυτή έρχεται σε πλήρη εναρμόνιση με την θεωρητική εξίσωση της διατμητικής αντοχής σε ακόρεστες συνθήκες $\tau = c' + (\sigma - u_\alpha) \tan \phi' + (u_\alpha - u_w) \tan \phi^b$ κατά (Fredlund, Morgenstern, & Widger, 1978) με βάση την οποία αυξάνεται η συνοχή του εδάφους με μείωση του βαθμού κορεσμού η οποία εκδηλώνεται ως μεταβολή της εντατικής κατάστασης του εδάφους με την ανάπτυξη της μύζησης ($u_\sigma - u_w$). Το μέγεθος της αύξησης της συνοχής λόγω μείωσης του βαθμού κορεσμού εξαρτάται από την τιμή της αναπτυσσόμενης μύζησης επί τον όρο $\tan \phi^b$ όπου ϕ^b είναι η γωνία της περιβάλλουσας αστοχίας κατά Mohr-Coulomb στον άξονα $\tau - (u_\alpha - u_w)$ (Εικόνα 58). Είναι γνωστό πως για να

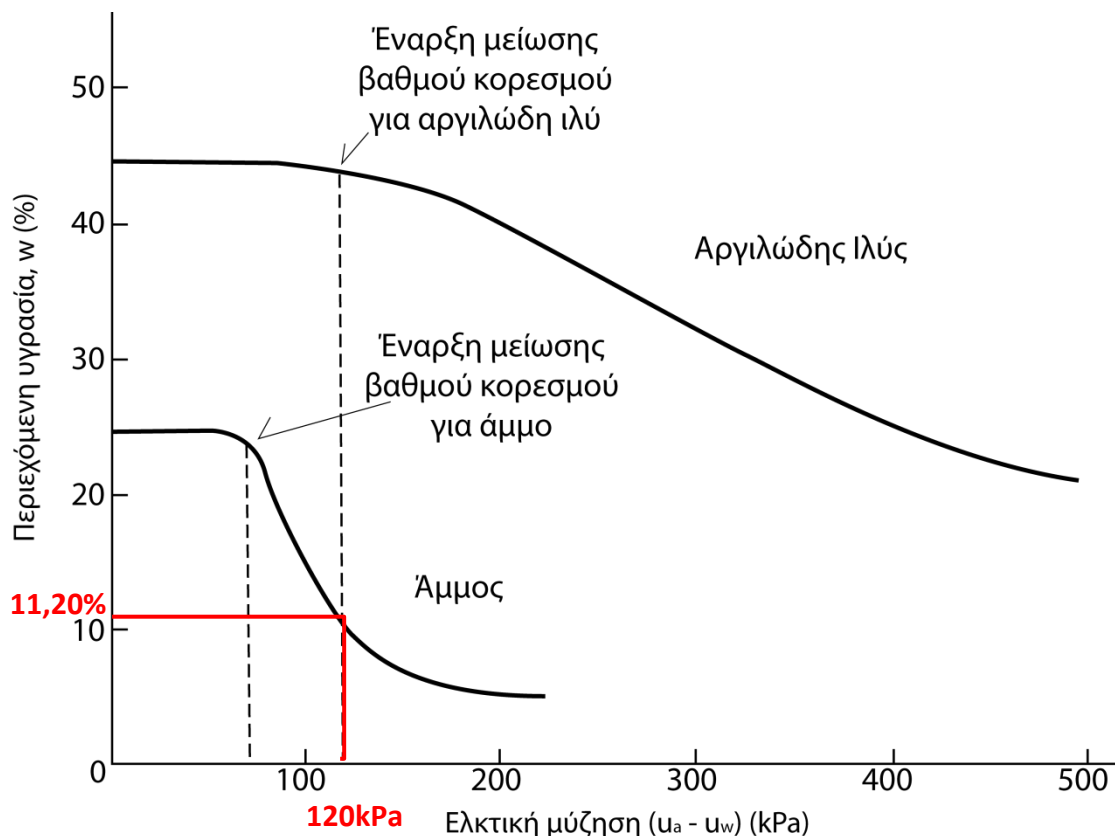
περιγράφει η μηχανική συμπεριφορά σε ακόρεστες συνθήκες ενός υλικού είναι απαραίτητη η γνώση της γωνίας ϕ^b η οποία είναι χαρακτηριστική για κάθε εδαφικό υλικό και η σχέση της αναπτυσσόμενης τιμής μύζησης με μείωση του βαθμού κορεσμού η οποία προκύπτει από την χαρακτηριστική καμπύλη μύζησης εδάφους (soil water characteristic curve).



Εικόνα 58 : (α) Μεταβολή της περιβάλλουσας αστοχίας κατά Mohr-Coulomb κατά τον άξονα $\tau - (u_a - u_w)$. (β) Ενδεικτική αύξηση της διατμητικής αντοχής στον άξονα $\tau - (u_a - u_w)$ εξαρτώμενη από την τιμή $(u_a - u_w) \cdot \tan \phi^b$.

- Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών η συνοχή εξαιτίας της αύξησης της μύζησης είναι της τάξης των 23kPa για τιμή υγρασίας $m=11,20\%$ και αντίστοιχη τιμή βαθμού κορεσμού $S=27,74\%$. Η τιμή αυτή της αύξησης της συνοχής εξαρτάται από τον βαθμό κορεσμού του δείγματος ο οποίος αντιστοιχεί σε μια τιμή αναπτυσσόμενης μύζησης και από την γωνία ϕ^b η οποία εκφράζει τη σχέση της αύξησης της φαινόμενης συνοχής του υλικού με την τιμή της μύζησης και έχει χαρακτηριστική τιμή για κάθε εξεταζόμενο

υλικό (Εικόνα 58). Για τον υπολογισμό της γωνίας φ^b του εξεταζομένου στην παρούσα εργασία εδαφικού υλικού είναι απαραίτητη η γνώση της τιμής της αναπτυσσόμενης μύζησης για την τιμή υγρασίας $m=11,20\%$ η οποία μπορεί να επιτευχθεί από την χαρακτηριστική καμπύλη μύζησης του εδάφους (Εικόνα 59). Η ΧΚΜΕ προσδιορίζεται είτε με ειδική δοκιμή στο εργαστήριο είτε θεωρητικά (Fredlund & Rahardjo, 1993).



Εικόνα 59: Τυπικές Χαρακτηριστικές Καμπύλες Μύζησης Εδάφους (από Fredlund & Rahardjo, 1993, εικόνα από Χατζηγώγο, 2015).

7.6.1 Θεωρητικό πλαίσιο της χαρακτηριστικής καμπύλης μύζησης

Το θεωρητικό πλαίσιο της ΧΚΜΕ βασίζεται στη συμπιεστότητα του ρευστού ενός ακόρεστου εδάφους, άρα και στις μεταβολές του όγκου του ρευστού. Οι μεταβολές του όγκου περιγράφονται από την παρακάτω εξίσωση (Fredlund & Rahardjo, 1993), κάτω από ισοτροπική φόρτιση, μεταξύ του όγκου και των μεταβολών του δείκτη κενών:

$$\Delta_e = a_t * d(\sigma_c - u_a) + a_m * d(u_a - u_w), \quad (5)$$

Στη συνέχεια διαπιστώθηκε (Fredlund & Rahardjo, 1993) πώς η μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας (ή βαθμού κορεσμού) είναι ανεξάρτητη παράμετρος, επομένως η σχέση όγκου - μάζας σε ακόρεστο έδαφος περιγράφεται πλήρως από την εξίσωση :

$$\Delta_w = b_t * d(\sigma_c - u_a) + b_m * d(u_a - u_w), \quad (6)$$

Η εξήγηση των σχέσεων (5) και (6) δίνεται από τις τρισδιάστατες γραφικές παραστάσεις των καταστατικών επιφανειών του δείκτη κενών (e) και της περιεχόμενης υγρασίας (m) της Εικόνα 60) (Fredlund & Rahardjo, 1993) όπου σύμφωνα με το (Χατζηγώγος, 2015):

