

Μελέτη της Συμπιεστότητας Σύνθετων Γεωϋλικών (Βραχώδη Τεμάχη Περιβαλλόμενα από Εδαφικό Γεωυλικό)

A Study of the Compressibility of Composite Geomaterials (Rocky Fragments Surrounded by Soil)

ΤΣΟΤΣΟΣ, Σ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Α.Π.Θ.
ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΠΟΥΛΟΣ, Ι. Πολιτικός Μηχανικός, Επίκουρος Καθηγητής Α.Π.Θ.
ΜΟΔΙΤΣΗΣ, Π. Πολιτικός Μηχανικός, Υποψήφιος Διδάκτορας Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Στην εργασία μελετάται η μηχανική συμπεριφορά και ειδικότερα η συμπιεστότητα γεωϋλικών αποτελούμενων από βραχώδη τεμάχη και χάλικες περιβαλλόμενα από έδαφος. Γεωυλικά με σύσταση αυτού του τύπου είναι κυρίως τα αυτόχθονα , τα οποία προέρχονται από μακρόχρονη και ανομοιόμορφη αποσάθρωση και εξαλλοίωση του μητρικού πετρώματος. Η συμπιεστότητα του σύνθετου (διφασικού) γεωυλικού , η οποία πρέπει να χρησιμοποιείται στις εφαρμογές , εξαρτάται και υπολογίζεται από τη συμπιεστότητα του εδαφικού μέρους , από την αναλογία των δύο κύριων συστατικών γεωυλικών και από τη δομή του σύνθετου γεωυλικού. Το προτεινόμενο πρότυπο και οι σχέσεις στις οποίες αυτό καταλήγει μελετώνται στη συνέχεια με μια σειρά εργαστηριακών δοκιμών οιδημέτρου επί αναζυμωθέντων και ανακατασκευασθέντων δοκιμών αργίλου – άμμου με ποικίλα συστατικά υλικά και διαφορετικά ποσοστά ανάμιξης.

ABSTRACT : A conceptual mechanical model for residual soils is presented in this paper. Such soils are the product of the decomposition and weathering of the original rock formation , and generally consist of intact rock surrounded by weathered soil material. The compressibility of this composite geomaterial , which is of great importance to geotechnical problems , depends on and is determined from the compressibility of the soil , the proportion of each component geomaterial and the structure of the composite geomaterial. The proposed model is validated through a series of laboratory oedometer tests on remoulded , reconstituted clay-sand samples. Various material types and clay-sand proportion were tested.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στους υπολογισμούς των μετακινήσεων , στις διάφορες εφαρμογές της Εδαφομηχανικής , το έδαφος προσομοιάζεται ως ένα ενιαίο μέσο , το οποίο ακολουθεί ένα συγκεκριμένο καταστατικό νόμο μηχανικής συμπεριφοράς συνήθως από γραμμική ή μη γραμμική ελαστικότητα , έως ιξωδοελαστική συμπεριφορά. Η εκτίμηση των παραμέτρων του προσομοιώματος - μοντέλου (δηλαδή των χαρακτηριστικών της συμπιεστότητας) , είναι έτσι κι αλλιώς ένα δύσκολο θέμα. Όμως το έργο αυτό γίνεται ακόμη δυσκολότερο στην αρκετά συ-

νήθη περίπτωση εδαφών , τα οποία αποτελούνται από βραχώδη τεμάχη ή χάλικες περιβαλλόμενους από εδαφικό υλικό (Pitman et al. 1994) , (Blight ,1997). Η ανομοιόμορφη αυτή σύσταση των επιφανειακών γεωυλικών συναντάται συνήθως στα αυτόχθονα εδάφη , ως αποτέλεσμα μηχανικής ή και χημικής αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης του μητρικού πετρώματος , τεμάχη όμως του οποίου παραμένουν με διαστάσεις λίθων ή και χαλίκων (Barksdale and Blight ,1997). Η κατάσταση αυτή συχνά φαίνεται να παρουσιάζει μια κατά ένα τρόπο, σταδιακή μετάβαση από το επιφανειακό έδαφος με λίγα ή και καθόλου

βραχώδη υπολείμματα προς τον σχετικά υγιή βράχο. Όμως θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα χαρακτηριστικά της μετάβασης και τα πάχη των επιμέρους ζωνών ποικίλουν πάρα πολύ, από λίγα μόλις μέτρα έως πολλές δεκάδες μέτρων , εξαρτώμενα από διάφορους γεωλογικούς, ορυκτολογικούς , χημικούς και κλιματολογικούς παράγοντες. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να προστεθεί ότι η προαναφερθείσα κανονικότητα αρκετές φορές από διάφορα αίτια , ανατρέπεται και η κατάσταση και η σύσταση των γεωυλικών δείχνει να είναι τόσο με το βάθος όσο και κατ' έκταση , άναρχη και τυχαία , (χαοτική).

Στις περιπτώσεις αυτές , είναι σύνηθες , προκειμένου να εκτιμηθεί η συμπίεστικότητα του σύνθετου γεωυλικού να μετρώνται στο εργαστήριο μόνο τα χαρακτηριστικά του συμπίεστου εδαφικού υλικού και να γίνονται αυτά δεκτά για το συνολικό σύνθετο γεωυλικό. Η θεώρηση αυτή οδηγεί σε υπερεκτίμηση της συμπίεστικότητας του σύνθετου γεωυλικού και έχει ως επακόλουθο τον υπολογισμό καθιζήσεων μεγαλύτερων από εκείνες που παρατηρούνται στην πραγματικότητα.

