

Εγγενείς Ιδιότητες Εδαφών και Συσχέτιση με τα Φυσικά τους Χαρακτηριστικά

Intrinsic Properties of Soils and Correlation with their Index Properties

ΜΠΕΛΟΚΑΣ, Γ.
ΚΑΒΒΑΔΑΣ, Μ.

Πολιτικός Μηχανικός, Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.
Πολιτικός Μηχανικός, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Η παρούσα εργασία ασχολείται με τον προσδιορισμό των εγγενών ιδιοτήτων ενός εδαφικού υλικού από τα φυσικά χαρακτηριστικά του. Εγγενείς ιδιότητες είναι οι σταθερές παράμετροι που περιγράφουν τις μη δομημένες καταστάσεις και εμφανίζονται στη μαθηματική περιγραφή του πλαισίου εγγενούς συμπιεστότητας. Ξεκινώντας από θεωρήσεις Εδαφομηχανικής Κρίσιμης Κατάστασης προτείνονται ημι-εμπειρικές συσχετίσεις της εγγενούς συμπιεστότητας, λ , και της κρίσιμης κλίσης, M , ως προς τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδαφικού υλικού. Οι συσχετίσεις αυτές και η σχέση του Wood για τη θέση τη καμπύλης κρίσιμης κατάστασης, Γ , εφαρμόζονται επιτυχώς σε πειραματικά δεδομένα δείγματος αναζυμωμένης αργίλου Vallericca.

ABSTRACT : This work deals with the estimation of the intrinsic properties of a soil material from its index properties. Intrinsic properties are the constant parameters that describe the structureless states and appear in the mathematic formulation of the intrinsic compressibility framework. Having as a starting point the Critical State Soil Mechanics, semi-empirical correlations for the intrinsic compressibility, λ , and for the critical slope, M with respect to the index properties of the soil material are being proposed. These correlations and Wood's equation for the position of the critical state curve, Γ , are successfully applied to experimental data from a reconstituted Vallericca clay.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

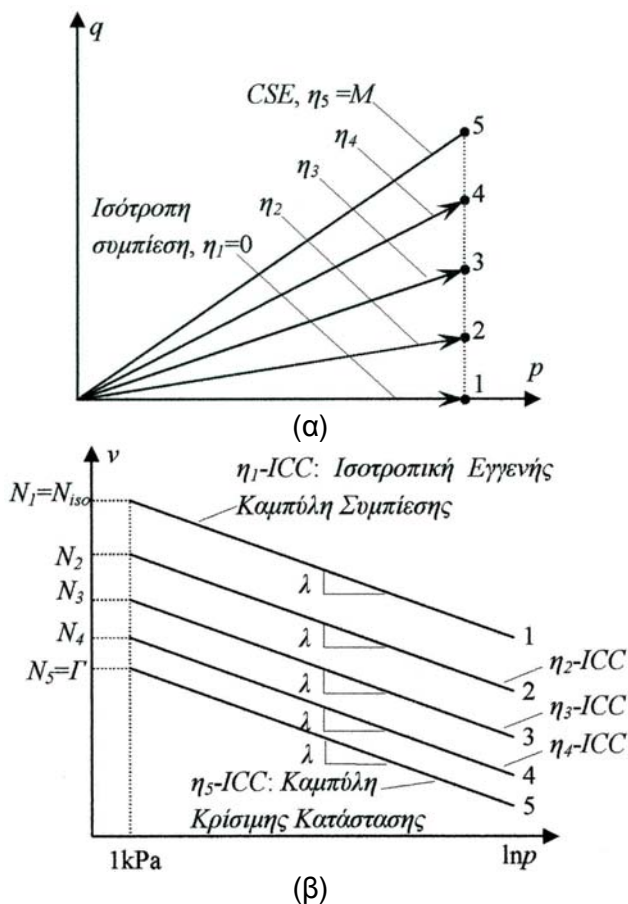
Οι εγγενείς ιδιότητες είναι οι σταθερές παράμετροι που περιλαμβάνονται στη μαθηματική διατύπωση που περιγράφει τις μη δομημένες (ή εγγενείς) καταστάσεις ενός γεωυλικού. Ακολουθώντας τον ορισμό του Vaughan (1988), μη δομημένη κατάσταση είναι η κατάσταση κατά την οποία οι μόνες μεταβλητές που περιγράφουν την απόκριση του υλικού είναι ο τρέχων ειδικός όγκος, v , και ο τρέχων τανυστής των ενεργών τάσεων, σ , δηλαδή η τρέχουσα κατάσταση (v , σ). Ειδικότερα, οι εγγενείς ιδιότητες χωρίζονται στις σταθερές της εγγενούς συμπιεστότητας (*intrinsic compressibility*), οι οποίες ορίζουν τις εγγενείς καμπύλες συμπίεσης (*intrinsic compression curves, ICC*), και στις σταθερές κρίσιμης κατάστασης αστοχίας (*critical state failure*), οι οποίες ορίζουν την περιβάλλουσα κρίσιμης κατάστασης (*critical state envelope, CSE*). Σύνηθες παράδειγμα μη δομημένου

υλικού είναι το αρχικά αναζυμωμένο σε ποσοστό υγρασίας περί το $w=1.0 \div 1.5w_L$ (w_L το όριο υδαρότητας) και στη συνέχεια φορτισμένο στη συσκευή οιδημέτρου σε μεγάλα επίπεδα κατακόρυφης τάσης (π.χ. $\sigma_v > 1\text{MPa}$).

