

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΟΥΝ ΤΙΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΦΑΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΔΥΤΙΚΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ

Μ. Κυζερίδη* και Β. Λυκούσης**

ABSTRACT

The depositional mechanisms prevailing in the different physiographic environments, climatic and eustatic changes, as well as diagenesis had played an important role in the vertical variation of the geotechnical properties of calcareous sediments in W Saronikos Gulf. Statistical analysis revealed that the undrained shear strength depends upon silt and clay content, bulk density, Atterberg limits, calcareous and organic carbon content, and overburden pressure. The bulk density and the Atterberg limits are influenced by the grain size, the aragonitic character of the sediments, the water content and the overburden pressure.

ΣΥΝΩΣΗ

Οι υδροδυναμικές διεργασίες που επικρατούν στα διαφορετικά φυσιογραφικά περιβάλλοντα (ηπειρωτική κρηπίδα-κατωφέρεια, υφαλοόριο), οι κλιματικές συνθήκες και οι διαγενετικές διεργασίες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων των θαλασσίων ανθρακικών ιζημάτων του Δ Σαρωνικού Κόλπου. Στατιστική ανάλυση έδειξε ότι η αστράγγιστη διατμητική αντοχή διαμορφώνεται συναρτήσει εννέα μεταβλητών των: ποσοστό ιλύος και αργίλου, υγρασία, υγρή πυκνότητα, όρια Atterberg, περιεκτικότητα οργανικού άνθρακα και ολικών ανθρακικών και τάση υπερκειμένων. Η υγρή πυκνότητα και τα όρια Atterberg είναι συνάρτηση της κοκκομετρικής σύστασης, του ανθρακικού χαρακτήρα των ιζημάτων, της υγρασίας και της τάσης υπερκειμένων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η θαλάσσια γεωτεχνική έρευνα ξεκίνησε σχετικά πρόσφατα αλλά η εξέλιξη της ήταν ταχύτερη εξαιτίας του μεγάλου οικονομικού και οικολογικού ενδιαφέροντος για τις θαλάσσιες κατασκευές. Όμως παρά τη σημαντική πρόοδο λίγα έχουν γίνει γνωστά για τον τρόπο αλληλεπίδρασης των φυσικών, μηχανικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων στην τελική διαμόρφωση της φυσικής συμπεριφοράς των υποθαλάσσιων ιζημάτων και ακόμη λιγότερα για τα ανθρακικά μη βιογενούς προέλευσης ιζήματα. Ο μοναδικός χαρακτήρας των ανθρακικών ιζημάτων που οφείλεται στην εύθραυστη δομή των κόκκων, στον τρόπο απόθεσής τους και στη χημική τους ενεργότητα, τα καθιστά ιδιαίτερος ενδιαφέροντα από γεωτεχνικής απόψεως. Συμπληρωματικά, ο ρόλος του περιεχόμενου οργανικού υλικού έχει αποδειχτεί καθοριστικός στην τελική διαμόρφωση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων των υποθαλάσσιων ιζημάτων (Booth & Dahl, 1986).

* Αγίας Λαύρας 100, 157 73 ΖΩΓΡΑΦΟΥ, Αθήνα

** ΕΚΘΕ, Αγίος Κοσμάς, 166 04, ΕΛΛΗΝΙΚΟ, Αθήνα

Οι τιμές των γεωτεχνικών ιδιοτήτων παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση στο χώρο και το χρόνο, ακόμη και σε ιζήματα του ίδιου τύπου (πχ Bennett et al., 1980· Chassefiere & Monaco, 1987). Οι θεμελιώδεις ιδιότητες και οι διαγενετικές μεταβολές που υφίστανται είναι διαφορετικές για κάθε τύπο ιζήματος. Η διαφοροποίηση αυτή εξαρτάται από ποικίλες γεωλογικές και ωκεανογραφικές διεργασίες, από τον τύπο του υλικού τροφοδοσίας και το περιβάλλον απόθεσης που είναι καθοριστικά και για τις πρωτογενείς γεωτεχνικές ιδιότητες (Bennett & Nelsen, 1983).

Μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές γεωτεχνικές μελέτες στον ελληνικό υποθαλάσσιο χώρο (Chassefiere & Monaco, 1989· Λυκούσης, 1990) αλλά καμία από αυτές δεν αφορά στα ανθρακικά ιζήματα. Στον διεθνή χώρο έχουν ερευνηθεί κυρίως βιογενούς προέλευσης ανθρακικά ιζήματα (Lee, 1981).

Με την παρούσα ανακάλυψη πραγματοποιείται για πρώτη φορά στον Ελληνικό υποθαλάσσιο χώρο μελέτη των γεωτεχνικών ιδιοτήτων ανθρακικών ιζημάτων μη βιογενούς προέλευσης προκειμένου να γίνει γνωστό α) το πλαίσιο διακύμανσης των τιμών τους και β) η συμβολή ορισμένων ιζηματολογικών, χημικών και φυσικών παραμέτρων στη διαμόρφωσή τους.

ΦΥΣΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Ο Σαρωνικός Κόλπος είναι μια νεοτεκτονική θαλάσσια λεκάνη με Πλειο- Τεταρτογενείς χερσαίες και υποθαλάσσιες ηφαιστειακές εκδηλώσεις. Σχηματίστηκε από τη μεταλπική ρηγματογόνο τεκτονική και αποτελεί το βορειοδυτικό άκρο του Ελληνικού ηφαιστειακού τόξου. Βάσει της βαθυμετρίας διακρίνεται σε Δ και Α τμήμα έχοντας ως φυσικό διαχωριστικό όριο μία ενδιάμεση υποθαλάσσια πλατφόρμα με νησιωτικές εξάρσεις (Σαλαμίνα, Αίγινα, Μέθανα).

Ο Δ Σαρωνικός Κόλπος χωρίζεται σε τρεις επιμέρους περιοχές: α) τη λεκάνη των Μεγάρων, με μέγιστο βάθος 230m και γενικά ήπιες κλίσεις (>4%), β) τα δυτικά περιθώρια της υποθαλάσσιας πλατφόρμας με τις νησιωτικές εξάρσεις, όπου το υφαλοόριο εντοπίζεται στα 100-130m περίπου και γ) τη βαθύτερη λεκάνη της Επιδαύρου με τις κρημνώδεις παρυφές (μέγιστο βάθος 420m) (Σχ. 1). Ο μεγαλύτερος μέσος ρυθμός ιζηματογένεσης βρέθηκε στη λεκάνη των Μεγάρων (10cm/1000 έτη) και ο μικρότερος στα Δ περιθώρια της πλατφόρμας (5cm/1000 έτη) (Lykoyisis et al, 1988).

Η παλαιογεωμορφολογική και ιζηματολογική εξέλιξη του Δυτικού Σαρωνικού Κόλπου κατά το τέλος του Τεταρτογενούς και το Ολόκαινο είναι αποτέλεσμα της ιδιαίτερης μορφολογίας του, των κλιματολογικών συνθηκών και των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας (Λυκούσης & Αναγνώστου, 1992).

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



Σχ. 1: Βαθυμετρικός χάρτης του Δ Σαρωνικού κόλπου με τις θέσεις πυρηνοληψίας.

