

Η Παραμένουσα Αντοχή Συνεκτικών Εδαφών

The Residual Strength Of Cohesive Soils

ΕΛΠΕΚΟΣ, Σ.Η.

ΤΙΚΑ, Θ.Μ.

ΚΟΥΜΕΝΤΑΚΟΣ, Σ.

Πολιτικός Μηχανικός, Υποψ. Διδάκτωρ, Νομ/κή Αυτοδ/ση Θεσσαλονίκης

Πολιτικός Μηχανικός, Αναπλ.. Καθηγήτρια, Α.Π.Θ.

Δρ. Μεταλλειολόγος Μηχανικός, Δ.Ε.Η./Δ.Α.Ο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Στην εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης δακτυλίου (τύπου Bromhead) για τον προσδιορισμό της παραμένουσας αντοχής δύο ομάδων φυσικών συνεκτικών εδαφών (μαργαϊκά και άλλα) από διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Τα αποτελέσματα των δοκιμών επιτρέπουν τη συσχέτιση της παραμένουσας αντοχής και των δύο ομάδων εδαφών με τα φυσικά χαρακτηριστικά τους (W_L , PI και CF , $\%<2\mu m$) καθώς και το δείκτη πόρων του στερεού σκελετού τους (e_g). Για τα μαργαϊκά εδάφη, παρουσιάζεται επίσης η συσχέτιση της γωνίας τριβής στην παραμένουσα κατάσταση με την αντίστοιχη στην κρίσιμη κατάσταση, όπως αυτή εκτιμήθηκε από τριαξονικές δοκιμές (CU και CD) και δοκιμές άμεσης διάτμησης.

ABSTRACT : The paper presents results from ring shear tests (Bromhead type) for the measurement of residual strength of two groups of natural cohesive soils (marly and others) from various sites in Greece. The results of the tests allow the correlation of residual strength of both groups of soils with their index properties (W_L , PI and $\%<2\mu m$) and their granular void ratio, e_g . For the group of marly soils, the correlation of residual with critical friction angle, as determined from triaxial (CU and CD) tests and shear box tests, is also presented.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παραμένουσα αντοχή του εδάφους σε συνθήκες πλήρους αποστράγγισης αποτελεί παράμετρο καθοριστικής σημασίας στη μελέτη της ευστάθειας εδαφικών μαζών κατά μήκος προϋπαρχουσών ζωνών διάτμησης, όπως είναι η περίπτωση των επαναδραστηριοποιηθεισών κατολισθήσεων, καθώς και στο σχεδιασμό των μέτρων σταθεροποίησης πρανών.

Η πτώση της αντοχής με την μετατόπιση από τη μέγιστη στην παραμένουσα τιμή της στις υπερστερεοποιημένες αργίλους (OC) λαμβάνει χώρα σε δύο στάδια (Skempton, 1985). Κατά το πρώτο στάδιο, η πτώση της αντοχής οφείλεται στη διασταλτικότητα του εδάφους (αύξηση της υγρασίας) κατά τη διάτμηση και στο δεύτερο στάδιο οφείλεται στην αναδιάταξη και προσανατολισμό των αργιλικών πλακοειδών σωματιδίων παράλληλα προς τη διεύθυνση διάτμησης, Σχήμα 1. Στο

τέλος του πρώτου σταδίου, όταν έχει ολοκληρωθεί η διαστολή, ενεργοποιείται η αντοχή υπό πλήρη χαλάρωση (fully softened) γνωστή και ως κρίσιμη αντοχή (critical state), ενώ στο τέλος του δεύτερου σταδίου, όταν έχει ολοκληρωθεί η αναδιάταξη και προσανατολισμός των αργιλικών πλακοειδών σωματιδίων σε μεγάλες μετατοπίσεις, ενεργοποιείται η παραμένουσα αντοχή.

Σε εδάφη με μικρό ποσοστό αργιλικών πλακοειδών σωματιδίων ($\%<2\mu m < 25\%$), το δεύτερο στάδιο σπάνια παρατηρείται και η γωνία τριβής στην παραμένουσα κατάσταση συνήθως είναι μεγαλύτερη από 20° . Αντιθέτως, σε εδάφη με μεγάλο ποσοστό αργιλικών πλακοειδών σωματιδίων ($\%<2\mu m > 50\%$), η παραμένουσα αντοχή εξαρτάται σχεδόν εξ ολοκλήρου από την τριβή ολίσθησης των παραπάνω σωματιδίων. Για ποσοστά αργιλικών πλακοειδών σωματιδίων μεταξύ 25% και 50% , η παραμένουσα αντοχή εξαρτάται τόσο από το ποσοστό, όσο και από

τη φύση των αργιλικών πλακοειδών σωματιδίων. Η πτώση της αντοχής με την μετατόπιση που παρατηρείται στις κανονικά στερεοποιημένες αργίλους (NC), οι οποίες υφίστανται συμπίεση (μείωση της υγρασίας) κατά τη διάτμηση, οφείλεται αποκλειστικά στην αναδιάταξη και προσανατολισμό των αργιλικών πλακοειδών σωματιδίων παράλληλα προς τη διεύθυνση διάτμησης, Σχήμα 1. Στα παραπάνω εδάφη η κρίσιμη αντοχή συμπίπτει με τη μέγιστη (Skempton, 1970).

