

Διογκούμενα Αργιλικά Εδάφη: Συσχετισμός Φυσικών Χαρακτηριστικών με Παραμέτρους Διόγκωσης

Swelling Soils: Correlation Between Physical Properties and Swelling Characteristics

ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΙΑΣ Ι. Γεωλόγος (MSc. Eng.)-ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΔΕ/ΜΕΔΕ

ΧΑΤΖΗΓΩΓΟΣ Θ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΣΤΑΥΡΙΔΑΚΗΣ Β. Γεωλόγος (MSc.Eng.)-Λέκτορας Α.Π.Θ.

ΤΣΟΤΣΟΣ Σ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια να συσχετιστούν ορισμένα χαρακτηριστικά της διογκούμενης αργίλου που συναντάται στην περιοχή Δράμεσι στο Θηβαϊκό πεδίο. Πιο συγκεκριμένα από τα χαρακτηριστικά διόγκωσης χρησιμοποιείται η τάση διόγκωσης, ενώ από τα φυσικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται το όριο πλαστικότητας, το όριο συρρίκνωσης, ο δείκτης συνεκτικότητας, και η φυσική υγρασία. Η παρούσα εργασία αποτελεί τμήμα μιας ευρύτερης διερεύνησης και μελέτης των διογκούμενων εδαφών στον Ελλαδικό χώρο.

ABSTRACT: An attempt is made to correlate the results of an investigation on swelling soils, in order to construct a new motorway to connect the city of Halkis, with the motorway M1, from Athens to Thessaloniki. The origin, mineralogy, physical and engineering properties of the swelling soils in the vicinity of Dramesi Town have been tested and correlated, in order to obtain some critical criteria for planning on swelling soils.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διερεύνηση των διογκούμενων αργίλων και η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από επιμέρους εργαστηριακές δοκιμές, απασχόλησε κι εξακολουθεί να απασχολεί πολλούς ερευνητές. Το πρώτο σχετικό ειδικό Συνέδριο έγινε στο Κολοράντο των ΗΠΑ το 1959. Λίγα έτη αργότερα, το 1965 ξεκίνησε και καθιερώθηκε η ανά τετραετία διεξαγωγή του παγκόσμιου Συνεδρίου διογκούμενων αργίλων. Είναι σημαντικό και ταυτόχρονα ενδιαφέρον, ότι όπως αναφέρουν πολλοί ερευνητές, οι οικονομικές επιπτώσεις από τις ζημιές που προκαλούν τα διογκούμενα εδάφη κυρίως στις ελαφρές κατασκευές, όπως σε μικρού αριθμού ορόφων κτίσματα, σε επαρχιακές οδούς και σε χώρους στάθμευσης είναι πολύ μεγάλες. Χαρακτηριστικά οι Holtz (1983) και Bell (1999) αναφέρουν ότι οι ζημιές στις ΗΠΑ από τη διόγκωση και τη συρρίκνωση των αργίλων, ανέρχονται σε \$ 6 - \$ 8 δισ δολάρια ετησίως.

Τα τελευταία 20 χρόνια και στην Ελλάδα πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την μελέτη των διογκούμενων αργιλικών εδαφών. Στην αρθρογραφία στο τέλος της εργασίας αναφέρονται συνολικά 12 σχετικές δημοσιεύσεις, στις οποίες εμφανίζονται 21 μελετητές.

2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η υπό διερεύνηση περιοχή βρίσκεται πλησίον της εθνικής οδού Αθηνών – Θεσσαλονίκης, μεταξύ των διοδίων Σχηματαρίου και του χωριού Δράμεσι, και αποτελεί προέκταση του Θηβαϊκού πεδίου. Στην περιοχή συναντώνται κυρίως Νεογενείς αποθέσεις. Πιο αναλυτικά, οι εδαφικοί σχηματισμοί που επικρατούν είναι μάργες, άργιλοι, αργιλούχες μάργες, μαλακοί μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, ενώ κατά θέσεις συναντώνται άμμοι και ψαμμίτες μικρής αντοχής. Γενικά τα εδάφη έχουν μέτρια συνεκτικότητα και τα μη-

χανικά χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται από το είδος του εδαφικού σχηματισμού που υπερέχει κατά θέση. Οι άργιλοι και οι μάργες χαρακτηρίζονται από αξιόλογη συμπίεστικότητα και μεγάλη πλαστικότητα ενώ το πάχος των στρώσεων είναι μερικές δεκάδες μέτρα.