Fig. 1: Bathymetric map of W Saronikos gulf, showing the core sampling locations.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Από το ωκεανογραφικό σκάφος του ΕΚΘΕ "ΑΙΓΑΙΟ" έγιναν οκτώ πυρηνοληψίες σε βάθη νερού 110-385m με πυρηνολήπτη βαρύτητας μήκους 3m (BENTHOS INSTR.). Τα μήκη των πυρήνων κυμάνθηκαν μεταξύ 1,80-2,91m. Οι γεωγραφικές θέσεις των σταθμών πυρηνοληψίας προσδιορίστηκαν με ραδιοναυτιλιακό σύστημα (LORAN) (Σχ. 1).

Οι εργαστηριακές αναλύσεις προσδιορισμού των ιζηματολογικών, χημικών, φυσικών και γεωτεχνικών παραμέτρων πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια του ΕΚΘΕ. Οι ραδιοχρονολογήσεις των δειγμάτων έγιναν στα εργαστήρια της BETA Analytic (USA). Συνολικά έγιναν 943 δοκιμές σε δείγματα και επιμέρους δείγματα ιζημάτων. Κατά την εκπόνησή τους τηρήθηκαν οι προδιαγραφές που προβλέπονται από τα British Standards B.S. 1377 (1975). Για το χαρακτηρισμό της κατάστασης των ιζημάτων υπολογίστηκαν αριθμητικές παράμετροι ενδεικτικές της συνεκτικότητας και της αντοχής τους (μέση ενεργότητα, τάση υπερκειμένων, δείκτες πλαστικότητας, υδαρότητας και συνεκτικότητας) και σχεδιάστηκαν διαγράμματα πλαστικότητας κατά Cassagrande και ενεργότητας κατά Skempton (1953).

Η πυκνότητα δειγματοληψίας κυμαίνεται από 13-18 θέσεις ανά πυρήνα. Από κάθε θέση ελήφθη δείγμα ιζήματος μήκους 2-5cm. Η κοκκομετρική σύσταση προσδιορίστηκε με καλή ακρίβεια με τη μέθοδο της πιπέτας (Folk, 1974), το ποσοστό ολικών ανθρακικών ($^{\circ}\text{CO}_2$) με την ογκομετρική μέθοδο Mueller & Gastner (1971) και ο οργανικός άνθρακας ($\%C_{org}$) με οπισθογκομέτρηση της περιόσεως διχρωμικού καλίου. Η περιεκτικότητα των ιζημάτων σε νερό (W%) μετρήθηκε με τη μέθοδο ξήρασης και επαναζύγισης και η υγρή πυκνότητα (γ_w gr/cm³) με τη μέθοδο "βάρους/όγκο". Το όριο υδαρότητας ($W_L\%$) προσδιορίστηκε με εργαστηριακό κώνο διείδυσης (cone penetrometer), ενώ για το όριο πλαστικότητας ($W_P\%$) κυλινδρώθηκε μικρή ποσότητα ιζήματος. Η αστράγγιστη διατμητική αντοχή (S_u) υπολογίστηκε σε θέσεις ενδεικτικές των διαφορετικών οριζόντιων με δοκιμή πτερυγίου (διαστάσεις πτερυγίου 1,25x1,25cm και ταχύτητα περιστροφής 60°/min).

Προκειμένου να βρεθούν πιθανές συσχετίσεις μεταξύ των προσδιορισθέντων ιδιοτήτων στα ιζήματα του Δ Σαρωνικού έγινε στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Επελέγη μοντέλο εννέα ανεξάρτητων μεταβλητών των οποίων ο γραμμικός συνδυασμός προσομοιώνεται με την ανεξάρτητη μεταβλητή (αστράγγιστη διατμητική αντοχή) με τρόπο που περιγράφεται αναλυτικά από Κυζερίδη (1993). Η ανά δύο συσχέτιση των μεταβλητών που υπεισέρχονται στο πολλαπλό γραμμικό μοντέλο μελετήθηκε μέσω της μήτρας συσχετίσεων (Press et al, 1986). Προκειμένου να αποφευχθεί τεχνητή σημαντική συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών που δε συνδέονται με κάποια φυσική σχέση, τέθηκαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές παράμετροι που διαπιστωμένα επηρεάζουν την αστράγγιστη διατμητική αντοχή όπως: η συγκέντρωση ιλύος, αργίλου, ολικών ανθρακικών και οργανικού άνθρακα, η φαινόμενη υπερή πυκνότητα, η περιεκτικότητα σε νερό, τα όρια Atterberg και η τάση των υπερκειμένων ιζημάτων.

Σε μία ειδική ομάδα δεδομένων που αφορούν την ενεργότητα των ιζημάτων εφαρμόστηκε απλή γραμμική παλινδρόμηση με δύο μεθόδους: α) των ελαχίστων τετραγώνων (ET) και β) μία εύρωστη (robust) αναλυτική τεχνική (Hampel et al, 1986). Η γραμμική σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών περιγράφεται ορθότερα από την εύρωστη λύση, διότι αντί να ελαχιστοποιείται το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων όπως γίνεται στη μέθοδο ET, η εύρωστη λύση προχωρεί στην ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των απολύτων σφαλμάτων. Ετσι, τα μεγάλα σφάλματα των εξάρσεων (ακραίες τιμές οφειλόμενες σε σφάλματα ή εξαιρέσεις που μολύνουν την κανονική κατανομή του πληθυσμού) δε συμβάλλουν δυσανάλογα στην επίλυση του προβλήματος.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το αποτέλεσμα της πρόσφατης ιζηματογένεσης στο Δυτικό Σαρωνικό κόλπο σε βάθη νερού μεγαλύτερα από 100m και μέχρι 3m υπό την επιφάνεια του πυθμένα ήταν η απόθεση λεπτόκοκκων ιζημάτων στα οποία προσδιορίστηκαν δύο ιζηματολογικές φάσεις: (α) η λευκότεφρη ανθρακική χημικής κυρίως προέλευσης (αργωνιτική ιλύς) και ηλικίας περίπου 14.000-18.000 ετών BP (από ραδιοχρονολόγηση) και (β) η νεότερη φαιότεφρη ιλυαργιλώδης κυρίως μηχανικής προέλευσης. Οι δύο φάσεις παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά, στην κοκκομετρική και κυρίως στη χημική σύσταση, στις φυσικές και γεωτεχνικές ιδιότητες και στον τρόπο κατακόρυφου διακύμανσης των ιδιοτήτων συναρτήσει του βάθους (Πίνακας 1, Σχ. 2).