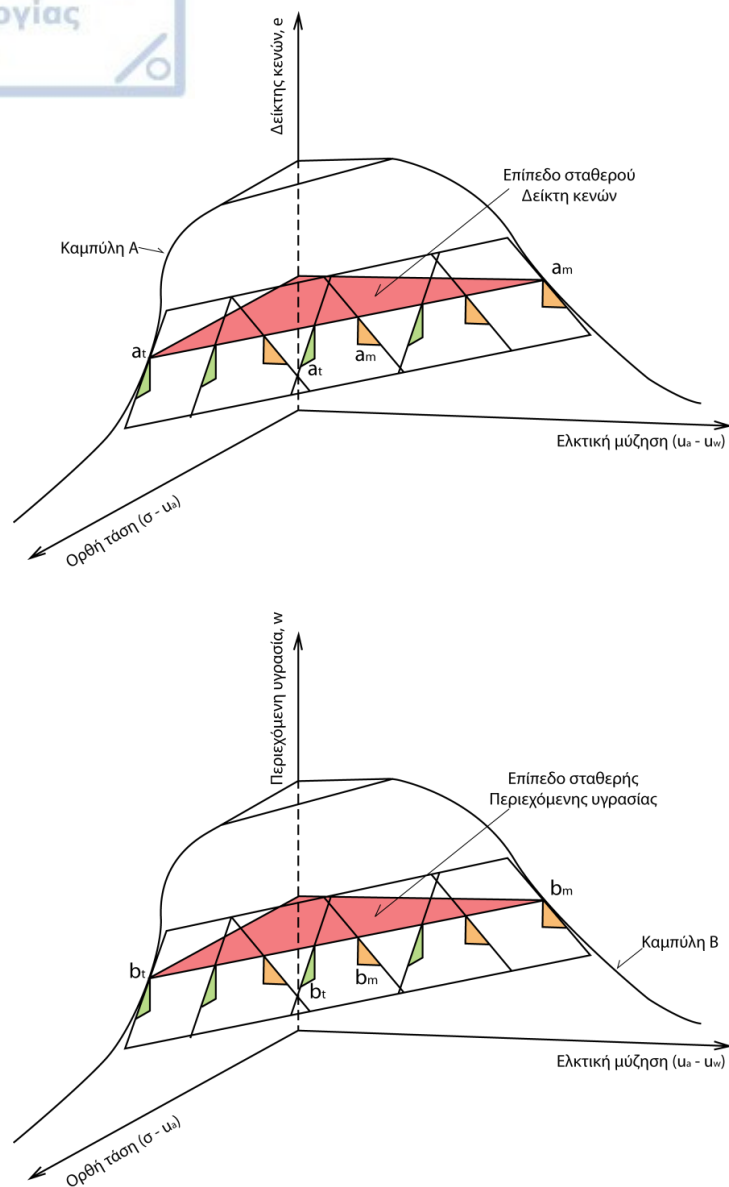
— " Όταν η μύζηση του εδάφους είναι μηδέν, τότε οι μεταβολές του δείκτη κενών είναι ισοδύναμες με τις μεταβολές της περιεχόμενης υγρασίας σε σχέση με την απόκριση τους σε μεταβολές της ολικής τάσης. "

Στην Εικόνα 60) παρατηρούμε ότι τόσο στο δείκτη κενών, όσο και στην περιεχόμενη υγρασία υπάρχει μία επιφάνεια σταθεροποίησης λόγω της ιστροπικής φόρτισης.

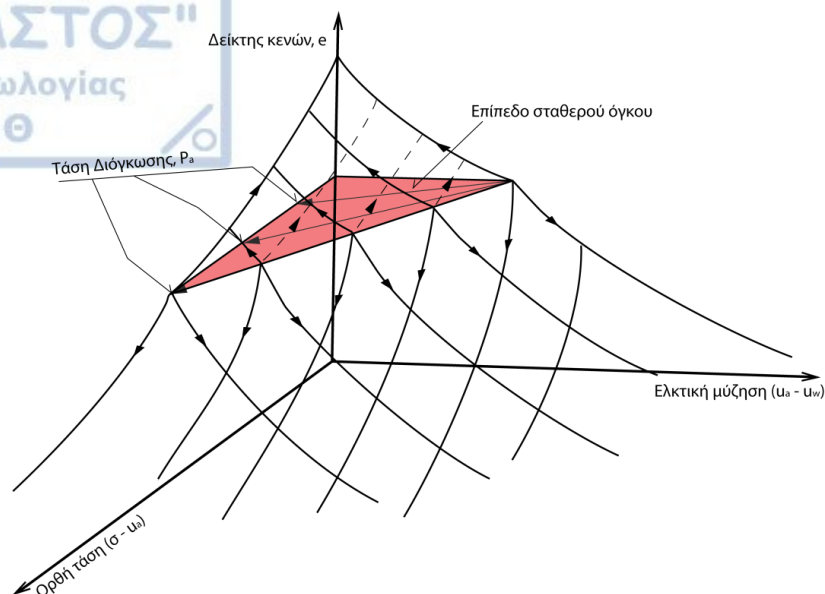
Στην περίπτωση που το έδαφος έχει σταθερή δομή οι καταστατικές επιφάνειες, σε συνθήκες φόρτισης - αποφόρτισης, του λόγου κενών δίνονται στην Εικόνα 61) (Fredlund & Rahardjo, Soil mechanics for unsaturated soils., 1993). Όταν το έδαφος δεν έχει σταθερή, αλλά μετά-σταθερή δομή σύμφωνα με το (Χατζηγώγος, 2015):

— " Παρατηρείται πώς η συμπεριφορά της μεταβολής όγκου του εδάφους μετά-σταθερής δομής διαφέρει σημαντικά στο γεγονός ότι τόσο η αύξηση όσο και η μείωση της μύζησης οδηγούν σε μείωση του όγκου με την εμφάνιση μίας 'κορυφογραμμής' κατά μήκος των καταστατικών επιφανειών. "

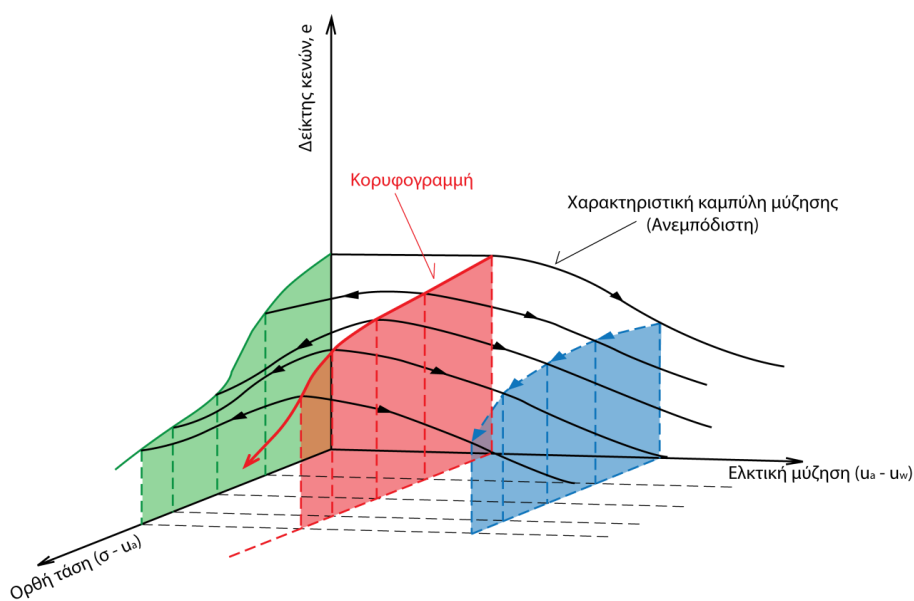
Ο παραπάνω ορισμός δίνεται σχηματικά στην Εικόνα 62) (Fredlund & Rahardjo, 1993), όπου δίνεται μία τρισδιάστατη γραφική παράσταση στην οποία παρατηρείται η 'κορυφογραμμή' κατά μήκος των επιφανειών (κόκκινο χρώμα).



Εικόνα 60: Καταστατικές επιφάνειες του δείκτη κενών και της περιεχόμενης υγρασίας ακόρεστου εδάφους (κατά Fredlund & Rahardjo, 1993, εικόνα από Χατζηγώγο, 2015).



Εικόνα 61: Καταστατικές επιφάνειες μεταβολής όγκου σε συνθήκες φόρτισης και αποφόρτισης για ακόρεστο έδαφος σταθερής δομής (κατά Fredlund & Rahardjo, 1993, εικόνα από Χατζηγώγο, 2015).



Εικόνα 62: Καταστατικές επιφάνειες μεταβολής όγκου σε συνθήκες φόρτισης και αποφόρτισης για ακόρεστο έδαφος μετά-σταθερής δομής (κατά Fredlund & Rahardjo, 1993, εικόνα από Χατζηγώγο, 2015).