Στη συνέχεια της οδού, πλησίον του χωριού Βαθύ οι αποθέσεις είναι κυρίως αλλούβια, ενώ στο ύψος της Χαλκίδας, στην περιοχή του Τιτάνα, ο ορεινός όγκος αποτελείται από ασβεστόλιθους και λατυποπαγή, ενώ στην περιοχή αυτή συναντώνται και φυλλίτες.

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να συσχετιστούν τα αποτελέσματα της διερεύνησης της διογκούμενης αργίλου τα οποία συγκεντρώθηκαν από επιμέρους εργαστηριακές δοκιμές στην περιοχή γύρω από το Δράμεσι έως τα διόδια Σχηματαρίου. Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν αφενός τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως το όριο υδαρότητας, το όριο πλαστικότητας, το δείκτη πλαστικότητας, το όριο συρρίκνωσης, το ποσοστό κολλοειδών αργίλου, τη φυσική υγρασία, την ορυκτολογική σύσταση, την ικανότητα ανταλλαγής ιόντων και αφετέρου τα χαρακτηριστικά διόγκωσης όπως την ελεύθερη διόγκωση, τη γραμμική συρρίκνωση και την τάση διόγκωσης.

Στη συνέχεια, στο εδάφιο 6, ως αποτέλεσμα της προσπάθειας αυτής θα παρουσιαστεί ένας περιορισμένος αριθμός συσχετίσεων μεταξύ της τάσης διόγκωσης και ορισμένων από τις φυσικές παραμέτρους, οι οποίες με στατιστικά κριτήρια φάνηκε ότι είναι περισσότερο ισχυρές.

3. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Το εδαφικό δείγμα με τη μεγαλύτερη τάση διόγκωσης, αναλύθηκε στο εργαστήριο του ΙΓΜΕ (ποσοστό αργίλου <2 μ m) με περιθλασίμετρο PHILIPS, ακτινοβολία χαλκού και φίλτρο Νικελίου, σε 40 KV και 20 mA, με τις παρακάτω ρυθμίσεις. Ρυθμός σάρωσης 2° (2 θ) ανά λεπτό και ταχύτητα διαγράμματος 1° (2 θ) ανά εκατοστό, ευαισθησία 1X103 counts σε πλήρη κλίμακα. Ο ποσοτικός προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης έγινε με τη μέθοδο του Internal Standard στο Ι.Γ.Μ.Ε. (Zangalis 1998) και τα ποσοστά των ορυκτών που προσδιορίστηκαν είναι:

Μοντμοριλλονίτης 12%, ιλλίτης 8%, χλωρίτης 8%, χαλαζίας 20%, ασβεσίτης 40%, πλαγιόκλαστα 5%.

Η τάση διόγκωσης του εδάφους που μετρήθηκε στο εργαστήριο ήταν 4 kg/cm² στη φυσική του υγρασία, ενώ στο ίδιο δείγμα μετά από μι-

κρή ξήρανση 48 ωρών μετρήθηκε τάση 6 kg/cm². Έχει ενδιαφέρον να αναφερθεί ότι η διογκωτική ικανότητα του μοντμοριλλονίτη μειώνεται κατά σειρά όταν είναι Νατριούχος-Λιθιούχος - Καλλιούχος - Ασβεστούχος - Μαγνησιούχος - Υδρογονούχος (Winterkorn και Baver 1951).

4. ΙΟΝΤΟΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Η ιοντοεναλλακτική ικανότητα (CEC) των δειγμάτων της περιοχής εξετάστηκε με την μέθοδο του οξικού αμμωνίου, όπως περιγράφεται από τους Schollenberger και Simon (1945) και τα υπάρχοντα εναλλακτικά κατιόντα προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο του φλογοφωτόμετρου cornrflame. Οι τιμές είναι CEC=50,1 meq/100g και pH=7.65.

Από τη διεθνή βιβλιογραφία, πρώτος ο White (1958) ανέφερε ότι υπάρχει σχέση μεταξύ των ορίων Atterberg, των αργιλικών ορυκτών και των απορροφημένων ιόντων. Επίσης παρόμοια διαπίστωση έκανε και ο Gillott (1987), αναφέροντας ότι, η ιοντοεναλλακτική ικανότητα των αργίλων επηρεάζεται από το pH και τη φυσικοχημική σύσταση του περιβάλλοντος εδάφους, από τη μικροδομή της αργίλου, το ποσοστό του διογκούμενου αργιλικού ορυκτού που συμμετέχει στη σύσταση του εδάφους και την αυξομείωση του υδροφόρου ορίζοντα.