Με αφορμή την πιο πάνω παρατήρηση , στην εργασία, γίνεται μια προσπάθεια πρότασης μιας νέας μεθόδου εκτίμησης της μηχανι-



Φωτογραφία 1. Σύνθετα γεωυλικά , στην περιοχή της Λητής , βορειοανατολικά της Θεσσαλονίκης (μικρά βραχώδη τεμάχια και χάλικες περιβαλλόμενα από έδαφος).

Photograph 1. Residual soils of the northeastward Thessaloniki region.

κής συμπεριφοράς και ειδικότερα της συμπίεστικότητας σύνθετων γεωυλικών όπως αυτά που περιγράφηκαν παραπάνω.

2.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ (ΔΙΦΑΣΙΚΩΝ) ΓΕΩΥΛΙΚΩΝ

2.1 Γενικά στοιχεία

Όπως ήδη αναφέρθηκε προηγούμενα και φαίνεται και στις εικόνες της φωτογραφία 1 , συχνά στα πρώτα μέτρα από την επιφάνεια , στα βάθη δηλαδή τα οποία ενδιαφέρουν την γεωτεχνική μηχανική (προβλήματα θεμελίωσης , αντιστήριξης κ.α.) συναντώνται βραχώδη τεμάχια περιβαλλόμενα από εδαφικό υλικό. Η ανάγκη λοιπόν να υπολογιστεί με ευκολία και κυρίως με ικανοποιητική ακρίβεια η συμπίεστικότητα των σύνθετων αυτών εδαφών αυτών μας οδήγησε στην πρόταση ενός προσομοιώματος της συμπεριφοράς , στο οποίο καθοριστικό ρόλο έχουν η δομή του σύνθετου γεωυλικού και η αναλογία των δύο κύριων επιμέρους συστατικών γεωυλικών , δηλαδή των βραχωδών τεμαχίων και των χάλικων αφενός και του εδαφικού αφετέρου και τέλος η συμπίεστικότητα του εδαφικού μερους κυρίως. Η μέτρηση των χαρακτηριστικών της συμπίεστικότητας γίνεται συνήθως στο εργαστήριο με δοκιμές οιδημέτρου. Είναι χαρακτηριστικό ότι η μεγάλη δυσκολία που υπάρχει, στις περιπτώσεις γεωυλικών αυτού του τύπου , στην λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος και στην προετοιμασία του δοκιμίου και της δοκιμής , οδηγούν στην επιλογή ,



κατά την δειγματοληπτική γεώτρηση , ενός , κατά το δυνατόν , “καθαρού” εδαφικού δείγματος από την ληφθείσα εδαφική στήλη.



Σχήμα 2. Τυπική τομή του υπεδάφους.
Figure 2. Typical ground profile.

Για την μελέτη του θέματος προχωρήσαμε σε μια κατάλληλη σειρά εργαστηριακών δοκιμών. Οι δοκιμές αυτές για λόγους διευκόλυνσης δεν έγιναν επί φυσικών δειγμάτων καθώς θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη και χρονοβόρος η αναζήτηση φυσικών γεωυλικών με κατάλληλα μεγάλο εύρος σύστασης , αλλά επί τεχνητών δοκιμίων τα οποία παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο από δύο συστατικά γεωυλικά με διάφορες αναλογίες ανάμιξης.

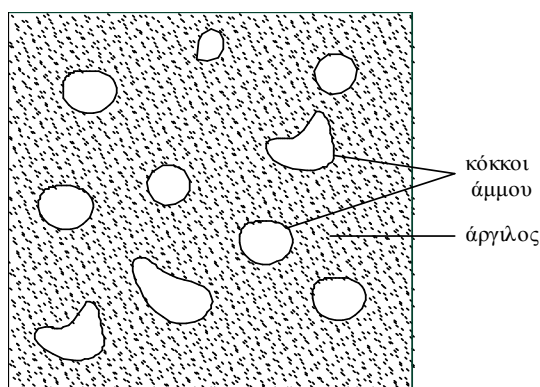
2.2. Διάκριση της μηχανικής συμπεριφοράς σε πρότυπες καταστάσεις.

Στην εργαστηριακή πειραματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν ως συστατικά γεωυλικά αδρανές αμμώδες έδαφος , το οποίο αντιστοιχεί στα αδρανή συστατικά του φυσικού γεωυλικού , δηλαδή τα βραχώδη τεμάχια , τους χάλικες μέχρι και την χοντρόκοκκη άμμο και ένα λεπτόκοκκο έδαφος (άργιλος έως ιλυώδης άργιλος) η οποία αντιστοιχεί στο εδαφικό συστατικό του φυσικού γεωυλικού.

Το μεταβαλλόμενο ποσοστό κατά βάρος του εδαφικού μέρους στη φύση και του

αργιλικού κλάσματος στο εργαστηριακό προσομοίωμα ονομάζεται στη συνέχεια α%.