7.6.2 Υπολογισμός της γωνίας ϕ^b

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η διατμητική αντοχή εδαφικού υλικού σε ακόρεστες συνθήκες εκφράζεται από τη σχέση:

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b$$

Για τον υπολογισμό της γωνίας ϕ^b στο εξεταζόμενο υλικό απαραίτητη είναι η γνώση της ελκτικής μύζησης ($u_a - u_w$) καθώς επίσης και της φαινόμενης συνοχής όπως φαίνεται από την σχέση $\tan \phi^b = c_{\text{φαινόμενη}} / (u_a - u_w)$. Από το διάγραμμα με τις τυπικές χαρακτηριστικές καμπύλες μύζησης του εδάφους (Εικόνα 59) σε άμμους, όπως είναι το εξεταζόμενο εδαφικό υλικό στην περίπτωση μας, για τιμή υγρασίας 11,20% και αντίστοιχο βαθμό κορεσμού 27,74% αντιστοιχεί τιμή αναπτυσσόμενης μύζησης της τάξης των 120kPa. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η συνοχή εξαιτίας της αύξησης της μύζησης υπολογίστηκε εργαστηριακά της τάξης των 23,5kPa προκύπτει ότι η γωνία ϕ^b αντιστοιχεί σε τιμή 11,08°.

Πίνακας 16: Πειραματικές θεωρητικές τιμές της γωνίας ϕ^b (Fredlund & Rahardjo, Soil mechanics for unsaturated soils., 1993).

Soil Type	c' (kPa)	ϕ' (degrees)	ϕ^b (degrees)	Test Procedure	Reference
Compacted shale; $w = 18.6\%$	15.8	24.8	18.1	Constant water content triaxial	Bishop <i>et al.</i> (1960)
Boulder clay; $w = 11.6\%$	9.6	27.3	21.7	Constant water content triaxial	Bishop <i>et al.</i> (1960)
Dhanauri clay; $w = 22.2\%$, $\rho_d = 1580 \text{ kg/m}^3$	37.3	28.5	16.2	Consolidated drained triaxial	Satija, (1978)
Dhanauri clay; $w = 22.2\%$, $\rho_d = 1478 \text{ kg/m}^3$	20.3	29.0	12.6	Constant drained triaxial	Satija, (1978)
Dhanauri clay; $w = 22.2\%$, $\rho_d = 1580 \text{ kg/m}^3$	15.5	28.5	22.6	Consolidated water content triaxial	Satija, (1978)
Dhanauri clay; $w = 22.2\%$, $\rho_d = 1478 \text{ kg/m}^3$	11.3	29.0	16.5	Constant water content triaxial	Satija, (1978)
Madrid grey clay; $w = 29\%$	23.7	22.5 ^a	16.1	Consolidated drained direct shear	Escario (1980)
Undisturbed decomposed granite; Hong Kong	28.9	33.4	15.3	Consolidated drained multistage triaxial	Ho and Fredlund (1982a)
Undisturbed decomposed rhyolite; Hong Kong	7.4	35.3	13.8	Consolidated drained multistage triaxial	Ho and Fredlund (1982a)
Tappen-Notch Hill silt; $w = 21.5\%$, $\rho_d = 1590 \text{ kg/m}^3$	0.0	35.0	16.0	Consolidated drained multistage triaxial	Krahn <i>et al.</i> (1989)
Compacted glacial till; $w = 12.2\%$, $\rho_d = 1810 \text{ kg/m}^3$	10	25.3	7-25.5	Consolidated drained multistage direct shear	Gan <i>et al.</i> (1988)

Όπως μπορεί να γίνει διακριτό από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 16) η τιμή της γωνίας ϕ^b που υπολογίστηκε είναι σε εναρμόνιση με αντίστοιχες πειραματικές τιμές της γωνίας ϕ^b κατά (Fredlund & Rahardjo, 1993).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

8.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, διαπιστώθηκαν τα εξής :

- Το υπέδαφος στη θέση του Τζαμιού και μέχρι το βάθος διεξαγωγής της έρευνας, 15m, συνίσταται κυρίως από εναλλαγές εδαφικών στρωμάτων κυρίως αμμώδους σύστασης με κυμαινόμενο ποσοστό λεπτόκοκκων συστατικών και μικρό ποσοστό χαλικιών. Συναντώνται επίσης εξολοκλήρου αμμώδεις ορίζοντες χωρίς λεπτόκοκκα, σε εναλλαγή με λεπτόκοκκους σχηματισμούς αργιλοϊλυώδους σύστασης. Οι ορίζοντες αυτοί εκτιμάται πως αναπτύσσουν εποχιακή υδροφορία μικρής δυναμικότητας. Επιφανειακά συναντήθηκαν τεχνητές επιχώσεις πάχους περίπου 1m. Όλα τα εδαφικά στρώματα έχουν ασβεστιτική σύσταση και αποτελούν προϊόντα αποσάθρωσης των τραβερτινών της ευρύτερης περιοχής.
- Κατά την εποχή διεξαγωγής της έρευνας (Οκτώβριος, 2016) ο υπόγειος υδάτινος ορίζοντας δεν εντοπίστηκε μέχρι το βάθος των 15m, από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους, συντελώντας έτσι στη δημιουργία μιας ακόρεστης ζώνης.
- Η σύσταση και η πυκνότητα του υπεδάφους παρέχει επαρκείς συνθήκες για την επιφανειακή θεμελίωση του μνημείου. Η εκτίμηση αυτή ενισχύεται από την πολύ ικανοποιητική μηχανική συμπεριφορά του υπεδάφους θεμελίωσης και της ανωδομής μέχρι σήμερα. Συνεπώς το υπέδαφος φαίνεται να παρέχει πολύ ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα και σχετικώς μέτρια συμπίεστότητα.
- Στα πλαίσια των έργων συντήρησης και αποκατάστασης του μνημείου είναι πιθανή η περίπτωση διενέργειας εκσκαφών. Τα εδαφικά υλικά αυτών αναμένεται να είναι ιλοαμμώδους σύστασης. Προκύπτει λοιπόν ότι η εκσκαφή μπορεί να πραγματοποιηθεί με ασφαλείς κλίσεις πρανών της τάξης του $\nu:\beta=1:1$. Η οριακή κλίση πρανούς (θεωρώντας τις μέσες τιμές των ϕ' και c' και λαμβάνοντας μοναδιαίους συντελεστές ασφαλείας), θα ήταν αντιστοίχως $\nu:\beta=1,5:1$ (έως και $3:1$ σε προσωρινές αστράγγιστες συνθήκες). Στην περίπτωση που σε τμήματα της περιμέτρου του οικοπέδου, διέρχεται οδός ή

υπάρχουν όμορα κτίσματα (ειδικά μάλιστα εάν αυτά δεν περιλαμβάνουν υπόγειο), θα πρέπει να ληφθούν μέτρα κατάλληλης προσωρινής αντιστήριξης (π.χ. τμηματική εκσκαφή), ώστε να διασφαλισθούν οι γύρω κατασκευές και οι χώροι έναντι κατολισθήσεων ή καθιζήσεων.

- Τέλος στην επιφανειακή ακόρεστη ζώνη πάχους τουλάχιστον 15m προκύπτει η πιθανότητα ανάπτυξης εποχιακής υδροφορίας κυρίως στο εδαφικό στρώμα S3 (βάθη 4,4-5,8m και 7,6-9,9m), η οποία ενδεχόμενως να υποβαθμίζει τα χαρακτηριστικά της αντοχής οπότε η ύπαρξη της ή όχι είναι καθοριστικής σημασίας και άξια αναφοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΔΑΦΟΤΕΧΝΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται εδαφοτεχνικοί έλεγχοι επάρκειας της θεμελίωσης και καθιζήσεων του εξεταζόμενου κτιρίου βάσει των στοιχείων της γεωτεχνικής έρευνας – μελέτης του Δρ. Χατζηγώγου Νικόλαου (Χατζηγώγος, 2016) τα οποία και παραχωρήθηκαν από το μελετητή για επεξεργασία στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

9.1 ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας και σύμφωνα με τους εδαφοτεχνικούς υπολογισμούς που ακολουθούν, το υπέδαφος φαίνεται να παρέχει πολύ ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα και σχετικώς μέτρια συμπίεστότητα. Δεδομένου ότι η στάθμη του δαπέδου θεμελίωσης δεν εντοπίστηκε μέχρι το βάθος των 1,8m, εκτιμάται πως η σύσταση του πυθμένα θεμελίωσης είναι ιλυώδους άμμου, με ποσοστό λεπτόκοκκων περίπου 15%, μέτρια πυκνή, προερχόμενη από υλικά αποσάθρωσης τραβερτινών (στρώση “S2”).