Η ιοντοεναλλακτική ικανότητα (C.E.C) δείγματος εδάφους μεγαλύτερη της τιμής 40 meq/100g είναι υψηλή και υποδηλώνει την ικανότητα των αργιλικών εδαφών να απορροφούν νερό καθώς και την παρουσία μοντμοριλλονίτη. [Sridhara (1999) και QJEG (1990), working party report].

5. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Οι βασικές φυσικές ιδιότητες των διαφόρων διαταραγμένων εδαφικών δειγμάτων που συγκεντρώθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εργαστηριακή έρευνα, κυμαίνονται ανάμεσα σε ευρέα όρια. Πιο συγκεκριμένα, το όριο υδαρότητας (LL) κυμαίνεται μεταξύ 20-100%, με μέγιστη συχνότητα (το 56% των περιπτώσεων) στο εύρος 40-60%, και η μέση τιμή των είναι περίπου ίση με 50%. Ο δείκτης πλαστικότητας (PI) κυμαίνεται μεταξύ 8-70%, με μέγιστη συχνότητα (το 42% των περιπτώσεων) στο εύρος 30-40% και η μέση τιμή των είναι περίπου ίση με 33% περίπου. Τα κολλοειδή της αργίλου κυμαίνονται μεταξύ 38-60% και η μέση τιμή των είναι περίπου ίση με 50%.

Ο προσδιορισμός της τάσης διόγκωσης στα

εδαφικά δείγματα που συλλέχθηκαν έγινε σύμφωνα με την Προδιαγραφή ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε-105, η οποία χρησιμοποιείται συστηματικά στα εργαστήρια του ΚΕΔΕ.

Για τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν μόνο αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα τα οποία προήλθαν από δειγματολήπτη shelby. Όλα τα δείγματα ελέγχθηκαν στη φυσική τους υγρασία, ενώ ένα μόνο δείγμα παρέμεινε πρώτα σε ξηραντήρα και η τάση διόγκωσης ελέγχθηκε με υγρασία μικρότερη της φυσικής.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται με συνοπτικό τρόπο τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια της εργασίας. Ειδικότερα δίνονται μεγέθη που συνδέονται με την ταξινόμηση του αργιλικού κλάσματος του εδαφικού σχηματισμού (όριο υδαρότητας, δείκτης πλαστικότητας, όριο συρρίκνωσης και ποσοστό κολλοειδών), με τη φυσική του κατάσταση (φυσική υγρασία, δείκτης συνεκτικότητας, δείκτης δυναμικού διόγκωσης, το μέγεθος αυτό ορίζεται στο εδάφιο 6 της εργασίας) και μεγέθη που περιγράφουν τη διόγκωση των εδαφικών δειγμάτων. Τα μεγέθη αυτά είναι η τάση διόγκωσης, η ελεύθερη διόγκωση και η γραμμική συρρίκνωση.

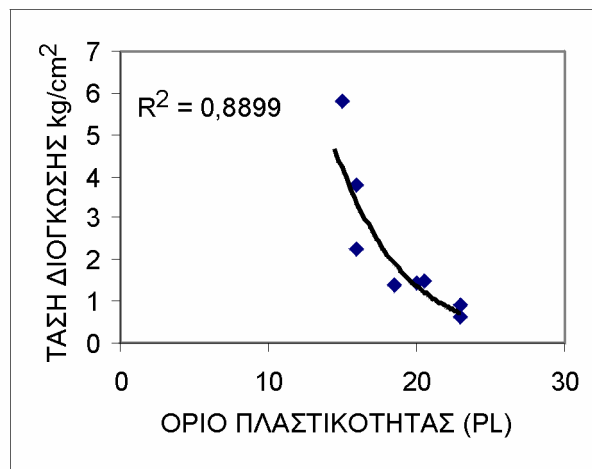
6. ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ

Οι πρώτες προσπάθειες συσχέτισης της τάσης διόγκωσης με φυσικές παραμέτρους, έγινε με τα ευρέως χρησιμοποιούμενα και εύκολα προσδιοριζόμενα μεγέθη του ορίου πλαστικότητας και της φυσικής υγρασίας. Τα γραφήματα των αντίστοιχων συσχετίσεων φαίνονται στα Σχήματα 1 και 2. Από τις διάφορες μαθηματικές σχέσεις που εξετάστηκαν φάνηκε να είναι περισσότερο ικανοποιητική και για τις δύο περιπτώσεις η εκθετική σχέση της μορφής $y = ae^{\beta x}$. Οι τιμές των συντελεστών της σχέσης, α και β και οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης R^2 δίνονται στα σχήματα.

