

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΑΡΓΑΪΚΩΝ ΕΛΔΦΩΝ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ*

Α. ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ¹ & Θ. ΠΑΠΑΛΙΑΓΚΑΣ²

ΣΥΝΟΨΗ

Τα μαργαϊκά εδάφη παρουσιάζονται κυρίως με λευκοκίτρινο χρώμα. Στα ακατέργαστα δείγματα κατά σειρά αφθονίας επικρατούν τα ορυκτά: ασβεστίτης (31-59%), αργιλικά ορυκτά (20-34%) και χαλαζίας (12-20%). Στο αργιλικό κλάσμα (<2 μm) κατά σειρά αφθονίας επικρατούν, σε αμιγείς και ενδοστρωματωμένες φάσεις, τα αργιλικά ορυκτά: ιλλίτης, σμεκτίτης και βερμικουλίτης. Ο χλωρίτης και ο καολινίτης απουσιάζουν. Σύμφωνα με το Ενοποιημένο Σύστημα Κατάταξης Εδαφών κατά ASTM, τα εξεταζόμενα εδάφη ανήκουν κυρίως στις ομάδες ΜΗ και CH (ανόργανες ιλύες και ανόργανες άργιλοι αντίστοιχα, με μεγάλη πλαστικότητα και όριο υδαρότητας >50%), καθώς και στην ομάδα CL (ανόργανες άργιλοι με χαμηλή πλαστικότητα και όριο υδαρότητας <50%). Ο βαθμός συνεκτικότητας και αποσκλήρυνσης, καθώς και ο βαθμός συμπαγοποίησης αυτών των εδαφών είναι μέτριος. Περιέχουν σε σημαντικές ποσότητες αμυγή ή ενδοστρωματωμένο σμεκτίτη και παρουσιάζουν κυρίως υψηλό ως πολύ υψηλό δυναμικό διόγκωσης και ενεργότητα μεταξύ 0,5 και 2,0. Συμπεραίνεται ότι πρέπει να παίρνονται ειδικά προσοικονομικά μέτρα, όταν είναι αναπόφευκτη η θεμελίωση διάφορων έργων πάνω σε αυτά τα μαργαϊκά εδάφη, γιατί διογκώνονται και συρρικνώνονται εκτεταμένα.

ABSTRACT

The mainly white-yellow marly soils studied present medium degree of consolidation and induration. The predominant grain size of the non - carbonate constituents is that of silt varying from 34 to 64%. According to the textural classification of soils of the SSDS the samples are mainly silty-clay loams with moisture capacity 30-40%. In the untreated samples in decreasing abundance the following minerals predominate: calcite (31-59%), clay minerals (20-34%) and quartz (12-20%). In the clay fraction (<2μm) in decreasing abundance the following clay minerals (in discrete and interstratified phases) predominate: illite, smectite and vermiculite. Chlorite and kaolinite are missing. Mineralogically the marly soils are immature, because of the extended presence of Fe-Mg minerals (i.e. amphiboles, pyroxenes and clay minerals). According to the Unified Soil Classification System of the ASTM the studied marly soils mainly belong to the groups MH and CH (inorganic silts and inorganic clays respectively with high plasticity and liquid limit >50%), as well as to the group CL (inorganic clays with low plasticity and liquid limit <50%). The degree of consolidation and induration, as well as of compaction of these soils is medium. They contain significant amounts of discrete or interstratified smectite and mainly present high to very high swelling potential and activity between 0.5 and 2.0. It is concluded that specific precautions must be taken into account, when it is unavoidable the foundation of various constructions on these marly soils, because they swell and shrink extensively.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: μαργαϊκά εδάφη, ορυκτολογική σύσταση, φυσικά χαρακτηριστικά, Ηράκλειο, Κρήτη.

KEY WORDS: marly soils, mineralogical composition, physical characteristics, Heraklion, Crete.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος μάργα αναφέρεται σε μια ποικιλία υλικών τα περισσότερα των οποίων εμφανίζονται ως γεώδεις, μαλακές και ημιεύρωπτες αποθέσεις. Αυτές αποτελούνται κυρίως από μίγμα αργιλου και ασβεστόλιθου σε ποικίλες αναλογίες (συνήθως 35-65% αργίλος και 65-35% ασβεστόλιθος). Έχουν σχηματιστεί κάτω από θαλάσσιες ή λιμναίες συνθήκες και συνήθως έχουν χρώμα τεφρό (Pettijohn, 1975). Σήμερα, ο όρος χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει ένα τεφρό ως λευκό, μαλακό και γεώδες ασβεστιτικό ανθρακικό πέτρωμα που σχηματίζεται στους πυθμένες λιμνών ή τεναγών. Το CaCO₃ κυμαίνεται από 90% μέχρι <30% (Bates και Jackson, 1980).