Οι έλεγχοι αυτοί διενεργούνται ώστε να εκτιμηθούν οι μέγιστες τάσεις θεμελίωσης (σχεδιασμού) που τοπικά μπορεί να αντέξει το υπέδαφος και να αποτελέσουν ένα μέτρο σύγκρισης με τις μεταβιβαζόμενες τάσεις έδρασης των λιθοδομών του κτιρίου ή με αυτές που θα προκύψουν μετά την αποκατάσταση του μνημείου. Επιπρόσθετα αποτελούν μέτρο ελέγχου τυχόν εφαρμοζόμενων έργων αντιστήριξης (π.χ. εφαρμογή φορτίων περιμετρικά του τζαμιού). Δεδομένης της ηλικίας του μνημείου αλλά και της σύστασης του υπεδάφους, οι εκτιμώμενες, από τους ελέγχους, άμεσες καθιζήσεις και καθιζήσεις λόγω στερεοποίησης, εκτιμάται ότι έχουν ήδη ολοκληρωθεί. (Χατζηγώγος, 2016)

Η στάθμη των υπόγειων υδάτων δεν εντοπίστηκε μέχρι το βάθος έρευνας από την επιφάνεια του εδάφους (15,0m στη γεώτρηση Γ-1). Παρόλα αυτά, είναι πιθανή η εποχιακή ανάπτυξη υδροφορίας σε μικρότερα βάθη κυρίως στο εδαφικό στρώμα S3 (βάθη 4,4-5,8m και 7,6-9,9m). (Χατζηγώγος, 2016)

9.2 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΤΑΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΘΡΑΥΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

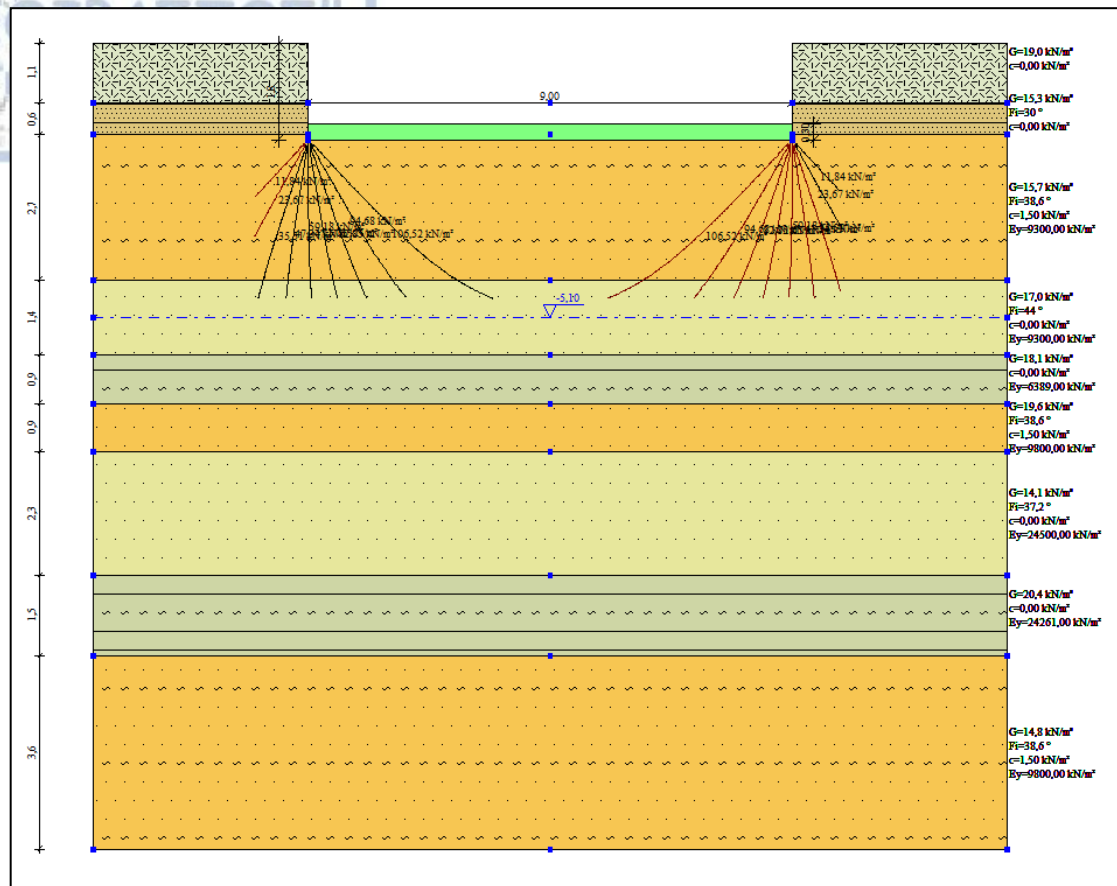
Η εκτίμηση της επιτρεπόμενης τάσης έναντι θραύσης του υπεδάφους γίνεται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7 και τον ΕΑΚ σε στατικές και σεισμικές συνθήκες αντίστοιχα.

Κατά τους υπολογισμούς, γίνεται η παραδοχή έδρασης των θεμελίων επί στρωματογραφίας, σύμφωνα με τα στοιχεία των τυπικών εδαφικών τομών στην Εικόνα 16). Οι παράμετροι αντοχής για τους υπολογισμούς επιλέχθηκαν συντηρητικά με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών.

Κατά τους υπολογισμούς, θεωρήθηκε ελάχιστο υπολογιστικό βάθος θεμελίωσης $D=1,8\text{m}$ για πεδιλοδοκό και για κοιτόστρωση. Οι υπολογισμοί έγιναν με το λογισμικό υπολογισμού φέρουσας ικανότητας και καθιζήσεων LoadCap της εταιρείας Geostru. Η αντίσταση σχεδιασμού του εδάφους (Design Resistance R_d) υπολογίστηκε με τις μεθόδους HANSEN, TERZAGHI, MEYERHOF και BRINCH-JANSEN και με την επιβολή μερικών συντελεστών ασφάλειας βάσει των προσεγγίσεων σχεδιασμού 1 και 2 του Ευρωκώδικα 7. Εφαρμόστηκαν οι συνδυασμοί συντελεστών ασφάλειας $A1+M1+R2$ (Παρ. 2.4.7.3.4.3., Design Approach 2) και $A2+M2+R1$ (Παρ. 2.4.7.3.4.2., Design Approach 1, Combination 2). Επιπρόσθετα, υπολογίστηκε η αντίσταση του εδάφους σε περίπτωση σεισμού (Χατζηγώγος, 2016).

Ο υπολογισμός της αντίστασης εδάφους έγινε για συνθήκες αποστράγγισης. Από τα συνολικά αποτελέσματα επιλέχθηκε η συντηρητικότερη τιμή σχεδιασμού. Ο υπολογισμός της αντίστασης του εδάφους παρουσιάζεται γραφικά στην Εικόνα 63).

