



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



Συνθήκες ιζηματογένεσης και παλαιογεωγραφική εξέλιξη των ιζημάτων της τομής Μακρυλιά στη λεκάνη της Ιεράπετρας στην Κρήτη

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΑΒΡΑΑΜ ΖΕΛΗΛΙΔΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΟΦΟΡΗ ΛΕΩΝΙΔΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2013
ΠΑΤΡΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	7
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	7
1.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΡΗΤΗΣ.....	8
1.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	12
2. ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ.....	14
2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΚΛΩΝ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗΣ.....	16
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ.....	19
3.1 ΧΡΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	19
3.2 ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ	20
3.2 ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	23
4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ.....	25
4.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ	25
4.2 ΠΕΔΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ.....	25
4.2.1 Μητρικά πετρώματα.....	27
4.2.2 Περιβάλλοντα απόθεσης μητρικών πετρωμάτων.....	27
5. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	29
5.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ.....	29
5.1.1 Εισαγωγή	29
5.1.2 Συζήτηση.....	30
5.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	33
5.2.1 Μέθοδος προσδιορισμού οργανικού άνθρακα με τιτλοδότηση.....	33
5.2.2 Συζήτηση.....	34
6. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	36
6.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΟΣΚΙΝΩΝ-ΠΙΠΕΤΑΣ	36
6.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	37
6.2.1 Μέθοδος κοσκίνων πιπέτας.....	37
6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	40
6.3.1 Καθορισμός των στατιστικών παραμέτρων της κοκκομετρικής κατανομής	40
6.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	42
6.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	46
6.5.1 Εισαγωγή	46

6.5.2	Συζήτηση.....	49
6.6	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗΣ.....	50
6.6.1	Εισαγωγή.....	50
6.6.2	Συζήτηση.....	51
7.	ΣΧΕΣΗ TOC-CaCO ₃ -ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ.....	56
7.1	Σχέση TOC-CaCO ₃	56
7.2.	ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΒΕΝΘΟΝΙΚΛΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ.....	57
8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	58
8.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	60
	ΞΕΝΟΓΛΩΣΗ.....	60
	ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ.....	61
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	63

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική διατριβή με τίτλο “Συνθήκες ιζηματογένεσης και παλαιογεωγραφική εξέλιξη των ιζημάτων της τομής Μακρυλιά στη λεκάνη της Ιεράπετρας στην Κρήτη”, εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών, του τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Πατρών.

Στόχος της εργασίας αυτής ήταν η ιζηματολογική ανάλυση της τομής Μακρυλιά της νήσου Κρήτη με σκοπό να μελετηθούν όσο το δυνατό καλύτερα τα αποθετικά τους περιβάλλοντα, οι συνθήκες σχηματισμού τους, η γεωδυναμική εξέλιξη της περιοχής καθώς και ο εντοπισμός και η αξιολόγηση πιθανών μητρικών πετρωμάτων υδρογονανθράκων.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν και με βοήθησαν στην συγγραφή και ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Τον επιβλέποντα της διατριβής κ. Αβραάμ Ζεληλίδη, καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, για την επιστημονική καθοδήγηση που μου παρείχε τόσο στο θεωρητικό όσο και στο ερευνητικό μέρος της εργασίας μου καθώς και για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Τον κ. Κοντόπουλο Νικόλαο, Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, για τη βοήθεια που μου παρείχε στο τμήμα των εργαστηριακών αναλύσεων.

Τον Νικολάου Κωνσταντίνο, μεταπτυχιακό φοιτητή του τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών για την πολύτιμη βοήθειά του τόσο σε εργαστηριακό επίπεδο όσο και στον τομέα παροχής πληροφοριών για την χρήση εξειδικευμένων προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Τον Παναγόπουλο Γεώργιο, υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτη, για την σημαντική βοήθειά του στην εργασία υπαίθρου.

Την Κωστοπούλου Σοφία, μεταπτυχιακή φοιτήτρια του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών, για την ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών, προκειμένου να έρθουν εις πέρας οι εργασίες μας.