* MINERALOGICAL COMPOSITION AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF MARLY SOILS FROM HERAKLION CRETE

1. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 540 06 Θεσσαλονίκη

2. Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, 541 01 Θεσσαλονίκη

Οι Σταματάκης και Σκουνάκης (1994) εξετάζοντας τα ψαμμιτομαργαϊκά στρώματα της Νεογενούς λεκάνης του Ηρακλείου, διαπίστωσαν την παρουσία φωσφορικών ορυκτών, η δημιουργία των οποίων οφείλεται στην απευθείας καθίζηση από υπέρκορα διαλύματα ή στην αντικατάσταση ανθρακικού υλικού από φωσφορικό σε ένα πρώιμο διαγενετικό στάδιο.

Οι διεργασίες εξαλλοίωσης των μαργών εξαρτώνται κυρίως από τις διεργασίες διάλυσης/ανακρυστάλλωσης των ανθρακικών συστατικών τους, καθώς και από τη φύση των αργιλικών συστατικών τους. Η παρουσία αυτών των δύο συστατικών προκαλεί ιδιαίτερη ευαισθησία στην αποσάθρωση των μαργών που καταλήγει σε αλλαγές στην καθαρότητα και στις μηχανικές ιδιότητές τους με την πάροδο του χρόνου (Arkin, 1988, El Amrani et al., 1998).

Η διόγκωση αργιλούχων εδαφών σε έκθεση σε υγρασία, μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένη καταστροφή σε ποικίλες κατασκευές που είναι θεμελιωμένες πάνω σε τέτοια υλικά. Η έκταση της διόγκωσης εξαρτάται κυρίως από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις φυσικομηχανικές ιδιότητές τους όπως περιεχόμενο αργιλικών ορυκτών, περιεχόμενη υγρασία, όρια Atterberg, αντοχή θλίψης κ.λπ. (Hossain et al., 1997, Shakoor και Sarman, 1997). Η συμπεριφορά διόγκωσης εδαφών πλούσιων σε αργιλικά ορυκτά έχει μελετηθεί εκτεταμένα στο παρελθόν. Οι τρεις κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη δυνατότητα διόγκωσης αυτών περιλαμβάνουν τον τύπο και το ποσοστό των αργιλικών ορυκτών που περιέχουν, τις αλλαγές στην περιεχόμενη υγρασία και την αντοχή τους.

Οι παράγοντες που καθορίζουν τη γεωτεχνική συμπεριφορά των εδαφών είναι κυρίως η σύστασή τους, το μέγεθος των κόκκων τους και το περιεχόμενό τους σε υγρασία. Π.χ. το όριο υδαρότητας (W_L), το όριο πλαστικότητας (W_p), καθώς και η μεταξύ τους αριθμητική διαφορά γνωστή ως δείκτης πλαστικότητας (I_p), αποτελούν σημαντικές ιδιότητες στη γεωτεχνική μελέτη των εδαφών. Εδάφη με πολύ χαμηλό δείκτη πλαστικότητας (<5-10%) μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα, γιατί μικρή αλλαγή του ποσοστού υγρασίας μπορεί να μετατρέψει ένα έδαφος από στερεό σε υδαρές. Επίσης, μεγάλος δείκτης πλαστικότητας (>35-40%) υποδηλώνει έδαφος με σημαντική παρουσία αργιλικών ορυκτών (κυρίως σμεκτίτη) και επομένως δυνατότητα έντονης διόγκωσης ή συρρικνωσής του κατά την ενυδάτωση ή αποξηρανσή του, αντίστοιχα.

Τα κυριότερα προβλήματα των μαργών ως εδαφών θεμελίωσης σχετίζονται άμεσα με το μεγάλο δυναμικό διόγκωσης που συνήθως παρουσιάζουν, αλλά και με τη μεγάλη διακύμανση της αντοχής τους που μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Οι λευκοκίτρινες μάργες του Ηρακλείου Κρήτης κατά κανόνα είναι ομοιογενείς και σπάνια παρουσιάζουν φύλλωση, ενώ οι τεφροκύανες μάργες παρουσιάζονται συχνά ως φυλλώδεις. Όλοι οι μαργαϊκοί σχηματισμοί της λεκάνης του Ηρακλείου είναι έντονα τεκτονισμένοι (Τσιαμπάος, 1988).