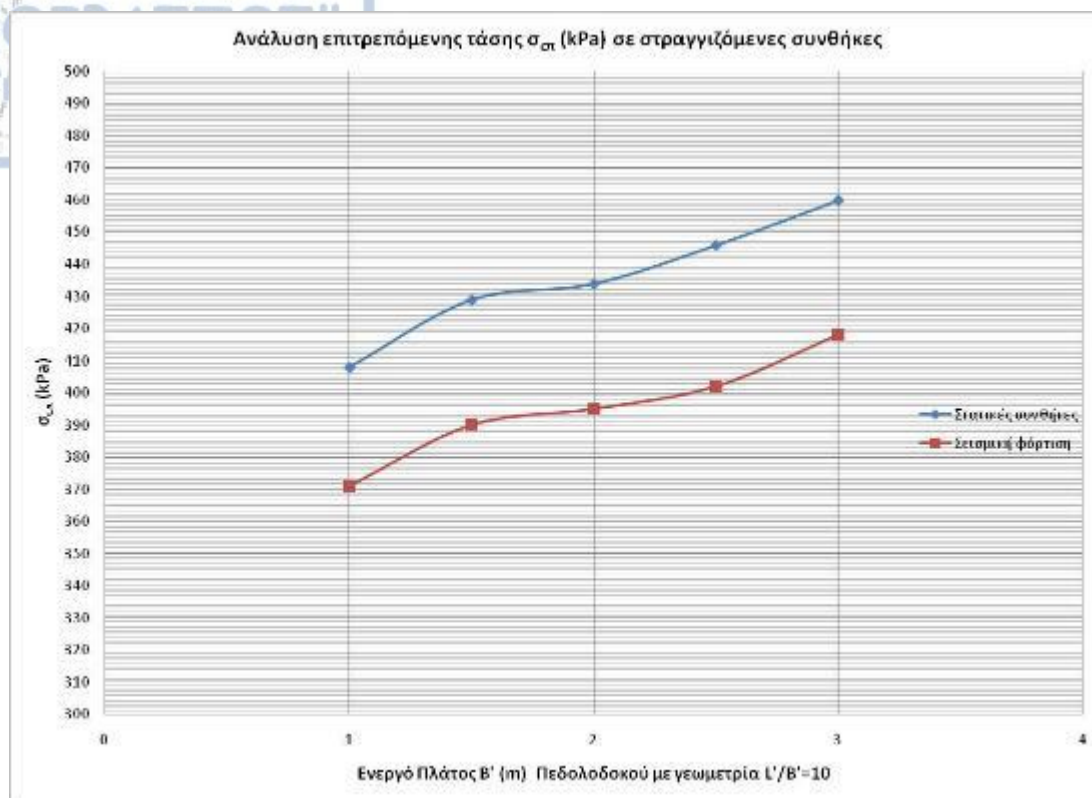
Στην περίπτωση πεδιλοδοκού με γεωμετρία $L/B=10$, προκύπτουν τιμές επιτρεπόμενης τάσης της τάξης του $\sigma_{\text{επ}}=400 \text{ kN/m}^2$ έως $\sigma_{\text{επ}}=460 \text{ kN/m}^2$ σε συνθήκες αποστράγγισης και $\sigma_{\text{επ}}=370 \text{ kN/m}^2$ έως $\sigma_{\text{επ}}=420 \text{ kN/m}^2$ για περίπτωση σεισμικής φόρτισης (Εικόνα 64). Στην περίπτωση γενικής κοιτόστρωσης με γεωμετρία $L/B=2$, προκύπτουν τιμές επιτρεπόμενης τάσης της τάξης του $\sigma_{\text{επ}}=500 \text{ kN/m}^2$ έως $\sigma_{\text{επ}}=700 \text{ kN/m}^2$ σε συνθήκες αποστράγγισης και $\sigma_{\text{επ}}=450 \text{ kN/m}^2$ έως $\sigma_{\text{επ}}=650 \text{ kN/m}^2$ για περίπτωση σεισμικής φόρτισης (Εικόνα 65). Η διαστασιολόγηση των θεμελίων θα πρέπει να οδηγεί σε αναπτυσσόμενες τάσεις μικρότερες των επιτρεπόμενων, έτσι όπως αυτές προκύπτουν από την Εικόνα 64) και την Εικόνα 65) (Χατζηγώγος, 2016).



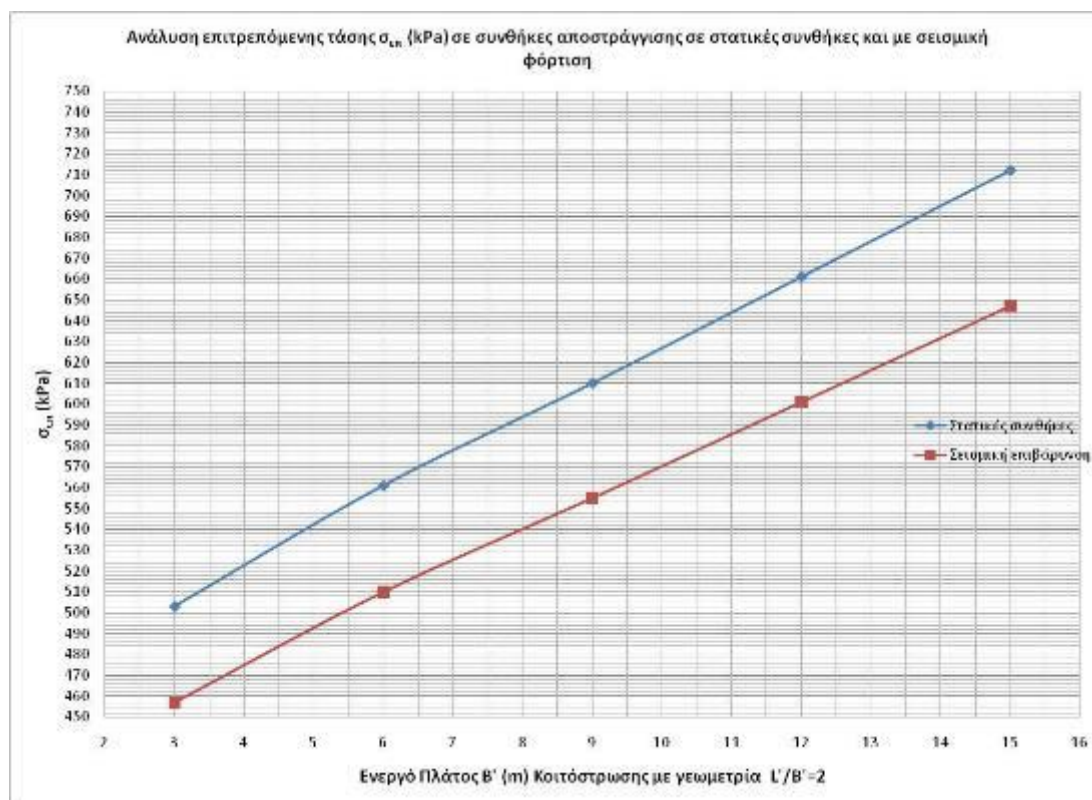
Εικόνα 63: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας στη θέση του Ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου (Χατζηγώγος, 2016).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εάν γίνει δεκτή μία μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση της τάξης των 20 cm για κοιτόστρωση ή των 10 cm για πεδילוδοκούς, η αντίστοιχη τιμή επιτρεπόμενης τάσης ανέρχεται σε $\sigma_{\text{επ}} \approx 140 \text{ kN/m}^2$ (βλ. υπολογισμούς καθιζήσεων παραγράφου 5.2) (Χατζηγώγος, 2016).

Εκ των αποτελεσμάτων αυτών, φαίνεται ότι λόγω των σχετικά ευνοϊκών μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφικών στρώσεων, η μηχανική συμπεριφορά του υπεδάφους θεμελίωσης και η απόκριση της ανωδομής του μνημείου κρίνεται επαρκής και ικανοποιητική.



Εικόνα 64: Παραμετρικός υπολογισμός επιτρεπόμενης τάσης εδάφους σε συνθήκες αποστράγγισης για στατικές συνθήκες και συνθήκες σεισμικής φόρτισης για πεδολοδοκό με γεωμετρία $L/B=10$ (Χατζηγώγος, 2016).

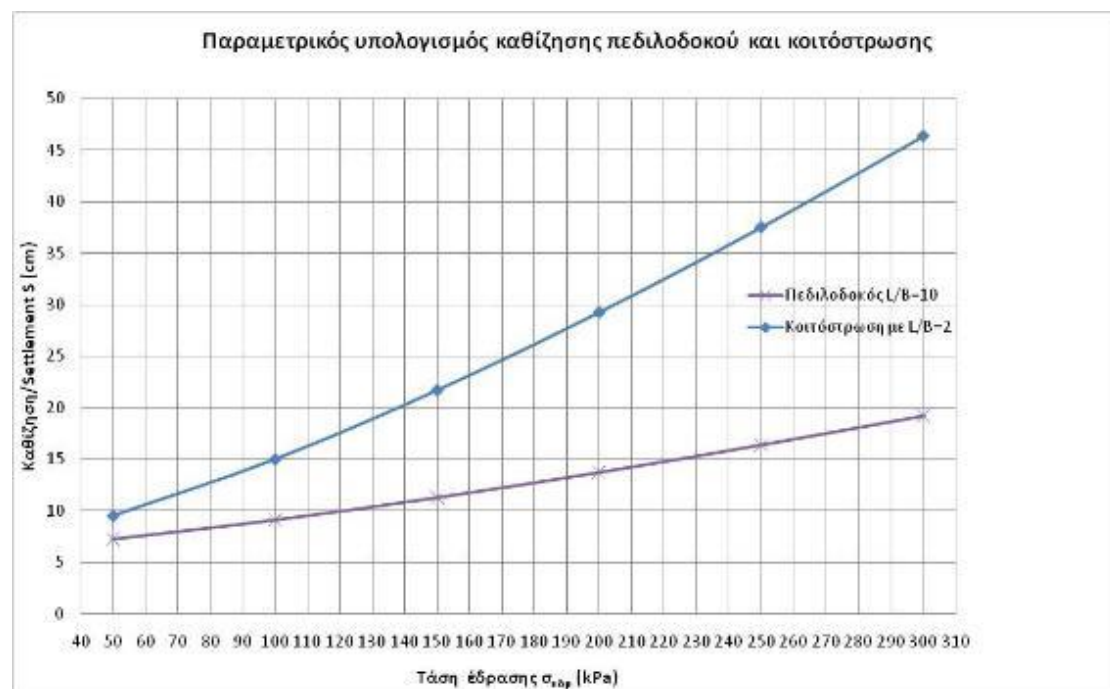


Εικόνα 65: Παραμετρικός υπολογισμός επιτρεπόμενης τάσης εδάφους σε συνθήκες αποστράγγισης με σεισμική φόρτιση για κοιτόστρωση με γεωμετρία $L/B=2$ (Χατζηγώγος, 2016).