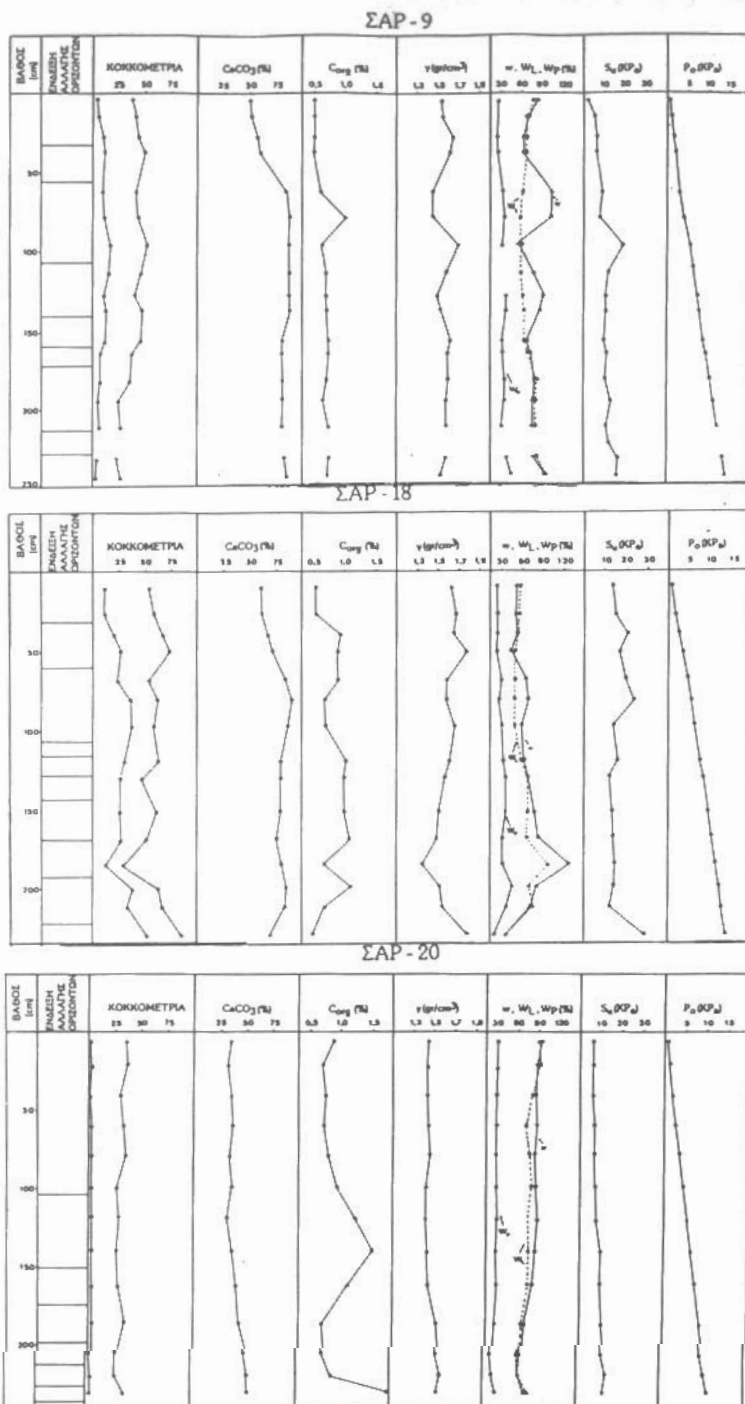
Πίν. 1: Γεωτεχνικές ιδιότητες των ιζημάτων Δυτικού Σαρωνικού κόλπου (ελάχιστες-μέγιστες τιμές).

Table 1: Geotechnical properties of W. Saronikos sediment cores (minimum-maximum values).

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΛΕΚΑΝΗ ΜΕΓΑΡΩΝ				Δ. ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ ΠΛΑΤΩ		ΛΕΚΑΝΗ ΕΠΙΔΑΥΡΟΥ	
	ΣΑΡ-5	ΣΑΡ-6	ΣΑΡ-8	ΣΑΡ-9	ΣΑΡ-17	ΣΑΡ-18	ΣΑΡ-19	ΣΑΡ-20
άμμος (%)	5-48	1-7	15-40	2-16	20-65	10-48	0,5-7	1-3
ίλις (%)	14-38	16-57	21-48	18-39	11-36	17-48	18-49	23-40
άργιλος (%)	28-62	42-81	28-63	48-79	16-58	15-71	46-81	57-74
CO ₂ (%)	55-93	41-82	66-95	50-88	79-94	61-90	50-87	30-53
Cont (%)	0,50-0,97	0,68-1,30	0,36-0,79	0,51-1,02	0,54-0,84	0,51-1,19	0,76-1,17	0,69-1,87
γ (g/cm ³)	1,58-1,72	1,46-1,74	1,51-1,73	1,45-1,70	1,38-1,82	1,36-1,80	1,30-1,62	1,41-1,59
W (%)	45-64	53-100	51-81	57-104	37-115	39-128	63-145	66-93
W _L (%)	44-67	61-86	43-72	59-95	37-93	39-98	59-102	64-92
W _P (%)	22-26	25-34	24-35	25-46	27-38	23-46	24-39	25-32
I _p	24-42	35-57	15-37	24-53	13-58	16-66	29-64	38-61
I _L	0,73-1,29	0,68-1,32	0,90-2,53	0,87-2,83	0,77-2,12	0,79-2,06	0,91-3,03	0,89-1,67
I _C	0,28	0,30	0,10	0,13	0	0,21	0,07	0,11
A _c	0,49-0,70	0,50-1,29	0,43-0,79	0,41-0,85	0,44-1,00	0,33-1,07	0,45-0,86	0,51-0,95
S _v (kPa)	9-26	4-17	7-19	2-19	13-32	12-29	6-18	6-14
P _o (kPa)	1-17	0-10	1-17	0-14	1-16	1-14	1-13	0-11

Οι αναλύσεις έδειξαν ότι το κλάσμα άμμου στα ιζήματα των πυρήνων που ανασύρθηκαν από την ηπειρωτική κρηπίδα και την ανώτερη κατωφέρεια έχει μερικώς βιογενή και κυρίως κλαστική προέλευση. Η συγκέντρωσή του στα ιζήματα αυτά εμφανίζεται σχετικά υψηλή παρουσιάζοντας ιδιαίτερη έξαρση στα περιθώρια της ενδιάμεσης πλατφόρμας (5-65%). Αντιθέτως, στα βαθύτερα φυσιογραφικά περιβάλλοντα είναι πολύ μικρή <7% με βιογενή χαρακτήρα. Το αργιλικό κλάσμα παρουσιάζει υψηλή συγκέντρωση (ε81%). Οι μέγιστες τιμές αναφέρονται στις βαθύτερες θέσεις των δύο επιμέρους λεκανών (Μεγάρων και Επιδαύρου) και οι ελάχιστες στα περιθώρια της ενδιάμεσης πλατφόρμας και της Λεκάνης Μεγάρων. Ανάλογες παρατηρήσεις ισχύουν και για το κλάσμα ιλύος (μέση τιμή 29%).

Σχετικά με τη χημική σύσταση η περιεκτικότητα σε ολικά ανθρακικά (κυρίως χημικής προέλευσης) κυμαίνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα (30-95%) και οδηγεί στη διάκριση δύο ομάδων ιζημάτων: (α) τα πολύ ανθρακικά (>70%) και (β) τα λιγότερο ανθρακικά (<70%). Ιδιαίτερα κάτω από τους υποεπιφανειακούς ορίζοντες και σε μεταβαλλόμενο βάθος, εξαρτώμενο κυρίως από το ρυθμό ιζηματογένεσης, τα ιζήματα ενίοτε γίνονται σχεδόν εξ ολοκλήρου ανθρακικά. Ως συνέπεια αυτού τα μικρότερα ποσοστά ολικών ανθρακικών προσδιορίζονται στα ανώτερα ιζήματα από στις βαθύτερες περιοχές των δύο επιμέρους λεκανών του Δ Σαρωνικού κόλπου. Τα πολύ ανθρακικά ιζήματα αποτελούν την ανθρακική φάση, στην οποία είναι διάσπαρ-



Σχ. 2: Γεωτεχνικές ιδιότητες κατά μήκος των πυρήνων ΣΑΡ - 9, ΣΑΡ - 18 ΣΑΡ - 20.
 Fig. 2: Geotechnical properties along cores ΣΑΡ - 9, ΣΑΡ - 18 ΣΑΡ - 20.

τιες λεπτότατες ετερογενείς ενδιαστρώσεις φαιότεφρου υλικού που μοιάζουν με "βαρβοειδείς δομές" (varved structure).