Τον φίλο και συμφοιτητή μου Δήμα Ξενοφών για την πολύτιμη ηθική και πρακτική στήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου την οικογένεια μου για την στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και κατά τη διάρκεια συγγραφής και ολοκλήρωσης και της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των ιζηματολογικών και γεωχημικών χαρακτηριστικών της τομής Μακρυλιά (ΝΑ Κρήτη) με κατεύθυνση την αναζήτηση πιθανών μητρικών πετρωμάτων υδρογονανθράκων.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση της γεωλογίας της περιοχής μελέτης και γενικότερα της Κρήτης, περιγραφή της τομής όπου έγινε η δειγματοληψία και τέλος περιγραφή της γεωδυναμικής και παλαιογεωγραφικής εξέλιξης της ευρύτερης περιοχής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα στοιχεία υπαίθρου που συλλέχθηκαν, καθώς και περιγραφή των κύκλων ιζηματογένεσης της τομής, έτσι όπως προσδιορίστηκαν.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των απολιθωμάτων που βρέθηκαν στα δείγματα και γίνεται συζήτηση για τα περιβάλλοντα τα οποία αντιπροσωπεύουν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια επιγραμματική αναφορά των συνθηκών που απαιτούνται για τη γένεση πεδίων υδρογονανθράκων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφονται οι γεωχημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν. Το κεφάλαιο αυτό χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος περιγράφεται η ανάλυση του ανθρακικού ασβεστίου και τα αποτελέσματα της. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του οργανικού υλικού που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική.

Στο έκτο κεφάλαιο με τίτλο κοκκομετρική ανάλυση γίνεται μια περιγραφή των μεθόδων κοκκομετρικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση μεταξύ του ολικού οργανικού άνθρακα, ανθρακικού ασβεστίου και των βενθονικών τρηματοφόρων και παρατίθενται τα συμπεράσματα από τη σύγκριση αυτή.

Το όγδοο, αποτελεί το κεφάλαιο με τα συμπεράσματα και τη συζήτηση για την περιοχή μελέτης.

Τέλος ακολουθεί το παράρτημα με τα διαγράμματα αθροιστικής συχνότητας-πιθανότητας έτσι όπως υπολογίστηκαν.

1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το νησί της Κρήτης αποτελεί το μεγαλύτερο νησί του Ελλαδικού χώρου και βρίσκεται στα νότια του Αιγαίου πελάγους. Πρόκειται για μια επιμήκη χερσαία περιοχή με γενική διεύθυνση ανάπτυξης Α-Δ, η οποία βρέχεται από το Κρητικό πέλαγος στα βόρεια και από το Λιβυκό πέλαγος στα νότια. Οι μεγαλύτερες πόλεις βρίσκονται στις βόρειες ακτές και είναι από τα δυτικά προς τα ανατολικά τα Χανιά, το Ρέθυμνο, το Ηράκλειο, ο άγιος Νικόλαος και η Σητεία, όπου υπάρχουν μεγάλες λιμενικές εγκαταστάσεις, που εξυπηρετούν την ακτοπλοϊκή σύνδεση του νησιού με την ηπειρωτική Ελλάδα και την Ευρώπη γενικότερα. Κατά μήκος της νότιας ακτογραμμής συναντώνται μικρότερες πόλεις (Ιεράπετρα, Αγία Γαλήνη, Χώρα Σφακίων).

Οι μεγάλοι ορεινοί όγκοι που δεσπόζουν στο νησί είναι τρεις. Τα Λευκά όρη, με μέγιστο υψόμετρο τα 2.452 μ., βρίσκονται στο δυτικό τμήμα της Κρήτης, νότια της πόλης των Χανίων. Ο Ψηλορείτης (Ιδη) με υψόμετρο που φτάνει τα 2.456 μ., βρίσκεται στην κεντρική Κρήτη, μεταξύ των νομών Ηρακλείου και Ρεθύμνου και το όρος Δίκτη 2.148 μ., βρίσκεται μεταξύ των νομών Ηρακλείου και Λασιθίου, όπου έχει δημιουργηθεί το μεγάλης έκτασης οροπέδιο του Λασιθίου με υψόμετρο 850 μ. Σημαντικές μορφολογικές εξάρσεις συναντώνται και πιο ανατολικά, μεταξύ των πόλεων της Ιεράπετρας και της Σητείας (όρη Θρίσπης, 1.476 μ.), αλλά και κατά μήκος των νότιων παραλίων της κεντρικής Κρήτης, όπου αναπτύσσονται τα Αστερούσια όρη, με μέγιστο υψόμετρο τα 1.231 μ.