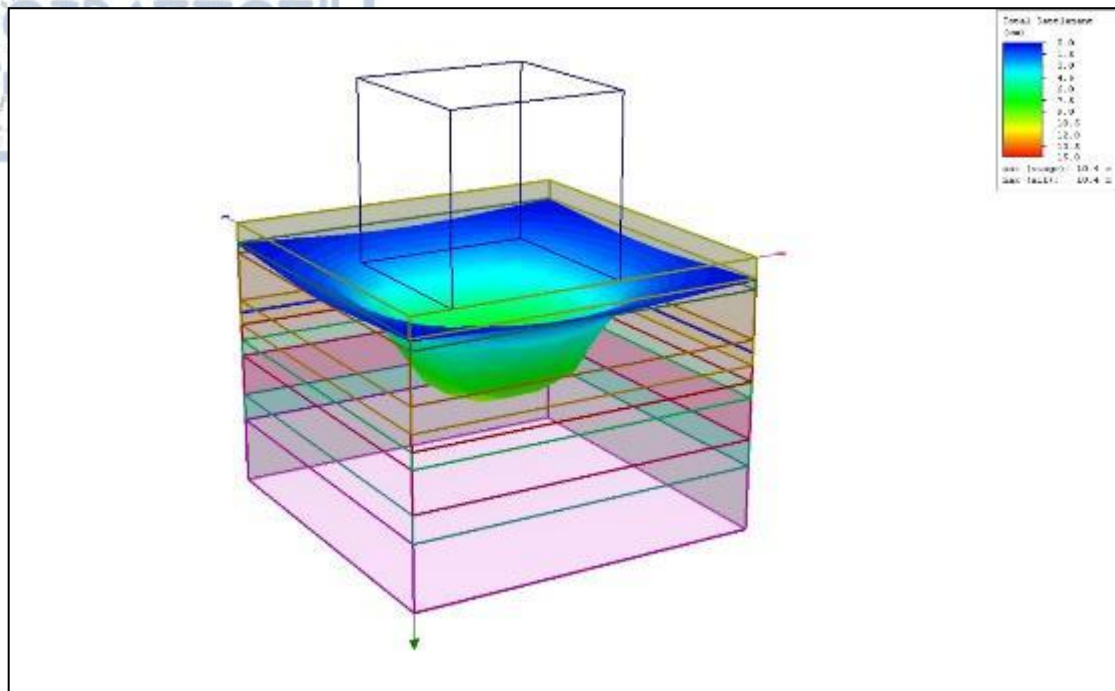
9.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ - ΔΕΙΚΤΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Με βάση τα αποτελέσματα των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, ακολουθεί μία εκτίμηση των καθιζήσεων του εδάφους. Στους υπολογισμούς γίνεται θεώρηση $D=1,8\text{m}$ και θεμελίωση πάνω στη εδαφική στρώση "S2". Οι υπολογισμοί έγιναν με το πρόγραμμα LoadCar της εταιρείας Geostru και το πρόγραμμα Settle3D της εταιρείας RocScience. Προκύπτει ολική μέση καθίζηση της τάξης των 7,29cm έως και 19,21cm αντίστοιχα για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των $\sigma_{εδρ} \approx 50\text{-}300 \text{ kN/m}^2$ για θεμελίωση με πεδιλοδοκό και καθίζηση της τάξης των 9,53cm έως και 46,34cm αντίστοιχα για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των $\sigma_{εδρ} \approx 50\text{-}300 \text{ kN/m}^2$ για θεμελίωση με κοιτόστρωση. Στην Εικόνα 66) παρουσιάζεται ο παραμετρικός υπολογισμός της καθίζησης για τις διάφορες τιμές φόρτισης. Οι άνω υπολογιζόμενες τιμές ισχύουν για την περίπτωση ολοκλήρωσης των καθιζήσεων λόγω στερεοποίησης (συνθήκες μακροχρόνιας φόρτισης). (Χατζηγώγος, 2016)

Παρατηρείται ότι αν γίνει αποδεκτή μία μέση ολική καθίζηση της τάξης των 10cm, αυτή υπολογίζεται για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των $\sigma_{εδρ} \approx 130 \text{ kN/m}^2$ (Εικόνα 67).



Εικόνα 66: Παραμετρικός υπολογισμός καθιζήσεων στις θέσεις μελέτης (Χατζηγώγος, 2016).



Εικόνα 67: 3D υπολογισμός αναμενόμενης καθίζησης 10,4cm για τάση 130kPa (Χατζηγώγος, 2016).

Η τιμή του δείκτη εδάφους για ενδεχόμενη στατική επίλυση του κτιρίου με θεώρηση έδρασης επί ελαστικού εδάφους μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τις προτεινόμενες τιμές σε διαφόρους τύπους εδαφών κατά Bowles . Ενδεικτικά, για την περίπτωση θεμελίωσης με πεδιλοδοκούς ή κοιτόστρωση, βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων, για χαλαρές άμμους ($D_r < 50\%$) μπορεί να ληφθεί $K \approx 4800 \text{ kN/m}^3$ έως $K \approx 16000 \text{ kN/m}^3$ σε στατικές συνθήκες. Για ανάλυση μάλιστα σε σεισμό, μπορεί να ληφθούν τιμές K τουλάχιστον διπλάσιες έως και τριπλάσιες των ως άνω προτεινόμενων (Χατζηγώγος, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τις εργασίες και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική διατριβή παρατίθενται στη συνέχεια τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στον προαύλιο χώρο έμπροσθεν της κεντρικής εισόδου του μνημείου Γενί Τζαμί Έδεσσας. Το μνημείο εκτιμάται πως είναι θεμελιωμένο σε βάθος τουλάχιστον 1,8m ή και βαθύτερα και δεν παρουσιάζει εμφανείς παραμορφώσεις ή ρωγμές. Η μηχανική του συμπεριφορά του κτίσματος αλλά και του υπεδάφους θεμελίωσης κρίνεται ικανοποιητική στο χρόνο ύπαρξής του.
- Στα πλαίσια της μελέτης εκτελέσθηκε μία δειγματοληπτική γεώτρηση (Γ1), και σε επιλεγμένα δείγματα εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής ώστε να διασαφηνιστούν οι συνθήκες θεμελίωσης του μνημείου και τα χαρακτηριστικά του υπεδάφους της ευρύτερης περιοχής επιρροής του.
- Το υπέδαφος στη θέση έρευνας αποτελείται επιφανειακά από Τεταρτογενείς εδαφικούς σχηματισμούς και πιο συγκεκριμένα από σύγχρονους κώνους χειμαρρωδών αποθέσεων, με υποκείμενους τους χαρακτηριστικούς ασβεστολιθικούς τραβερτίνες που αποτελούν το βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής.
- Με βάση τα αποτελέσματα της επιτόπου γεωτεχνικής έρευνας, το υπέδαφος στη θέση του Τζαμιού και μέχρι το βάθος διεξαγωγής της έρευνας, 15m, συνίσταται κυρίως από εναλλαγές εδαφικών στρωμάτων κυρίως αμμώδους σύστασης με κυμαινόμενο ποσοστό λεπτόκοκκων συστατικών και μικρό ποσοστό χαλικιών. Συναντώνται επίσης εξολοκλήρου αμμώδεις ορίζοντες χωρίς λεπτόκοκκα, σε εναλλαγή με λεπτόκοκκους σχηματισμούς αργιλοϊλυώδους σύστασης. Οι ορίζοντες αυτοί εκτιμάται πως αναπτύσσουν εποχιακή υδροφορία μικρής δυναμικότητας. Επιφανειακά συναντήθηκαν τεχνητές επιχώσεις πάχους περίπου 1m. Όλα τα εδαφικά στρώματα έχουν ασβεστιτική σύσταση και αποτελούν προϊόντα αποσάθρωσης των τραβερτινών της ευρύτερης περιοχής.
- Η ευρύτερη περιοχή μελέτης εντάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικιν-δυνότητας Ι, με μέγιστη σεισμική επιτάχυνση $\alpha=0,16g$ (όπου g , επιτάχυνση της βαρύτητας) με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη, το δε υπέδαφος κατατάσσεται στην κατηγορία Β, έτσι όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Με βάση αυτό υπολογίστηκε ο συντελεστής σεισμικής επιβάρυνσης του μνημείου βασιζόμενος και στα κατασκευαστικά του στοιχεία.
- Για την διασαφήνιση της μηχανικής συμπεριφοράς του υπεδάφους και πιο συγκεκριμένα των οριζόντων αμμώδους σύστασης που εμφανίζουν εποχιακή