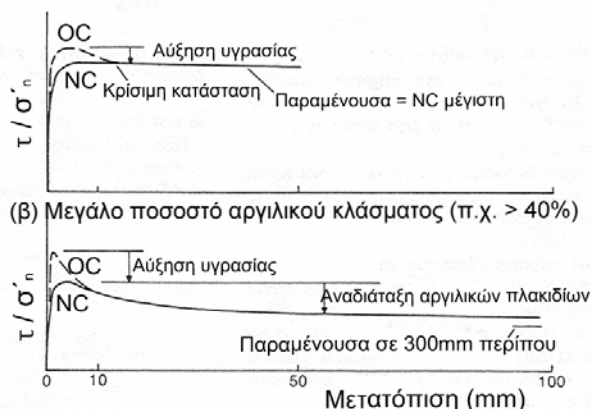
Οι μετατοπίσεις που απαιτούνται για την απομείωση της αντοχής στην παραμένουσα τιμή της υπερβαίνουν συνήθως κατά πολύ τις αντίστοιχες για την ενεργοποίηση της μέγιστης και κρίσιμης αντοχής, Πίνακας 1. Σύμφωνα με τον Skempton (1977), η αντοχή που ενεργοποιείται σε νέες ολισθήσεις εδαφών, τα οποία δεν έχουν υποστεί καμία διατμητική παραμόρφωση προηγουμένως, είναι ίση με την κρίσιμη αντοχή τους.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η μελέτη της παραμένουσας αντοχής φυσικών συνεκτικών εδαφών από διάφορες περιοχές της Ελλάδας καθώς και των παραμέτρων που την επηρεάζουν.

2. ΜΕΛΕΤΗΘΕΝΤΑ ΕΔΑΦΗ

Οι δοκιμές εκτελέσθηκαν σε δείγματα εδαφών τα οποία ανήκουν σε δύο ομάδες. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν μαργαϊκά εδάφη από την περιοχή του λιγνιτικού κοιτάσματος της λεκάνης Πτολεμαΐδας – Κοζάνης. Τα νεογενή ιζήματα της λεκάνης αυτής είναι σχεδόν αποκλειστικά λιμναϊάς προέλευσης μάργες, άργιλοι, άμμοι κ.α. που περικλείουν τους λιγνίτες και συνοδεύονται από ποταμοχειμάρρεις ή χερσαίες αποθέσεις. Συγκεκριμένα τα εδάφη αυτά προέρχονται από την Καρδία (Κ), τον Κομανό (ΚΟ) και την Μαυροπηγή (Μ) και χαρακτηρίζονται από ποσοστό ασβεστίτη κυμαινόμενο από 25% έως και 100%. Στη δεύτερη ομάδα ανήκουν μη-μαργαϊκά εδάφη από το λιγνιτικό κοίτασμα της Δράμας (ΔΡ). Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης που έγινε σε δείγματα εδαφών της περιοχής Δράμας, έδειξαν ότι οι ιλεις υψηλής έως πάρα πολύ υψηλής πλαστικότητας (ΜΗ, ΜV, ΜΕ), χαρακτηρίζονται από υψηλό ποσοστό οργανικών (40-50%), ιλλίτη (18-25%) και χαλαζίτη (10-14%). Σε δείγματα ιλύος πολύ έως πάρα πολύ υψηλής πλαστικότητας, παρατηρήθηκε και γύψος (14-22%). Στις αργίλους μέσης και υψηλής πλαστικότητας

(α) Μικρό ποσοστό αργιλικού κλάσματος (π.χ. < 20%)



Σχήμα 1. Διαγράμματα καμπύλων τάσης-μετατόπισης υπό σταθερή ορθή τάση, σ'_n (Skempton, 1985)

Figure 1. Diagrammatic stress-displacement curves at constant σ'_n

Πίνακας 1. Τυπικές μετατοπίσεις σε διάφορα στάδια της διάτμησης σε αργίλους με ποσοστό αργιλικού κλάσματος ($\%<2\mu\text{m}>30\%$) (Skempton, 1985)

Table 1. Typical displacements at various stages of shear in clays having $\%<2\mu\text{m}>30\%$

Στάδιο	Μετατόπιση (mm)	
	OC	NC
Μέγιστη	0.5 – 3	3-6
Κρίσιμη	4-10	
Φ'_r+1°	30-200	
Παραμένουσα Φ'_r	100-500	

Αδιατάρακτοι άργιλοι, με $\sigma' < 600$ kPa

από την ίδια περιοχή, παρατηρήθηκε χαλαζίας (26-45%), ιλλίτης (21-30%), άστριοι (19-24%) και μικρή ποσότητα ασβεστίτη (4-12%). Οι Πίνακες 2 και 3 παρουσιάζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά των μελετηθέντων εδαφών.

3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Για τον προσδιορισμό της παραμένουσας αντοχής πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στη συσκευή διάτμησης δακτυλίου εδάφους (Bromhead, 1979). Το δείγμα του διαταραγμένου εδάφους τοποθετείται στο χώρο που δημιουργείται ανάμεσα σ'ένα ζεύγος ομόκεντρων δακτυλίων και έχει αρχικό ύψος 5mm και εσωτερική και εξωτερική διάμετρο 70 και 100 mm αντίστοιχα.