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τον προσδιορισμό των εγγενών ιδιοτήτων των εδαφικών υλικών από τα φυσικά χαρακτηριστικά τους. Οι συσχετίσεις που παρουσιάζονται είναι διατυπωμένες για τις αξονοσυμμετρικές συνθήκες της τυπικής τριαξονικής θλίψης. Στις συνθήκες αυτές η τασική κατάσταση περιγράφεται από τη μέση ορθή ενεργό τάση $p=(\sigma_v+2\sigma_h)/3=(\sigma_1+2\sigma_3)/3$ και τη διεκτροπική τάση $q=\sigma_v-\sigma_h=\sigma_1-\sigma_3$, ενώ η παραμορφωσιακή κατάσταση από την ογκομετρική παραμόρφωση $\varepsilon=\varepsilon_v+2\varepsilon_h=\varepsilon_1+2\varepsilon_3$ και τη διεκτροπική παραμόρφωση $\varepsilon_q=2(\varepsilon_v-\varepsilon_h)/3=2(\varepsilon_1-\varepsilon_3)/3$. Τις απειροστές μεταβολές των μεγεθών αυτών τις συμβολίζουμε ως \dot{p} , \dot{q} , $\dot{\varepsilon}$ και $\dot{\varepsilon}_q$.

2. ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΓΓΕΝΟΥΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ

Οι Belokas *et al* (2005) έχουν παρουσιάσει το πλαίσιο εγγενούς συμπίεστούτητας, το οποίο στηρίζεται σε ευρήματα από τη διεθνή εργαστηριακή έρευνα και έχει εφαρμοστεί στο καταστατικό προσομοίωμα που προτείνουν για τα μη δομημένα εδαφικά υλικά. Σύμφωνα με το πλαίσιο αυτό, οι μη δομημένες καταστάσεις αντιστοιχούν σε συνθήκες ακτινικής συμπίεσης (ακτινικές τασικές οδεύσεις, $\eta=q/p=\dot{\eta}=\dot{p}/\dot{q}$), ενώ για κάθε ακτινική τασική οδεύση αντιστοιχεί μια μοναδική ICC καμπύλη (Σχήμα 1), υπάρχει δηλαδή μια αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία.



Σχήμα 1. Πλαίσιο εγγενούς συμπίεστούτητας.
Figure 1. Intrinsic compressibility framework.

Στην παρούσα εργασία οι ICC καμπύλες προσομοιώνονται γραμμικές στο επίπεδο $v-\ln p$ σύμφωνα με τη σχέση (1), όπου $N_{iso} \leq N_{\eta} \leq \Gamma$, με τα μεγέθη N_{iso} και Γ να ορίζουν την ισότροπη εγγενή καμπύλη συμπίεσης (isotropic intrinsic compression curve, I -ICC) και την καμπύλη κρίσιμης κατάστασης (critical state curve, CSC) αντίστοιχα. Η CSC

επιλέγεται όμοια των ICC καμπυλών και συνεπώς δίνεται από τη σχέση 2. Στο επίπεδο $q-p$, υπό συνθήκες αξονοσυμμετρικής τριαξονικής θλίψης είναι $0 \leq \eta \leq M$, όπου οι τιμές $\eta=0$ και $\eta=M$ αφορούν την ισότροπη συμπίεση και την κρίσιμη κατάσταση αντίστοιχα. Οι Kanvadas & Belokas (2001) και Belokas *et al* (2005), στηριζόμενοι σε πειραματικά δεδομένα από τη διεθνή βιβλιογραφία για διάφορους τύπους υλικών, έχουν παρουσιάσει σχέσεις που συνδέουν τα μεγέθη N_{η} και η . Η διερεύνηση των σχέσεων αυτών είναι έξω από τους στόχους της παρούσας εργασίας.

$$v = N_{\eta} - \lambda \cdot \ln p \quad (1)$$

$$v_{cs} = \Gamma - \lambda \cdot \ln p_{cs} \quad (2)$$

Έτσι, οι εγγενείς ιδιότητες στην παρούσα εργασία είναι οι σταθερές λ , N_{iso} , Γ και M .