υδροφορία σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε ένα ειδικό πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών. Το πρόγραμμα αυτό περιελάμβανε εκτός από τις συμβατικές δοκιμές εδαφομηχανικής (φυσικές ιδιότητες, κοκκομετρία και συμπιεστότητα) και δοκιμές άμεσης διάτμησης με μεταβαλλόμενη φυσική υγρασία ώστε να διασαφηνιστούν οι μεταβολές της διατμητικής αντοχής σε σχέση με τις μεταβολές του βαθμού κορεσμού. Εκτελέστηκαν δοκιμές άμεσης διάτμησης σε χαρακτηριστικά δείγματα του υπεδάφους θεμελίωσης με έλεγχο της τιμής της μύζησης. Οι εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής εκτελέστηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κατά τρόπο σύμφωνο με τις σχετικές Δημόσιες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε106-85) και τις αντίστοιχες οδηγίες και προδιαγραφές της A.S.T.M. (American Society for testing and Materials).

- Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής κατασκευάστηκε αρχείο υπολογιστικών φύλλων του Microsoft Excel με σκοπό την αυτοματοποιημένη παραγωγή αποτελεσμάτων από την δοκιμή άμεσης διάτμησης και τα πρωτογενή δεδομένα που τη συνοδεύουν. Τα πρωτογενή δεδομένα προέρχονται από την καταγραφή των τάσεων που εφαρμόζονται στο δείγμα σε πραγματικό χρόνο και των αντίστοιχων παραμορφώσεων που προκαλούν σε αυτό. Πιο συγκεκριμένα γίνεται καταγραφή του αξονικού και διατμητικού φορτίου και των αντίστοιχων αξονικών και διατμητικών μετακινήσεων μέσω αυτοματοποιημένων καταγραφικών συστημάτων (controllers και transducers).
- Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών άμεσης διάτμησης που διενεργήθηκαν σε χαρακτηριστικό δείγμα του υπεδάφους θεμελίωσης, όπου θεωρείται ότι εδράζεται το μνημείο (βάθος 2,45-3,00m όπου εντοπίζεται το στρώμα S2), σε συνθήκες κορεσμού και σε συνθήκες φυσικής υγρασίας παρατηρήθηκε αύξηση της διατμητικής αντοχής με τη μείωση του βαθμού κορεσμού και αύξηση του ποσοστού μεταβολής της διατμητικής αντοχής με μείωση της αξονικής φόρτισης. Επίσης παρατηρείται η εμφάνιση φαινόμενης συνοχής στο δείγμα με φυσική υγρασία ενώ η τιμή της για συνθήκες κορεσμού είναι μηδενική. Παρατηρείται επίσης πως η γωνία εσωτερικής τριβής παραμένει σχεδόν σταθερή για τις δύο επιμέρους συνθήκες κορεσμού.
- Το μέγεθος της αύξησης της συνοχής λόγω μείωσης του βαθμού κορεσμού εξαρτάται από την τιμή της αναπτυσσόμενης μύζησης επί τον όρο $\tan \varphi^b$ όπου φ^b είναι η γωνία της περιβάλλουσας αστοχίας κατά Mohr-Coulomb στον άξονα $\tau - (u_\alpha - u_w)$. Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών η συνοχή εξαιτίας της αύξησης της μύζησης είναι της τάξης των 23kPa για τιμή υγρασίας $m=11,20$ % και αντίστοιχη τιμή βαθμού κορεσμού $S=27,74\%$. Έτσι λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει από την σχέση ότι η γωνία φ^b αντιστοιχεί σε τιμή $11,08^\circ$.

- Η σύσταση και η πυκνότητα του υπεδάφους παρέχει επαρκείς συνθήκες για την επιφανειακή θεμελίωση του μνημείου. Η εκτίμηση αυτή ενισχύεται από την πολύ ικανοποιητική μηχανική συμπεριφορά του υπεδάφους θεμελίωσης και της ανωδομής μέχρι σήμερα.
- Εκτιμήθηκε η φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού για την περίπτωση επιφανειακής θεμελίωσης (επιτρεπόμενες τάσεις κατά Ευρωκώδικα 7), με χρήση μερικών συντελεστών ασφαλείας στα χαρακτηριστικά εδάφους. Η επιτρεπόμενη τάση για θεμελίωση με πεδιλοδοκό σε βάθη της τάξης των 1,8m, θα μπορούσε να ληφθεί τελικά της τάξης των $\sigma_{\text{επ}} \approx 150 \text{ kN/m}^2$.
- Οι αναμενόμενες καθιζήσεις του κτιρίου εκτιμώνται εντός οριακών ανεκτών ορίων. Προκύπτει ολική μέση καθίζηση της τάξης των 7,29cm έως και 19,21cm αντίστοιχα για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των $\sigma_{\text{εδρ}} \approx 50\text{-}300 \text{ kN/m}^2$ για θεμελίωση με πεδιλοδοκό και καθίζηση της τάξης των 9,53cm έως και 46,34cm αντίστοιχα για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των $\sigma_{\text{εδρ}} \approx 50\text{-}300 \text{ kN/m}^2$ για θεμελίωση με κοιτόστρωση
- Η τιμή του δείκτη εδάφους για ενδεχόμενη στατική επίλυση του κτιρίου με θεώρηση έδρασης επί ελαστικού εδάφους εκτιμήθηκε με βάση τις προτεινόμενες τιμές σε διαφόρους τύπους εδαφών κατά Bowles . Ενδεικτικά, για την περίπτωση θεμελίωσης με πεδιλοδοκούς ή κοιτόστρωση μπορεί να ληφθεί $K \approx 4800 \text{ kN/m}^3$ έως $K \approx 16000 \text{ kN/m}^3$ σε στατικές συνθήκες.

ASTM D3080-90: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. (n.d.).

Eleftheriadis, G. (2006). *INTRODUCTION TO THE ALMOPIA SPELEOPARK*. Thessaloniki.

Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993). *An overview of unsaturated soil behavior*. Geotechnical special publication, 1-1.

Fredlund, D., & Morgenstern, N. (1977). Stress State Variables for Unsaturated Soils. *ASCE J. Geotech. Eng. Div. GT5*, σ. 103.

Fredlund, D., & Rahardjo, G. (1993). *Soil mechanics for unsaturated soils*. John Wiley & Sons.

Fredlund, D., Morgenstern, N., & Widger, R. (1978). The Shear Strength of Unsaturated Soils. *Can Geotech J.*

GDS Specification Datasheet: (a)Saturated/Unsaturated Back Pressured Shearbox (GDSBPS), (. P. (n.d.).

Mercier, J. (1966). *Etude géologique des zones internes des Hellénides en Macédoine centrale (Grèce)*.

Βλάχος, Χ. (2015). *ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ ΣΕ ΑΚΟΡΕΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ*. Θεσσαλονίκη: Μεταπτυχιακή Διατριβή Πανεπ. Θεσσαλονίκης.

Βουγιουκαλάκης, Γ. (2002). *Πετρολογική, Γεωχημική και Ηφαιστειολογική Μελέτη των Πλειοκαινικών Ηφαιστειακών Σχηματισμών της Αλμωπίας.Συσχετισμός τους με τις Γεωθερμικές Εκδηλώσεις της Περιοχής*. Θεσσαλονίκη: Διδ. Διατρ. Αριστοτ. Πανεπ. Θεσσαλονίκης.