Πίνακας 2. Φυσικά χαρακτηριστικά μαργαϊκών εδαφών

Table 2. Natural properties of marly soils

Αρ. Δοκιμίου	WL (%)	PI (%)	% < 2μm	PI CF (%)	Ταξιν. κατά USCS
1M	84.0	52.0	48.0	108	CI
2P	77.0	48.0	53.0	90	MI
3P	72.6	45.7	53.0	86	CH
4P	66.7	40.8	51.5	79	CI
5M	45.7	25.7	39.5	65	CV
6M	49.8	22.8	38.0	60	CV
7M	45.9	22.6	35.8	63	CI
8M	48.0	22.0	24.0	92	MI
9M	48.6	21.0	21.0	100	MI
10P	39.3	20.7	23.0	90	MI
11M	41.0	20.1	21.0	96	CI
12KO	42.7	19.2	31.0	62	MH
13KO	50.5	18.1	30.0	60	MI
14KO	45.4	17.7	23.0	77	MI
15M	41.0	16.9	19.0	89	MI
16KO	43.9	16.8	27.0	62	CI
17P	36.0	16.1	20.5	79	CV
18M	43.4	15.6	23.0	68	CI
19M	42.6	15.5	19.5	80	MI
20KO	41.0	15.5	18.0	86	MI
21KO	40.9	15.3	25.0	61	CI
22M	39.0	14.9	16.0	93	CI
23KO	48.3	14.9	23.0	65	MI
24KO	41.1	13.3	21.0	63	CI
25KO	42.2	12.3	19.0	65	CI
26M	41.2	12.2	18.5	66	MI
27P	49.0	10.7	14.0	76	CI
28KO	44.2	8.4	12.5	67	CI

Το δοκίμιο φορτίζεται κάθετα μεταξύ δύο πορωδών πλακών φόρτισης σχήματος δακτυλίου με τη βοήθεια μοχλού (10:1) και με μεγίστη επιτρεπόμενη φόρτιση που αντιστοιχεί σε ορθή τάση $\sigma_n=1000$ kPa. Οι επιφάνειες της άνω και της κάτω πλάκας φόρτισης, οι οποίες έρχονται σε επαφή με το δοκίμιο, έχουν εκτραχυνθεί, έτσι ώστε να αποφεύγεται η ολίσθηση στην διεπιφάνεια πλάκας – δοκιμίου. Η κάτω πλάκα είναι προσαρμοσμένη σε βάση που περιστρέφεται σε διάφορες ταχύτητες με τη βοήθεια ενός κινητήρα. Η κίνηση αυτή προκαλεί διάτμηση του δοκιμίου κοντά στην άνω πλάκα φόρτισης. Η καθίζηση της άνω πλάκας φόρτισης κατά τη διάρκεια της δοκιμής μετράται με τη βοήθεια ενός ψηφιακού μηκυσιόμετρου. Η ροπή που εφαρμόζεται στο δοκίμιο κατά την περιστροφή μετράται με δύο ευαίσθητους αντιδιαμετρικούς δακτυλίους μέτρησης δύναμης, οι οποίοι έχουν προσαρμοσθεί σε ένα εγκάρσιο βραχίονα και φέρουν ψηφιακά μηκυσιόμετρα. Η

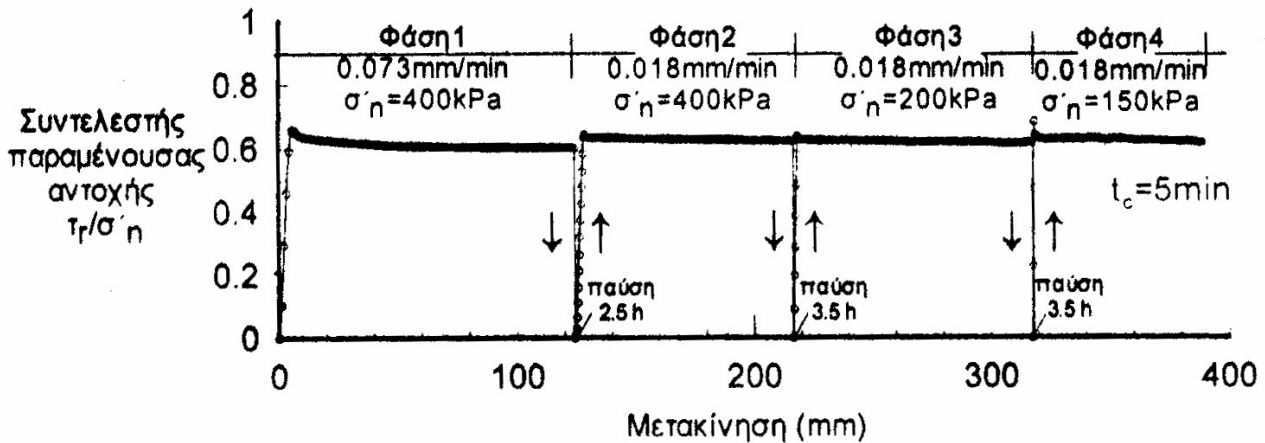
Πίνακας 3. Φυσικά χαρακτηριστικά λοιπών εδαφών