Ο περιεχόμενος οργανικός άνθρακας (0,36-1,87%), αντίθετα με τη συγκέντρωση ολικών ανθρακικών, παίρνει τις μέγιστες τιμές στα βαθύτερα περιβάλλοντα (στην ανώτερη κρηπίδα και κυρίως σε βάθη >200m). Σε αυτά τα φυσιογραφικά περιβάλλοντα η ελλειπής οξειδωση του οργανικού υλικού είναι δυνατό να οφείλεται στην ανεπαρκή οξυγόνωση των ιζημάτων ή και στη συμβολή άλλων παραγόντων, όπως είναι η αυξημένη παροχή οργανικού υλικού από τη χέρσο και οι μεγάλες ταχύτητες ενταφιασμού.

Οι μικρότερες τιμές υγρής πυκνότητας παρατηρούνται στα βαθειά ιζήματα της λεκάνης Επιδαύρου (μέση τιμή 1,46gr/cm³) και οι μεγαλύτερες στα ρηχότερα της λεκάνης Μεγάρων (μέση τιμή 1,62gr/cm³), ενώ οι μέγιστες σημειώνονται στην ενδιάμεση πλατφόρμα (μέγιστο 1,82gr/cm³).

Το μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης της περιεκτικότητας σε νερό (36-145%) παρατηρήθηκε στα ιζήματα από τα περιθώρια της πλατφόρμας και στα πολύ ανθρακικά ιζήματα με τις λεπτές φαιότεφρες ιλυοαργιλώδεις ενδιαστρώσεις τα οποία προέρχονται από την ηπειρωτική κατωφέρεια. Ελάχιστο γίνεται σε όσα προέρχονται από το ρηχότερο περιβάλλον της υφαλοκρηπίδας (45-64%). Σε όλους τους πυρήνες εμφανίζονται ιζήματα με τιμές υγρασίας που ξεπερνούν το όριο υδαρότητας. Το φαινόμενο είναι γενικά συχνό στον υποθαλάσσιο χώρο και ειδικά στο Δ Σαρωνικό συνδέεται κυρίως με τα πολύ ανθρακικά ιζήματα. Συνέπεια αυτού είναι η ιδιαίτερα πολτώδης έως πολτώδης κατάσταση των ιζημάτων, που όμως δεν εμφανίζουν συμπεριφορά ρευστού εξαιτίας της δομικής αντοχής του υλικού (ιζηματοδομές) και των πλευρικά ασκούμενων τάσεων. Η περιεκτικότητα σε νερό και τα όρια Atterberg εμφανίζονται αυξημένα στα πολύ ανθρακικά ιζήματα σε σχέση με τα λιγότερο ανθρακικά. Επιπλέον τα ιζήματα της ανθρακικής φάσης με τις "βαρβοειδείς δομές" εμφανίζουν χαμηλή θιξοτροπία εκδηλωνόμενη με τιμές του δείκτη υδαρότητας λίγο μεγαλύτερες του 1 (1-3,03).

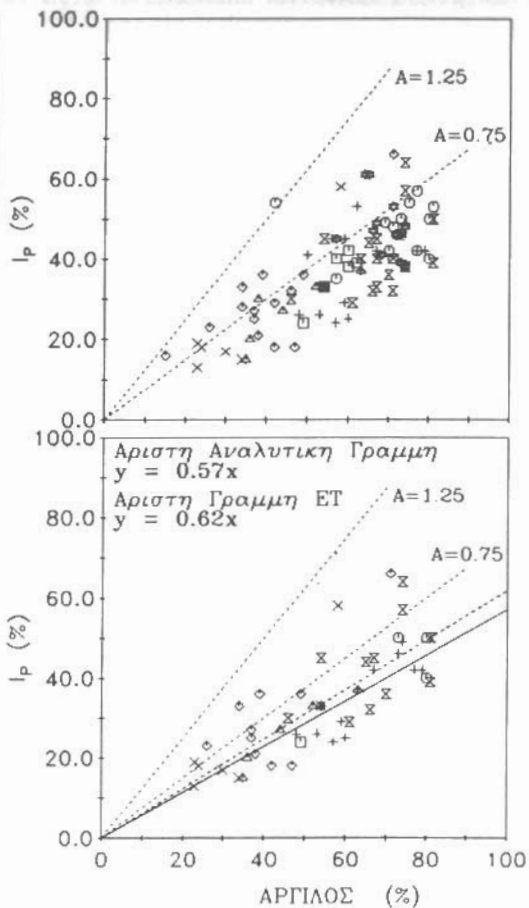
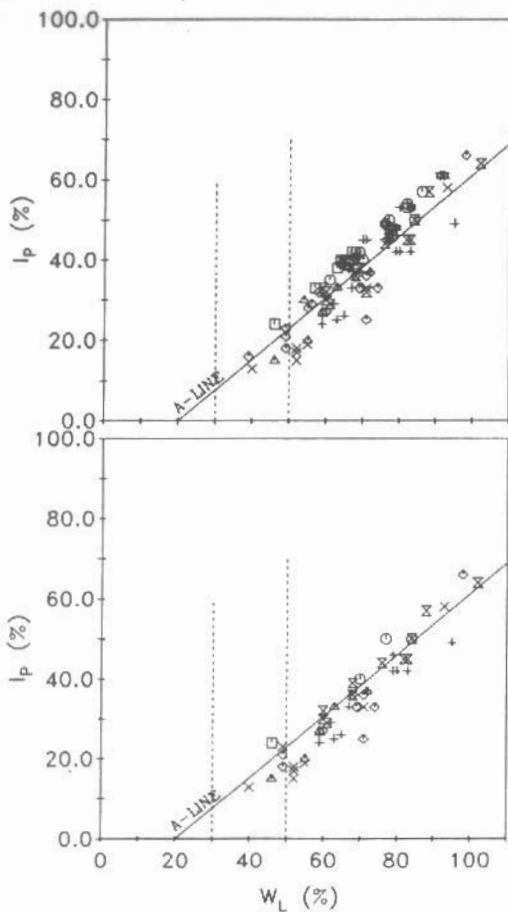
Η αστράγγιστη διατμητική αντοχή των ιζημάτων, κυμαίνεται από 2-32kPa και παρουσιάζει μία τάση αύξησης συναρτήσει του βάθους υπό την επιφάνεια του πυθμένα στα περιβάλλοντα όπου επικρατούν σχετικά ήπιες υδροδυναμικές συνθήκες (βάθη >200m). Τοπικές αναστροφές αυτής της τάσης συνδέονται κυρίως με μεταβολές στις ιζηματολογικές φάσεις. Αντίθετα σε περιβάλλοντα με ισχυρό υδροδυναμικό πεδίο (περιθώρια πλατφόρμας) οι τιμές παρουσιάζουν αυξομείωση μη συσχετιζόμενη με το βάθος, αλλά πιθανώς εξαρτώμενη από τις επικρατούσες συνθήκες απόθεσης και τις συνακόλουθες διεργασίες (π.χ. ρεύματα βυθού, διαγένεση κλπ). Εκδηλη είναι σε όλα τα ιζήματα του κόλπου, η προφανής αύξουσα σχέση της τάσης υπερκειμένων με το βάθος ενταφιασμού.