Ως γνωστό, ο όγκος των εδαφών μειώνεται με τη μείωση της υγρασίας τους μέχρι μία τιμή, κάτω από την οποία αυτός φαίνεται περίπου να σταθεροποιείται. Η υγρασία αυτή ονομάζεται όριο συρρίκνωσης των εδαφών. Στην κατάσταση αυτή, η τάση διόγκωσης που επιδεικνύει κάθε αργιλικό έδαφος είναι κοντά στη μέγιστη τιμή της.

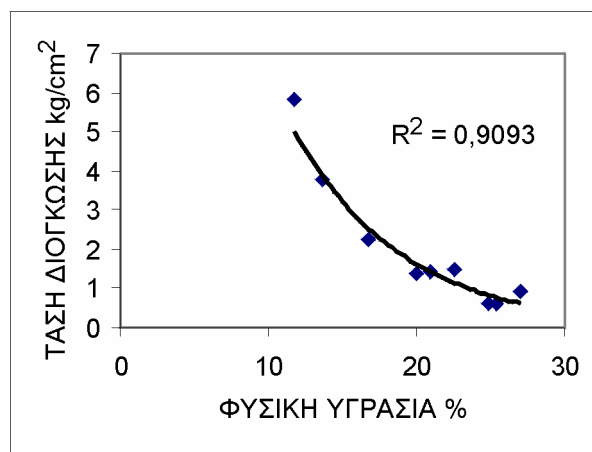
Από τον προσδιορισμό του ορίου συρρίκνωσης που έγινε σύμφωνα με το Transportation Road Research Laboratory (TRRL, 1974),

διαπιστώθηκε ότι στα εδάφη της περιοχής κυμαίνεται από 9 έως 12.5 δηλαδή με μέση και υψηλή διόγκωση (Schreiner, 1987).



Σχήμα 1. Συσχετισμός τάσης διόγκωσης με το όριο πλαστικότητας.

Figure 1. Swelling pressure versus plastic limit.

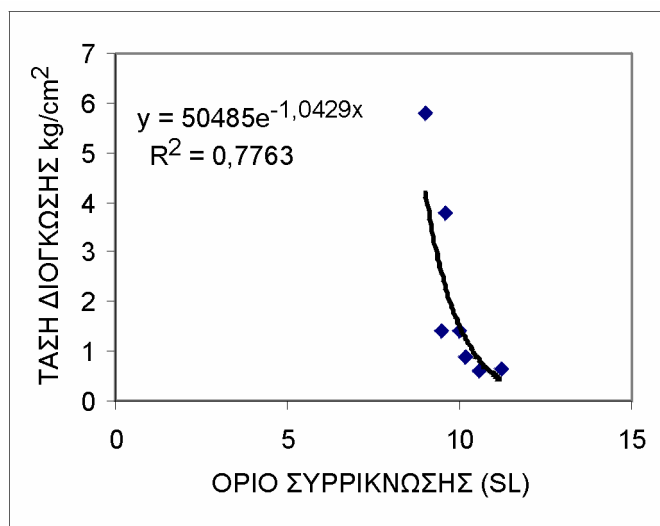


Σχήμα 2. Συσχετισμός τάσης διόγκωσης με φυσική υγρασία σε αδιατάρακτα δείγματα Shelby.

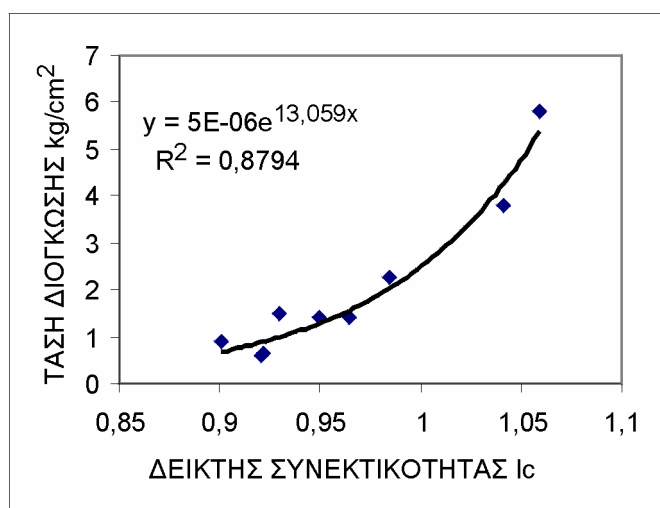
Figure 2. Swelling pressure versus natural moisture content.

Επίσης από την διεθνή βιβλιογραφία, οι Rao et al (1998) αναφέρουν από την Ινδία τιμές ορίου συρρίκνωσης <10, ενώ οι Khan et.al. (2001) περιγράφουν για τα διογκούμενα αργιλικά εδάφη του Μπαγκλαντές ότι το όριο συρρίκνωσης που μετρήθηκε κυμαίνεται μεταξύ του 12 και 18%.

