

Πειραματική Διερεύνηση της Συμπιεστότητας των Αναζυμωμένων Εδαφικών Υλικών

Experimental Investigation of the Compressibility of Reconstituted Soils

ΜΠΑΡΔΑΝΗΣ, Μ.Ε. Πολιτικός Μηχανικός, MSc/DIC, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε., Υποψ. Διδ. ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στο άρθρο παρουσιάζεται εργαστηριακή διερεύνηση της συμπιεστότητας 23 αναζυμωμένων εδαφών φυσικής και τεχνητής κοκκομετρικής διαβάθμισης ως προς την κοκκομετρική διαβάθμιση, την ορυκτολογική σύσταση, την πλαστικότητα και το αρχικό ποσοστό υγρασίας του πολτού. Οι ιδιότητες των αναζυμωμένων εδαφών ονομάζονται εγγενείς ιδιότητες. Τα αποτελέσματα χρησίμευσαν στον επανακαθορισμό των ορίων εφαρμογής του θεωρητικού πλαισίου των εγγενών ιδιοτήτων συμπιεστότητας όπως έχει διατυπωθεί για αργιλικά υλικά ιζηματογενούς προέλευσης και την διατύπωση εμπειρικών συσχετίσεων για τον δείκτη εγγενούς συμπίεσης και τον εγγενή λόγο κενών υπό τάση 100 kPa.

ABSTRACT: The experimental investigation of the compressibility of 23 reconstituted soils of artificial and natural grain size distribution is presented in the paper. The properties of reconstituted soils are called intrinsic properties. Intrinsic compressibility was investigated relative to grain size distribution, mineralogy, plasticity and slurry water content and resulted in redefining the application limits of the theoretical framework of intrinsic compressibility. The paper concludes with the proposal of empirical relations for the intrinsic compression index and the intrinsic void ratio at 100 kPa.

1. ΖΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Skempton (1970) αρχικά και ο Burland (1990) στη συνέχεια ηγήσαν την καλθμελίωση των αναζυμωμένων αργίλων (εγγενών ιδιοτήτων) ως πλαίσιο αναφοράς για την κατανόηση και αξιολόγηση της μηχανικής συμπεριφοράς των φυσικών αργίλων. Τα αναζυμωμένα αργιλικά υλικά είναι μηχανικά διασπασμένα και αναμεμιγμένα με μεγάλη ποσότητα ύδατος έτσι ώστε να μετατραπούν σε έναν πολτό ο οποίος ομοιάζει στην κατάσταση από την οποία ξεκίνησε η ιστορία φόρτισης κατανάπτυξης δομής αργιλικών εδαφών ιζηματογενούς προέλευσης όταν αποτέθηκαν στις ληκάνες ιζηματογένεσης. Ως εκ τούτου δεν έχουν δομή καλοσχηματισμένης τους είναι ηγγηγής (intrinsic) ιδιότητες που εξαρτώνται μόνο από τα φυσικά τους χαρακτηριστικά.

Από την εισαγωγή αυτού του κηωρητικού πλαισίου καλθμιά, η χρήση του καλθπώθη κη καλεπεκτάθηκε καλθτώντας το ένα από τα πλοδαδεδομένα «εργαλεία» για την κηνέτι τις δο-

μής των φυσικών αργίλων. Δομή καλείται ο συνδυασμός της διάταξης των κημονωμένων σωματιδίων –κόκκων και πλακιδίων- των ηδαφών καλτων δεσμών, δηλαδή των κάθε είδους δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων των εδαφών που δεν οφείλονται στην τριβή μεταξύ τους. Η ενσωμάτωση χαρακτηριστικών του θεωρητικού πλαισίου των ηγγηγών ιδιοτήτων όπως η Γραμμή Ζηγηνούς Συξπίεσης σε σύγχρονα καταστατικά προσομοιώματα, κηκτισμοπολούμενη μαζί με την κημή του λόγου κηνων των φυσικών αργίλων στην αρχική τους κατάσταση καλσ την τάση διαρρηξής τους, αντικατέστησε παραδοσιακούς κηθόδους πρόβλημης των ογκομετρικών παραμορφώσεων αργιλικών εδαφών από καταστατικά προσομοιώματα βασισμένα στην Θεωρία Κρίσιμης Κατάστασης (Critical State Theory), κηκρύνοντας ακόμα περισσότερο την σημασία του θεωρητικού πλαισίου των ηγγηγών ιδιοτήτων καλστοο κημέα της πρόβλεψης πλέον καλόκλκμονον της αξιολόγησης της συμπεριφοράς των φυσικών αργίλων (Liu & Carter, 1999 καλ2000). Για την κηηραιτέ-

ρω δερνήντ στ των λλοτήτω των αναζυμωμέων εδαφών πραγματοποιήθηκε η εκτεταμένη υελαματική δερνήντ στ που παρουσιάζεται στο παρόν άρθρο. Ο Μπαρδάνης (2010) παρουσίασε και την αναλυτική διερεύνηση του θεωρητικού πλαισίου των εγγενών ιδιοτήτων και προχώρησε στη διατύπωση της Γενικευμένης Γραμμής Εγγενούς Συμπίεσης επί τη βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται στο παρόν άρθρο.

2. ΤΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Στα πλαίσια της εργαστηριακής διερεύνησης χρησιμοποιήθηκαν τα εδαφικά υλικά οι ιδιότητες των οποίων παρουσιάζονται στον Πίν. 1. Κατά την συγκέντρωση υλικών δόθηκε έμφαση σε εδαφικά υλικά με φυσικά χαρακτηριστικά αισθητά διαφορετικά από αυτά για τα οποία αναπτύχθηκε το θεωρητικό πλαίσιο των εγγενών ιδιοτήτων μέχρι σήμερα (τα οποία ήταν κυρίως άργιλοι υψηλής πλαστικότητας). Έτσι επιλέχθηκαν υλικά τα οποία αφενός να καλύπτουν πλήρως το εύρος του δείκτη πλαστικότητας, αλλά καμταξύ αυτών να υπάρχουν υλικά ορακά πναστικά καθώς καλμάργες. Αφού βρέθηκαν τα απαλούμενα υλικά φυσικής κοκκομετρικής διαβάθμισης, στα οποία η ορυκτολογική σύστασι είναι ππρακτικά τυχαία, αποφασίστηκε να παρασκευαστούν καλ υλικά τηχοητής μοκκομετρικής διαβάθμισης στα οποία θα ήταν ελεγχόμεντ όχλμόνο τ κοκκομετρική διαβάθμιση αλλά καλ τ ορυκτολογική σύστασι. Έτσι παρασκευάστηκαν τα εδαφικά υλικά ολλότιπες των οποίων παρουσιάζονται στον Πιν. 1. Αυτά ήταν κυρίως μίγματα καολίντ-άμμου και μπεντονίττ-άμμου, καθώς καλ το διερχόμενο από το κόσκινο Νο 200 της Ιλύος Λίμνης Ιωαννίνων, το οποίο αναφέρεται ως «αμιγής» ιλύς στον Πιν. 1 παρόλο που περιέχει και ένα ποσοστό αργίλου, καλι πολύ λεπτή άμμος τις Ιλύος Λίμνης Ιωαννίνων, η οποία υπήρχε σε μεγάλες ποσότητες για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί συστι ματκά στι ν εργαστηριακή έρμυνα που πραγματοποιήθηκε. Ο όρος πολύ λεπτή άμμος δην χρησιμοποιείται τυχαία αφού χρησιμοποιήθηκε το διερχόμενο από το κόσκινο Νο 100 μαλσυκρατούμενο στο κόσκινο Νο 200 μετά από πολύ καλό πλύσιμο. Λεπτή άμμος ως γνωστόν ονομάζεται το διερχόμενο από το κόσκινο Νο 40 καλσυκρατούμενο στο κόσκινο Νο 200. Το υλικό αυτό χρησιμοποιήθηκε ως υλικό αναφοράς κηρούμενο ως το πλέοο λεπτόκοκκο υλικό που μπορούσε να βρηθεί πριν αρχίσει να εμφανίζονται πλαστικότητα

τα. Επιλέχθηκε να είναι το λεπτόκοκκο κλάσμα ενός φυσικού καλμάστα λμναίου χήματος αντί για κάποια τεχνητά παρασκευασμένο άμμο, ώστε ολόκοκκο να είναι αρκετά αποστρωγυλημένοι για να μην υπερβούντα καλ παράγοντες όπως η γωνίωση των κόκκων καλι προοδητική απώλεα τις κατά την επιβολή φορτίου μέχρις ομαλκής τάσης.

Σε όνα τα υλικά φυσικής κοκκομετρικής διαβάθμισης πραγματοποιήθηκαν δοκιμές προσδορλαμού ορίων Atterberg, αντημ έοου εδικού

Πίνακας 1. Φυσικά χαρακτηριστικά υλικών φυσικής καλτηχοητής κοκκομετρικής διαβάθμισης. Table 1. Index properties of soils with natural and artificial grain size distribution.

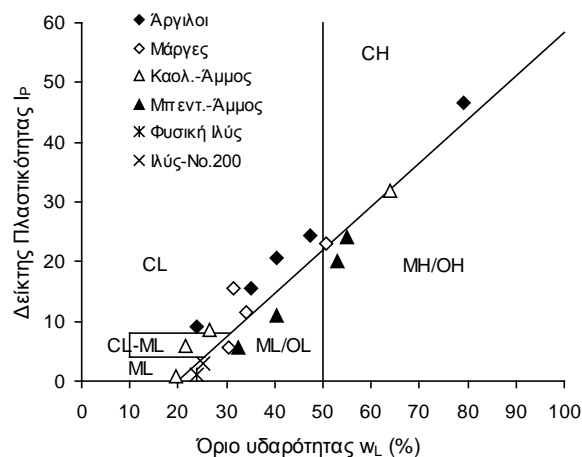
| Ζδαφικό υλικό | w _L (%) | I _p - | G _s - | Άργιλος (%) | Ιλύς (%) |
|---|-----------------------|---------------------|---------------------|----------------|-------------|
| <i>Υλικά φυσικής κοκκομετρικής διαβάθμισης</i> | | | | | |
| Ιλύς Λίμνης Ιωαννίνων | 24.0 | 1.0 | 2.55 | 8.4 | 26.9 |
| Άργιλος Χανίω | 24.0 | 9.0 | 2.68 | 18.1 | 49.8 |
| Άργιλος Κορίνθου | 35.0 | 15.5 | 2.58 | 20.6 | 75.2 |
| Άργιλος Κτφισλάς | 40.5 | 20.5 | 2.67 | 33.0 | 64.0 |
| Άμαρουσίου | 47.5 | 24.5 | 2.75 | 34.2 | 51.8 |
| Άργιλος Λονδίνου | 79.0 | 46.5 | 2.64 | 33.5 | 66.5 |
| Μάργα Κορίνθου | 30.5 | 5.5 | 2.67 | 6.5 | 84.7 |
| Πλ. Μάργα Κορίνθου | 34.0 | 11.5 | 2.67 | 10.7 | 86.1 |
| Μάργα Κτφισλάς | 31.5 | 15.5 | 2.66 | 24.9 | 68.1 |
| Μάργα Πατρών | 50.5 | 23.0 | 2.65 | 28.2 | 71.4 |
| <i>Υλικά τεχνητής κοκκομετρικής διαβάθμισης</i> | | | | | |
| “Αμλής” Ιλύς | 25.0 | 3.0 | 2.55 | 23.7 | 76.3 |
| Καολίνις Speswhite | 64.0 | 32.0 | 2.61 | 71.2 | 31.7 |
| Ληπτή Άμμος | - | - | 2.55 | 0 | 0 |
| SK-05 | - | - | 2.55 | 3.4 | 1.6 |
| SK-10 | - | - | 2.56 | 6.5 | 3.2 |
| SK-20 | 19.5 | 0.7 | 2.56 | 14.2 | 6.3 |
| SK-35 | 21.5 | 6.0 | 2.57 | 24.9 | 11.1 |
| SK-50 | 26.5 | 8.5 | 2.58 | 35.6 | 15.8 |
| SB-02 | - | - | 2.55 | 2 | - |
| SB-04 | 32.5 | 5.5 | 2.56 | 4 | - |
| SB-07 | 40.5 | 11.0 | 2.56 | 7 | - |
| SB-10 | 53.0 | 20.0 | 2.57 | 10 | - |
| SB-15 | 55.0 | 24.0 | 2.58 | 15 | - |

βάρους στερεών (G_s), κοκκομετρικής διαβάθμισης με κόσκλα καλαραιόμετρο, καθώς και ορυκτολογικές αναλύσεις. Στα υλικά τεχνητής κοκκομετρικής διαβάθμισης πραγματοποιήθηκαν μόνο δοκιμές προσδιορισμού ορίων Atterberg, αφού όλα τα υπόλοιπα μεγέθη προέκυπταν από την αναλογία ανάμιξης των υλικών. Ολτιμές των ορίων υδαρότητας για τα μίγματα μπεντονίτη-άμμου υροέρχονται από τον Αναστασίου (2004), ο οποίος δίνει περιληπτικά μόνο στα μίγματα στα οποία πραγματοποιήθηκαν δοκιμές μονοδιάστατης συμπίεσης αλλά μέτρησε τιμές του ορίου υδαρότητας και πλαστικότητας ως πλήρες εύρος αναμιγνύων μπεντονίτη-άμμου μέχρι και 100% μπεντονίτη.