Ενδιάμεσα των παραπάνω ορεινών όγκων το υψόμετρο μειώνεται και δημιουργούνται οι λεκάνες του Ρεθύμνου, του Ηρακλείου και της Ιεράπετρας με μέση διεύθυνση Β-Ν. Οι κύριοι κλάδοι των ποταμών που ρέουν σε όλο το νησί της Κρήτης έχουν μέση διεύθυνση Β-Ν, ενώ το ίδιο συμβαίνει με τα περισσότερα φαράγγια που έχουν δημιουργηθεί στις παράκτιες περιοχές (Σαμαριά, Σφακιανό, Τρυπητή, Αναποδάρη κλπ.).

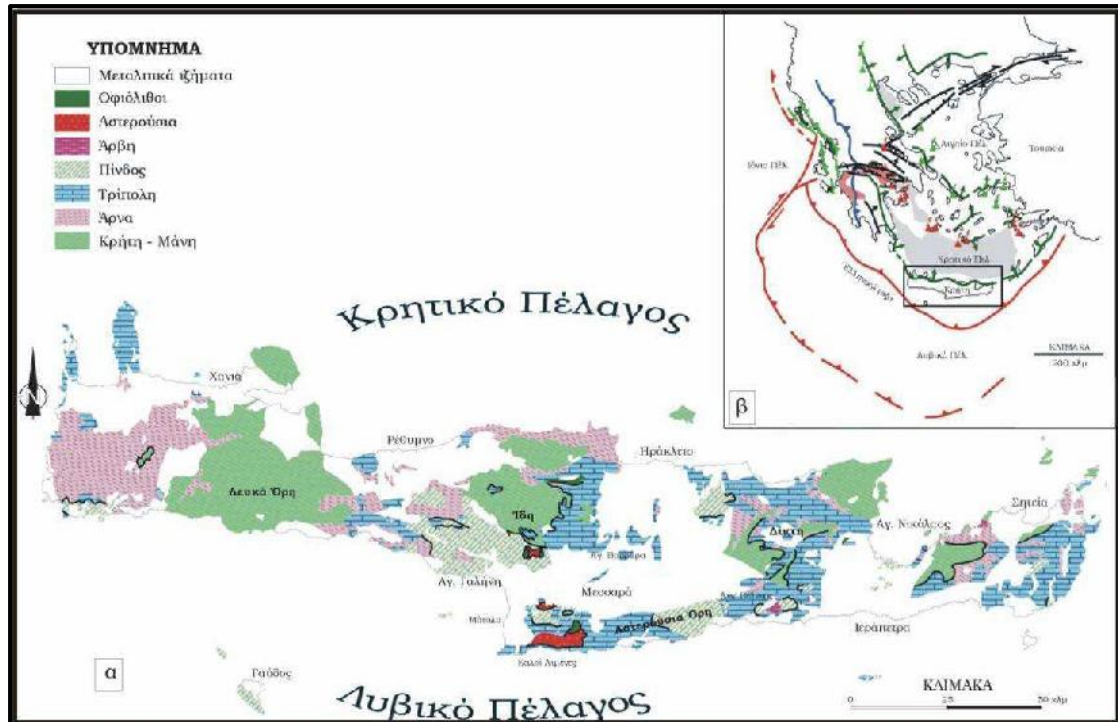
1.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΡΗΤΗΣ

Όπως προαναφέρθηκε η Κρήτη βρίσκεται στο νοτιότερο άκρο του Ελληνικού τόξου. Λόγω αυτής της ιδιαίτερης θέσης της χαρακτηρίζεται από πολύπλοκη γεωλογική δομή, που οφείλεται στην τεκτονική τοποθέτηση αλληπάλληλων καλυμμάτων από αλπικές ενότητες, σε ένα χώρο με σχετικά μικρό πλάτος αλλά με διαρκή τεκτονική δραστηριότητα και στη μεταλπική περίοδο.

Η πολυπλοκότητα αυτή οδήγησε στη μελέτη της Κρήτης από πολλούς ερευνητές, από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα και κατά συνέπεια τη δημοσίευση πολλών και διαφορετικών απόψεων, σχετικά με τη δημιουργία, τη σύνθεση και τελικά τη διαδρομή των διαφόρων γεωτεκτονικών ενοτήτων, μέχρι τη σημερινή γεωλογική δομή. (εικόνα).