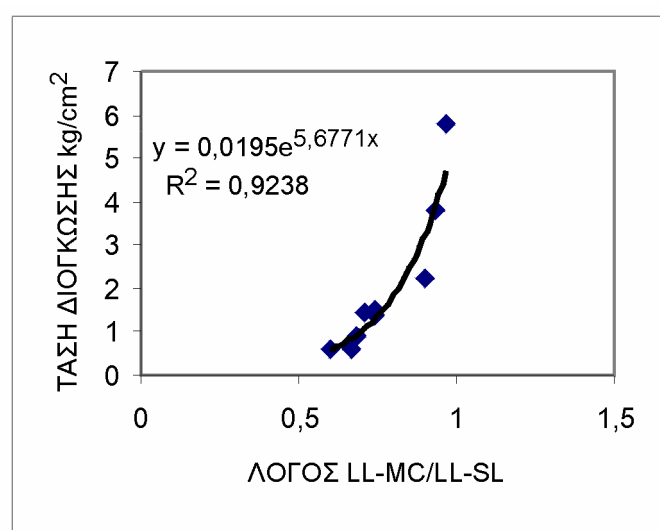
Με τα δεδομένα αυτά, θεωρήθηκε σκόπιμο να αναζητηθεί σχέση μεταξύ του ορίου συρρίκνωσης και της τάσης διόγκωσης. Από την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε η ύπαρξη μιας τέτοιας σχέσης, η οποία και πάλι αποδίδεται με την παραδοχή εκθετικής εξίσωσης της μορφής $y = ae^{\beta x}$ και



Σχήμα 3. Συσχετισμός τάσης διόγκωσης και ορίου συρρίκνωσης σε αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα.
Figure 3. Swelling pressure versus shrinkage limit.



Σχήμα 4. Συσχετισμός τάσης διόγκωσης και δείκτη συνεκτικότητας σε αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα.
Figure 4. Swelling pressure versus consistency index.



Σχήμα 5. Συσχετισμός τάσης διόγκωσης με λόγο όριο υδαρότητας μείον φυσική υγρασία δια το όριο υδαρότητας μείον το όριο συρρίκνωσης.
Figure 5. Correlation of swelling pressure versus the ratio of liquid limit minus moisture content divided by liquid limit minus shrinkage limit.

σχετικά μικρή τιμή του συντελεστή συσχετισμού (Σχήμα 3).

Στη συνέχεια της εργασίας έγινε προσπάθεια συσχέτισης της τάσης διόγκωσης με σύνθετες παραμέτρους (δείκτες) οι οποίοι εκφράζουν καλύτερα την κατάσταση των εδαφών, καθώς περιέχουν τόσο παραμέτρους που εκφράζουν χαρακτηριστικά της πλαστικής συμπεριφοράς τους όσο και την υγρασία του εδάφους. Ως γνωστό ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος δείκτης είναι ο δείκτης συνεκτικότητας του εδάφους I_c ο οποίος ορίζεται ως το πηλίκο της διαφοράς του ορίου υδαρότητας μείον τη φυσική υγρασία δια του δείκτη πλαστικότητας, δηλαδή $I_c = \frac{LL - w}{PI}$.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, η σχέση μεταξύ της τάσης διόγκωσης και του δείκτη συνεκτικότητας που προέκυψε είναι και πάλι εκθετικής μορφής, $y = ae^{bx}$ με συντελεστή συσχέτισης $R^2=0,8794$. Επισημαίνεται πάντως ότι το εύρος των τιμών του I_c στη συγκεκριμένη πειραματική εργασία ήταν σχετικά μικρό, κυμαινόμενο μεταξύ 0,90 και 1,05.

Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα τα οποία προκύπτουν από το περιορισμένο εύρος της διακύμανσης των τιμών του δείκτη συνεκτικότητας στην περίπτωση που εξετάζεται, εισάγεται ένας νέος δείκτης ανάλογος του δείκτη συνεκτικότητας που ορίζεται ως το πηλίκο της διαφοράς της φυσικής υγρασίας από το όριο υδαρότητας δια της διαφοράς του ορίου συρρίκνωσης από το όριο υδαρότητας. Ο δεί-