Ο ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

Με σκοπό τη λεπτομερέστερη μελέτη του γεωτεχνικού χαρακτήρα των πολύ ανθρακικών ιζημάτων του Δ Σαρωνικού κόλπου σχεδιάστηκαν διαγράμματα πλαστικότητας και ενεργότητας στα οποία απεικονίζονται αποκλειστικά τα ιζήματα με ολικό ανθρακικό περιεχόμενο μεγαλύτερο του 70% (Σχ. 3). Σε αντιδιαστολή παρατίθενται τα διαγράμματα του Σχ. 3 στα οποία προβάλλεται το σύνολο των δεδομένων ($\text{CO}_2=30-95\%$). Οι προβολές των πολύ ανθρακικών ιζημάτων στο διάγραμμα πλαστικότητας (Σχ. 3) υπόκεινται της γραμμής-A, σε αντίθεση με τις προβολές των λιγότερο ανθρακικών που τοποθετούνται υπεράνω αυτής. Από αυτό συμπεραίνεται ότι η πηγή του υλικού τροφοδοσίας δε μεταβάλλεται για ιζήματα της ίδιας ιζηματολογικής φάσης, αλλά διαφέρει για την κάθε φάση.

Τα πολύ ανθρακικά ιζήματα είναι στην πλειονότητά τους οργανικές άργιλοι και ανόργανες ιλύες μέσης έως υψηλής πλαστικότητας. Ορισμένα από αυτά, που συνήθως προέρχονται από βαθύτερα περιβάλλοντα (ΣΑΡ-6 & ΣΑΡ-19), ανήκουν στις ανόργανες άργιλους υψηλής πλαστικότητας. Αντίθετα τα λιγότερο ανθρακικά ιζήματα

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



□ ΣΑΡ-5 ○ ΣΑΡ-6 △ ΣΑΡ-8 + ΣΑΡ-9 × ΣΑΡ-17 ◇ ΣΑΡ-18
 ✕ ΣΑΡ-19 ☆ ΣΑΡ-20

Σχ. 3: Διαγράμματα πλαστικότητας και ενεργότητας, συνολικά (άνω) και για $CO_2 > 70\%$ (κάτω).

Fig. 3: Plasticity and activity charts, total (up) and $CO_2 > 70\%$ (down).

είναι κατά πλειοψηφία ανόργανες άργιλοι υψηλής πλαστικότητας.

Σύμφωνα με το συνολικό διάγραμμα ενεργότητας (Σχ. 3) τα περισσότερα ιζήματα του κόλπου είναι ανενεργά. Ειδικότερα για τα πολύ ανθρακικά ιζήματα κατασκευάστηκαν: α) η γραμμή ελαχίστων τετραγώνων (Αριστη Γραμμή ΕΤ) και β) η άριστη αναλυτική ευθεία (Αριστη Αναλυτική Γραμμή), των οποίων οι εξισώσεις καταδεικνύουν τον τρόπο συσχέτισης του δείκτη πλαστικότητας και του αργιλικού κλάσματος (Σχ. 3). Η κλίση της άριστης αναλυτικής γραμμής ($A=0,57$) όπως και της γραμμής ελαχίστων τετραγώνων ($A=0,62$) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα πολύ ανθρακικά ιζήματα είναι ανενεργά, παρά την ταυτόχρονη αλλά περιορισμένη παρουσία ιζημάτων κανονικής ενεργότητας. Η διαφορά της κλίσης ανάμεσα στις δύο ευθείες είναι αποτέλεσμα του διαφορετικού τρόπου υπολογισμού της κάθε μίας. Τέλος τα περισσότερα ανθρακικά ιζήματα εμφανίζουν μία τάση μεγαλύτερης απομάκρυνσης από το όριο ανενεργών-κανονικών ιζημάτων ($A=0,75$) σε αντίθεση με τα λιγότερο ανθρακικά.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΙΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Η συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων αφορά στον τρόπο συσχέτισης της λεπτόκοκκης φάσης, των ολικών ανθρακικών, του οργανικού άνθρακα, της υγρασίας και της τάσης υπερκειμένων με την αστράγγιστη διατμητική αντοχή, την υγρή πυκνότητα και τα όρια Atterberg (Σχ. 4,5, Πιν. 2). Στα λεπτόκοκκα ιζήματα του Δ Σαρωνικού με τις μικρές διακυμάνσεις στην υφή παρατηρείται ότι η λεπτόκοκκη φάση στο σύνολό της (<63μm) συσχετίζεται με τις γεωτεχνικές ιδιότητες με τρόπο ανάλογο με αυτόν του κλάσματος αργίλου ή ιλύος που θα εμφανίσει το μεγαλύτερο δείκτη συσχέτισης με την αντίστοιχη ιδιότητα (πχ ΣΑΡ-8, ΣΑΡ-9). Οι μικρές διακυμάνσεις που παρατηρούνται στην υφή επηρεάζουν σε μικρό βαθμό την αστράγγ-

Πιν. 2: Πίνακες συσχετίσεων για τους πυρήνες ΣΑΡ-9, ΣΑΡ-18 και ΣΑΡ-20.
Table 2:Correlation matrices for cores ΣΑΡ-9, ΣΑΡ-18 and ΣΑΡ-20.

ΣΑΡ-9									
	S _u	c	=CO ₃	γ _w	W	W _L	W _p	Corg	P _o
z	-0.50	-0.93	-0.39	0.17	-0.20	-0.63		-0.49	-0.81
c	0.29		0.13	-0.24	0.23	0.81		0.32	0.69
=CO ₃	0.72			-0.21	0.37	-0.20		0.81	0.65
γ _w	0.28				-0.96	-0.02		0.31	0.01
W	-0.15					0.02		0.41	0.10
W _L	0.13							-0.02	0.54
W _p									
Corg	0.47								0.68
P _o	0.73								

ΣΑΡ-18									
	S _u	c	=CO ₃	γ _w	W	W _L	W _p	Corg	P _o
z	0.21	0.57	-0.78	0.65	-0.72	-0.47	-0.50	-0.39	-0.56
c	0.55		-0.20	0.79	-0.79	-0.72	-0.23	-0.19	0.05
=CO ₃	-0.08			-0.46	0.50	0.23	0.59	0.45	0.48
γ _w	0.49				-0.95	-0.88	-0.59	-0.47	-0.37
W	-0.38					0.88	0.49	0.37	0.44
W _L	-0.62						0.59	0.35	0.41
W _p	-0.57							0.65	0.54
Corg	-0.38								0.28
P _o	0.36								

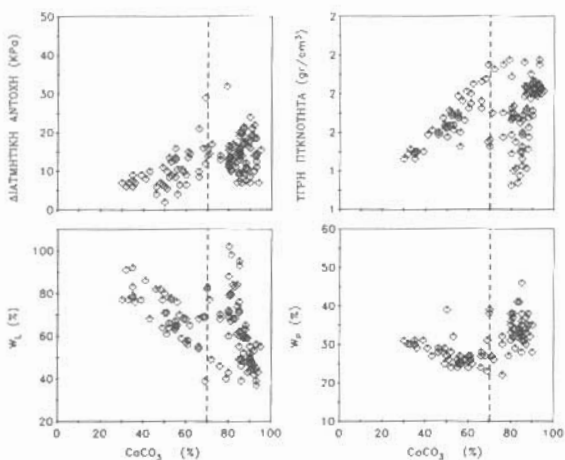
ΣΑΡ-20									
	S _u	c	=CO ₃	γ _w	W	W _L	W _p	Corg	P _o
z	-0,13	-0,99	0.07	0.08	0.15	0.45	0.35	0.22	-0.19
c	0.35		-0.14	-0.15	-0.08	-0.39	-0.34	-0.28	0.10
=CO ₃	0.93			0.94	-0.89	-0.65	-0.41	0.26	0.85
γ _w	0.90				-0.92	-0.68	-0.54	0.94	0.79
W	-0.90					0.83	0.64	-0.07	-0.89
W _L	-0.75						0.69	0.01	-0.81
W _p	-0.37							0.52	-0.35
Corg	0.39								0.46
P _o	0.95								

γιστη διατμητική αντοχή, η μεταβολή της οποίας εξαρτάται κυρίως από την εκάστοτε επικρατούσα ιζηματολογική φάση. Καθοριστικής σημασίας για τη διαμόρφωση της διατμητικής αντοχής είναι οι συνθήκες απόθεσης που προσδιορίζουν ως ένα βαθμό τη σύσταση του ιζήματος, ο ρυθμός ιζηματογένεσης που επιδρά στον τρόπο φόρτισης και στερεοποίησης των ιζημάτων και οι διαγενετικές διεργασίες

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

που έλαβαν χώρα μετά την απόθεση, οδηγώντας συχνότατα σε συσσωμάτωση τους ανθρακικούς κόκκους.