Πιο συγκεκριμένα το νησί της Κρήτης αποτελεί μια εξέχουσα δομή ενδορηγματικής ένστρωσης η οποία σχηματίστηκε μπροστά από το Ελληνικό τόξο της ζώνης καταβύθισης. Η δομή της Κρήτης αποτελείται από ενότητες πετρωμάτων από διάφορες παλαιογεωγραφικές ζώνες οι οποίες θα μπορούσαν να χωριστούν σε ενότητες: Η Κατώτερη ενότητα, υψηλών πιέσεων-χαμηλών θερμοκρασιών (HP-LT) και η Ανώτερη ενότητα (Van Hinsbergen & Meulenkamp, 2006; Papanikolaou & Vassilakis, 2010; Zachariasse et al., 2011).

Γενικά πιστεύεται ότι η τεκτονική επαφή των δύο παραπάνω ενοτήτων είναι μία αξιοσημείωτη επιφάνεια αποκόλλησης Α-Δ διεύθυνσης, η οποία έχει ονομαστεί ως επιφάνεια αποκόλλησης της Κρήτης (Cretan Detachment). Αυτή η ζώνη έδρασε κατά το Μέσο Μειόκαινο (15-17 Ma), ως χαμηλής γωνίας κανονικό ρήγμα και έχει παρατηρηθεί στην Κρήτη καθώς και στις Κυκλάδες (Ring et al., 2001; Van Hinsbergen & Meulenkamp, 2006; Tortorici et al., 2010).



Εικόνα 1.1: (α) Γενικευμένος γεωλογικός χάρτης της Ν. Κρήτης και Γαύδου. (β) Η θέση τους σε σχέση με το Ελληνικό τόξο και οι κυριότερες τεκτονο-στρωματογραφικές δομές του. Η σύγχρονη σύγκλιση των τεκτονικών πλακών-κόκκινες γραμμές, το σύγχρονο και παλαιότερο ηφαιστειακό τόξο-κόκκινα και πράσινα τρίγωνα, τα κύρια μέτωπα επωθήσεων των εξωτερικών Ελληνίδων-Ιόνια και Παξοί πράσινα, Πίνδος μπλε, τις Πλειο-Τεταρτογενείς θαλάσσιες λεκάνες της κεντρικής Ελλάδας ροζ, οι κύριες σύγχρονες θαλάσσιες λεκάνες γκρι, οι μεγάλες επιφάνειες αποκόλλησης Μειοκαινικής ηλικίας-πράσινες γραμμές με το βέλος να δείχνει τη φορά μέγιστης κλίσης (Βασιλάκης, 2006).

Πιο αναλυτικά:

Κατώτερη Ενότητα (HP-LT):

Ενότητα Κρήτης-Μάνης: γνωστή ως όρος «ομάδα Πλακωδών Ασβεστολίθων» “Plattenkalk-Gruppe”, αποτελεί την κατώτερη ενότητα της Κρήτης (Φυτρολάκης 1978, 1980; Manutsoglu et al., 1995b).

Ενότητα Τρυπαλίου: όπου επικρατεί η άποψη πως αποτελεί τμήμα της Ενότητας Κρήτης-Μάνης.

Ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών: όπου βρίσκεται τεκτονικά μεταξύ της σχετικά αυτόχθονης ενότητας Κρήτης-Μάνης και του καλύμματος της Τρίπολης.

Ενότητα Τρίπολης: χωρίζεται σε τρεις στρωματογραφικές σειρές, την άργιλο-σχιστολιθική-ανθρακική σειρά Ραβδούχων Τριαδικής ηλικίας, την ανθρακική σειρά Τρίπολης και τον φλύσχη Τρίπολης (Φυτρολάκης, 1980).