Ορυκτολογικές αναλύσεις και μηχανικές δοκιμές έχουν εφαρμοστεί στα δείγματα που συλλέχθηκαν από διαφορετικά βάθη για να προσδιοριστεί η κατανομή των κόκκων και η ορυκτολογική σύστασή τους, καθώς και τα όρια Atterberg και το δυναμικό διόγκωσης αυτών.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το υπόβαθρο της λεκάνης του Ηρακλείου Κρήτης αποτελείται κατά σειρά προς τα βαθύτερα στρώματα από τους παρακάτω αλλόχθονους αλπικούς σχηματισμούς: οφειόλιθους του Παλαιογενούς, ασβεστόλιθους του Κρητιδικού – Μ. Ηώκαινου, ασβεστόλιθους και δολομίτες του Α. Τριαδικού – Α. Ιουραϊκού και φυλλίτες, χαλαζίτες, σχιστόλιθους και μάγμαρα του Πέριμου – Α. Τριαδικού (Ι.Γ.Μ.Ε., 1996). Στους παραπάνω αλπικούς σχηματισμούς επικαθόνται σε στρωματογραφική ασυμφωνία ιζήματα κυρίως θαλάσσιας προέλευσης του Νεογενούς και Τεταρτογενούς που έχουν μεγάλη εξάπλωση και πάχος στις παραλιακές περιοχές. Αυτά αποτελούνται από λευκοκίτρινες ως τεφροκύανες μάργες, άργιλους, βιοκλαστικούς ασβεστόλιθους, ψαμίτες, κώνους κορημάτων, ποτάμεις και θαλάσσιες άμμοις (Τσιαμπάος, 1988, Ι.Γ.Μ.Ε., 1996). Στη λεκάνη του Ηρακλείου τα πάχη ποικίλουν από 400 m στα δυτικά, μέχρι 200 m στα ανατολικά και μέχρι 800 m νότια της πόλης του Ηρακλείου. Υπολείμματα αυτών των ιζημάτων διατηρούνται σε υψόμετρο μέχρι 800 m στα βουνά του Ψηλορείτη και του Δίκτη (Meulenkamp et al., 1979, Bezes, 1992, Fassoulas, 2000). Τα Νεογενή ιζήματα του βόρειου τμήματος του Νομού Ηρακλείου αποτελούνται από κτρινότεφρες, αμιγείς ή απολιθωματοφόρες μάργες, τεφρές άργιλους και λεπτές ενστρώσεις διατομιτών με συνολικό πάχος μεγαλύτερο των 100 m (Frydas, 1998). Τα ανώτερα ιζήματα δυτικά της πόλης του Ηρακλείου είναι κυρίως μάργες λευκοκίτρινου χρώματος του Κατώτερου – Μέσου Πλειόκαινου, ανήκουν στο σχηματισμό Φοινικιάς και το πάχος τους υπερβαίνει τα 150 m (Ι.Γ.Μ.Ε., 1996).

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα δείγματα προέρχονται από διαφορετικά βάθη εκσκαφών (Πίνακας 1) μέσα στα μαργαϊκά ιζήματα δυτικά της πόλης του Ηρακλείου για τη θεμελίωση κτιρίων της νέας πανεπιστημιούπολης. Τα δείγματα ξεράθη-

καν σε φούρνο θερμοκρασίας 90° C για 24 ώρες και στη συνέχεια κονιοποιήθηκαν σε μηχανικό γουδί αχάτη για ένα λεπτό. Δέκα γραμμάρια από κάθε κονιοποιημένο δείγμα υποβλήθηκαν στις παρακάτω χημικές κατεργασίες κατά Jackson (1979): Με ρυθμιστικό διάλυμα 1N οξικού νατρίου (NaOAc) - οξικού οξέος (HOAc) με pH = 5, για την αφαίρεση των ανθρακικών αλάτων. Με perhydrol (H₂O₂) 50%, για την αφαίρεση με οξείδωση των οργανικών υλών. Με ρυθμιστικό διάλυμα 0,3M κίτρικού νατρίου (Na₃C₆H₅O₇·2H₂O)-1M διττανθρακικού νατρίου (NaHCO₃) με pH = 7,3 και προσθήκη 2 g διθειονικού νατρίου (Na₂S₂O₄), για την αφαίρεση των άμορφων χιτώνων ή κρυστάλλων που είναι κυρίως οξείδια του σιδήρου και υδροξείδια του σιδήρου και αργιλίου. Οι κατεργασίες αυτές είναι απαραίτητες στην ανάλυση των λεπτομερών ιζημάτων που είναι πλούσια σε αργιλικά ορυκτά και τα οποία κάτω από φυσικές συνθήκες είναι πάντα συσσωματωμένα. Ακολούθησε κλασματοποίηση με ελεύθερη πτώση και φυγοκέντριση. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από αυτές τις κατεργασίες.

Από μέρος του κάθε κονιοποιημένου, αλλά ακατέργαστου χημικά ολικού δείγματος, ετοιμάστηκαν τυχαία προσανατολισμένα παρασκευάσματα (κόνεως) που υποβλήθηκαν σε ακτινογραφική εξέταση για ποιοτικό και ημιποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτών συστατικών τους. Επίσης, ετοιμάστηκαν παράλληλα προσανατολισμένα παρασκευάσματα των κλασμάτων 63-2 και <2 μm (μετά τις κατεργασίες των δειγμάτων) που εξετάστηκαν ακτινογραφικά. Τα ίδια παρασκευάσματα υποβλήθηκαν σε ακτινογραφική εξέταση μετά από διαπότισή τους με ατμούς αιθυλενογλυκόλης για 24 ώρες και αυτά σε νέα ακτινογραφική εξέταση μετά από πύρωσή τους στους 550° C για 2,5 ώρες. Χρησιμοποιήθηκε ακτινοβολία ακτίνων-X χαλκού και φίλτρο νικελίου σε περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS με περιοχή σάρωσης 3-43° 2θ. Για τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτών συστατικών χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι των Schultz (1964), Perry και Hower (1970) και Moore και Reynolds (1997).