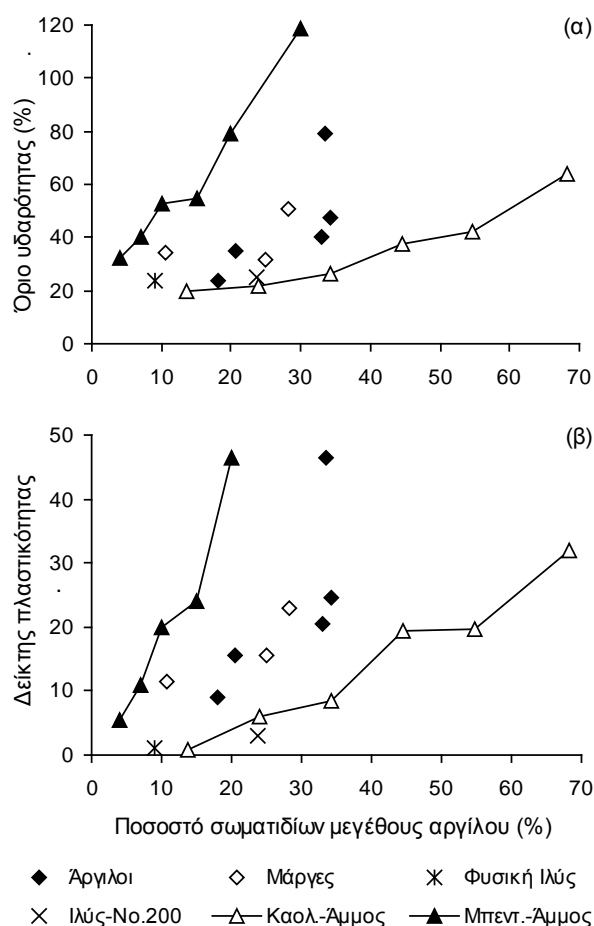
Στο Σχ. 1 παρουσιάζεται διάγραμμα πλαστικότητας Casagrande με τα πειραματικά σημεία για τα υλικά φυσικής και τεχνητής κοκκομετρικής διαβάθμισης που χρησιμοποιήθηκαν. Όπως προκύπτει από το Σχ. 1, τα επιλεγμένα υλικά καλύπτουν επαρκώς το εύρος πλαστικότητας και κυρίως εμπλουτίζουν την υφιστάμενη διεθνώς βάση πειραματικών δεδομένων για εδαφικά υλικά πολύ χαμηλής πλαστικότητας και ευρισκόμενα επί ή και κάτω ακόμα από την Γραμμή «Α» στο διάγραμμα Casagrande. Προκειμένου να τονιστεί ακόμα περισσότερο η σημασία της επιλογής των υλικών φυσικής κοκκομετρικής διαβάθμισης και των μιγμάτων καολίνη-άμμου και μπεντονίτη-άμμου παρουσιάζονται και τα Σχ. 2α και 2β, όπου το όριο υδαρότητας και ο δείκτης πλαστικότητας αντίστοιχα σχεδιάζονται ως προς το ποσοστό σωματιδίων μεγέθους αργίλου για κάθε υλικό. Όπως φαίνεται οι τιμές για τα μίγματα καολίνη-άμμου αποτελούν κάτω όριο και οι τιμές για τα μίγματα μπεντονίτη-άμμου άνω όριο, με τα υλικά φυσικής κοκκομετρικής διαβάθμισης να βρίσκονται μεταξύ των δύο ορίων.

3. Η ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Στην πρώτη ομάδα δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης που πραγματοποιήθηκε, διερευνήθηκε η επιρροή του αρχικού ποσοστού υγρασίας του πολτού των αναζυμωμένων εδαφών. Παρασκευάστηκαν πολτοί από πέντε διαφορετικά υλικά σε πέντε διαφορετικά ποσοστά υγρασίας για το κάθε υλικό: 75%, 110%, 140%, 170% και 200% του ορίου υδαρότητας. Τα υλικά αυτά ήταν οι Άργιλοι Χανίων (CSC), Κορίνθου (CC) και Λονδίνου (LC), η Μάργα Πατρών (PM) και ο Καολίνης Speswhite (SK). Για την κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε το μέγεθος που εισήγα-



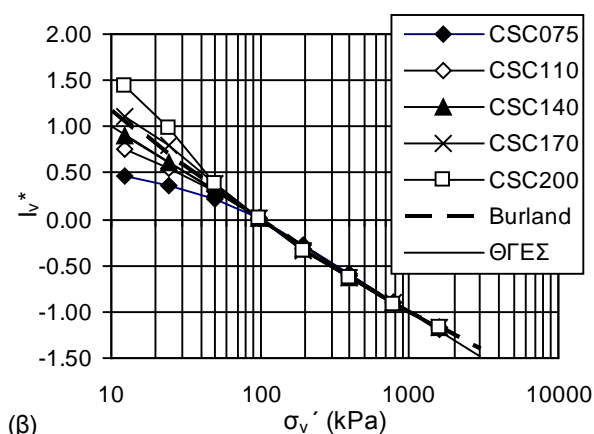
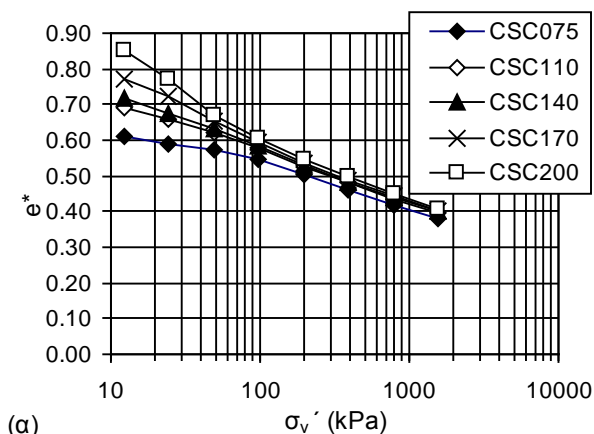
Σχήμα 1. Διάγραμμα πλαστικότητας Casagrande με τα πειραματικά σημεία από τα υλικά της εργαστηριακής διερεύνησης.
Figure 1. Casagrande's plasticity chart with experimental points for the soils used in the experimental investigation.