Με αναφορά τον μηχανισμό παραμόρφωσης του εδάφους και κριτήριο την σύσταση και την δομή του σύνθετου γεωυλικού , η



Σχήμα 3. Μικροσκοπική άποψη μίγματος αργίλου-άμμου σε χαλαρή κατάσταση.
Figure 3. Microscopic view of a clay-sand mixture in loose state.

οποία κατά ένα τρόπο εκφράζεται από τα κατά βάρος ποσοστά των δύο συστατικών (α % για το έδαφος στη φύση και την άργιλο στα πειράματα και 100% - α% για τα αδρανή τεμάχια στην φύση και την άμμο στα πειράματα) , προχωρήσαμε στην υπόθεση ότι ανάλογα με την σύσταση του σύνθετου γεωυλικού (δηλαδή απλοποιημένα την τιμή του α%) , διακρίνονται οι επόμενες 6 τυπικές καταστάσεις.

-1η κατάσταση : Κατά τη κατάσταση αυτή το σύνθετο γεωυλικό στη φυσική του θέση αποτελείται μόνο από έδαφος και κατ'αντιστοιχία το δοκίμιο στο εργαστήριο αποτελείται μόνο από άργιλο (α = 100%). Κατά συνέπεια στην κατάσταση αυτή η συμπεριστασία του σύνθετου γεωυλικού ταυτίζεται με τη συμπεριστασία του εδαφικού συστατικού , (στο εργαστήριο ταυτίζεται με την συμπεριστασία της αργίλου) οπότε $C_{\text{Μίγματος}} = C_{\text{Αργίλου}}$.

-2η κατάσταση : Όταν οι κόκκοι της άμμου στο εργαστήριο και τα τεμάχια στο φυσικό σύνθετο γεωυλικό είναι τόσο λίγα ώστε σχεδόν όλα να “κλυμπούν” στο εδαφικό συστατικό , δηλαδή να περιβάλλονται από έδαφος και να μην υπάρχουν ουσιαστικά σημεία επαφής μεταξύ τους , τότε η συμπεριστασία του σύνθετου μέσου θεωρείται ότι είναι ίση με τη συμπεριστασία του εδαφικού αργιλικού επί το αντίστοιχο ποσοστό α%. Η θεώρηση αυτή αντιστοιχεί στην υπόθεση ότι οι κόκκοι του

αδρανούς γεωυλικού δεν συμπιέζονται και δεν αλλάζει ο όγκος τους.

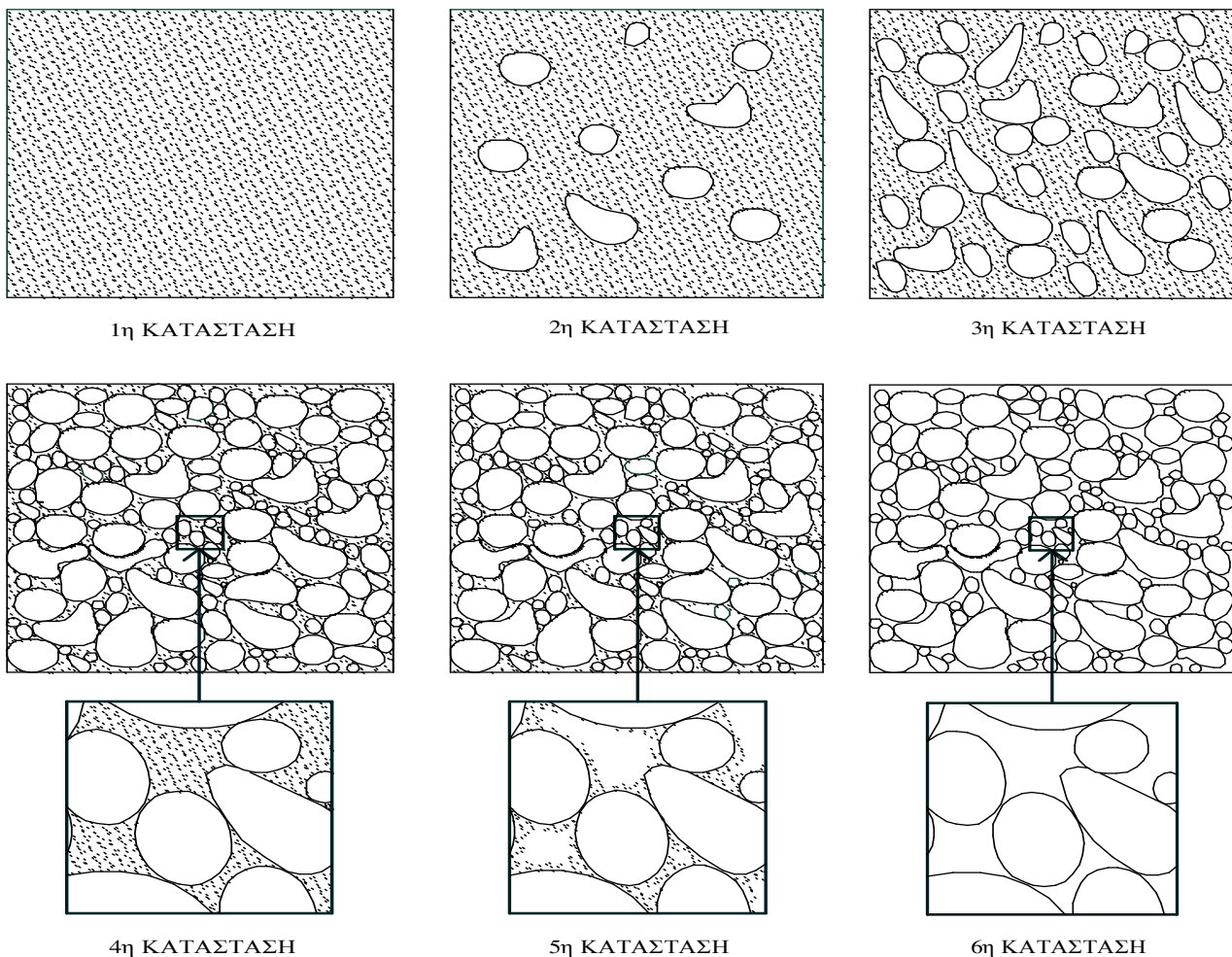
-3η κατάσταση : Οι κόκκοι της άμμου είναι σε μεγαλύτερο πλέον ποσοστό από ότι στη φάση δύο και κατά συνέπεια ορισμένοι εξ' αυτών εφάπτονται μεταξύ τους.