3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΓΓΕΝΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Ο Wood (1990) έχει παρουσιάσει μια μεθοδολογία για τον προσδιορισμό ορισμένων εγγενών ιδιοτήτων από τα φυσικά χαρακτηριστικά (*index properties*) του εδαφικού υλικού για την περίπτωση που η κρίσιμη κατάσταση προσομοιώνεται από τις σχέσεις 2 και 3 και η συμπίεστούτητα από τη σχέση 1. Έτσι, για κορεσμένα εδαφικά υλικά, όπου $v=1+G_s w$, η αστράγγιστη διατμητική αντοχή είναι $c_u = q_{cs}/2$ και εφαρμόζοντας τις σχέσεις 2 και 3 προκύπτει η σχέση 4. Θεωρώντας πως για $w=w_L$ είναι $c_{uL}=2kPa$ (αστράγγιστη διατμητική αντοχή σε αξονοσυμμετρική θλίψη, οι Terzaghi *et al*, 1996 αναφέρουν εύρος 1.5 kPa με 2.5kPa) και πως για $w=w_P$ (w_P το όριο πλαστικότητας) είναι $c_{uP} \approx 200kPa$ (σύμφωνα με τον Mitchel, 1992) και εφαρμόζοντας τη σχέση 4 προκύπτει η σχέση 5 (όπου $I_p = w_L - w_P$) που αποτελεί έναν έμμεσο τρόπο εκτίμησης της συμπίεστούτητας του υλικού, λ (ή $C_c = \lambda \cdot \ln(10)$), ενώ από τη σχέση 4 προκύπτουν οι σχέσεις 6 και 7.

$$q_{cs} = M p_{cs} \quad (3)$$

$$c_u = (M/2) \exp[(\Gamma - v)/\lambda] = (M/2) \exp[(\Gamma - 1 - G_s w)/\lambda] \quad (4)$$

$$\lambda = G_s \cdot I_p / \ln(c_{uP}/c_{uL}) \cong G_s \cdot I_p / \ln(100) \quad (5)$$

$$M = 2c_{uL} / \exp[(\Gamma - 1 - G_s w_L)/\lambda] \cong 4 / \exp[(\Gamma - 1 - G_s w_L)/\lambda]$$

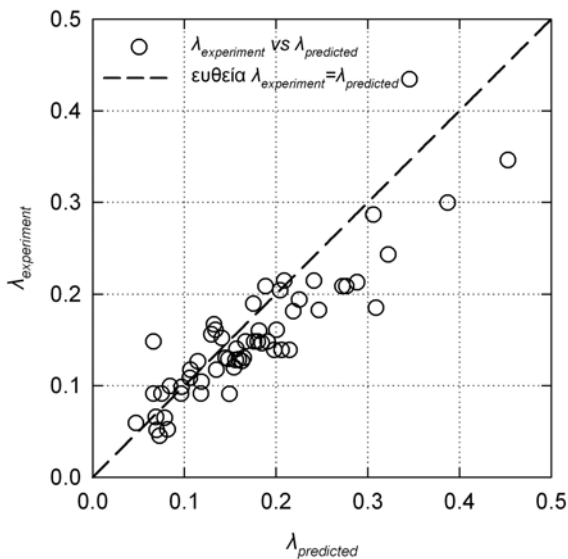
(6)

$$\Gamma = 1 + G_s \cdot w_L + \lambda \cdot \ln(2c_{uL}/M) \cong 1 + G_s \cdot w_L + \lambda \cdot \ln(4/M) \quad (7.1)$$

$$\Gamma = 1 + G_s \cdot w_L + \lambda \cdot \ln(2c_{uP}/M) \cong 1 + G_s \cdot w_L + \lambda \cdot \ln(400/M) \quad (7.2)$$

4. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΕΓΓΕΝΟΥΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΑ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

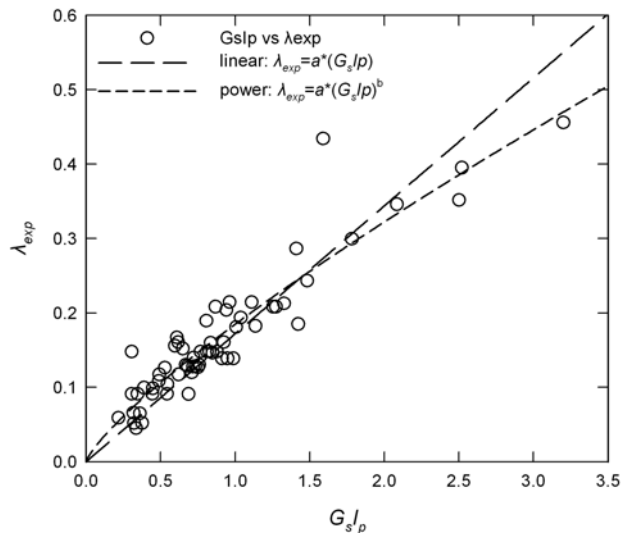
Η σχέση 5 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της εγγενούς συμπίεστος λ γνωρίζοντας μόνο τα φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού. Στο Σχήμα 2 συγκρίνονται οι προβλεπόμενες, βάσει της σχέσης 5 (όπου $c_{uP}/c_{uL}=100$), τιμές του λ με αυτές που έχουν προκύψει από εργαστηριακές δοκιμές ακτινικής συμπίεσης. Οι περισσότερες αφορούν ισότροπη και μονοδιάστατη συμπίεση. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτά που παρουσιάζουν οι Allman & Atkinson (1992), Amorosi & Rampello (1998), Amorosi *et al* (1999), Burland (1990), Cafaro & Cotecchia (2001), Canestrari & Scarpelli (1993), Chandler (2000), Cotecchia & Chandler (1997), Gens (1982), Lehane & Faulkner (1998), Lewin & Burland (1970), d'Onofrio *et al* (1998), Rampello & Silvestri (1993), Rampello *et al* (1993, 1997), Santucci *et al* (1998), Scarpelli & Canestrari (1998), Wood (1990), Κονίνης *et al* (2001), και αφορούν 54 συνολικά διαφορετικά υλικά.