Table 3. Natural properties of other soils

Αρ. Δοκιμίου	WL (%)	PI (%)	% < 2μm	PI CF (%)	Ταξιν. κατά USCS
1DR	103	49.0	57.0	86	CH
2DR	71.3	42.0	77.5	54	CH
3DR	65.6	38.6	77.5	50	CHO
4DR	60.2	33.8	72.0	47	CHO
5DR	54.5	32.3	76.0	43	MIO
6DR	57.6	31.0	66.6	47	CH
7DR	53.8	29.7	43.0	68	CH
8DR	52.1	28.0	45.0	62	CH
9DR	54.6	27.6	60.0	46	CV
10DR	51.0	24.2	35.3	68	CIO
11DR	49.2	22.6	21.0	107	MI
12DR	48.0	21.2	31.8	67	MI
13DR	47.5	19.2	29.0	66	CH
14DR	47.7	16.3	25.7	63	CI
15DR	41.9	14.9	26.0	57	MEO

περιστροφή μετράται με κλίμακα βερνιέρου (σε μοίρες) που είναι τοποθετημένη στην περιστρεφόμενη βάση. Οι μετρήσεις των μηκυσιόμετρων λαμβάνονται με καταγραφικό όργανο που συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου γίνεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Από την ορθή δύναμη που ενεργεί στο δοκίμιο υπολογίζεται η ορθή τάση, σ_n . Από τις δυνάμεις που ενεργούν στους αντιδιαμετρικούς δακτυλίους και την μεταξύ τους απόσταση υπολογίζεται η διατμητική τάση, τ , που ενεργεί στην επιφάνεια διάτμησης.

Σ' όλες τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν δείγματα εδάφους διερχόμενα από το κόσκινο Νο 40 (425 μm), τα οποία τοποθετήθηκαν στη συσκευή με αρχική υγρασία κοντά στα όρια πλαστικότητας. Μετά την τοποθέτηση των δειγμάτων στην συσκευή, ακολουθεί η στερεοποίηση των δοκιμίων στο επίπεδο της επιθυμητής ορθής τάσης (συνήθως 400 kPa). Στη συνέχεια, ακολουθεί η διάτμηση του δοκιμίου σε διάφορες φάσεις. Κατά τη διάρκεια κάθε φάσης η ταχύτητα διάτμησης και η ορθή τάση παραμένουν σταθερές. Στην πρώτη φάση, η διάτμηση εκτελείται με ορθή τάση 400 kPa και ταχύτητα 0,073 mm/min, με σκοπό τη δημιουργία της επιφάνειας διάτμησης σε σύντομο χρονικό διάστημα. Μετά το τέλος της πρώτης φάσης, ακολουθεί η δεύτερη φάση για μετατόπιση τόση, όση απαιτείται για την ενεργοποίηση της παραμένουσας αντοχής, τ_r ,



Σχήμα 2. Μεταβολή του συντελεστή παραμένουσας τριβής, τ_r/σ'_n , με τη μετατόπιση κατά τις τέσσερις φάσεις της δοκιμής για το έδαφος 4-KO
 Figure 2. Variation of the coefficient of residual friction, τ_r/σ'_n , with displacement during the four stages of the test on soil 4-KO

σε συνθήκες πλήρους αποστράγγισης, με ταχύτητα 0.018 mm/min. Η ταχύτητα αυτή επιλέχθηκε, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης εκτόνωση της πίεσης του ύδατος των πόρων των δοκιμίων σε μετατόπιση μικρότερη από 1 mm (ο χρόνος της κύριας στερεοποίησης των δοκιμίων κυμαινόταν από 5 έως 30 min). Ακολουθεί η τρίτη φάση, μετά από αποφόρτιση στην τάση των 200 kPa με ταχύτητα διάτμησης 0.018 mm/min. Η δοκιμή τελειώνει με την εκτέλεση της τέταρτης φάσης, όπου η επιβαλλόμενη τάση είναι 100 έως 150 kPa και η ταχύτητα 0.018 mm/min. Κατά τη μετάβαση από τη μια φάση στην άλλη, είναι αναγκαία η παύση της δοκιμής για χρόνο μεγαλύτερο από το χρόνο στερεοποίησης του δοκιμίου, έτσι ώστε να επιτευχθεί η πλήρης αποστράγγισή του με την εκτόνωση της πίεσης του ύδατος των πόρων και την αποκατάσταση νέων συνθηκών ισορροπίας. Το Σχήμα 2 παρουσιάζει τη μεταβολή του συντελεστή παραμένουσας τριβής, τ_r/σ'_n , με τη μετατόπιση, κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής στο έδαφος 4-KO.