-4η κατάσταση : Στη κατάσταση αυτή , το ποσοστό της άμμου είναι μεγαλύτερο του ποσοστού της προηγούμενης τρίτης κατάστασης και οι κόκκοι έρχονται πλέον σε πλήρη επαφή μεταξύ τους σχηματίζοντας ένα σύνολο αλληλοστηριζόμενων σκληρών τεμαχών. Κάτω από την συνθήκη αυτή , όλα τα μεταξύ των τεμαχών κενά καταλαμβάνονται από το εδαφικό συστατικό οπότε τα κενά του σύνθετου γεωυλικού είναι τα ελάχιστα δυνατά , δηλαδή ο δείκτης πόρων έχει την ελάχιστη τιμή (βλέπε την κατάσταση 4 , στο σχήμα 4). Στην περίπτωση αυτή η συμπίεστικότητα του συνόλου , είναι εύλογο να ελέγχεται πλέον σε μεγάλο βαθμό από την συμπίεστικότητα του αναφερθέντος σκελετού των τεμαχών.

-5η κατάσταση : Όταν η περιεκτικότητα του εδαφικού μέρους σταδιακά μειώνεται σε σχέση με την 4η κατάσταση , τότε το έδαφος κατάλαμβάνει σταδιακά όλο και μικρότερο μέρος των κενών μεταξύ των τεμαχών (Η αντιστοιχία στο πείραμα είναι προφανής).

-6η κατάσταση : Κατά τη κατάσταση αυτή το σύνθετο γεωυλικό στη φυσική του θέση αποτελείται μόνο από βραχώδη τεμάχη και κατ' αντιστοιχία το δοκίμιο στο εργαστήριο αποτελείται μόνο από άμμο ($\alpha = 0\%$). Κατά συνέπεια στην κατάσταση αυτή η συμπίεστικότητα του σύνθετου γεωυλικού ταυτίζεται με τη συμπίεστικότητα των βραχώδων τεμαχών , (στο εργαστήριο ταυτίζεται με την συμπίεστικότητα της άμμου) οπότε $C_{\text{μικτματος}} = C_{\text{Cάμμου}}$.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι έξι παραπάνω φάσεις αποτελούν μια διαδοχική απεικόνιση της μηχανικής συμπεριφοράς , ως προς τη συμπίεστικότητα , μιγμάτων αργίλου – άμμου και οι οποίες γίνονται περισσότερο κατανοητές με το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4)



Σχήμα 4. Διαδοχική απεικόνιση των καταστάσεων αμμοαργιλικών μιγμάτων με αυξανόμενο το ποσοστό της άμμου.

Figure 4. Sequential representation of clay-sand mixtures with increasing sand content.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

3.1. Προετοιμασία και εκτέλεση των πειραμάτων

Στα πλαίσια της εργασίας, εκτελέσθηκαν στο εργαστήριο δύο σειρές πειραμάτων και σε κάθε σειρά χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά συστατικά εδάφη, (άργιλος και άμμος). Στον πίνακα 1 δίνονται τα ποσοστά ανάμιξης των εννέα μίγμάτων που παρασκευάσθηκαν σε κάθε σειρά. Στον πίνακα 2 δίνονται στις τρεις πρώτες στήλες τα χαρακτηριστικά πλαστικότητας των δύο αργιλικών εδαφών και στις επόμενες τρεις ο λόγος ομοιομορφίας και οι τιμές του μέγιστου και του ελάχιστου δείκτη πόρων, όπως αυτές μετρήθηκαν στο εργαστήριο με τις αντίστοιχες πρότυπες δοκιμές (Kolbuszewski, 1948). Επίσης στο σχήμα 5 δίνονται οι καμπύλες των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των δύο άμμων. Σε κάθε πείραμα η άμμος και η άργιλος αναμίχθηκαν στο εργαστήριο στα ποσοστά που προαναφέρθη-