Για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος κατά ASTM D 4318 (1993).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα μαργαϊκά εδάφη που εξετάζονται έχουν χρώμα κυρίως λευκοκίτρινο. Ο βαθμός συνεκτικότητας και αποσκήρυξης αυτών είναι μέτριος, εξαιτίας της παρουσίας κόκκων ποικίλης κοκκομετρικής και ορυκτολογικής σύστασης, καθώς και των ήπιων συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας στις οποίες έχουν υποβληθεί.

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 συμπεραίνονται τα παρακάτω:

Το συνολικό ποσοστό των ανθρακικών συστατικών, της οργανικής ύλης και των οξειδίων του Fe και υδροξειδίων του Fe και Al είναι πολύ μεγάλο (23-57%). Στο μεγαλύτερο ποσοστό αυτό ανήκει στα ανθρακικά ορυκτά κυρίως του ασβεστίτη και μερικώς του δολομίτη που είναι κύρια συστατικά της μάργας.

Το επικρατέστερο μέγεθος κόκκων είναι αυτό της ιλύος (63-2 μm) που κυμαίνεται από 34 μέχρι 64%. Ακολουθεί εκείνο της αργίλου (<2 μm) με 27-46%, ενώ το ποσοστό των κόκκων μεγέθους άμμου (>63 μm) είναι σχετικά μικρό (4-36%).

Σύμφωνα με τη λιθολογική ταξινόμηση κατά Folk et al. (1970) τα δείγματα χαρακτηρίζονται από πηλώδη ως αμμοπηλώδη. Σύμφωνα όμως με την κατάταξη των εδαφών σε ιστολογικές τάξεις με βάση την αναλογία του μεγέθους των κόκκων τους (S.S.D.S., 1993), τα δείγματα χαρακτηρίζονται ποικίλως, δηλώνεται όμως καθαρά ο πηλώδης χαρακτήρας τους.

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 συμπεραίνονται τα παρακάτω:

Από ορυκτολογική άποψη παρατηρείται μικρή τοπική διαφοροποίηση στην κατανομή των διάφορων ορυκτών σε όλα τα κλάσματα, αλλά σημαντική ποσοτική διαφοροποίηση μεταξύ των ορυκτών στα επιμέρους κλάσματα.

Στο ολικό δείγμα επικρατούν κατά σειρά αφθονίας ο ασβεστίτης (31-59%), τα αργιλικά ορυκτά (20-34%) και ο χαλαζίας (12-20%). Στο κατεργασμένο κλάσμα 63-2 μm βρίσκονται περίπου σε ίσες αναλογίες ο χαλαζίας, οι άστριοι (κυρίως τα πλαγιόκλαστα) και τα αργιλικά ορυκτά. Ίχνη χαλαζία και αστρίων εμφανίζονται στο κλάσμα <2 μm όλων των δειγμάτων. Μικρά ποσοστά κυρίως αμφίβωλων (4-7%), αλλά και πυρόξεων (2-3), εντοπίζονται σε πολλά κλάσματα.

Πίνακας 1. Κοκκομετρική κατανομή (κ.β. %) των δειγμάτων που αναλύθηκαν.
Table 1. Grain size distribution (wt. %) of the samples analyzed.

Δείγμα	Βάθος m	Χρώμα	COI ¹ %	>63 μm	63-2 μm	<2 μm	Τάξη ²	Τάξη ³
G3-11	2,30	Λευκοκίτρινο	30	6	61	33	İ	SCL
G3-12	2,70	Λευκοκίτρινο	29	4	64	32	İ	SCL
G3-21	4,20	Καστανοκίτρινο	46	11	56	33	Sİ	SCL
B2-28	7,60	Λευκοκίτρινο	57	7	58	35	M	SCL
HY2-14	2,60	Κίτρινοκαστανό	43	36	37	27	SM	L
HY2-41	9,60	Λευκότεφρο	46	24	48	28	SM	CL
ΦΚ-14	4,10	Λευκοκίτρινο	36	8	59	33	M	SCL
ΦΚ-22	7,80	Λευκότεφρο	44	13	54	33	SM	SCL
ΔΚ-18	2,60	Καστανότεφρο	51	22	43	35	SM	CL
ΔΚ-63	12,60	Καστανό	43	20	34	46	SM	C
M2-25	4,50	Καστανότεφρο	50	19	44	37	SM	SCL
M1-44	7,10	Λευκοκίτρινο	23	9	49	42	M	SC

¹COI = Ανθρακικά ορυκτά + Οργανική ύλη + Οξείδια Fe και υδροξείδια Fe και Al.

²Λιθολογικές τάξεις κατά Folk et al. (1970): M = πηλώδες, SM = αμμοπηλώδες.

³Ιστολογικές τάξεις κατά Soil Survey Division Staff (1993): SCL = ιλνοαργιλοπηλώδες, L = πηλώδες, CL = αργιλοπηλώδες, C = αργιλώδες, SC = ιλνοαργιλώδες.