Σχήμα 2. Εξέλιξη του (α) ορίου υδαρότητας, και (β) του δείκτη πλαστικότητας με το ποσοστό σωματιδίων αργίλου.
Figure 2. a) Liquid limit, and b) plasticity index plotted against clay fraction.

γε ο Burland (1990). Αυτό είναι ο δείκτης κενών (void index) I_v το οποίο ορίζεται όπως φαίνεται στην Εξ. 1, όπου e^*_{100} και e^*_{1000} είναι ο εγγενής λόγος κενών στα 100 και 1000 kPa αντίστοιχα και C_c^* είναι ο δείκτης εγγενούς συμπίεσης. Ο Burland (1990) διαπίστωσε ότι όταν οι καμπύλες εγγενούς συμπίεσης κανονικοποιηθούν μέσω του δείκτη κενών, τότε συμπίπτουν για κάθε υλικό σε μία καμπύλη γραμμική την οποία ονόμασε Γραμμή Εγγενούς Συμπίεσης (Intrinsic Compression Line) η οποία δίνεται από την Εξ. 2. Ο Bardanis (1999) πρότεινε ότι η Γραμμή Εγγενούς Συμπίεσης με βάση την κανονικοποίηση με τον δείκτη κενών πρέπει να είναι ευθεία και να δίνεται από την Εξ. 3, ενώ ο Μπαρδάνης (2010) διατύπωσε την έννοια της Γενικευμένης Γραμμής Εγγενούς Συμπίεσης επί τη βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων του παρόντος άρθρου.

$$I_v = \frac{e - e^*_{100}}{e^*_{100} - e^*_{1000}} = \frac{e - e^*_{100}}{C_c^*} \quad (1)$$



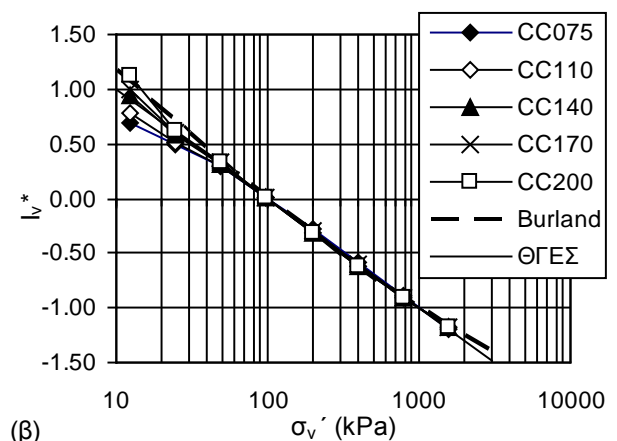
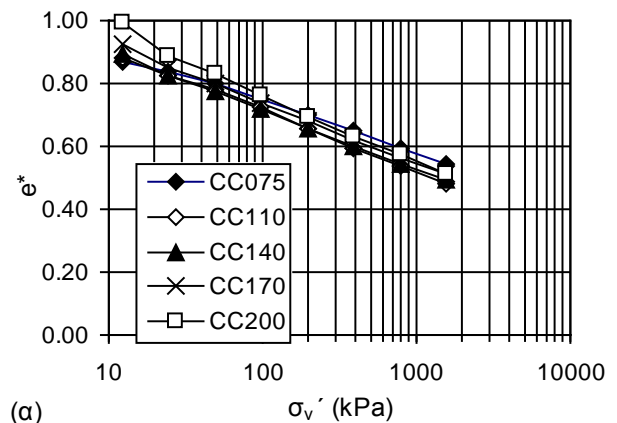
Σχήμα 3. α) Καμπύλες εγγενούς συμπίεσης, και β) κανονικοποιημένες καμπύλες Αργίλου Χανίων.
Figure 3. a) Intrinsic compression curves, and b) normalized curves of Chania Clay.

$$I_v = 2.45 - 1.285 \cdot \log_{10} \sigma'_v + 0.015 \cdot (\log_{10} \sigma'_v)^3 \quad (2)$$

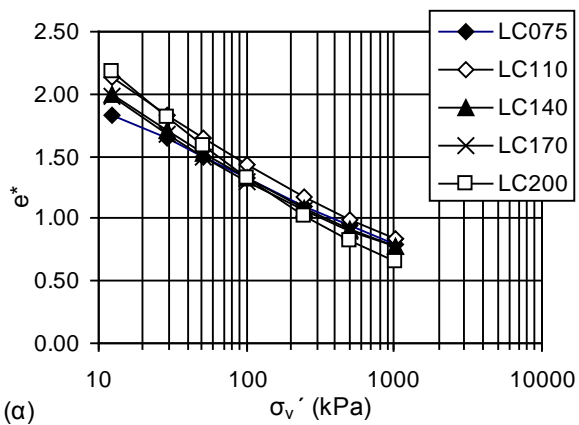
$$I_v = 2 - \log_{10} \sigma'_v \quad (3)$$

Οι καμπύλες εγγενούς συμπίεσης των υλικών αυτών παρουσιάζονται στα Σχ. 3 έως 7. Σε κάθε σχήμα (α) είναι οι καμπύλες εγγενούς συμπίεσης χωρίς κανονικοποίηση ($e^* - \sigma'_v$) και (β) είναι οι κανονικοποιημένες καμπύλες ($I_v^* - \sigma'_v$) με την κατακόρυφη τάση σε λογαριθμική κλίμακα (όπου έχει σχεδιαστεί και η εμπειρική συσχέτιση του Burland, 1990, για την Γραμμή Εγγενούς Συμπίεσης και η Θεωρητική Γραμμή Εγγενούς Συμπίεσης, ΘΓΕΣ –Μπαρδάνης, 2010). Τα πειραματικά δεδομένα για την Άργιλο Λονδίνου προέρχονται από τον Bardanis (1998) και για την Μάργα Πατρών και τον Καολίνη Speswhite από τον Bardanis (1999).