Σχήμα 2. Σύγκριση της πειραματικά εκτιμώμενης εγγενούς συμπίεστος με αυτή που προβλέπει η σχέση 5.

Figure 2. Comparison of the experimentally estimated intrinsic compressibility with the one computed from equation 5.

Εφαρμόζοντας $c_{uP}/c_{uL}=100$ προκύπτει συντελεστής συσχέτισης $R^2=0.5926$ για την ευθεία $\lambda_{\text{experiment}}=\lambda_{\text{predicted}}$. Ωστόσο, από το Σχήμα 3 είναι εμφανές πως υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών λ και $G_s \cdot I_p$. Για τα δεδομένα του Σχήματος 3 έγιναν αναλύσεις παλινδρόμησης, οι οποίες συνοψίζονται στον Πίνακα 1. Διαπιστώνεται πως η εκθετική συνάρτηση προσομοιώνει καλύτερα τα δεδομένα (σημαντική αύξηση του συντελεστή συσχέτισης σε $R^2=0.859$), κάτι που σημαίνει ότι η παραδοχή $c_{uP}/c_{uL}=100$ ανεξαρτήτως υλικού είναι καθαρά προσεγγιστική και δεν ισχύει. Έτσι, προτείνεται η σχέση 8, με εφαρμογή της οποίας προκύπτει το Σχήμα 4, όπου φαίνεται η μείωση της διασποράς των δεδομένων ως προς την ευθεία $\lambda_{\text{experiment}}=\lambda_{\text{predicted}}$.



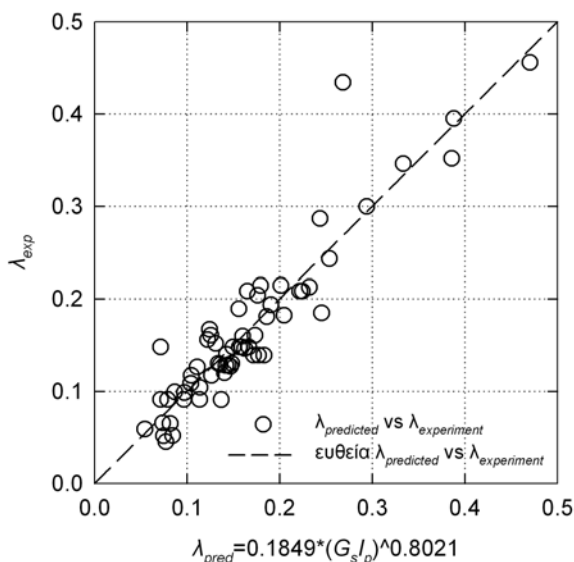
Σχήμα 3. Γράφημα των πειραματικά εκτιμώμενων λ και $G_s \cdot I_p$.
Figure 3. Graph of the experimentally estimated λ and $G_s \cdot I_p$.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα αναλύσεων παλινδρόμησης για τον προσδιορισμό της συμπίεστος λ .

Table 1. Regression analyses results for the estimation of compressibility λ .

Εξίσωση	Σταθερές	R^2
Γραμμική: $\lambda=a(G_s/I_p)$	$a=0.1719$	0.803
Εκθετική: $\lambda=a(G_s/I_p)^b$	$a=0.1849$ $b=0.8021$	0.859

$$\lambda=0.1849(G_s/I_p)^{0.8021} \quad (8)$$

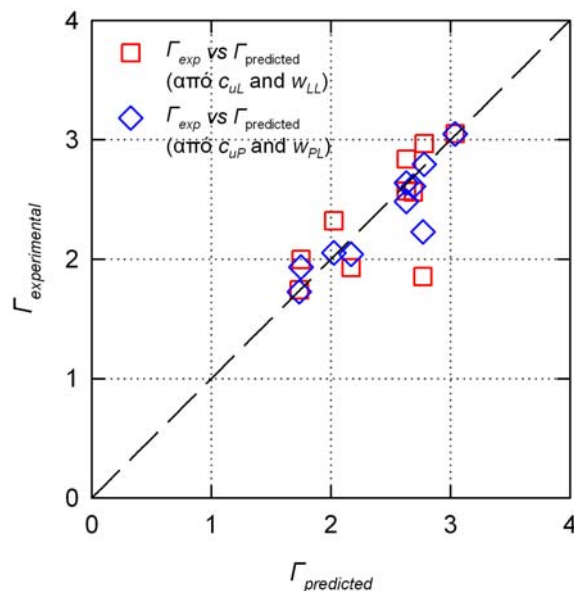


Σχήμα 4. Νέα προτεινόμενη σχέση προσδιορισμού της σταθεράς λ .
Figure 4. New proposed equation for the estimation of constant λ .

5. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΑ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η θέση της καμπύλης κρίσιμης κατάστασης (CSC) ορίζεται από την παράμετρο Γ , που εργαστηριακά είναι πιο δύσκολα εκτιμώμενη παράμετρος σε σχέση με την κρίσιμη κλίση, M . Έγινε σύγκριση των προβλέψεων που δίνουν οι σχέσεις 7.1 και 7.2 (Wood, 1990, οι οποίες κάνουν χρήση της κρίσιμης κλίσης) με τις τιμές του Γ που έχουν προσδιοριστεί πειραματικά. Η εφαρμογή των σχέσεων αυτών έγινε για τις ομάδες ζευγών $c_{uL}(=2\text{kPa})$, w_L και $c_{uP}(=200\text{kPa})$, w_P αντίστοιχα. Έτσι, προέκυψε το Σχήμα 8 που βασίζεται στα δεδομένα των Allman & Atkinson (1992), Canestrari & Scarpeli (1993), Cotecchia & Chandler (1997), Gens (1982), Lehane & Faulkner (1998), Lewin & Burland (1970), Rampello *et al* (1993, 1997) και Santucci *et al* (1998) για 9 διαφορετικούς τύπους υλικών. Από το Σχήμα 5 φαίνεται πως η χρήση του ορίου

πλαστικότητας στη σχέση 7.2 δίνει τιμές του Γ που προσεγγίζουν καλύτερα τις εκτιμώμενες πειραματικά τιμές του Γ . Ο λόγος είναι πως οι σταθερές που ορίζουν την CSC συνήθως προσδιορίζονται από καταστάσεις κατά τις οποίες η μέση ορθή τάση είναι $\sigma > 100\text{kPa}$, όπου το ποσοστό υγρασίας του μη δομημένου υλικού είναι πιο κοντά στο όριο πλαστικότητας παρά στο όριο υδαρότητας.

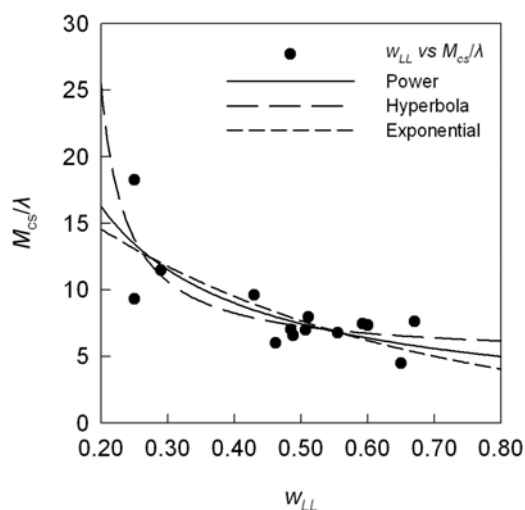


Σχήμα 6. Σύγκριση πειραματικά εκτιμώμενων τιμών της παραμέτρου Γ με την αντίστοιχη πρόβλεψη των σχέσεων 7.1 και 7.2.
Figure 5. Comparison of the experimentally estimated values of Γ parameter with the corresponding estimation of 7.1 and 7.2 equations.

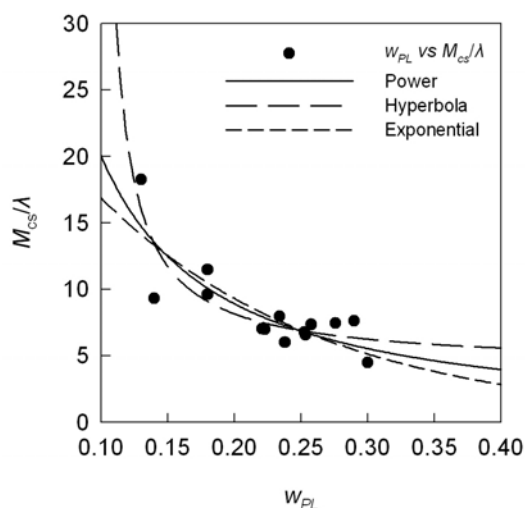
6. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Η εφαρμογή των σχέσεων 7.1 και 7.2 για τον προσδιορισμό της παραμέτρου Γ απαιτεί γνώση της κρίσιμης κλίσης M . Έτσι, αναζητήθηκε εμπειρική συσχέτιση για τον προσδιορισμό της κρίσιμης κλίσης από τα φυσικά χαρακτηριστικά. Βρέθηκε πως η χρήση της εργαστηριακά προσδιορισμένης συμπίεστότητας λ μειώνει τη διασπορά των δεδομένων, έτσι παρουσιάζονται τα δεδομένα του M/λ ως προς το όριο υδαρότητας (w_{LL}), το όριο πλαστικότητας (w_{PL}), το λόγο κενών στο όριο υδαρότητας (e_{LL}) και το λόγο κενών στο όριο πλαστικότητας (e_{PL}). Τα Σχήματα 6α,β,γ,δ, βασίστηκαν σε πειραματικά δεδομένα από τους Allman & Atkinson (1992), Cafaro & Cotecchia (2001), Canestrari & Scarpeli