Στο ακατέργαστο ολικό δείγμα εκτός του κύριου ανθρακικού ορυκτού ασβεσίτη (περιεχόμενο 31 ως 59%), εντοπίστηκε σε τέσσερα δείγματα και δολομίτης σε μικρά ποσοστά (4-7%). Αυτή η σύσταση επιβεβαιώνει το χαρκτηρισμό των δειγμάτων που αναλύονται ως τυπικών μαργών, αφού περιέχουν 35-59% ανθρακικά συστατικά.

Στα ακατέργαστα ολικά δείγματα παρατηρείται μείωση του συνόλου των αργιλικών ορυκτών με αύξηση των ανθρακικών συστατικών.

Με μείωση του μεγέθους των κόκκων, το ποσοστό των αργιλικών ορυκτών αυξάνει σημαντικά: από 20-34% στο ολικό δείγμα, σε 24-49% στο κλάσμα 63-2 μm και σχεδόν σε 100% στο κλάσμα <2 μm.

Μεταξύ των αργιλικών ορυκτών, αμιγών ή ενδοστρωματωμένων, επικρατεί ο μαρμαρυγίας (ή ιλλίτης στο < 2 μm κλάσμα), ακολουθεί ο σμεκτίτης και στη συνέχεια ο βερμικουλίτης.

Το ποσοστό του αμιγούς σμεκτίτη (ή μοντοριλλονίτη) αυξάνει σημαντικά από το κλάσμα 63-2 μm (6-11%) στο <2 μm (16-25%) των κατεργασμένων δειγμάτων. Όμως, μαζί με τις ενδοστρωματωμένες φάσεις του I/S και V/S ξεπερνά το 30% στο κλάσμα 63-2 μm και το 60% στο κλάσμα <2 μm. Έτσι, ιδιαίτερη προσοχή επιβάλλεται στη θεμελίωση ποικίλων κατασκευών πάνω σε τέτοια εδάφη, εξαιτίας της μεγάλης διόγκωσης που παρουσιάζουν σε έκθεση σε υγρασία από την εκτεταμένη παρουσία αυτού του ορυκτού (πράσινη άργιλος).

Η απουσία του γλωρίτη διαπιστώνεται στα περιθλασιογράμματα μετά την πύρωση των αντίστοιχων παρασκευασμάτων τους στους 550° C για 2,5 ώρες. Επίσης, δεν εμφανίζεται καολινίτης.

Η παρουσία αμφίβολων και τυρδέξενων, καθώς και η σχετικά υψηλή συμμετοχή του βερμικουλίτη και των ενδοστρωματωμένων φάσεων μαρμαρυγίας/σμεκτίτη (ή ιλλίτη/ σμεκτίτη) και βερμικουλίτη/σμεκτίτη, σημαίνει μεγάλη ορυκτολογική ανωριμότητα των εδαφών που εξετάζονται.

Μεταξύ των αστρίων τα πλαγιόκλαστα είναι υπερδιπλάσια σε αναλογία από τους καλιούχους αστρίους, ένα ακόμη χαρακτηριστικό της ορυκτολογικής ανωριμότητας αυτών των εδαφών.

Τα μητρικά πετρώματα της περιοχής, από την αποσάθρωση των οποίων δημιουργήθηκε περίπου το μισό των εξεταζόμενων ιζημάτων, πρέπει να είναι πλούσια σε μαρμαρυγίες και σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά μεταμορφωμένα ή ιζηματογενή πετρώματα τα οποία υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (π.χ. φυλλίτες, φλύσχης κ.ά.). Το άλλο μισό των εξεταζόμενων δειγμάτων είναι υλικό ανθρακικής σύστασης και σχηματίστηκε είτε βιογενώς από ανθρακική ιζηματογένεση σε θαλάσσιο περιβάλλον είτε από τα υλικά αποσάθρωσης των πλακωδών ασβεστόλιθων που επικρατούν στην Κρήτη.

Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια του Νεογενούς και Τεταρτογενούς στην Ανατολική Μεσόγειο ήταν ευνοϊκές για την αποσάθρωση των παραπάνω πετρωμάτων της Ξηράς και το σχηματισμό κλαστικών ιζημάτων με την παραπάνω ορυκτολογική σύσταση. Ο Frydas (1998) μελετώντας την Ανωπλειοκαινική βιοστρωματογραφία της περιοχής Φορτέσας Ηρακλείου συμπεράνει ότι δημιουργήθηκε σε συνθήκες υποτροπικού περιβάλλοντος.

Πίνακας 2. Ορυκτολογική σύσταση (κ.β. %) των δειγμάτων που αναλύθηκαν.
Table 2. Mineralogical composition (wt. %) of the samples analyzed.