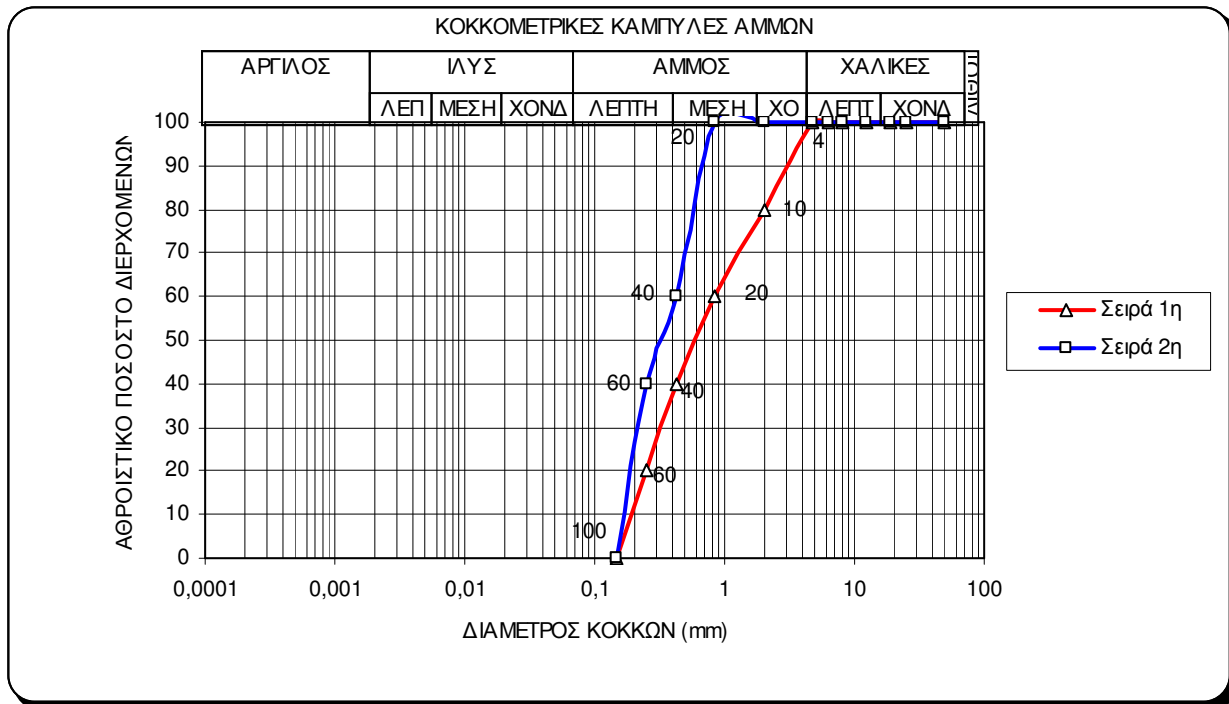
καν στον πίνακα 1 με την προσθήκη κατάλληλης ποσότητας νερού σύμφωνα με την επόμενη σχέση 1.

$$w_c = \alpha \cdot (w_p + 0,5 \cdot I_p) + (1 - \alpha) \times 10\% \quad (1)$$

όπου w_c η περιεκτικότητα σε νερό του μίγματος και w_p και I_p το όριο και ο δείκτης πλαστικότητας της αργίλου αντίστοιχα. Μετά την ανάμιξη τα δοκίμια μορφοποιήθηκαν με τη χρήση κατάλληλης μήτρας αντίστοιχης της κυψέλης του οιδημέτρου όπου αρχικά υποβλήθηκαν σε διαδικασία προφόρτισης με τάση 30 KPa για χρονικό διάστημα 24 h (Lade et al. 1997). Μετά το τέλος της προφόρτισης τα δοκίμια υποβλήθηκαν στη τυποποιημένη πρότυπη εργαστηριακή δοκιμή οιδημέτρου και μετρήθηκαν οι παράμετροι της συμπίεστικότητας των όπως και οι αντίστοιχες σε κάθε πείραμα τιμές του αρχικού δείκτη πόρων e .

Πίνακας 1. Μίγματα αργίλου – άμμου.
Table 1. Sand - clay mixtures.

Αριθμός Πειραμάτων	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Αργίλος %	100	87,5	75	62,5	50	37,5	25	12,5	0
Άμμος %	0	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100



Σχήμα 5. Κοκκομετρικές καμπύλες άμμου.
Figure 5. Particle size distribution curves of the used sand.

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά των εδαφών.
Table 2. Soil characteristics.

ΣΕΙΡΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	ΑΡΓΙΛΟΣ			ΑΜΜΟΣ		
	WL	WP	PI	U	e_{max}	e_{min}
ΣΕΙΡΑ 1η	30,69%	16,65%	14,04%	4,26	0,73	0,50
ΣΕΙΡΑ 2η	33,60%	18,21%	15,39%	2,43	0,70	0,52

3.2. Αποτελέσματα των πειραμάτων

Τα αποτελέσματα των δύο σειρών πειραμάτων παρουσιάζονται κατά συνοπτικό τρόπο στα διαγράμματα των δίδυμων σχημάτων 6α, 6β, 6γ και 6δ. Περισσότερο συγκεκριμένα στα σχήματα 6α και 6β παρουσιάζεται η εξάρτηση της μετρηθείσας τιμής του αρχικού δείκτη πόρων από την περιεκτικότητα σε άργιλο α% στις δύο σειρές πειραμάτων αντίστοιχα. Από την εξέταση των διαγραμμάτων προκύπτουν οι επόμενες ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.