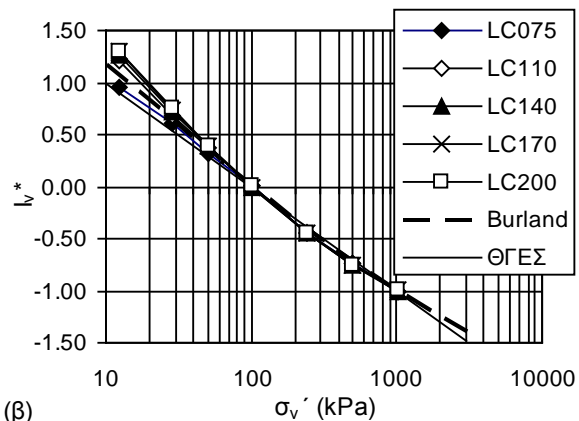
Όπως προκύπτει από τα Σχ. 3 έως 7, για όλα τα εδαφικά υλικά η γραμμή εγγενούς συμπίεσης αρχίζει να παίρνει την μορφή της από αρχικό ποσοστό υγρασίας του πολτού 1.1 φο-



Σχήμα 4. α) Καμπύλες εγγενούς συμπίεσης, και β) κανονικοποιημένες καμπύλες Αργίλου Κορίνθου
Figure 4. a) Intrinsic compression curves, and b) normalized curves of Corinth Clay.



(α)



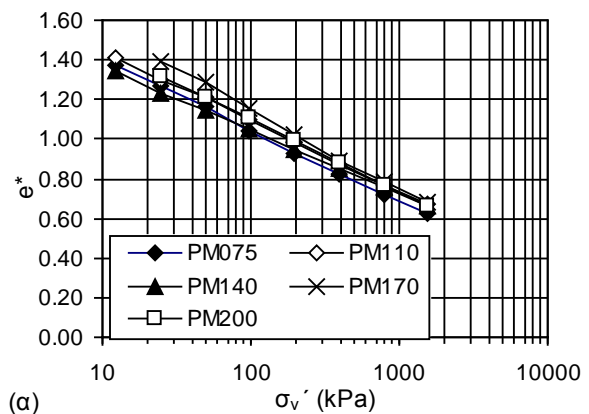
(β)

Σχήμα 5. α) Καμπύλες εγγενούς συμπίεσης, και β) κανονικοποιημένες καμπύλες Αργίλου Λονδίνου

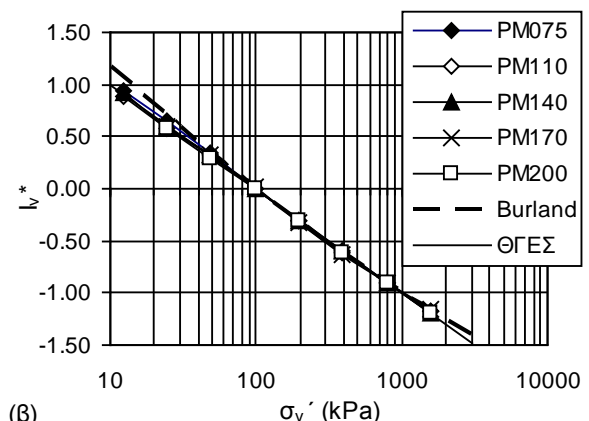
Figure 5. a) Intrinsic compression curves, and b) normalized curves of London Clay.

ρές το w_L και πάνω, και μέχρι 1.7 φορές το w_L . Για αρχικό ποσοστό υγρασίας 0.75 φορές το w_L οι καμπύλες στρέφουν τα κοίλα προς τα κάτω, ενώ για αρχικό ποσοστό υγρασίας 2.0 φορές το w_L στρέφουν τα κοίλα υπερβολικά προς τα πάνω. Σε κάθε περίπτωση, σε όλα τα υλικά, για τάσεις μεγαλύτερες των 50-100 kPa οι καμπύλες πρακτικά συμπίπτουν.

Όπως προκύπτει από τα Σχ. 3β, 4β και 6β για την Άργιλο Χανίων, την Άργιλο Κορίνθου και την Μάργα Πατρών αντίστοιχα, οι κανονικοποιημένες καμπύλες και των τριών υλικών βρίσκονται πολύ πιο κοντά στην ΘΓΕΣ παρά στην γραφική παράσταση της εμπειρικής συσχέτισης του Burland (1990). Το αντίθετο συμβαίνει για την Άργιλο Λονδίνου και τον Καολίνη τύπου Speswhite όπως προκύπτει από τα Σχ. 5β και 7β, αφού οι κανονικοποιημένες καμπύλες βρίσκονται εγγύτερα στην γραφική παράσταση της συσχέτισης του Burland (1990), όπως άλλωστε αναμενόταν αφού πειράματα σε αυτά τα δύο υλικά χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της συσχέτισης αυτής.



(α)



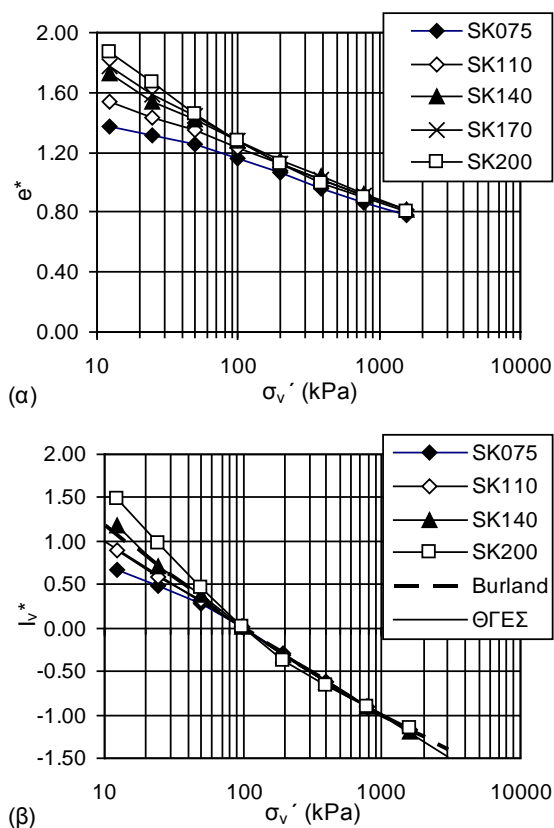
(β)

Σχήμα 6. α) Καμπύλες εγγενούς συμπίεσης, και β) κανονικοποιημένες καμπύλες Μάργας Πατρών.