Δείγμα	Μέγεθος	Q	F	Am	Px	C	D	T.cl	I	S	V
Γ3-11	ολικό	20	8			41		31			
	63-2 μm	23	26	7					29	9	6
	<2 μm								61	25	14
Γ3-12	ολικό	20	7	6		35		32			
	63-2 μm	25	19	7					33	10	6
	<2 μm								61	25	14
Γ3-21	ολικό	15	7			53		25			
	63-2 μm	30	30	7					23	7	3
	<2 μm								69	17	14
B2-28	ολικό	14	7			59		20			
	63-2 μm	29	36	5					21	6	3
	<2 μm								68	16	16
HY2-14	ολικό	16	10			50	4	20			
	63-2 μm	34	31	4	3				18	7	3
	<2 μm	ix	ix						62	24	14
HY2-41	ολικό	20	9			42	7	22			
	63-2 μm	23	24	5					30	11	7
	<2 μm	ix	ix						63	24	13
ΦΚ-14	ολικό	18	7			41		34			
	63-2 μm	30	25	5	3				27	10	6
	<2 μm	ix	ix						62	24	14
ΦΚ-22	ολικό	12	12			49	5	22			
	63-2 μm	22	35	7					23	9	4
	<2 μm	ix	ix						62	23	15
ΔΚ-18	ολικό	14	6			57		23			
	63-2 μm	29	38	5	2				17	7	2
	<2 μm	ix	ix						62	23	15
ΔΚ-63	ολικό	17	10			47		26			
	63-2 μm	27	36	4					21	8	4
	<2 μm	ix	ix						61	23	16
M2-25	ολικό	13	6			59		22			
	63-2 μm	37	36		3				16	6	2
	<2 μm	ix	ix						65	25	10
M1-44	ολικό	18	12			31	7	32			
	63-2 μm	26	27	5					27	10	5
	<2 μm	ix	ix						61	23	16

Q = χαλαζιάς, F = άστριοι, Am = αμφίβολοι, Px = πυρόξενοι, C = αοσεσίτης, D = δολομίτης, T.cl = σύνολο αργιλικών ορυκτών, M = μαρμαρυγίας + μαρμαρυγίας/σμεκτίτης (ή ιλλίτης + ιλλίτης/σμεκτίτης στο κλάσμα <2 μm), S = σμεκτίτης, V = βερμικουλίτης (+ βερμικουλίτης/ σμεκτίτης). ix = ίχνη.

Τα πληρώδη εδάφη συνήθως παρουσιάζουν μέσες φυσικομηχανικές αντοχές και μπορούν να συγκρατήσουν υγρασία σε ποσοστά 30-40% μεταξύ των κόκκων τους, χωρίς να επηρεαστούν οι αντοχές τους, σύμφωνα με το τριγωνικό διάγραμμα του Soil Survey Division Staff (1993). Στα εξεταζόμενα δείγματα η περιεχόμενη υγρασία υπερβαίνει σημαντικά αυτά τα ποσοστά, κυρίως στις φυλλώδεις τεφροκύανες μάργες, γι' αυτό παρουσιάζουν μεγαλύτερη πλαστικότητα (Πίνακας 3).

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι ομάδες των μαργαϊκών εδαφών που εξετάζονται, σύμφωνα με το Ενοποιημένο Σύστημα Κατάταξης Εδαφών κατά ASTM (1985), χωρίς την εφαρμογή οποιασδήποτε χημικής κατεργασίας. Διαπιστώνεται ότι αυτά τα εδάφη ανήκουν στις ομάδες MH και CH (ανόργανες ιλύες και ανόργανες άργιλοι αντίστοιχα που παρουσιάζουν μεγάλη πλαστικότητα και όριο υδαρότητας >50%), καθώς και στην ομάδα CL (ανόργανες άργιλοι με χαμηλή πλαστικότητα και όριο υδαρότητας <50%). Αυτά τα μαργαϊκά εδάφη είναι πρακτικά αδιαπέρατα. Ο Τοιαμπάος (1988) εξετάζοντας τις μάργες της πόλης του Ηρακλείου διαπίστωσε ότι από πλευράς συνεκτικότητας είναι μέτριες ως σκληρές, περιέχουν κατά μέσο όρο 25% μοντοριλλονίτη (σμεκτίτη), έχουν δείκτη πλαστικότητας 3-36% (οι λευκοκίτρινες) ή 33-100% (οι τεφροκύανες) και παρουσιάζουν υψηλό δυναμικό διόγκωσης, παράγοντες που θεωρούνται επικίνδυνοι για τη θεμελίωση ελαφρών κατασκευών πάνω σε αυτά τα εδάφη.

Πίνακας 3. Φυσικά χαρακτηριστικά των μαργαϊκών εδαφών Ηρακλείου Κρήτης.
Table 3. Physical characteristics of marly soils from Heraklion Crete.