1. Σε τιμές του α μεγαλύτερες του 60% - 65%, παρατηρείται σταδιακή, περίπου γραμμική μείωση της τιμής του δείκτη πόρων. Το στοιχείο αυτό υποδεικνύει ότι μέχρι τη συγκεκριμένη τιμή της περιεκτικότητας, η κατάσταση του σύνθετου μέσου φαίνεται να αντιστοιχεί στην πρότυπη κατάσταση 2.

2. Η περιοχή περί την ελάχιστη τιμή του δείκτη πόρων είναι εύλογο να θεωρηθεί ότι αντιστοιχεί στην κατάσταση 4, ενώ η μεταβατική περιοχή στην οποία η καμπύλη απομακρύνεται από την ευθεία ΒΓ και πορεύεται προς την ελάχιστη τιμή του δείκτη πόρων είναι εύλογο να θεωρηθεί ότι αντιστοιχεί στην κατάσταση 3.

3. Η πολύ συγκεκριμένη και περιορισμένη κατάσταση 6 (καθαρή άμμος), αντιστοιχεί στο δεξιό άκρο της καμπύλης ($\alpha = 0\%$), όπως άλλωστε η κατάσταση 1 στο αριστερό άκρο ($\alpha = 100\%$). Η τιμή του δείκτη πόρων στην κατάσταση 6 στο εργαστήριο βρίσκεται μεταξύ των τιμών του e_{max} και του e_{min} , το πιθανότερο κοντά στο e_{max} . Η τιμή αυτή στη φύση εξαρτάται από τη διαδικασία σχηματισμού του σύνθετου γεωυλικού, δηλαδή την γεωλογική – γεωτεχνική ιστορία του (Cubrinovski and Ishihara, 2002).