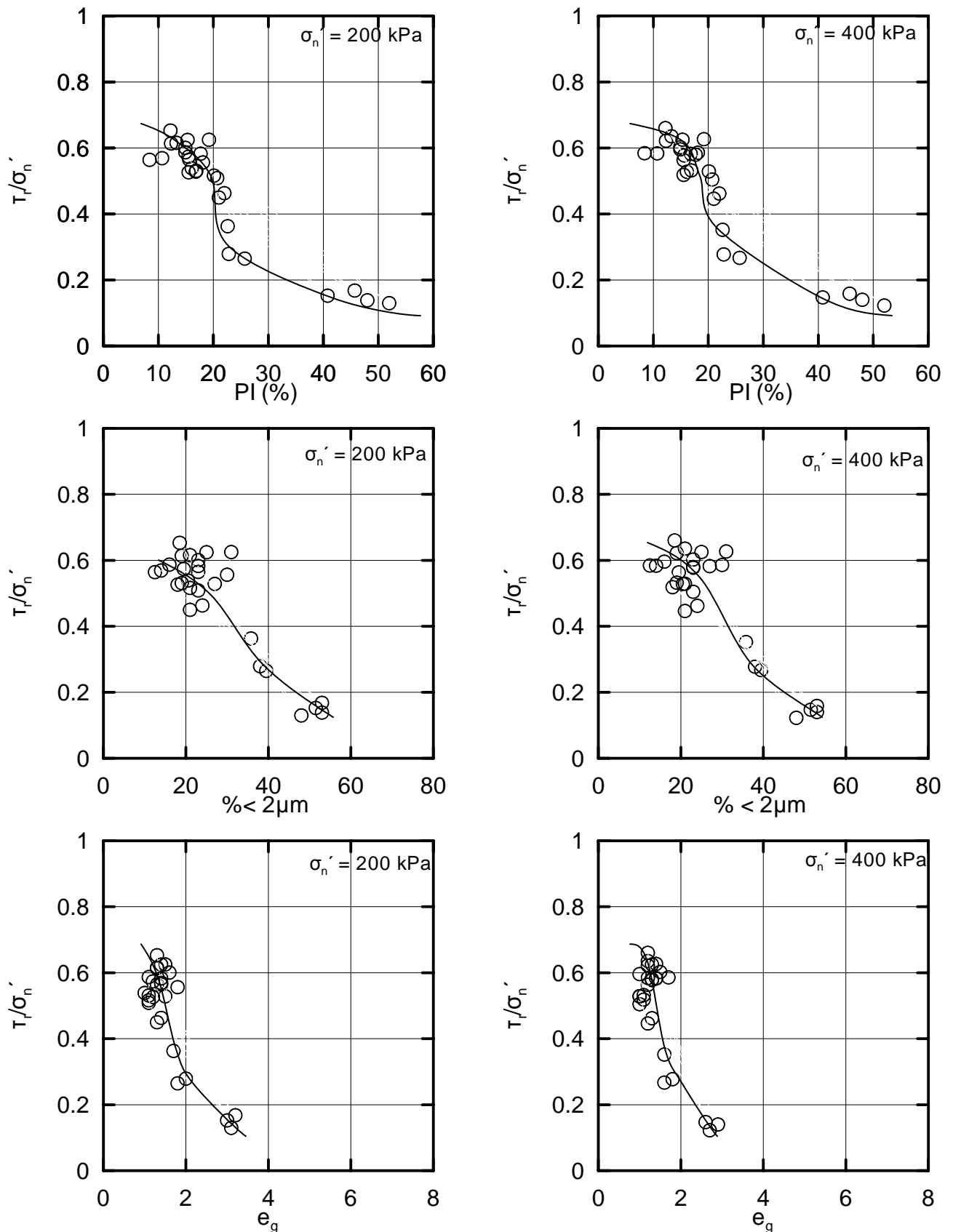
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι κυριώτερες παράμετροι που επηρεάζουν την παραμένουσα αντοχή σε συνθήκες πλήρους αποστράγγισης είναι η ενεργή ορθή τάση, σ'_n , η χημική σύσταση του ύδατος των πόρων, η ορυκτολογική σύσταση καθώς και το σχήμα και η κοκκομετρία των κόκκων.

Διάφοροι ερευνητές (Lupini et al., 1981, Mesri & Cepeda-Diaz (1986), Colotta et al. (1989), Stark et al., 1994 και Wesley, 2003) έχουν συσχετίσει την παραμένουσα αντοχή συνεκτικών εδαφών με τα φυσικά χαρακτηριστικά τους (WL, PI και $\%<2\mu\text{m}$). Οι συσχετίσεις αυτές όμως γενικά παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά και τούτο οφείλεται στο γεγονός ότι οι ιδιότητες των συνεκτικών εδαφών δεν μπορούν να συσχετισθούν ανεξάρτητα με τις φυσικές ιδιότητές τους, π.χ. είτε με το WL, είτε με το PI. Παρόλα αυτά η συσχέτιση της παραμένουσας αντοχής των εδαφών με τις φυσικές ιδιότητές τους σε μια περιοχή, όπου η ορυκτολογική σύσταση των εδαφών και η χημική σύσταση του ύδατος των πόρων είναι σταθερές και μόνο η κοκκομετρική διαβάθμιση αλλάζει, παρουσιάζει μεγάλο πρακτικό ενδιαφέρον.