Δείγμα	Άμμος %	Ιλύς %	Αργίλος %	Τάξη ¹	W ₁ %	W _p %	I _p %	W %	I _c
Γ3-11	3	59	38	MH	89	52	37	70	0,51 πλαστικό
Γ3-12	2	58	40	MH	89	53	36	68	0,58 πλαστικό
Γ3-21	8	57	35	MH	56	29	26	46	0,38 πολύ πλαστικό
B2-28	4	56	40	CH	62	23	39	46	0,41 πολύ πλαστικό
HY2-14	25	41	34	CH	66	26	40	48	0,45 πολύ πλαστικό
HY2-41	16	49	35	MH	93	55	38	82	0,29 πολύ πλαστικό
ΦΚ-14	6	57	37	MH	104	73	31	91	0,42 πολύ πλαστικό
ΦΚ-22	9	53	38	MH	69	35	34	45	0,70 πλαστικό
ΔΚ-18	14	46	40	CL	40	24	16	16	1,50 ημιστερέο
ΔΚ-63	14	39	47	CL	44	25	19	25	1,00 λίγο πλαστικό
M2-25	13	46	41	CL	45	22	23	16	1,26 ημιστερέο
M1-44	7	50	43	MH	91	53	38	79	0,32 πολύ πλαστικό

¹Κατά ASTM (1985): MH = ανόργανη ιλύς υψηλής πλαστικότητας, CH = ανόργανη άργιλος υψηλής πλαστικότητας, CL = ανόργανη άργιλος χαμηλής πλαστικότητας.

W_i = όριο υδαρότητας, W_p = όριο πλαστικότητας, I_p = δείκτης πλαστικότητας (W_i-W_p),

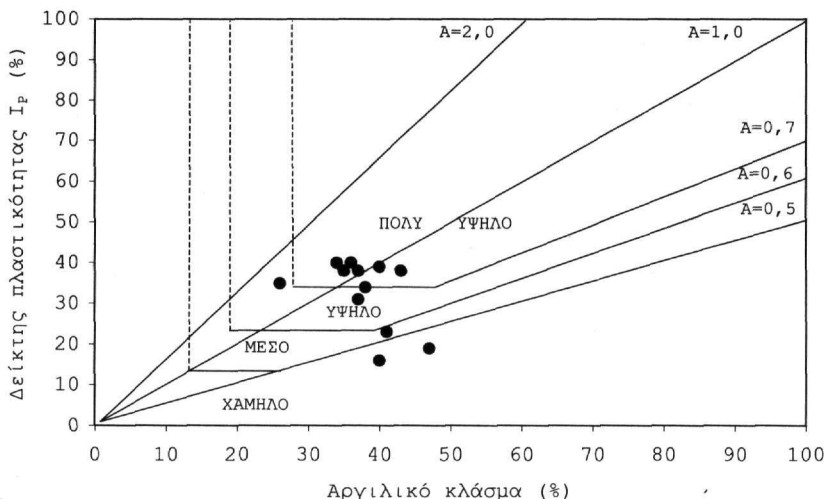
W = περιεχόμενη υγρασία, I_c = δείκτης συνεκτικότητας [(W_i-W)/I_p].

Η συνεκτικότητα παρουσιάζεται μειωμένη στα πλουσιότερα σε υγρασία δείγματα. Αυξάνει όμως με μείωση του μεγέθους των κόκκων και αύξηση του περιεχόμενου σμεκτίτη. Υψηλότερο περιεχόμενο σε σμεκτίτη κατά κανόνα δίνει και μεγαλύτερες τιμές ορίου υδαρότητας και δείκτη πλαστικότητας (Πίνακας 3). Η μηχανική συμπεριφορά των μαργών εξαρτάται από το περιεχόμενό τους σε ανθρακικά και αργιλικά συστατικά, καθώς και το βαθμό συμπαγοποίησής τους. Όσο αυξάνει αυτός, θα αυξάνει και η διατμητική τους αντοχή (Τσιαμπάος, 1988, El Amrani et al., 1998 και 2000). Επειδή ο βαθμός συνεκτικότητας και αποσκλήρυνσης, καθώς και ο βαθμός συμπαγοποίησης των μαργών που εξετάζονται είναι μέτριος, χρειάζεται να παίρνονται μέτρα προφύλαξης.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η συσχέτιση του ποσοστού του αργιλικού κλάσματος με το δείκτη πλαστικότητας σε διάγραμμα ταξινόμησης διογκούμενων αργίλων του Van der Merwe (1975). Διαπιστώνεται ότι τα μαργαϊκά εδάφη που εξετάζονται παρουσιάζουν κυρίως υψηλό ως πολύ υψηλό δυναμικό διόγκωσης και ενεργότητα μεταξύ 0,5 και 2,0. Κατά τον Τσιαμπάο (1988) τόσο οι λευκοκίτρινες όσο και οι τεφροκύανες μάργες του Ηρακλείου με όριο υδαρότητας >40% και δείκτη πλαστικότητας >25% παρουσιάζουν φαινόμενα διόγκωσης, στα οποία οφείλονται πολλές βλάβες των παλιών και νέων κτιρίων του Ηρακλείου.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα Πλειοκαινικά μαργαϊκά εδάφη του Ηρακλείου Κρήτης περιέχουν υλικά τόσο κλαστικής όσο και ανθρακικής ιζηματογένεσης. Μεταξύ των μη ανθρακικών ορυκτών επικρατεί ο χαλαζίας, καθώς και τα αργιλικά ορυκτά, αμιγή και ενδοστρωματωμένα. Κυρίως ο ασβεστίτης και μερικώς ο δολομίτης αποτελούν το δεύτερο πιο σημαντικό τμήμα αυτών των ιζημάτων. Τα εξεταζόμενα μαργαϊκά εδάφη περιέχουν σε σημαντικές ποσότητες αμιγή και ενδοστρωματωμένο σμεκτίτη και παρουσιάζουν υψηλό μέχρι πολύ υψηλό δυναμικό διόγκωσης και μέτριο βαθμό συμπαγοποίησης, παράγοντες που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στη θεμελίωση έργων πάνω σε αυτά, γι' αυτό απαιτείται η λήψη προστατευτικών μέτρων.