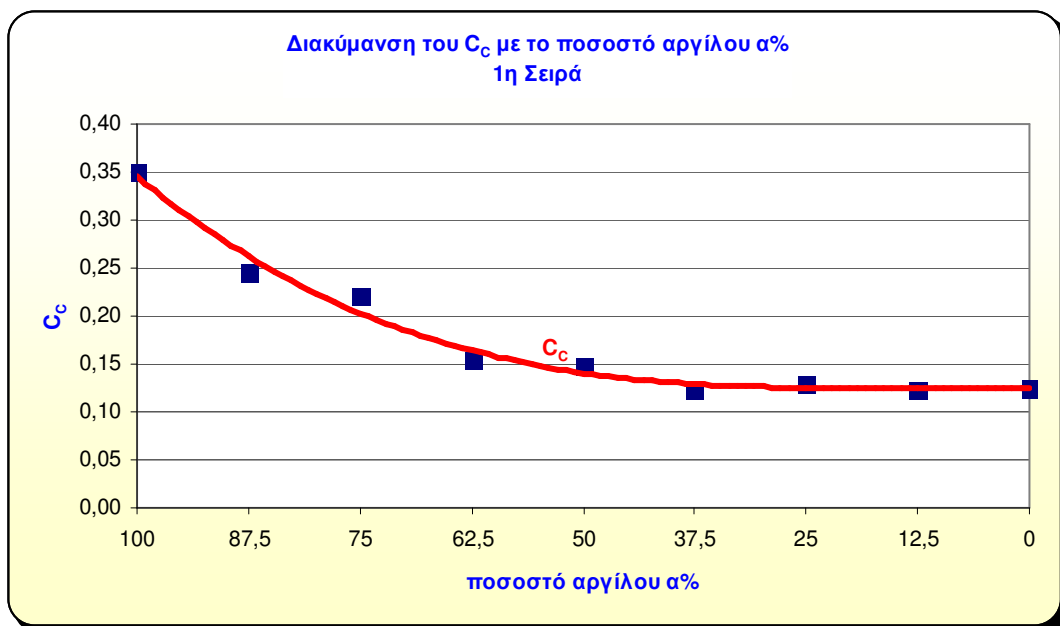
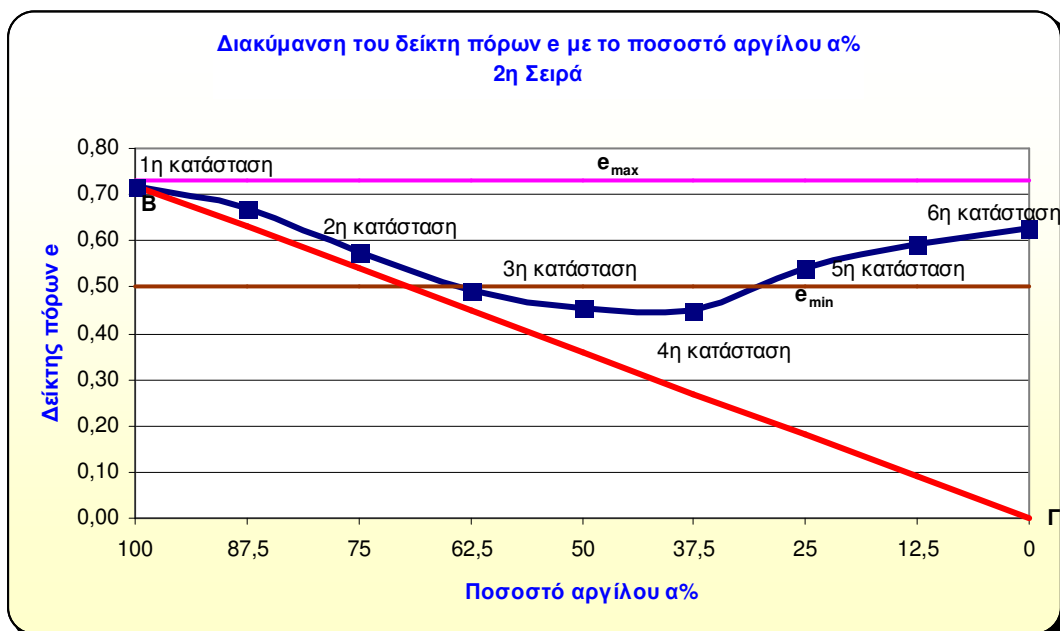
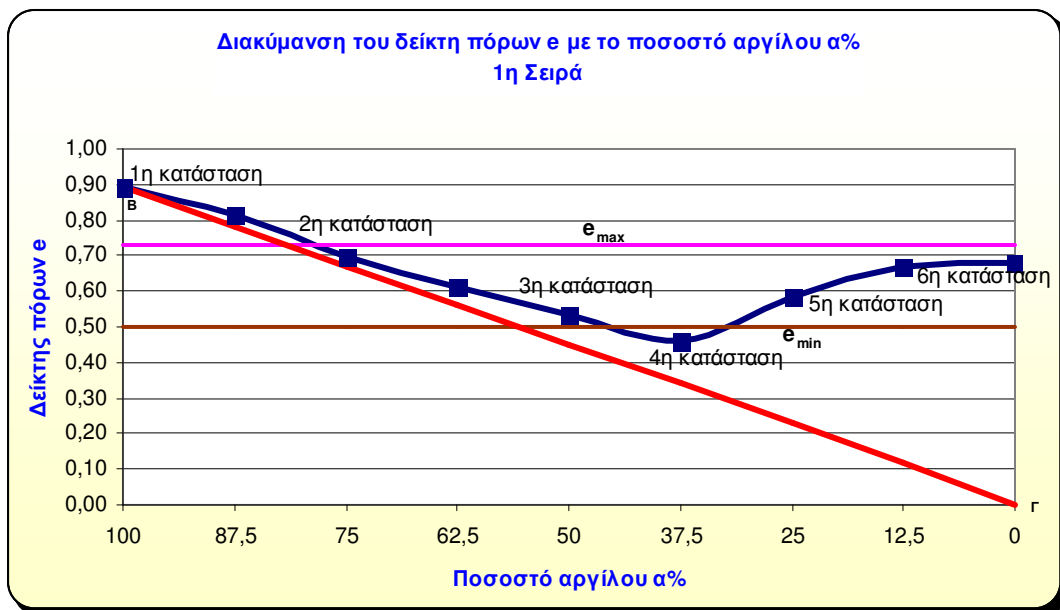
4. Η κατάσταση 5 οριοθετείται μεταξύ των περιοχών των καταστάσεων 4 και 6 και φαίνεται να αντιστοιχεί σε αρκετά μεγάλο εύρος των τιμών της περιεκτικότητας α.

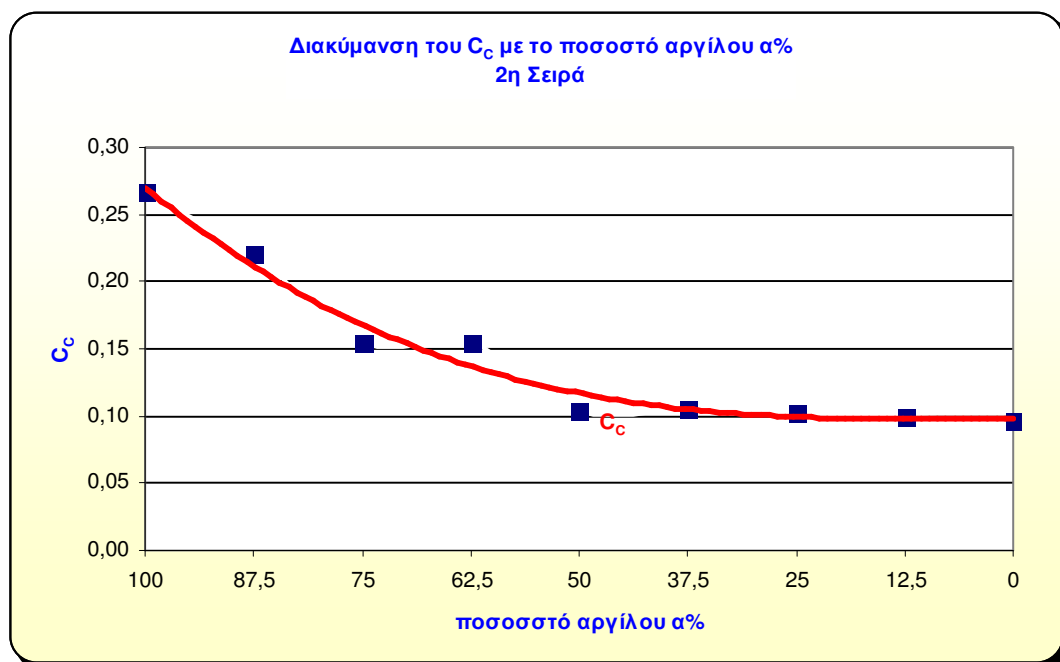
Στα σχήματα 6γ και 6δ παρουσιάζεται η εξάρτηση της συμπίεστότητας των γεωυλικών εκφραζόμενη με τις μετρηθείσες τιμές του δείκτη συμπίεστότητας C_c με την περιεκτικότητα α% και τις τιμές του δείκτη συμπίεστότητας των δύο συστατικών γεωυλικών, δηλαδή των τιμών των $C_{C\text{αργίλου}}$ και $C_{C\text{άμμου}}$. Από την εξέταση των διαγραμμάτων των σχημάτων 6γ και 6δ προκύπτουν οι επόμενες επίσης ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.