Το αργιλικό κλάσμα καθώς και το άθροισμα ιλύος και αργίλου εμφανίζουν μια γενική τάση για αρνητική συσχέτιση με την υγρή πυκνότητα ($r=-0,8$), ενώ το κλάσμα ιλύος συσχετίζεται θετικά ($r=0,74$). Οι συσχετίσεις που φαίνεται από τους συντελεστές συσχέτισης ότι υπάρχουν μεταξύ της κοκκομετρίας και της υγρής πυκνότητας δεν είναι από μόνες τους καθοριστικές, αφού στην πλειοψηφία των δεδομένων παρατηρείται ομαδοποίησή τους αναλόγως της χημικής σύστασης και της ιζηματολογικής φάσης. Μεταξύ των ορίων Atterberg και του αργιλικού κλάσματος, καθώς και του συνόλου της λεπτόκοκκης φάσης επικρατεί θετική συσχέτιση ($r=0,9$), ενώ ο τρόπος συσχέτισης με το κλάσμα ιλύος είναι γενικά αρνητικός ($r=-0,8$). Επιπλέον παρατηρείται ότι η επίδραση του ποσοστού της λεπτόκοκκης φάσης στη διαμόρφωση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων είναι σημαντική μόνο στα ιζήματα από τη Λεκάνη των Μεγάρων, ενώ το ποσοστό του αργιλικού κλάσματος δεν έχει σχεδόν καμία επίδραση στα ιζήματα από τα μεγαλύτερα βάθη (>220m).



Εχ. 4: Μεταβολή των γεωτεχνικών ιδιοτήτων των ιζημάτων συναρτήσει της περιεκτικότητας σε ολικά ανθρακικά.

Fig. 4: Variation of the geotechnical properties as a function of carbonate content.

δημιουργία συσσωματωμάτων. Επιπλέον οφείλεται στον κυρίως χημικό τρόπο απόθεσής τους, παρ' όλο που η συμμετοχή βιογενών είναι κατά θέσεις σημαντική. Επίσης η αναδιάλυση και επανακαθίζηση των ανθρακικών κόκκων μπορεί να επιφέρει ελάττωση και αύξηση αντίστοιχα της αντοχής των ιζημάτων (Nacci et al., 1974).

Ο τρόπος επίδρασης των ολικών ανθρακικών στη διαμόρφωση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων είναι διαφορετικός για τα ιζήματα κάθε ομάδας:

- στα πολύ ανθρακικά ιζήματα δεν παρατηρείται γραμμική συσχέτιση με τις γεωτεχνικές ιδιότητες ($r \leq 0,5$),
- στα λιγότερο ανθρακικά ιζήματα παρουσιάζεται θετική γραμμική συσχέτιση με την αστράγγιστη διατμητική αντοχή και την υγρή πυκνότητα (πχ στο ΣΑΡ-20 $r > 0,9$), αλλά αρνητική με τα όρια Atterberg,
- στα ιζήματα της ενδιάμεσης ομάδας ($>70\%$) εμφανίζεται θετική συσχέτιση και με τις τέσσερις παραμέτρους.

Στην περιοχή μελέτης για ποσοστά οργανικού άνθρακα μικρότερα του 1% παρατη-

Οπως αποδείχτηκε, η περιεκτικότητα σε ολικά ανθρακικά διαμορφώνει γενικά δυο κατηγορίες ιζημάτων με διαφορετικό φυσικό χαρακτήρα, μηχανική συμπεριφορά και τρόπο συσχέτισης των μεταβλητών. Η μία ομάδα επιδεικνύει πολύ υψηλό ποσοστό (>70%) ανθρακικού μικροτιτικού υλικού, σχεδόν αποκλειστικά μη βιογενούς προέλευσης, ενώ στην άλλη η συγκέντρωση ολικών ανθρακικών (οργανικής και ανόργανου προέλευσης) είναι μικρότερη (<70%). Ειδικά στο ΣΑΡ-19 παρατηρείται ομαδοποίηση των δεδομένων σε τρεις κατηγορίες (η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει ιζήματα με $\text{CO}_3 > 70\%$). Η διαφοροποίηση του τρόπου συμπεριφοράς των πολύ ανθρακικών ιζημάτων μάλλον είναι αποτέλεσμα της πεπλατυσμένης μορφής των αραγωνιτικών ανθρακικών κόκκων, της εύθραυστης δομής και της χημικής ενεργότητάς τους που οδήγησε στη

ρείται σαφώς αρνητική συσχέτιση του με την υγρή πυκνότητα. Αντίθετα η σχέση του με τα όρια Atterberg είναι αύξουσα και παρατηρείται μόνο στα ευρισκόμενα κοντά στην περιοχή του υφαλοορίου ιζήματα. Όταν η συγκέντρωση του ξεπερνά το 1% παρατηρείται ότι επιδρά με σχέση αύξουσα στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή και την υγρή πυκνότητα. Διευκρινίζεται ότι στο σύνολο των ιζημάτων το περιεχόμενο οργανικού άνθρακα δεν επηρεάζει ουσιαστικά τη διατμητική αντοχή. Επιπλέον η αλληλεξάρτησή του με τα όρια Atterberg είναι αρκετά σαφής στα ιζήματα με ποσοστό οργανικού άνθρακα 0,36-1% και ιδιαίτερα με το όριο πλαστικότητας, παρά την άποψη των Vidalie (1977) και Booth & Dahl (1986) που θεωρούν ότι η συσχέτισή τους αποσαφηνίζεται όταν η περιεκτικότητα υπερβαίνει το 2% της σύστασης.