Σχήμα 3. Διάγραμμα ταξινόμησης διογκούμενων αργίλων. Προσδιορισμός δυναμικού διόγκωσης και ενεργότητας (A) κατά Van der Merwe (1975).

Figure 3. Expansive clay classification diagram. Determination of swelling potential and activity (A) according to Van der Merwe (1975).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 1985. D 2487, Classification of Soils for Engineering Purposes. Annual Book of ASTM Standards, v. 04.08, pp. 395-408.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 1993. D 4318, Test Method for Liquid Limit, Plasticity Limit, and Plasticity Index of Soils. Annual Book of ASTM Standards, v. 04.08, pp. 488-496.
- ARKIN, Y. 1988. Disintegration of marl slopes in Israel. *Envir. Geol. Water Sci.* **11**, 5-14.
- BATES, R.L. & JACKSON, J.A. 1980. Glossary of Geology, 2nd ed. American Geological Institute, Falls Church, Virginia, 752 pp.
- BEZES, C. 1992. Hydrology of the Tyllisos area, Heraklion pr. Municipality of Heraklion. Heraklion.
- EL AMRANI PAAZA, N., LAMAS, F., IRIGARAY, C. & CHACON, J. 1998. Engineering geological characterization of Neogene marls in the Southeastern Granada Basin, Spain. *Eng. Geol.* **50**, 165-175.
- EL AMRANI PAAZA, N., LAMAS, F., IRIGARAY, C., CHACON, J. & OTEO, C. 2000. The residual shear strength of Neogene marly soils in the Granada and Guadix basins, southeastern Spain. *Bull. Eng. Geol. Env.* **58**, 99-105.
- FASSOULAS, CH. 2000. The tectonic development of a Neogene basin at the leading edge of the active European margin: the Heraklion basin, Crete, Greece. *J. Geodyn.* **31**, 49-70.
- FOLK, R.L., ANDREWS, P.B. & LEWIS, D.W. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in N. Zealand. *N.Z.J. Geol. Geophys.* **13**, 937-968.
- FRYDAS, D. 1998. Upper Pliocene diatoms and silicoflagellates from section Fortessa, central Crete, Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece* **32/2**, 93-100.
- HOSSAIN, D., MATSAH, M.I. & SADAQAH, B. 1997. Swelling characteristics of Madinah clays. *Quart. J. Eng. Geol.* **30**, 205-220.
- ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ 1996. Γενικός Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος (φύλλο Ηράκλειο, κλίμακα 1:50.000). Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- JACKSON, M.L. 1979. Soil Chemical Analysis - Adv. Course, 2nd ed., 11th printing. Madison, WI, 895 pp.
- MEULENKAMP, J.E., DERMITZAKIS, M., GEORGIADOU-DIKEOULIA, E., JONKERS, H.A. & BOEGER, H. 1979. Field Guide to the Neogene of Crete. Publ. Dept. Geol. & Paleont., Univ. Athens, series A, 32 pp.
- MOORE, D.M. & REYNOLDS, R.C., JR. 1997. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, 2nd edn. Oxford Univ. Press, New York, 384 pp.
- PERRY, E. & HOWER, J. 1970. Burial diagenesis in Gulf coast pelitic sediments. *Clays Clay Miner.* **18**, 165-177.
- PETTIBOHN, F.J. 1975. Sedimentary rocks, 3rd ed. Harper & Row, New York, 526 pp.
- SCHULTZ, L.G. 1964. Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data

- for the Pierre Shale. U.S. Geol. Surv. Sp. Paper 391-C, 33 pp.
- SHAKOOR, A. & SARMAN, R. 1997. Significance of Geological Characteristics in Predicting the Swelling Behavior of Mudrocks. Assoc. Eng. Geol. Sp. Publ., 9.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993. Soil survey manual. U.S. Dept. Agri. Handbook No. 18, 437 pp.
- ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ, Μ. & ΣΚΟΥΝΑΚΗΣ, Σ. 1994. Η εμφάνιση φωσφορικών αποθέσεων στη Νεογενή λεκάνη του Καρτερού Ηρακλείου Κρήτης. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.* **30/3**, 341-350.
- ΤΣΙΑΜΠΑΟΣ, Γ. 1988. Τεχνικογεωλογικοί χαρακτήρες των μαργών Ηρακλείου Κρήτης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 358 σ.
- VAN DER MERWE, D.H. 1975. Contribution to specialty session B, current theory and practice for building on expansive clays. In: Proc. 6th Regional Conf. Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Durban, 2, pp. 166-167.