Figure 6. a) Intrinsic compression curves, and b) normalized curves of Patras Marl.

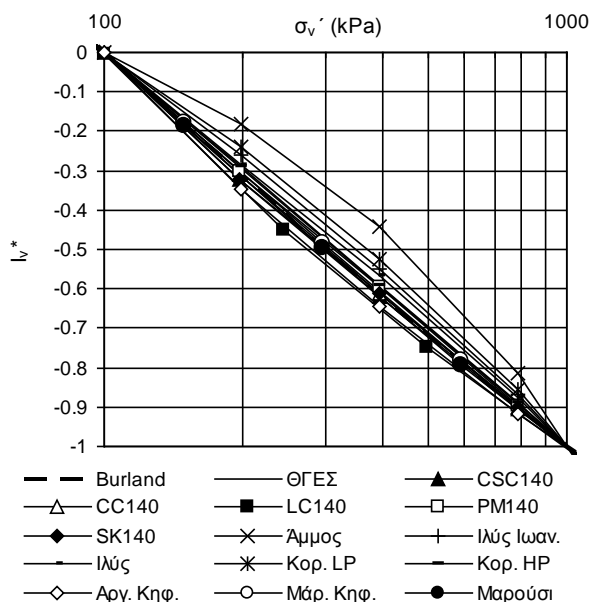
4. Η ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ

Στην Παρ. 3 παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα μόνο σε 5 εδαφικά υλικά στα οποία ελέγχθηκε η επιρροή του ποσοστού υγρασίας παρασκευής του πολτού του αναζυμωμένου εδάφους. Από τις δοκιμές αυτές προέκυψε ότι για τα περισσότερα υλικά το αρχικό ποσοστό υγρασίας πρέπει να είναι από 1.1 έως 1.7 φορές το όριο υδαρότητας παρά 1.0 έως 1.5 φορές που προτεινόταν ως σήμερα. Εκτός από τα 5 εδαφικά υλικά στα οποία έγιναν οι δοκιμές για διάφορα ποσοστά αρχικής υγρασίας, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές και στα υπόλοιπα υλικά φυσικής και τεχνητής κοκκομετρικής διαβάθμισης σε ποσοστά υγρασίας μόνο μεταξύ 1.4 και 1.7 φορές το όριο υδαρότητας τους. Στο Σχ. 8 παρουσιάζονται οι κανονικοποιημένες καμπύλες εγγενούς συμπίεσης όλων των φυσικών υλικών, της πολύ λεπτής άμμου, της αμιγούς ιλύος και του Καολίνη. Παρατηρείται ότι όσο μειώνεται ο δείκτης πλαστικότητας και



Σχήμα 7. α) Καμπύλες εγγενούς συμπίεσης, και β) κανονικοποιημένες καμπύλες Καολίνη Speswhite.

Figure 7. a) Intrinsic compression curves, and b) normalized curves of Speswhite Kaolin.



Σχήμα 8. Κανονικοποιημένες καμπύλες εδαφικών υλικών φυσικής κοκκομετρικής διαβάθμισης, άμμου, ιλύος και Καολίνη Speswhite.

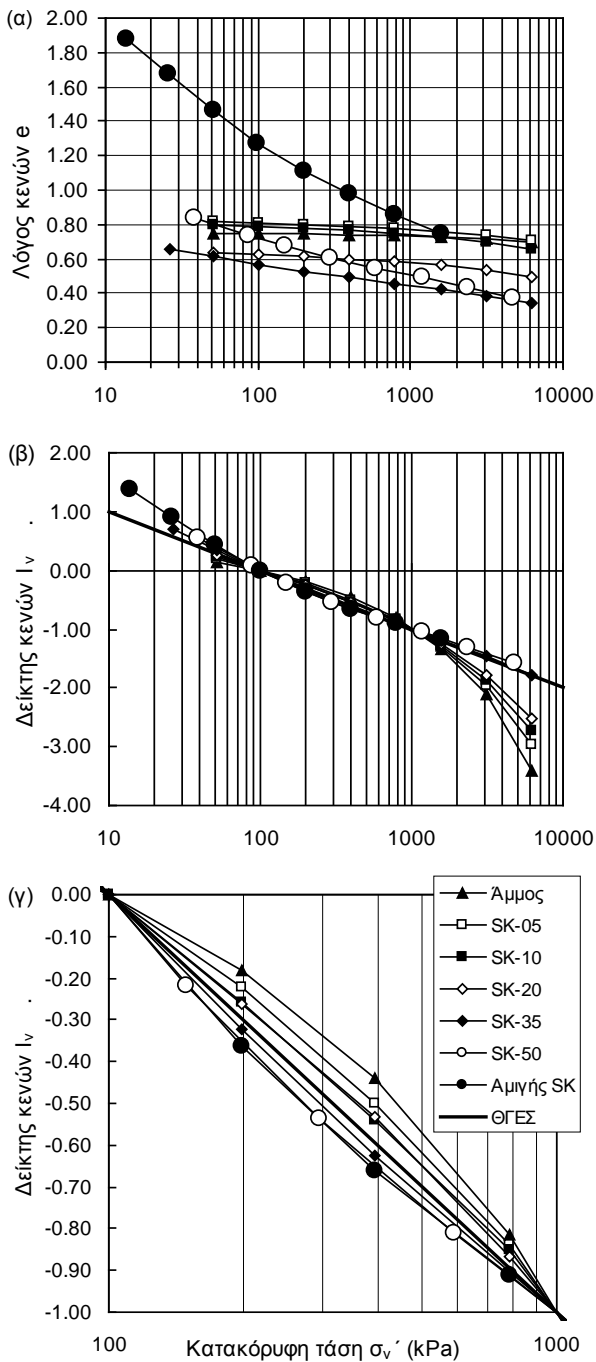
Figure 8. Normalised intrinsic compression curves of natural grain size distribution soils, sand, silt and Speswhite Kaolin.

αυξάνεται το ποσοστό των χονδροκόκκων, τόσο περισσότερο οι καμπύλες εγγενούς συμπίεσης στρέφουν τα κοίλα προς τα κάτω με αποκορύφωμα την πολύ λεπτή άμμο που δεν έχει πλαστικότητα. Το αντίθετο συμβαίνει όσο αυξάνει η πλαστικότητα και μειώνεται το ποσοστό των χονδροκόκκων. Τα συμπεράσματα από τα πειραματικά αυτά αποτελέσματα επιδεικνύουν την προφανή επιρροή της κοκκομετρικής διαβάθμισης και της πλαστικότητας, αλλά όχι με την ζητούμενη καθαρότητα, αφού στα υλικά αυτά δεν ήταν δυνατόν να ελεγχθεί η ορυκτολογική τους σύσταση.