Μουντράκης, Δ. (1976). Συμβολή εις την γνώσιν της γεωλογίας του βορείου ορίου των ζωνών Αξιού και Πελαγονικής εις την περιοχήν Κ. Λουτρακίου-Όρμας (Αλμωπίας). Διδακτορική διατριβή Πανεπ. Θεσσαλονίκης.

Μουντράκης, Δ. Μ. (2010). *ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ*. Θεσσαλονίκη: UNIVERSITY STUDIO PRESS A.E.

Σολδάτος, Κ. (1955). *Οι ηφαιστίται της Αλμωπίας*. Διδ. Διατρ. Πανεπ. Θεσσαλονίκης.

Χατζηγώγος, Ν. Θ. (2015). Συμβολή στη διερεύνηση των μηχανισμών αστοχίας υπολειμματικών εδαφών. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.

Χατζηγώγος, Ν. Θ. (2016). ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ-ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΤΟ ΓΕΝΙ ΤΖΑΜΙ ΕΔΕΣΣΑΣ. Θεσσαλονίκη.

Χρηστάρας, Β., & Χατζηαγγέλου, Μ. (2011). απλά βήματα στην εδαφομηχανική (1η Έκδοση εκδ.). Θεσσαλονίκη: UNIVERSITY STUDIO PRESS.

Πίνακας 17: Παράδειγμα καταχώρησης δεδομένων κατά τη διαδικασία του κορεσμού για το δείγμα Γ1(2,45-3,00).

Stage Number	Time since start of stage (s)	Axial Displacement (mm)	Axial Load (kN)	Pore Water Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Back Volume (mm ³)	Axial Strain (%)	Normal Stress (kPa)
1	0	-0,0015	0,001	0.0182	35	-311	-0,0064	0,1778
1	30	0,2311	0,056	0.0182	35	-410	0,9834	9,9556
1	60	0,2402	0,056	0.0182	35	-418	1,0221	9,9556
1	90	0,2462	0,056	0.0182	35	-400	1,0477	9,9556
1	120	0,2508	0,056	0.0182	35	-386	1,0672	9,9556
1	150	0,2523	0,056	3.6622	35	-374	1,0736	9,9556
1	180	0,2553	0,056	3.6622	35	-405	1,0864	9,9556
1	210	0,2583	0,056	3.6622	35	-410	1,0991	9,9556
1	240	0,2598	0,056	0.0182	35	-423	1,1055	9,9556
1	270	0,2629	0,056	0.0198	35	-414	1,1187	9,9556
1	300	0,2644	0,056	0.0182	34	-418	1,1251	9,9556
1	330	0,2659	0,056	0.0182	35	-434	1,1315	9,9556
1	360	0,2674	0,056	40.0003	35	-394	1,1379	9,9556
1	390	0,2689	0,056	40.0003	35	-396	1,1443	9,9556
1	420	0,2704	0,056	40.0003	35	-421	1,1506	9,9556
1	450	0,2719	0,056	40.0003	35	-413	1,157	9,9556
1	480	0,2734	0,056	40.0003	35	-390	1,1634	9,9556
1	510	0,2734	0,056	40.0003	35	-393	1,1634	9,9556
1	540	0,2749	0,056	40.0003	35	-389	1,1698	9,9556
1	570	0,2749	0,056	40.0003	35	-402	1,1698	9,9556
1	600	0,2765	0,056	40.0003	35	-422	1,1766	9,9556
1	630	0,278	0,056	40.0003	35	-404	1,183	9,9556
1	660	0,2795	0,056	40.0003	34	-387	1,1894	9,9556
1	690	0,2795	0,056	40.0003	35	-384	1,1894	9,9556

Πίνακας 18: Παράδειγμα καταχώρησης δεδομένων κατά τη διαδικασία της στερεοποίησης για το δείγμα Γ1(2,45-3,00) και φόρτιση 22,5 kPa.

Stage Number	Time since start of stage (s)	Axial Displacement (mm)	Axial Load (kN)	Axial Strain (%)	Normal Stress (kPa)
2	0	2,4050	0,0810	0,000	22,5001
2	30	3,3506	0,1265	4,728	22,4996
2	60	3,4775	0,1266	5,363	22,5001
2	90	3,5244	0,1266	5,597	22,5001
2	120	3,5500	0,1266	5,725	22,5001
2	150	3,5697	0,1266	5,824	22,5001
2	180	3,5803	0,1266	5,877	22,5001
2	210	3,5893	0,1265	5,922	22,4996
2	240	3,5969	0,1266	5,960	22,5001
2	270	3,6029	0,1266	5,990	22,5001
2	300	3,6075	0,1266	6,013	22,5001
2	330	3,612	0,1266	6,035	22,5001
2	360	3,615	0,1266	6,050	22,5001
2	390	3,6165	0,1265	6,058	22,4996
2	420	3,6195	0,1266	6,073	22,5001
2	450	3,6226	0,1266	6,088	22,5001
2	480	3,6241	0,1266	6,096	22,5001
2	510	3,6271	0,1266	6,111	22,5001
2	540	3,6301	0,1266	6,126	22,5001
2	570	3,6301	0,1266	6,126	22,5001
2	600	3,6316	0,1266	6,133	22,5001
2	630	3,6331	0,1266	6,141	22,5001
2	660	3,6346	0,1266	6,148	22,5001
2	690	3,6346	0,1266	6,148	22,5001
2	720	3,6362	0,1266	6,156	22,5001
2	750	3,6377	0,1266	6,164	22,5001
2	780	3,6377	0,1266	6,164	22,5001
2	810	3,6392	0,1266	6,171	22,5001
2	840	3,6407	0,1266	6,179	22,5001

Πίνακας 19: Παράδειγμα καταχώρησης δεδομένων κατά τη διαδικασία της διάτμησης για το δείγμα Γ1 (2,45-3,00) και φόρτιση 22,5 kPa.

Stage Number	Time since start of stage (s)	Axial Displacement (mm)	Axial Load (kN)	Horizontal Displacement (mm)	Horizontal Load (kN)	Axial strain (%)	Horizontal Strain (%)	Horizontal Stress (kPa)
3	0	0	0,081	0	0,003	0,000	0,000	0,533
3	30	0,0801	0,126	0,029	0,003	0,428	0,039	0,534
3	60	0,0952	0,126	0,059	0,003	0,509	0,079	0,534
3	90	0,1042	0,126	0,089	0,003	0,557	0,119	0,534
3	120	0,1163	0,126	0,119	0,003	0,622	0,159	0,534
3	150	0,1375	0,126	0,149	0,007	0,735	0,199	1,247
3	180	0,1632	0,126	0,179	0,012	0,872	0,239	2,138
3	210	0,1873	0,126	0,209	0,015	1,001	0,279	2,674
3	240	0,2115	0,126	0,239	0,019	1,131	0,319	3,389
3	270	0,2357	0,126	0,269	0,021	1,260	0,359	3,747
3	300	0,2583	0,126	0,299	0,023	1,381	0,399	4,105
3	330	0,278	0,126	0,329	0,024	1,486	0,439	4,285
3	360	0,3037	0,126	0,359	0,024	1,623	0,479	4,287
3	390	0,3278	0,126	0,389	0,025	1,752	0,519	4,468
3	420	0,3475	0,126	0,419	0,025	1,858	0,559	4,469
3	450	0,3671	0,127	0,449	0,024	1,962	0,599	4,292
3	480	0,3898	0,126	0,479	0,025	2,084	0,639	4,473
3	510	0,4094	0,126	0,509	0,025	2,188	0,679	4,475
3	540	0,4321	0,126	0,539	0,025	2,310	0,719	4,477
3	570	0,4517	0,126	0,569	0,026	2,415	0,759	4,658
3	600	0,4728	0,126	0,599	0,028	2,527	0,799	5,018
3	630	0,4895	0,126	0,629	0,029	2,617	0,839	5,199
3	660	0,5046	0,126	0,659	0,029	2,697	0,879	5,201
3	690	0,5257	0,126	0,689	0,03	2,810	0,919	5,383
3	720	0,5438	0,126	0,719	0,03	2,907	0,959	5,385
3	750	0,562	0,126	0,749	0,031	3,004	0,999	5,567
3	780	0,5771	0,126	0,779	0,032	3,085	1,039	5,749
3	810	0,5922	0,126	0,809	0,031	3,166	1,079	5,571
3	840	0,6073	0,126	0,839	0,032	3,246	1,119	5,753