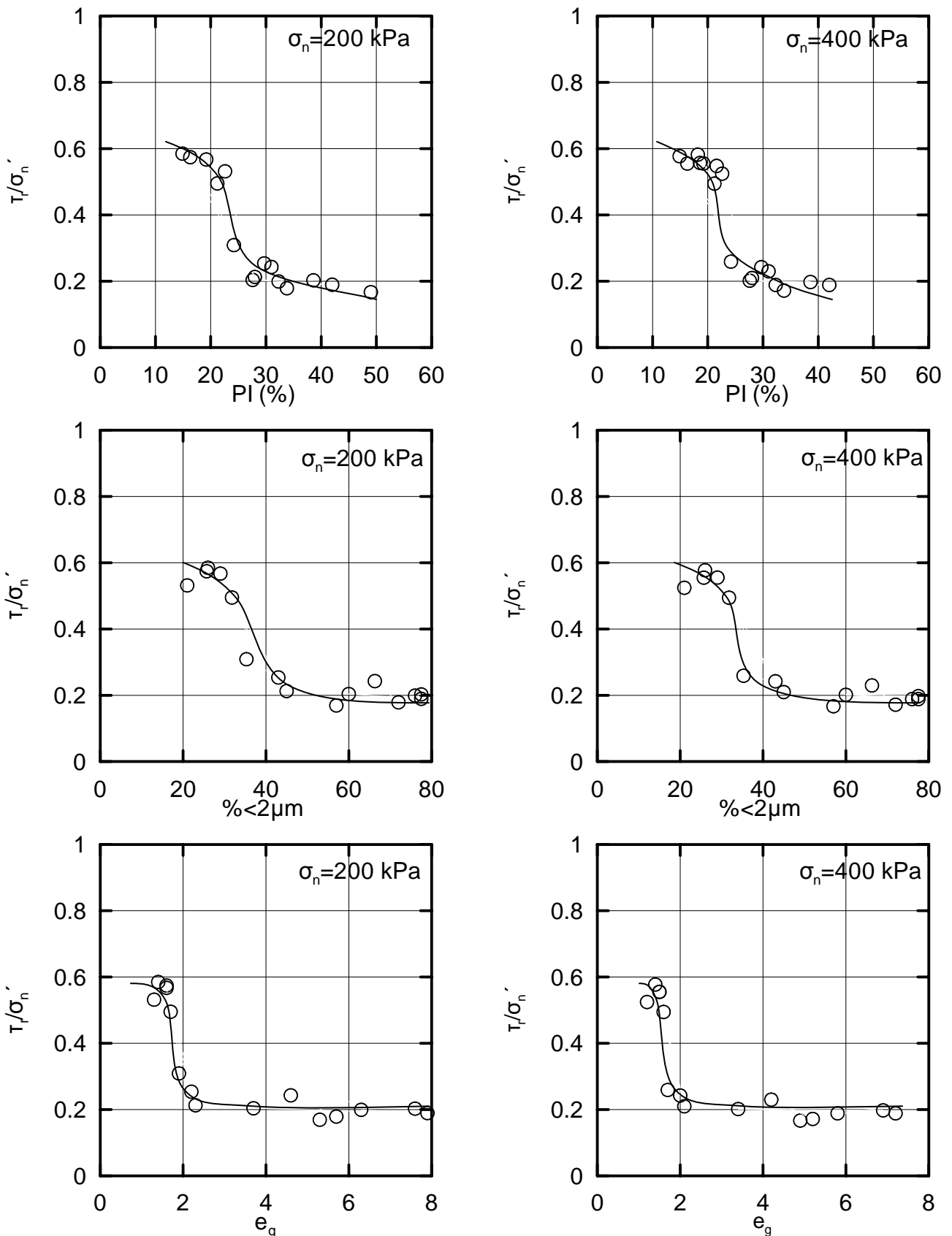
Σύμφωνα με τους Lupini et al. (1981), η παραμένουσα αντοχή συσχετίζεται με το δείκτη πόρων του στερεού σκελετού, e_g , που ορίζεται ως ο λόγος του όγκου του νερού, V_w , και των αργιλικών πλακοειδών σωματιδίων σχήματος πλακιδίου, V_c , ως προς τον όγκο που καταλαμβάνεται από τους στρογγυλόμορφους κόκκους μεγέθους ιλύος και άμμου, V_g , και εκφράζεται ως ακολούθως:

$$e_g = \frac{V_w + V_c}{V_g} = \frac{CF + w \cdot \frac{G_{sc}}{G_{sg}}}{(1 - CF) \cdot \frac{G_{sc}}{G_{sg}}} \quad (1)$$