Έτσι πραγματοποιήθηκαν δοκιμές μονοδιάστατης συμπίεσης και στα υλικά τεχνητής κοκκομετρικής διαβάθμισης που παρασκευάστηκαν. Οι καμπύλες μονοδιάστατης συμπίεσης παρουσιάζονται στο Σχ. 9 για τα μίγματα καολίνη-άμμου και στο Σχ. 10 για τα μίγματα μπεντονίτη-άμμου. Οι δοκιμές στα μίγματα μπεντονίτη-άμμου προέρχονται από τον Αναστασίου (2004). Όπως προκύπτει από τα Σχ. 9 και 10 η ίδια ακριβώς επιρροή που παρατηρήθηκε και για τα υλικά φυσικής κοκκομετρικής διαβάθμισης προκύπτει και για τα μίγματα αργίλου-άμμου. Όσο μειώνεται ο δείκτης πλαστικότητας και αυξάνεται το ποσοστό των χονδροκόκκων, τόσο περισσότερο οι καμπύλες εγγενούς συμπίεσης στρέφουν τα κοίλα προς τα κάτω. Το αντίθετο συμβαίνει όσο αυξάνεται η πλαστικότητα και μειώνεται το ποσοστό των χονδροκόκκων. Για πρακτικά ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση (μίγματα SK-10 και SB-10) παρατηρείται ότι όσο πιο δραστικό είναι το περιεχόμενο αργιλικό ορυκτό, τόσο περισσότερο αλλάζει η μορφή της καμπύλης εγγενούς συμπίεσης. Το μίγμα SK-10 είναι μία αργιλώδης άμμος χωρίς πλαστικότητα και η καμπύλη εγγενούς συμπίεσής του στρέφει έντονα τα κοίλα προς τα κάτω, ενώ αντίθετα το μίγμα SB-10 αν και επίσης χαρακτηριζόμενο ως αργιλώδης άμμος έχει όρια Atterberg που το κατατάσσουν ως υλικό υψηλής πλαστικότητας και η καμπύλη εγγενούς συμπίεσής του στρέφει έντονα τα κοίλα προς τα πάνω.

5. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ

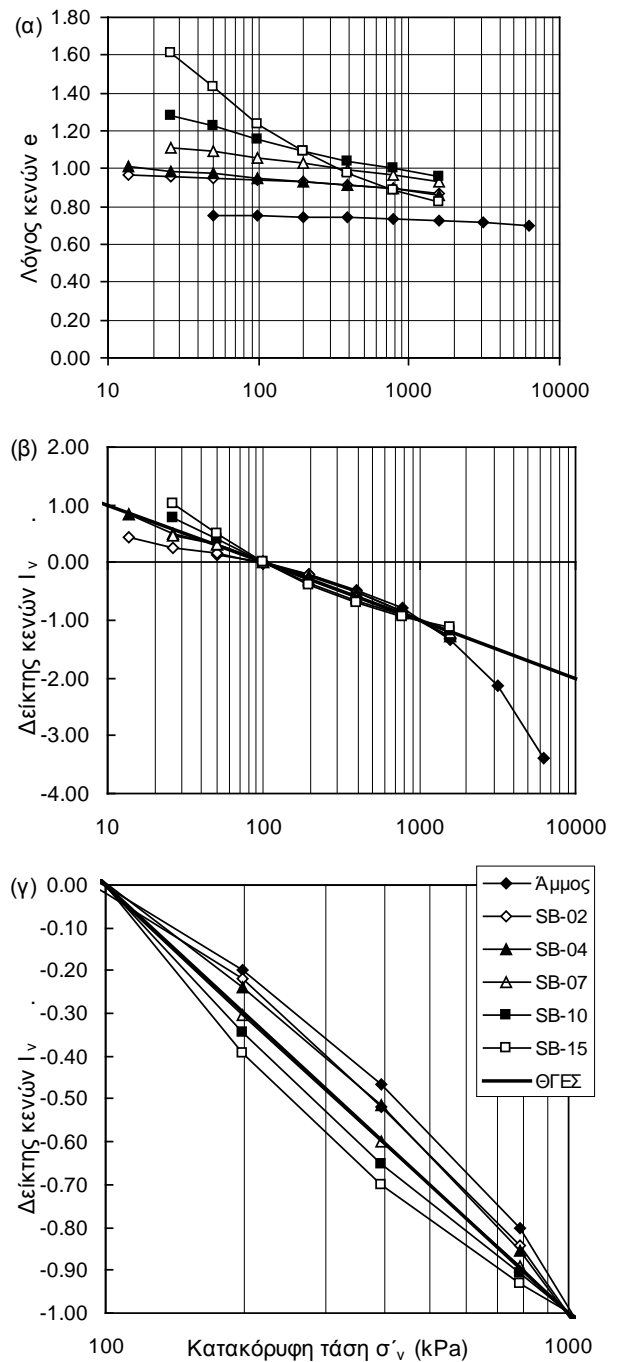
Στα Σχ. 11α και 11β παρουσιάζεται η συσχέτιση του εγγενούς λόγου κενών στα 100 kPa και του δείκτη εγγενούς συμπίεσης αντίστοιχα με τον λόγο κενών στο όριο υδαρότητας, e_L (στα σχήματα έχουν σχεδιαστεί και οι αντίστοιχες συσχετίσεις του Burland, 1990). Τα σημεία που απεικονίζονται αντιστοιχούν στα εδαφικά υλικά φυσικής κοκκομετρικής διαβάθμισης, την αμιγή



Σχήμα 9. α) Καμπύλες εγγενούς συμπίεσης, β) κανονικοποιημένες καμπύλες σε ολόκληρο το εύρος τάσεων, και γ) κανονικοποιημένες καμπύλες για το εύρος τάσεων 100-1000 kPa μιγμάτων Καολίνη Speswhite-άμμου.

Figure 9. a) Intrinsic compression curves, b) normalized curves in the full range of stress, and c) normalised curves for the range of stress between 100 and 1000 kPa of Speswhite Kaolin-Sand mixtures.