1. Οι τιμές του δείκτη συμπίεστότητας στις συγκεκριμένες και περιορισμένες καταστάσεις 1 και 6 είναι αντίστοιχα ίσες με τις τιμές των $C_{C\text{αργίλου}}$ και $C_{C\text{άμμου}}$.

2. Στην μακρά περιοχή της κατάστασης 5 και μέχρι την συγκεκριμένη αλλά με περιορισμένη ακρίβεια προσδιορίσιμη κατάσταση 4 (αντιστοιχεί στην μικρότερη τιμή του e στα σχήματα 6α και 6β), η τιμή του C_c φαίνεται να παρουσιάζει μια αργή και μικρή αύξηση. Με βάση τις συγκεκριμένες δύο σειρές πειραμάτων η τιμή του C_c στην κατάσταση 4 φαίνεται να είναι ίση με $(1,1 \sim 1,2) \times C_{C\text{άμμου}}$ περίπου.

3. Στις περιοχές που αντιστοιχούν στις καταστάσεις 2 και 3 όπως είναι εύλογο παρατηρείται μια σταδιακή μετάβαση της τιμής του δείκτη συμπίεστότητας από την τιμή $C_{C\text{αργίλου}}$ προς την αναφερθείσα στην προηγούμενη παρατήρηση τιμή για την κατάσταση 4. Η μετάβαση αυτή φαίνεται να είναι γραμμική στη περιοχή που αντιστοιχεί στην κατάσταση 2 και να χαρακτηρίζεται από μια προοδευτικά μεγαλύτερη καμπυλότητα με τα κοίλα στραμμένα προς τα πάνω στην περιοχή της κατάστασης 3.





Σχήμα 6 (α , β , γ , δ). Αποτελέσματα πειραμάτων.
Figure 6 (a , b , c , d). Testing results

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την μελέτη και την ερμηνεία των παραπάνω πειραματικών αποτελεσμάτων εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα πειράματα επαλήθευσαν κατά τρόπο ικανοποιητικό την προτεινόμενη ανάλυση της συμπίεστότητας των σύνθετων γεωυλικών και τη διάκριση έξι προτύπων καταστάσεων , όπως αυτές περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 2.2. Η σύνθεση και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων και οι παρατηρήσεις που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 3.2 , δίνουν , για

κάθε μια των καταστάσεων , μια ενδιαφέρουσα πρόταση εκτίμησης της συμπίεστότητας του σύνθετου διφασικού γεωυλικού.

Η κατάλληλη μεταφορά των παρατηρήσεων που εξήχθησαν από την εργαστηριακή έρευνα στα σύνθετα φυσικά γεωυλικά αποτελεί μια ενδιαφέρουσα πρόκληση με χρήσιμες πρακτικές προεκτάσεις και προς την κατεύθυνση αυτή εργάζεται ακριβώς η ερευνητική ομάδα των συγγραφέων του παρόντος άρθρου.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Barksdale R. D. and Blight, G. E. (1997) "Compressibility and settlement of residual soils", Mechanics of residual soils , (ed. Blight G. E.) , Balkema , Rotterdam , pp 95-152.
- Blight, G. E. (1997) "Compressibility and settlement of residual soils", Mechanics of residual soils , (ed. Blight G. E.) , Balkema , Rotterdam , pp 1-14.
- Cubrinovski, M. and Ishihara K. (2002) "Maximum and minimum void ratio characteristics of sands", Soils and Foundations , Vol. 42, No 6, pp 65-78.
- Lade, P. V., Ligio, C. D. and Yamamuro, J. A. (1997): "Effects of non-plastic fines on minimum and maximum void ratio of sand", Geotech. Testing J., GTJODJ, Vol.21 (4), pp. 336-347.
- Kolbuszewski J. J. (1948) ,"An experimental study of the maximum and the minimum porosities of sand", Proceedings of the Second International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering , Rotterdam , Vol. 1 , pp 158-165.
- Pitman, T.D., Robertson, P.K. and Sego D.C. (1994): "Influence of fines on the collapse of loose sands", Can. Geotech. J. ,31 pp. 728-739.