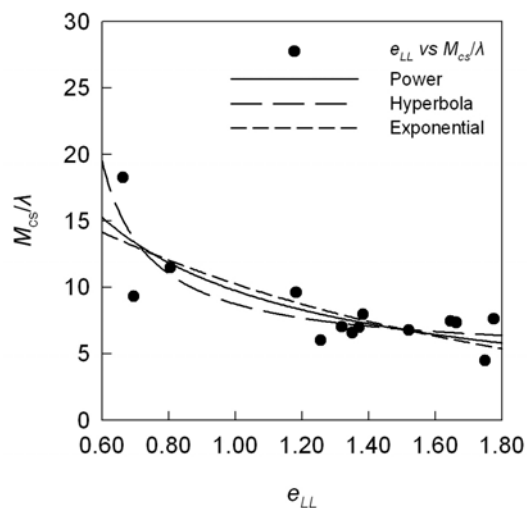
(1993), Cotecchia & Chandler (1997), Gens (1982), Lehane & Faulkner (1998), Lewin & Burland (1970), Wood (1990), Rampello *et al* (1993, 1997) και Scarpelli & Canestrari (1998) για 10 διαφορετικούς τύπους υλικών σε συνθήκες αξονοσυμμετρικής θλίψης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παλινδρόμησης του Σχήματος 6δ που δίνει τον καλύτερο συντελεστή συσχέτισης παρατίθενται στον Πίνακα 2. Λαμβάνοντας υπόψη τον Πίνακα 2 και το γράφημα του Σχήματος 6δ προτείνεται η εφαρμογή της σχέσης 9 για την εκτίμηση της κρίσιμης κλίσης. Σημειώνεται πως και στη σχέση 6 (Wood, 1990) που προέκυψε μόνο από θεωρήσεις Εδαφομηχανικής Κρίσιμης Κατάστασης υπάρχει εξάρτηση της κρίσιμης κλίσης, M , από τη συμπιεστότητα, λ .



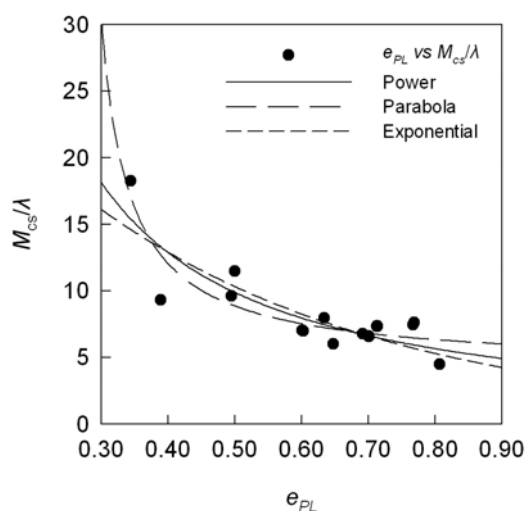
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχήμα 6. Συσχετισμός του λόγου M/λ με φυσικές ιδιότητες για διάφορα υλικά.
Figure 6. Correlation of M/λ ratio with index properties.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα αναλύσεων παλινδρόμησης συσχέτισης M_{cs}/λ με e_{PL} .

Table 2. Regression analyses results of M_{cs}/λ with e_{PL} correlation.

Συναρτήση ¹	a	b	R ²
Δύναμης: $y=a \cdot x^b$	4.332	-1.19	0.7354
Υπερβολική: $y=a \cdot x/(b+x)$	4.278	-0.2583	0.7984
Εκθετική: $y=a \cdot e^{-bx}$	30.148	2.232	0.6906

¹ στις συναρτήσεις είναι $y=M_{cs}/\lambda$ και $x=e_{PL}$

$$M/\lambda = 4.332(e_{PL})^{-1.19} \quad (9)$$

7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΣΕ ΑΝΑΖΥΜΩΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ

Οι συσχετίσεις που προτείνονται στην παρούσα εργασία εφαρμόζονται για την αναζυμωμένη άργιλο Vallericca που έχει παρουσιαστεί από τους Belokas *et al* (2005), οι οποίοι αναφέρουν τα φυσικά χαρακτηριστικά του Πίνακα 3 και τις εγγενείς ιδιότητες του Πίνακα 4. Από τον Πίνακα 3 προκύπτουν $e_{LL}=G_s \cdot w_{LL}=1.519$ και $e_{PL}=G_s \cdot w_{PL}=0.692$.

Πίνακας 3. Φυσικά χαρακτηριστικά αναζυμωμένης άργιλου Vallericca
Table 3. Index properties of reconstituted Vallericca clay.

w_{LL} (%)	w_{PL} (%)	PI (%)	G_s
55.5	25.3	30.2	2.737

Πίνακας 4. Εγγενείς ιδιότητες αναζυμωμένης άργιλου Vallericca
Table 4. Intrinsic properties of reconstituted Vallericca clay.