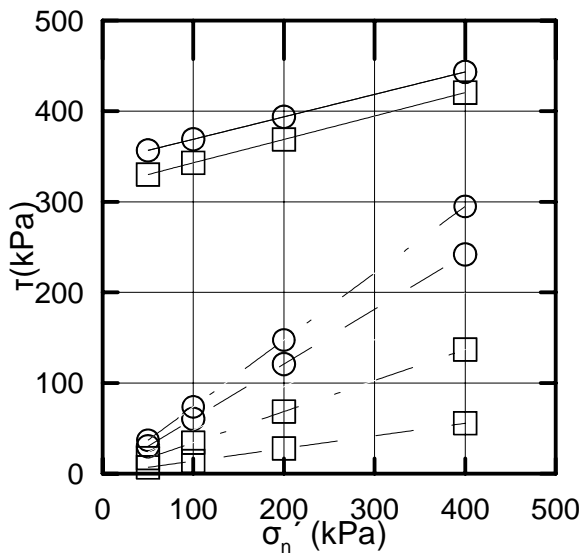
Σχήμα 3. Μεταβολή του συντελεστή παραμένουσας τριβής, τ_r/σ_n' , με το δείκτη πλαστικότητα, PI, το αργιλικό κλάσμα (% <2 μ m) και το δείκτη πόρων του στερεού σκελετού, e_g , για μαργακιά εδάφη από τις περιοχές Καρδίας, Κομανού και Μαυροπηγής

Figure 3. Variation of coefficient of residual friction, τ_r/σ_n' , with plasticity index, PI, clay fraction (% <2 μ m) and granular void ratio, e_g , for marly soils from Kardias, Komanos and Mavropigi



Σχήμα 4. Μεταβολή του συντελεστή παραμένουσας τριβής, τ_r/σ_n' , με το δείκτη πλαστικότητας, PI, το αργιλικό κλάσμα ($\%<2\mu\text{m}$) και το δείκτη πόρων του στερεού σκελετού, e_g , για εδάφη από την περιοχή Δράμας

Figure 4. Variation of coefficient of residual friction, τ_r/σ_n' , with plasticity index, PI, clay fraction ($\%<2\mu\text{m}$) and granular void ratio, e_g , for soils from Drama



————— Μείγστη αντοχή
 - - - - - Κρίσιμη αντοχή
 - · - · - Παραμένουσα αντοχή

Συμβολισμός	Έδαφος	WL (%)	PI (%)	A=PI/CF
○	7-M	39.0	14.9	0.93
□	27-K	77.0	48.0	0.90

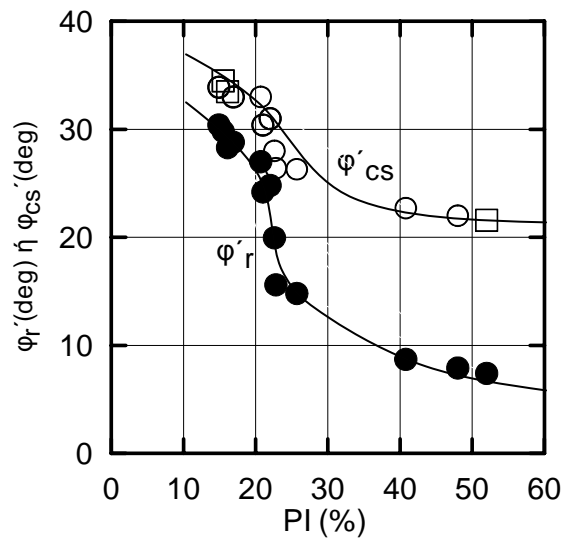
Σχήμα 5 Περιβάλλουσες μέγιστης, κρίσιμης και παραμένουσας αντοχής μαργαϊκών εδαφών 7-M και 27-K

Figure 5 Envelopes for peak, critical and residual strengths for marly soils 7-M and 27-K

όπου w είναι η υγρασία και G_{sc} και G_{sg} είναι οι ειδικές βαρύτητες των αργιλικών πλακοειδών σωματιδίων και των στρογγυλόμορφων κόκκων μεγέθους άμμου και ιλύος αντίστοιχα. Τα Σχήματα 3 και 4 παρουσιάζουν τη μεταβολή του συντελεστή παραμένουσας τριβής των δύο ομάδων εδαφών με το PI , $\% < 2\mu m$ και το e_g . Για τον υπολογισμό του e_g , εθεωρήθη ότι $G_{sc} = 2.75$ και $G_{sg} = 2.65$. Η υγρασία κατά τη διάτμηση στην παραμένουσα κατάσταση εκτιμήθηκε από την παρακάτω σχέση:

$$w = WL - PI \cdot \frac{\log(\sigma'_n / p'_{WL})}{\log(p'_{PL} / p'_{WL})} \quad (2)$$

όπου $p'_{WL} = 5.5 \text{ kN/m}^2$ και $p'_{PL} = 550 \text{ kN/m}^2$ είναι η μέση ενεργή τάση στο όριο υδαρότητας και όριο πλαστικότητας αντίστοιχα και σ'_n είναι η ενεργή ορθή τάση στη δοκιμή. Όπως φαίνεται στα παραπάνω Σχήματα υπάρχει καλή συσχέτιση του συντελεστή



● Δοκιμή περιστροφικής διάτμησης (ϕ'_r)
 ○ Τριαξονική δοκιμή (CU και CD) (ϕ'_{cs})
 □ Δοκιμή άμεσης διάτμησης (ϕ'_{cs})

Σχήμα 6 Μεταβολή της κρίσιμης, ϕ'_{cs} , και παραμένουσας, ϕ'_r , γωνίας τριβής με το δείκτη πλαστικότητας, PI , για μαργαϊκά εδάφη και $\sigma'_n = 200 \text{ kPa}$

Figure 6 Variation of critical, ϕ'_{cs} , and residual, ϕ'_r , friction angles with plasticity index, PI , for marly soils at $\sigma'_n = 200 \text{ kPa}$

παραμένουσας τριβής και των δύο ομάδων εδαφών με το PI , $\% < 2\mu m$ και το e_g .