κτης αυτός ονομάζεται από τους συγγραφείς δείκτης δυναμικού διόγκωσης και θα συμβολίζεται στη συνέχεια της εργασίας ως

$$I_s = \frac{LL - w}{LL - SL}$$

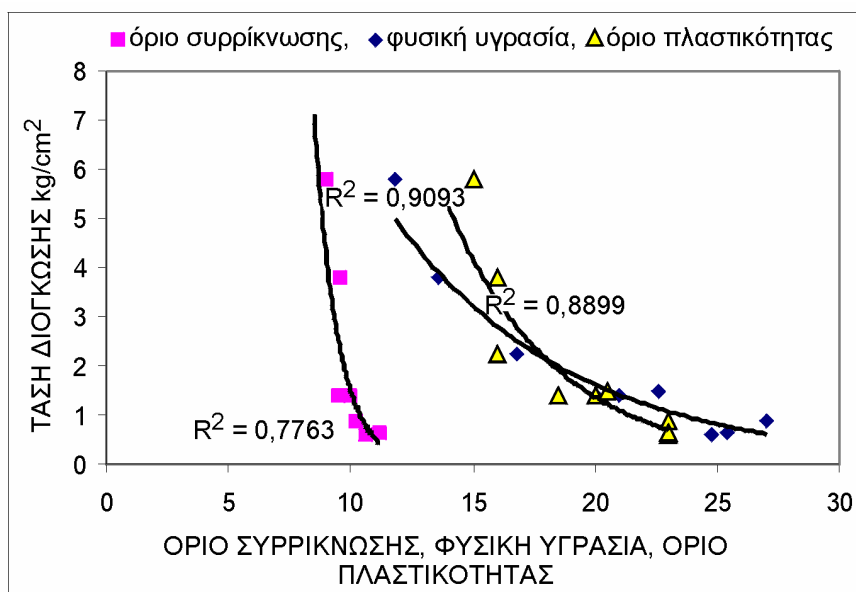
Η φυσική σημασία του δείκτη είναι προφανής: όσο η φυσική υγρασία βρίσκεται πλησίον του ορίου συρρίκνωσης το έδαφος αναμένεται να διογκωθεί, ενώ αντίθετη συμπεριφορά αναμένεται όσο η φυσική υγρασία πλησιάζει το όριο υδαρότητας.

Το Σχήμα 5 δείχνει τη συσχέτιση μεταξύ της τάσης διόγκωσης και του δείκτη δυναμικού διόγκωσης. Η συσχέτιση είναι επίσης εκθετικής μορφής με ικανοποιητική τιμή για το συντελεστή συσχετισμού ($R^2=0.92$), ενώ το εύρος των τιμών του I_s είναι μεγαλύτερο του αντίστοιχου για το I_c .

Στο Σχήμα 6 φαίνονται συγκεντρωμένες οι συσχετίσεις μεταξύ του ορίου συρρίκνωσης, της φυσικής υγρασίας και του ορίου πλαστικότητας με την τάση διόγκωσης.

7. ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

Οι συσχετίσεις που εξετάστηκαν προηγουμένως συνδέουν την τάση διόγκωσης με μια κάθε φορά εδαφική παράμετρο. Είναι σκόπιμο να αναζητηθούν συσχετίσεις μεταξύ μεγεθών που εκφράζουν τη διόγκωση του εδαφικού υλικού και συνδυασμούς στατιστικώς ανεξάρτητων εδαφικών παραμέτρων, καταρχήν μέσω εξισώσεων γραμμικής παλινδρόμησης.



Σχήμα 6. Συσχετισμός τάσης διόγκωσης με το όριο συρρίκνωσης, τη φυσική υγρασία και το όριο πλαστικότητας

Figure 6. Correlation of swelling pressure versus shrinkage limit and moisture content and plastic limit.

Πίνακας 1. Πειραματικά αποτελέσματα.

Table 1. Experimental results.

LL	PI	SL	W%	2 μ m	Ic	Is	SP	FS	LS
67	51	-	16,8	45	0,984	-	2,25	80	17,9
48,5	30	10	20	30	0,95	0,740	1,4	70	12,9
49	29	9,5	21	25	0,965	0,709	1,42	60	12,5
46	23	10,6	24,8	20	0,921	0,599	0,6	55	11,8
51,5	31	-	22,6	32	0,93	-	1,5	60	14,1
63	40	10,2	27	40	0,901	0,682	0,9	61	15,6
54	31	11,2	25,4	38	0,922	0,668	0,63	50	13,6
69	54	9	11,8	48	1,059	0,953	5,8	83	17,7

LL = Όριο υδαρότητας

PI = Δείκτης πλαστικότητας

SL= Όριο συρρίκνωσης

W= Φυσική υγρασία [%]

2 μ m = Ποσοστό κολλοειδών [%]