λ	M	Γ	K_o (η_o)
0.153	0.98	2.70	0.565 (0.613)

Με εφαρμογή της σχέσης 5 (Wood, 1990) προκύπτει $\lambda=0.1795$ και συνεπώς από τη σχέση 9 προκύπτει $M=1.204$. Η εφαρμογή της σχέσης 8 δίνει $\lambda=0.1587$, ενώ από τη σχέση 9 προκύπτει $M=1.065$. Παρατηρούμε δηλαδή πως η εφαρμογή της σχέσης 8 που προτείνεται στην παρούσα εργασία όχι μόνο δίνει καλύτερο αποτέλεσμα από αυτό της σχέσης 5 που προτείνει ο Wood (1990), αλλά επιπρόσθετα η πρόβλεψη είναι πολύ κοντά στην εκτιμώμενη από τα πειραματικά δεδομένα τιμή (Πίνακας 4). Άμεση συνέπεια αυτού είναι και η καλύτερη πρόβλεψη της κρίσιμης κλίσης.

Η σχέση 9 με απευθείας χρήση της τιμής $\lambda=0.153$ του Πίνακα 4 δίνει κρίσιμη κλίση ίση με $M=1.026$, η οποία είναι βελτιωμένη πρόβλεψη σε σχέση με την προηγούμενη τιμή $M=1.065$. Συνεπώς, η σχέση 9 που προτείνεται στην παρούσα εργασία δίνει σχετικά ικανοποιητική πρόβλεψη για την κρίσιμη κλίση ($M=0.98$ είναι η πειραματικά εκτιμώμενη που παρουσιάζεται στον Πίνακα 4).

Η κρίσιμη κλίση $M=1.065$ αντιστοιχεί σε γωνία κρίσιμης κατάστασης $\phi_{cs}=26.89$, οπότε, η σχέση του *Jaky* δίνει $K_o=1-\sin\phi=0.5479$ και συνεπώς είναι $\eta_o=0.6472$. Οι τιμές $M=1.026$ και $M=0.98$ δίνουν $\eta_o=0.6188$ και $\eta_o=0.5857$

αντίστοιχα. Η πειραματικά εκτιμώμενη τιμή που δίνουν οι Belokas *et al* (2005) είναι $\eta_o=0.613$ (Πίνακας 4).

Τέλος, εφαρμόζοντας τις σχέσεις 7.1 και 7.2 με $\lambda=0.1587$ προκύπτουν $\Gamma=2.7291$ και $\Gamma=2.6334$ αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές, συγκρινόμενες με την τιμή που προέκυψε πειραματικά και παρατίθεται στον Πίνακα 4, παρατηρούμε πως αποτελούν μια καλή προσέγγιση.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν συσχετίσεις των εγγενών ιδιοτήτων των εδαφικών υλικών από τα φυσικά τους χαρακτηριστικά.

Αρχικά έγινε μια συνοπτική διατύπωση του πλαισίου εγγενούς συμπεριστασιότητας των Belokas *et al* (2005), όπου παρουσιάστηκαν οι εγγενείς ιδιότητες.

Η Θεωρία Κρίσιμης Κατάστασης και τα δεδομένα από εργαστηριακές δοκιμές απετέλεσαν τη βάση για την εξαγωγή των νέων ημι-εμπειρικών σχέσεων που προτείνονται στην παρούσα εργασία. Έτσι, οι βασικές σχέσεις που προτείνονται είναι η σχέση 8 για τον προσδιορισμό της εγγενούς συμπεριστασιότητας (λ) και η σχέση 9 για τον προσδιορισμό της κρίσιμης κλίσης (M). Οι σχέσεις αυτές εφαρμόστηκαν στην αναζυμωμένο άργιλο Vallericca των Belokas *et al* (2005) και έδωσαν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Επίσης, διερευνήθηκε η δυνατότητα εφαρμογής των σχέσεων 7.1 και 7.2 που πρότεινε ο Wood (1990) για τον προσδιορισμό της παραμέτρου Γ . Δεδομένων των αβεβαιοτήτων που υπάρχουν στον προσδιορισμό της παραμέτρου Γ από πειραματικά δεδομένα, η εκτίμηση που δίνουν οι σχέσεις 7.1 και 7.2 κρίνεται επίσης ικανοποιητική.