Ανάστροφες αναλύσεις αστοχιών πρανών σε σιφρά εδάφη έχουν δείξει ότι η ενεργοποιούμενη αντοχή είναι μεταξύ της κρίσιμης και της παραμένουσας αντοχής (Sotiropoulos & Cavounidis, 1980, Skempton & Vaughan, 1995 και Stark & Eid, 1997). Το Σχήμα 5 παρουσιάζει τις περιβάλλουσες μέγιστης, κρίσιμης και παραμένουσας αντοχής για δύο μαργαϊκά εδάφη (7-M και 27-K). Η μέγιστη και κρίσιμη αντοχή προσδιορίστηκαν από τριαξονικές δοκιμές (CU) σε αδιατάρακτα δείγματα των εδαφών. Η μεταβολή της κρίσιμης, ϕ'_{cs} , και της παραμένουσας, ϕ'_r , γωνίας τριβής με το PI για μαργαϊκά εδάφη στην ορθή τάση $\sigma'_n = 200 \text{ kPa}$ παρουσιάζεται στο Σχήμα 6. Η ϕ'_{cs} προσδιορίστηκε από τριαξονικές δοκιμές (CU & CD) και δοκιμές άμεσης διάτμησης σε αδιατάρακτα δείγματα των εδαφών. Για την παραπάνω σ'_n , η διαφορά μεταξύ των δύο γωνιών αυξάνει σημαντικά για εδάφη με $PI \geq 20\%$. Συνεπώς κατά τη μελέτη ευσταθείας σε τέτοια εδάφη θα πρέπει να διερευνάται η πιθανότητα ύπαρξης

προηγθεισών μετακινήσεων, ενδεικτικών προϋπαρχουσών ζωνών διάτμησης

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κυριώτερα συμπεράσματα της εργασίας συνοψίζονται ως ακολούθως:

α). Και για τις δύο ομάδες των μελετηθέντων εδαφών (μαργαϊκά και άλλα) παρατηρείται καλή συσχέτιση του συντελεστή παραμένουσας τριβής με τις φυσικές ιδιότητες (PI, %<2μm) και το e_g τους. Επιβεβαιώνεται έτσι η σημαντική επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης των εδαφών στην παραμένουσα αντοχή τους.

β). Για τα μαργαϊκά εδάφη, η διαφορά μεταξύ της της κρίσιμης, ϕ'_{cs} , και παραμένουσα, ϕ'_r , γωνίας τριβής αυξάνει σημαντικά για $PI \geq 20\%$. Συνεπώς κατά τη μελέτη της ευστάθειας πρηνών σε τέτοια εδάφη αυτά θα πρέπει να διερευνάται η ύπαρξη προϋπαρχουσών ζωνών διάτμησης κατά το στάδιο της έρευνας πεδίου.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bromhead, E.N. (1979), "A simple ring shear apparatus", *Ground Engng.*, 12, No. 5, pp. 40-44.

Colotta, T., Cantoni, R., Pavesi, U., Roberi, E. & Moretti, P.C. (1989), "A correlation between residual friction angle, gradation and the index properties of cohesive soils", *Geotechnique*, 39, No. 2, pp. 343-346.

Lupini, J.F., Skinner, A. E. & Vaughan, P.R. (1981), "The drained residual strength of cohesive soils", *Geotechnique*, 31, No. 2, pp. 181-183.

Mesri, G. & Cepeda-Diaz, A.F. (1986), "Residual shear strength of clays and shales", *Geotechnique*, 36, No. 2., pp. 269-274.

Skempton, A. W. (1970), "Slope stability of cuttings in brown London clay", *Geotechnique*, 20, No. 3, pp. 320-342.

Skempton, A. W. (1977), "First-time slides in over-consolidated clays", *Proc., 9th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Engng.*, Tokyo, Vol. 3, pp. 261-270.

Skempton, A. W. (1985), "Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory", *Geotechnique*, 35, No. 1, pp. 3-18.

Skempton, A. W. & Vaughan, P.R. (1995), "The failure of Carsington Dam", *Geotechnique*, 45, No. 4, pp. 719-739.

Sotiropoulos, E. & Cavounidis, S. (1980), "A case of minor slope failure in Marly clay, in Epirus, Greece", *J. Civ. Engng. Des.*, 2, No. 2, pp. 209-219.

Stark, T.D. & Eid, H. T. (1994), "Drained residual strength of cohesive soils", *ASCE J. Geotech. Engng.*, 120, No. 5, pp. 856-871.

Stark, T.D. & Eid, H. T. (1997), "Slope stability analyses in stiff fissured clays", *ASCE J. Geotech. Engng.*, 123, No. 4, pp. 335-343.

Wesley, L.D. (2003), "Residual strength of clays and correlations using Atterberg limits", *Geotechnique*, 53, No. 7, pp. 669-672.