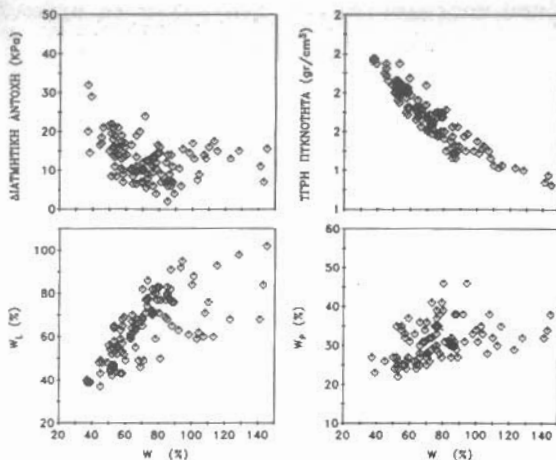
Η περιεκτικότητα σε νερό παρουσιάζει μικρή τάση αρνητικής γραμμικής συσχέτισης με την αστράγγιστη διατμητική αντοχή, η οποία δεν είναι φανερή σε όλα τα ιζήματα του Δ Σαρωνικού. Εξαιρέση αποτελούν τα ιζήματα με υγρασία <120% στον πυρήνα ΣΑΡ-19, όπου εμφανίζεται θετική συσχέτιση με τη διατμητική αντοχή. Αντίθετα, η επίδραση της υγρασίας στη διαμόρφωση της υγρής πυκνότητας είναι ιδιαίτερα σημαντική και η φθίνουσα σχέση τους είναι εντονότερη σε όλα τα ιζήματα, δίνοντας επιπλέον μεγάλους συντελεστές γραμμικής συσχέτισης ($|r| > 0,8$). Έτσι εξηγείται και η αξονική συμμετρία των κατακόρυφων κατανομών τους συναρτήσει του βάθους (Σχ. 2). Η σχέση της υγρασίας με τα όρια Atterberg είναι σε γενικές γραμμές αύξουσα ($r > 0,8$), αλλά δεν είναι ιδιαίτερα σαφής σε πυρήνες χαρακτηριστιζόμενους από υψηλότερη συγκέντρωση ανθρακικών και πυκνή εναλλαγή διαφορετικών ιζηματολογικών φάσεων (ΣΑΡ-5, ΣΑΡ-8, ΣΑΡ-9 και ΣΑΡ-19).

Στο σύνολο των δεδομένων παρατηρούνται πολυωνυμικές σχέσεις μεταξύ της τάσης υπερκειμένων και των κύριων γεωτεχνικών ιδιοτήτων, επειδή ο τρόπος συσχέτισής της με αυτές μεταβάλλεται κατά τη μετάβαση από τη μία ιζηματολογική ενότητα στην άλλη. Κάθε ορίζοντας δέχεται διαφορετικού είδους φόρτιση αναλόγως του βάθους ενταφιασμού και του ρυθμού ιζηματογένεσης, ενώ ταυτόχρονα η απόκριση του ιζήματος εξαρτάται μεταξύ άλλων από τη μορφή των κόκκων, την υφή και τη σύστασή του. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι οι συνηθές ιζηματογένεσης, το περιβάλλον απόθεσης, η πηγή του υλικού και οι διαγενετικές διεργασίες, αποτελούν τους καθοριστικούς παράγοντες που ελέγχουν γενικά τις ιδιότητες των υποθαλάσσιων ιζημάτων του Δ Σαρωνικού Κόλπου.

Σύμφωνα με τις τιμές των πολλαπλών συντελεστών συσχέτισης ($R^2 > 0,8$) το χρησιμοποιηθέν γραμμικό μοντέλο εννέα μεταβλητών περιγράφει επιτυχώς την αστράγγιστη διατμητική αντοχή σαν ταυτόχρονη γραμμική συνάρτηση των ανεξάρτητων μεταβλητών. Παρατηρείται μάλιστα ισχυρότερη συσχέτιση στα ιζήματα που προέρχονται από περιβάλλοντα μεγαλύτερου βάθους (ΣΑΡ-20, ΣΑΡ-6) όπου επικρατούν ηπιότερες υδροδυναμικές συνθήκες, ταχύτερη ιζηματογένεση και ομοιογένεια στην υφή. Η συσχέτιση βαίνει ελαττούμενη προς τα περιβάλλοντα με ισχυρότερες υδροδυναμικές συνθήκες και ελαχιστοποιείται κοντά στο υφαλοόριο της ενδιάμεσης υποθαλάσσιας πλατφόρμας στο σχετικά αμώδη και σημαντικά ανομοιογενή πυρήνα ΣΑΡ-17.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του γεωτεχνικού χαρακτήρα των ιζημάτων του Δ Σαρωνικού Κόλπου έχει το φυσιογραφικό περιβάλλον (υφαλοκρηπίδα υφαλοόριο, ηπειρωτική κατωφέρεια), διότι η αλλαγή του συνεπάγεται διαφοροποίηση των παραγόντων που επιδρούν στη διαμόρφωση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων. Η οριζόντια και κατακόρυφη διακύμανση της υψής, της χημικής σύστασης (αραγωνιτικός μικρίτης) και των γεωτεχνικών ιδιοτήτων, οφείλεται αντιστοίχως στη μεταβολή του φυσιογραφικού περιβάλλοντος, των κλιματικών συνθηκών και στις διαφορετικές διαγενετικές διεργασίες που υφίστανται τα ιζήματα.



Σχ. 5: Μεταβολή των γεωτεχνικών ιδιοτήτων των ιζημάτων συναρτήσει της περιεκτικότητας σε νερό.

Fig. 5: Variation of the geotechnical properties as a function of water content.

ποίας ο ρόλος είναι περιορισμένος. Για ποσοστά ιλύος <40% υπάρχει τάση αρνητικής συσχέτισης, ενώ σε ιζήματα της ίδιας φάσης με ποσοστά αργίλου >50% είναι μικρή και θετική.

- Τα ολικά ανθρακικά, όταν η συγκέντρωσή τους είναι μικρότερη του 70%. Την υγρή πυκνότητα των ιζημάτων της περιοχής μελέτης επηρεάζουν:
- Η κοκκομετρική σύσταση. Το κλάσμα ιλύος συσχετίζεται θετικά, ενώ το αργιλικό κλάσμα και το άθροισμα ιλύς+αργίλος εμφανίζουν μια τάση αρνητικής συσχέτισης με την υγρή πυκνότητα.
- Η χημική σύσταση. Στα λιγότερο ανθρακικά ιζήματα (<70%) παρατηρείται θετική γραμμική συσχέτιση. Επιπλέον υπάρχει σαφής φθίνουσα σχέση με τον οργανικό άνθρακα (για ποσοστά <1%).
- Η περιεκτικότητα σε νερό επιδρά μεταβάλλοντας τις τιμές υγρής πυκνότητας με αντιστρόφως ανάλογη σχέση.
- Η τάση των υπερκειμένων ιζημάτων με πολυωνυμικούς τρόπους συσχέτισης. Οι τιμές των ορίων Atterberg διαμορφώνονται ως εξής:
- Αύξηση στη συγκέντρωση του κλάσματος αργίλου προκαλεί ανάλογη αύξηση των τιμών των ορίων, ενώ η αύξηση της ιλύος επιφέρει ελάττωση.
- Η επίδραση της χημικής σύστασης είναι σημαντική. Στα λιγότερο ανθρακικά ιζήματα παρατηρείται αρνητική συσχέτιση με τα όρια Atterberg, ενώ στα ενδιαμέσα (=70%) είναι θετική. Η σχέση των ορίων με τον περιεχόμενο οργανικό άνθρακα είναι αύξουσα και εμφανίζεται μόνο στα προερχόμενα από περιοχές πλησίον του υφαλοορίου ιζήματα.
- Επίσης αύξουσα είναι η σχέση τους με την περιεκτικότητα σε νερό.
- Η τάση υπερκειμένων επιδρά με μη γραμμικό τρόπο.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, η αστράγγιστη διατηρητική αντοχή δύναται να περιγραφεί επιτυχώς σαν ταυτόχρονη γραμμική συνάρτηση εννέα μεταβλητών: του ποσοστού ιλύος, αργίλου, ολικών ανθρακικών και οργανικού άνθρακα του ιζήματος, της φαινόμενης υγρής πυκνότητας, της περιεκτικότητας σε νερό, των ορίων Atterberg και της τάσης των υπερκειμένων. Η ταυτόχρονη εξάρτηση της διατηρητικής αντοχής από όλες τις εξεταζόμενες παραμέτρους,