Συνεπώς, διαπιστώνεται πως είναι δυνατή η προεκτίμηση τριών βασικών εγγενών ιδιοτήτων μόνο από τα φυσικά τους χαρακτηριστικά. Οι ιδιότητες αυτές είναι η εγγενής συμπεριστασιότητα (λ), η κρίσιμη κλίση (M) και η σταθερά Γ που ορίζει τη θέση της καμπύλης κρίσιμης κατάστασης στο επίπεδο v - $\ln p$. Η προεκτίμηση αυτών των εγγενών ιδιοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επαλήθευση των εκτιμώμενων τιμών από τα πειραματικά δεδομένα.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allman M.A. and Atkinson J.H. (1992), "Mechanical properties of reconstituted Bothe Kennar soil". *Géotechnique*, Vol.42, No.2, pp. 289-301.
- Amorosi A. and Rampello S. (1998), "The influence of natural soil structure on the mechanical behaviour of a stiff clay". *Proc. 2nd Int. Symp. on the Geotechnics of Hard Soils – Soft Rocks*, in Napoli. Rotterdam, Balkema. Vol.1, pp. 395-402.
- Amorosi A., Callisto L. and Rampello S. (1999), "Observed behavior of reconstituted clay along stress paths typical of excavations". *Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials*, pp. 35-42.
- Belokas G., Kavvas M. & Amorosi A. 2005. "Modelling the behaviour of reconstituted soils under radial stress paths". *Proc. 11th Int. Conf. on Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)*, in Turin, Italy. June 2005. (προς έκδοση).
- Burland J.B. (1990), "On the compressibility and shear strength of natural clays". *Géotechnique*. Vol.40, No.3, pp. 329-378.
- Cafaro F. and Cotecchia F. (2001). "Structure degradation and changes in the mechanical behaviour of a stiff clay due to weathering". *Géotechnique*. Vol.51, No.5, pp. 441-453.
- Canestrari F and Scarpelli G. (1993), "Stress-dilatancy and strength of Ancona clay". *Proc. Int. Symp. on the Geotechnical Engineering of Hard Soils – Soft Rocks*, in Athens. Rotterdam, Balkema. Vol.1, pp. 417-424.
- Chandler R.J. (2000), "Clay sediments in depositional basins: the geotechnical cycle". *The 3rd Glossop Lecture. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, Vol.33, pp. 9-39.
- Cotecchia F. and Chandler R.J. (1997), "The influence of structure on the pre-failure behaviour of a natural clay". *Géotechnique*, Vol.47, No.3, pp. 523-544.
- Gens A. (1982), "Stress-strain and strength of a low plasticity clay". Ph.D. Imperial College of Science, Technology and Medicine. University of London. U.K.
- Kavvas M.J. and Belokas G. (2001). "An Anisotropic Elastoplastic Constitutive Model for Natural Soils". *Proc. 10th Int. Conf. on Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)*, in Tucson, Arizona, USA. Vol 1, pp 335-340.
- Κονίνης Γ.Ε., Τίκα Θ.Μ., Καλλιόγλου Π.Α. και Σαρηγιάννης (2001). "Η επίδραση της δομής φυσικών αργιλικών υλικών στη συμπίεστίότητά τους". Πρακτικά, 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Γεωτεχνικής, Αθήνα. ΤΕΕ – ΕΕΕΘ. Τόμος 1, pp. 81 – 88.
- Lehane B. and Faulkner A. (1998), "Stiffness and strength characteristics of a hard lodgement till". *Proc. 2nd Int. Symp. on the Geotechnics of Hard Soils – Soft Rocks*, in Napoli. Rotterdam, Balkema. Vol.2, pp. 637-646.
- Lewin P.I. and Burland J.B. (1970), "Stress-probe experiments on saturated normally consolidated clay". *Géotechnique*. Vol.20, No.1, pp. 38-56.
- Mitchell J.K. (1992), "Fundamentals of Soil Behavior". John Wiley & Sons, Inc. New York. Edition. p. 437.
- d' Onofrio A., de Magistris F.S. and Olivares L. (1998), "Influence of soil structure behaviour of two natural stiff clays in the pre-failure range". *Proc. 2nd Int. Symp. on the Geotechnics of Hard Soils – Soft Rocks*, in Napoli. Rotterdam, Balkema. Vol.1, pp. 497-505.
- Rampello S., Viggiani G.M.B. and Amorosi A. (1997), "Small-strain stiffness of reconstituted clay compressed along constant triaxial effective stress ratio paths". *Géotechnique*, Vol.47, No.3, pp. 475-489.
- Rampello S., Viggiani G. and Georgiannou V.N. (1993), "Strength and dilatancy of natural and reconstituted Vallericca clay". *Proc. Int. Symp. on the Geotechnical Engineering of Hard Soils – Soft Rocks*, in Athens. Rotterdam, Balkema. Vol.1, pp. 761-768.
- Rampello S. and Silvestri F. (1993), "The stress-strain behaviour of natural and reconstituted samples of two overconsolidated clays". *Proc. Int. Symp. on the Geotechnical Engineering of Hard Soils – Soft Rocks*, in Athens. Rotterdam, Balkema. Vol.1, pp. 769-778.
- Santucci de Magistris F., Tatsuoka F., Sato T. and Koseki J. (1998). "Effects of strain rate and ageing on small strain behaviour of a compacted silty sand". *Proc. Int. Symp. on the Geotechnics of Hard Soils – Soft Rocks*, in Napoli. Rotterdam, Balkema. Vol.2, pp. 843-854.
- Scarpelli G. and Sakellariadi E. (1998), "Dilatancy and strength of a reconstituted overconsolidated clay". *Proc. 2nd Int. Symp.*

- on the Geotechnics of Hard Soils – Soft Rocks, in Napoli. Rotterdam, Balkema. Vol.2, pp. 855-860.
- Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996), “Soil Mechanics in Engineering Practice”. John Wiley & Sons, Inc. New York, 3rd Edition, p. 549.
- Vaughan P.R. (1988), “Characterising the mechanical properties of in-situ residual soil”. Proc. 2nd Int. Conf. Geomechanics in Tropical Soils. Singapore. Vol.2, pp. 469-487.
- Wood. D. Muir. (1990). “Soil Behaviour and Critical State Soil Mechanics”. Cambridge University Press, p. 462.