Ic=Δείκτης συνεκτικότητας

Is=Δείκτης δυναμικού διόγκωσης

SP= Τάση διόγκωσης [kg/cm²]

FS = Ελεύθερη διόγκωση [%]

LS = Γραμμική συρρίκνωση [%]

Η μελέτη ξεκινά από τον υπολογισμό του μητρώου συσχέτισης (correlation matrix), που δίνεται στον Πίνακα 2. Προκύπτει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων κατάταξης και ασθενής μεταξύ των παραμέτρων αυτών και της φυσικής υγρασίας. Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για δείγματα που περιλαμβάνουν αργιλικό κλάσμα με κοινά ορυκτολογικά συστατικά. Η διαφοροποίηση των τιμών των παραμέτρων κατάταξης εξαρτάται από το ποσοστό του αργιλικού κλάσματος, ενώ η διόγκωση εξαρτάται επίσης από τη μεταβολή της τιμής της φυσικής υγρασίας. Το συμπέρασμα αυτό υποστηρίζεται από τη σχετικά υψηλή τιμή του συντελεστή συσχέτισης της εξίσωσης του Σχήματος 2. Στη συνέχεια επιλέγεται ως αντιπροσωπευτική παράμετρος για την πρώτη ομάδα μεγεθών η τιμή PI και δίνονται στον Πίνακα 3 οι εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των παραμέτρων που εκφράζουν τη διόγκωση αφενός, και των παραμέτρων PI και w αφετέρου.

Οι εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης έχουν γενικά ικανοποιητικό βαθμό συντελεστή συσχέτισης, αλλά ειδικά για την τάση διόγκωσης παρατηρείται ότι οι διαφορές μεταξύ των πραγματικών και των προβλεπόμενων τιμών είναι μεγαλύτερες συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες διαφορές που προκύπτουν από τη χρήση της εκθετικής συνάρτησης, όπως αυτή δίνεται στο Σχήμα 5.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διογκούμενη άργιλος της περιοχής που εξετάστηκε απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή εξαιτίας της υψηλής τιμής της τάσης διόγκωσης και του μεγάλου πάχους των αποθέσεων.

Όπως επίσης διαπιστώθηκε από την διερεύνηση του συσχετισμού μεταξύ της τάσης διόγκωσης και των εδαφικών παραμέτρων που εξετάστηκαν, υπάρχει ικανοποιητικός βαθμός συσχέτισης, ο οποίος επιτρέπει την έμμεση εκτίμηση της τάσης διόγκωσης για τις ανάγκες του σχεδιασμού με ικανοποιητική αξιοπιστία, όταν πρόκειται για εδάφη που προέρχονται από την ίδια περιοχή.

Πίνακας 2. Μητρώο συσχέτισης.

Table 2. Correlation Matrix.

	LL	PI	W	2 μ m
LL	1			
PI	0,98	1		
W	-0,65	-0,78	1	
2 μ m	0,95	0,93	-0,61	1

Πίνακας 3. Εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης.

Table 3. Linear regression equations.

SP = 0.097 PI - 0.085 W [kg/cm ²]	R ² = 0.91
FS = 1.395 PI + 0.666 W [%]	R ² = 0.98
LS = 0.281 PI + 0.203 W [%]	R ² = 0.99

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση που εξετάστηκε, διαπιστώθηκε ότι ο ικανοποιητικότερος βαθμός συσχέτισης προκύπτει μεταξύ της τάσης διόγκωσης αφενός και του δείκτη δυναμικού διόγκωσης αφετέρου.

Προκειμένου να γενικευθούν τα συμπεράσματα αυτά, πρέπει να διερευνηθούν και άλλες περιοχές με διαφορετικό γεωλογικό υπόβαθρο. Η έρευνα αυτή αποτελεί μέρος της ευρύτερης έρευνας του πρώτου συγγραφέα της παρούσης εργασίας για τη συμπεριφορά των διογκούμενων αργιλικών εδαφών.

9. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς επιθυμούν να ευχαριστήσουν το Ινστιτούτο Γεωργικών Εφαρμογών του Υπουργείου Γεωργίας, τη Διεύθυνση Ορυκτολογίας του ΙΓΜΕ και το Εργαστήριο Εδαφομηχανικής του ΚΕΔΕ, για τη συμβολή τους στην ολοκλήρωση της εργασίας.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BELL, F. (1999). "Engineering treatment of soils". Chapman and Hall. London, UK.
- Gillot, J. (1987). "Clay in Engineering Geology". Developments in Geotechnical Engineering. Vol. 41, Elsevier, Amsterdam, pp 1550-155.
- HMSO, TRRL (1974). "Soil Mechanics for road engineers. Determination of soil shrinkage". pp. 50-53, London.
- HOLTZ, W.G. (1983). "The influence of vegetation on the swelling and shrinkage of clay in the USA". Geotechnique Vol. 33, No 2, pp 159-163.
- Khan, A.J., Ameen, S, Abedin, M, (2001). "Effect of sand layer on swelling of underlying expansive soil". Proc. 15th Intern. Conf. ISSMGE.
- Q.J.E.G., (1990). "Tropical Residual Soils". Geotechnical Society Engineering Group, Working Party Report, Vol. 23 No 1, The Quarterly Journal of Engineering Geology, UK.
- Rao, R., & Rao, K., (1998). "A case study of cracked building with design. Guidelines on expansive soils". Problematic soils, Editors, Balkema, Rotterdam.
- Schollenberger, C., J., Simon, R., H. (1945). "Determination of Exchange capacity and exchangeable bases in soil - ammonium acetate method". Soil Science, Vol. 59, pp. 13-24.
- Schreiner, H., D., (1987). "State of the Art review on expansive soils". Report compiled for T.R.R.L., Ministry of Transport, Crowthorne, Berkshire, UK.
- Sridhara, A., (1999). "Problematic Soils. Volume change behaviour of expansive soils". Balkema, Rotterdam, pp. 833-840.
- Winterkorn, H, and Baver, J, (1951). "Discussion of paper by Wooltorton on movements in the desiccated Alkaline soils of Burma". Transactions 6, ASCE, Vol.116, USA.
- Zangalis, K., (1998). "Standarless quantitative mineralogical analysis of rocks". Powder Diffraction, Vol. 13, N.2, June, pp 74 – 84.

11. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Σωτηρόπουλος, Η. (1965). "Δομή και ιδιότητες συμπυκνούμενων αργίλων". Δελτίο ΚΕΔΕ, Τομ.2, Αρ.2, Δεκ.1965.
- Ανδρονόπουλος, Β. (1980). "Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά αργίλων με μοντμοριλλονίτη στην περιοχή Μυτιλήνης". Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρίας, (ΕΓΕ), Τομ.4, σελ79-95.
- Christodoulis, J., Gassios, E. (1987). "Investigation on the motorway damage due to expansive soil in Greece". 6th Intern. Conf. on Expansive Soils, Dec., pp. 241-246, N.Delhi.
- Stamatopoulos, A., Kotzias, P. (1987). "Free Swell test on undisturbed clay". Proc. 6th Intern. Conf. on Expansive soils, pp. 281, New Delhi, India.
- Stamatopoulos, A, Gassios, E, Christodoulis, J., Giannaros, H. (1989). "Recent experiences with swelling soils". Proc 12th Intern. Conf. on SMFE, Rio de Janeiro, Vol. 1, Brasil.
- Stamatopoulos, A. Christodoulis, J Giannaros, H, (1992). "Treatment of expansive soils for reducing swell potential and increasing strength". Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol.25, pp 301-312. U.K.
- Tsiambaos-Tsaligopoulos, (1995). "A proposed method of estimating the swelling characteristics of soils". Bullt. of I.A.E.G.,Paris, No. 52, pp. 109-115.
- Kollaros, G., Athanasopoulou, A. (1997). "The character and Identification of swelling soils in road construction projects". Engineering Geology and the Environment Balkema, Rotterdam.
- Christodoulis – Dovas – Tsatsanifos - Zaccas (1998). "Treatment of a marshy area with lime for reclamation purposes". Proc.8th Intr. Cong. Intern. Assoc. Eng. Geol. Sept. pp. 21-25, Vancouver.
- Παπακυριακόπουλος, Π, Κουδουμάκης, Π (2001). "Διογκούμενα Εδάφη Περιοχής Θράκης". Πρακτικά 4 Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, ΕΕΕΘ-ΤΕΕ, Αθήνα, Μάιος, pp. 163-170.
- Χριστοδουλιάς, Ι., Σταυριδάκης, Ε., Τσότσος, Σ., Χατζηγώγος, Θ. (2001). "Η επίδραση του τσιμέντου στα Όρια Atterberg, Συρρίκνωση, Αντοχή και Διάβρωση εδάφους". 4 Πανλ Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής, ΕΕΕΘ-ΤΕΕ, Αθήνα, Μάιος, Τομ.1, σελ.

483-489.
Xeidakis-Koudoumakis-Tsirabides (2004). "Road construction on swelling soils. The case

of Strymi soils, Rhodope, Thrace, North Greece". Bull. Eng. Geol. Env. pp 93-101.