Η συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων κατέδειξε τον τρόπο επίδρασης των διαφόρων ιζηματολογικών και φυσικοχημικών ιδιοτήτων στη διακύμανση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων των ιζημάτων. Στη διαμόρφωση της αστράγγιστης διατηρητικής αντοχής επιδρούν καθοριστικά οι ακόλουθοι παράγοντες:

- Η τάση υπερκειμένων, που εμφανίζει σχέσεις πολυωνυμικές επί του συνόλου των ιζημάτων. Σε κάθε ιζηματολογική φάση η σχέση της με την διατηρητική αντοχή είναι αύξουσα, με εξαίρεση τα πολύ υδαρά ιζήματα των περιθωρίων της ενδιάμεσης πλατφόρμας.
- Η περιεκτικότητα σε νερό, με συσχέτιση αρνητική για ποσοστά της μικρότερα του 90% και θετική όταν ξεπερνά το 90%.
- Η κοκκομετρική σύσταση της ο-

αποκαλύφθηκε εντονότερη στα ιζήματα που προέρχονται από περιβάλλοντα μεγαλύτερου βάθους όπου επικρατούν ηπιότερες υδροδυναμικές συνθήκες.

Τελικά, καθίσταται φανερό ότι το φυσιογραφικό περιβάλλον, οι υδροδυναμικές συνθήκες ιζηματογένεσης που επικρατούν σε αυτό και η πηγή του υλικού που καθορίζουν σε υψηλό βαθμό την υφή και τη γεωχημική σύσταση των ιζημάτων, σε συνδυασμό με τις διαγενετικές διεργασίες και την επαναιώρηση-μεταφορά και επαναπόθεση, επιδρούν στη διαμόρφωση του γεωτεχνικού τους χαρακτήρα. Ειδικά οι συνθήκες ιζηματογένεσης, καθώς μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου (ανθρακικός χαρακτήρας), ασκούν στα ιζήματα του Δ Σαρωνικού Κόλπου μια ιδιαίτερη επίδραση δίνοντας ιζηματολογικές φάσεις εντός των οποίων διαφοροποιείται ο τρόπος αλληλεπίδρασης των παραμέτρων, δημιουργώντας τελικά ορίζοντες διαφορετικής μηχανικής συμπεριφοράς. Δηλαδή η διακύμανση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων των μελετούμενων ιζημάτων φαίνεται ότι ανακλά κυρίως φυσικοχημικές διαφορές στις ιζηματολογικές φάσεις και στις διεργασίες που συσχετίζονται με το σχηματισμό τους.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς εκφράζουν τις θερμές ευχαριστίες τους προς τον Δρ Ανδρέα Τζάνη για τη βοήθειά του στην κατασκευή των διαγραμμάτων και πινάκων και για την παροχή τεχνικής δυνατότητας για την ευπρεπή παρουσίαση της εργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BENNETT, R.H. and NELSEN, T.A. (1983). Seafloor characteristics and dynamics affecting geotechnical properties at selfbreaks. *SEPM, Special Publication* 33, 333-355.
- BENNETT, R.H., FREELAND, G.L., LAMBERT, D.N., SAWER, W.B. and KELLER, G.H. (1980). Geotechnical properties of surficial sediments in a megacorridor. U.S. Atlantic continental slope, rise, and deep-sea basin. *Marine Geology*, 38, 123-140.
- BOOTH, J.S. and DAHL, A.G. (1986). A note on the relationships between organic matter and some geotechnical properties of a marine sediment. *Marine Geotechnology*, 6(3), 281-197.
- B.S. 1377 (1975). Methods of test for Soils for Civil Engineering Purposes, British Standards Inst., London.
- CHASSEFIERE, B. and MONACO, A. (1987). Geotechnical processes of the Rhone continental margin. *Marine Geology*, 74, 225-235.
- CHASSEFIERE, B. and MONACO, A. (1989). Role of organic matter and particle fabric in mass-physical and geotechnical properties: implications for undrained slumping in Aegean Sea and Ionian Sea modern sediments. *Marine Geology*, Elsevier (ed.), 87, 165-182.
- ΔΑΣΕΝΑΚΗΣ, Μ. και ΣΚΟΥΛΛΟΣ, Μ. (1989). Εργαστηριακές σημειώσεις χημικής ωκεανογραφίας. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Χημείας, Τομέας ΙΙΙ. Β' Έκδοση, 151.
- HAMPEL, F.R., RONCHETTI, E.M., ROUSSEUW, P.J. and WERNER, A.S. (1986). *Robust statistics. The approach based on influence functions*. Wiley (ed.), New York.
- KYZEPIDH, Μ. (1993). Γεωτεχνικές ιδιότητες υποθαλασίων ανθρακικών ιζημάτων από το Δυτικό Σαρωνικό Κόλπο. Διπλωματική Εργασία Μεταπτυχιακού Ωκεανογραφίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- LEE, H.J. (1981). Bulk density and shear strength of several deep-sea calcareous sediments. *Geotechnical Properties, Behavior, and Performance of Calcareous Soils*, Demars, K.R., and Chaney, R.C. (eds.), *ASTM Special Technical Publ.* 777, Philadelphia, 54-78.
- ΛΥΚΟΥΣΗΣ, Β. (1990). Αποθέσεις προδελτα. Σεισμική στρωματογραφία- ιζηματολο-

- γία-ευστάθεια πρανών. Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστήμιο Πατρών, 325.
- ΛΥΚΟΥΣΗΣ, Β. και ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΥ, Υ. (1992). Ιζηματολογική και παλαιογεωγραφική εξέλιξη του Σαρωνικού Κόλπου στο τέλος του Τεταρτογενούς. Πρακτικά, 6ο Συνέδριο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Αθήνα, Μάιος 1992 (υπό εκτύπωση).
- LYKOUSIS, V., PAVLAKIS, P., PAPANIKOLAOU, D., CHRONIS, G., ANAGNOSTOU, C., ROUSSAKIS, G. and SYSKAKIS, D. (1988). Neotectonic structure and evolution of the Western Saronikos Gulf. *Rapp. Comm. Int. Mer. Medit.*, 31(2), 98.
- LYKOUSIS, B. and CHRONIS, G., (1989). Mass movements, geotechnical properties and slope stability in the outer shelf-upper slope, Northwestern Aegean Sea. *Marine Geotechnology*, 8, 231-247.
- MUELLER, G. and GASTNER, M. (1971). The carbonate bombe, a simple device for the determination of the carbonate content in sediments, soils and other materials. *N. Jahrb. Mineral.*, 10, 466-469.
- NACCI, V.A., KELLY, W.E., WANG, M.C. and DEMARS, K.R. (1974). Physical and mechanical properties. In Inderbitzen, A.L. (ed.), *Deep-Sea Sediment*, Plenum Press, New York.
- PRESS, W.H., FLANNERY, B.P., TEUKOLSKY, S.A. and VETTERLING, W.T. (1986). *Numerical recipes: The art of scientific computing*. Cambridge University Press.
- SKEMPTON, A.W. (1953). The colloidal activity of clays. Proc. 3rd Int. Conf. Soil Mech., Foundation Eng., Zurich, 1, 17-60.
- VIDALIE, J.F. (1977). Relations entre les proprietes physicochimique et les caracteristiques mecaniques des sols compressibles. *Rapp. Rech. Lab. Ponts et Chaussees*, 65, 92.