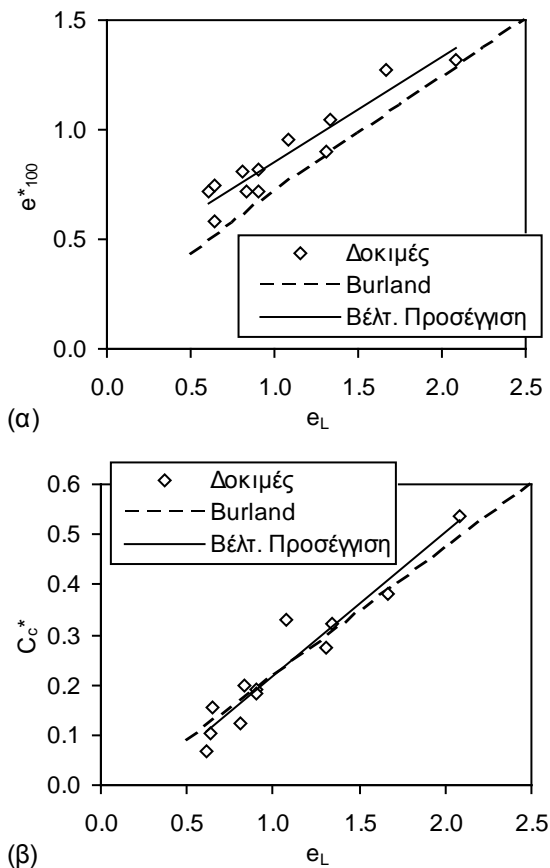
ιλύ και τον καολίνη. Από τα πειραματικά δεδομένα που παρουσιάστηκαν στο άρθρο προκύπτει συστηματικά μεγαλύτερος εγγενής λόγος



Σχήμα 10. α) Καμπύλες εγγενούς συμπίεσης, β) κανονικοποιημένες καμπύλες σε ολόκληρο το εύρος τάσεων, και γ) κανονικοποιημένες καμπύλες για το εύρος τάσεων 100-1000 kPa μιγμάτων μπεντονίτη-άμμου.

Figure 10. a) Intrinsic compression curves, b) normalized curves in the full range of stress, and c) normalised curves for the range of stress between 100 and 1000 kPa of bentonite-Sand mixtures.

κενών στα 100 kPa από αυτόν που προβλέπει η συσχέτιση του Burland (1990) και πρακτικά ο ίδιος δείκτης εγγενούς συμπίεσης. Οι εμπειρι-



Σχήμα 11. Συσχέτιση α) του εγγενούς λόγου κενών στα 100 kPa, και β) του δείκτη εγγενούς συμπίεσης με τον λόγο κενών στο όριο υδαρότητας.

Figure 11. a) Intrinsic void ratio at 100 kPa, and b) intrinsic compression index plotted against the void ratio at liquid limit.

κές συσχετίσεις για τα δεδομένα της πειραματικής διερεύνησης εκφράζονται από τις Εξ. 4 και 5 για τον εγγενή λόγο κενών στα 100 kPa και τον δείκτη εγγενούς συμπίεσης αντίστοιχα με συντελεστές γραμμικής συσχέτισης 0.90 και 0.92.

$$e^*_{100} = 0.48 \cdot e_L + 0.37 \quad (4)$$

$$C_c^* = 0.29 \cdot e_L - 0.07 \quad (5)$$

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την πειραματική διερεύνηση της εγγενούς συμπίεσότητας που πραγματοποιήθηκε και παρουσιάστηκε στο άρθρο, διαπιστώθηκε ότι η γραμμή εγγενούς συμπίεσης μπορεί να είναι έντονα μη γραμμική και μάλιστα ακόμα και με τα κοίλα προς τα κάτω ανάλογα με την πλαστικότητα των εδαφικών υλικών φυσικής κοκκομε-

τρικής διαβάθμισης και ανάλογα με την περιεκτικότητα σε άργιλο εδαφικών υλικών δεδομένης ορυκτολογικής σύστασης και ελεγχόμενης κοκκομετρικής διαβάθμισης (μίγματα καολινη-άμμου και μίγματα μπεντονίτη-άμμου).

7. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Δείγματα των Αργίλων Χανίων, Κορίνθου, Κηφισιάς και Αμαρουσίου και της Μάργας Κηφισιάς προσφέρθηκαν από την εταιρεία ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε. Δείγματα της Ιλύος Λίμνης Ιωαννίνων προήλθαν από το εργοτάξιο της εταιρείας ΤΕΡΝΑ Α.Ε. στη θέση Βοτανικός Ιωαννίνων με τη βοήθεια του κ. Μπάκα. Ο κ. Κωνσταντάκης της «Περίανδρος» Α.Ε. προσέφερε βοήθεια για την προμήθεια δειγμάτων Μάργας Κορίνθου από τα πρανή της διώρυγας. Ο κ. Γ. Πυργιώτης, τεχνικός του Εργαστηρίου Θεμελιώσεων του Τομέα Γεωτεχνικής ΕΜΠ, βοήθησε στην προετοιμασία δειγμάτων. Μέρος της έρευνας του κ. Μπαρδάνη χρηματοδοτήθηκε από το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (ΙΚΥ).

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αναστασίου, Ν. (2004), "Μελέτη της συμπίεσότητας μειγμάτων άμμου-μπεντονίτη", Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π
- Bardanis, M. (1998), "An experimental study of the 'robustness' of the Intrinsic Compression Line", MSc Dissertation, Imperial College, London, UK.
- Bardanis, M. (1999), "An experimental study of the properties of intrinsic compressibility of one clay and one marl", proc. 13th Young Geotech. Eng. Conf., Santorini, Greece, 23-25 September 1999, pp. 88-97.
- Burland, J. B. (1990), "On the compressibility and shear strength of natural clays", *Géotechnique*, Vol. 40, pp. 327-378.
- Liu, M.D., Carter, J.P. (1999), "Virgin compression of structured soils", *Géotechnique*, Vol. 49, pp. 43-57.
- Liu, M.D., Carter, J.P. (2000), "Modelling the destructuring of soils during virgin compression", *Géotechnique*, Vol. 50, pp. 479-483.
- Μπαρδάνης, Μ. (2010), "Η θεωρητική γραμμή εγγενούς συμπίεσης και η χρήση της στην εκτίμηση της δομής φυσικών εδαφικών υλικών", 6ο Παν. Συν. Γεωτ. & Γεωπερ/κής Γεωτεχνικής, Βόλος, 29/9-1/10/2010.
- Skempton, A. W. (1970), "The consolidation of clays by gravitational compaction", *Q. J. Geol. Soc.*, Vol. 125, pp. 373-411.