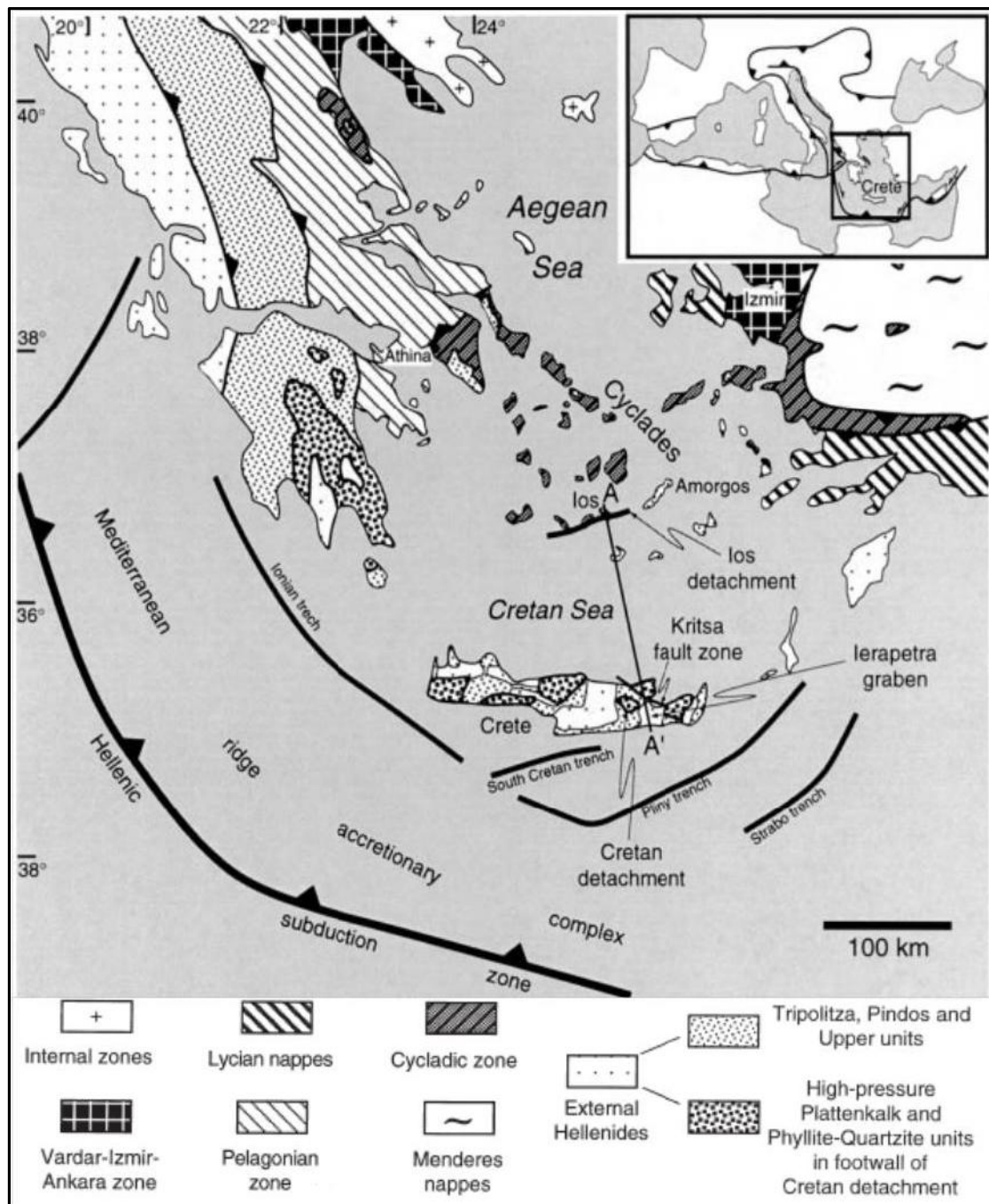
Ενότητα Ωλονού-Πίνδου: ως ανώτερο τεκτονικό κάλυμμα, είναι μια ακολουθία ιζημάτων και ιζημάτων κλιτύος, αποτελούμενη από ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και ραδιολαρίτες. Πάνω από την ακολουθία των πελαγικών ιζημάτων υπάρχει φλύσχη Παλαιοκαινικής-Ηωκαινικής ηλικίας. Η απόθεση του φλύσχη ξεκινά πολύ αργότερα στην Κρήτη σε σχέση με την Ηπειρωτική Ελλάδα όπου τα μεταβατικά στρώματα ασβεστόλιθου-φλύσχη είναι ηλικίας Ανώτερου Κρητιδικού. Λόγω της της διαφοράς και μερικών άλλων ιδιαιτεροτήτων, της διαφορά φάσης όπου από πελαγική ακολουθία γίνεται πιο νηρητική η “Ενότητα Ωλονού-Πίνδου” αναφέρεται στην Κρήτη ως “Ενότητα Εθιάς” ή “σειρά της Μαγκασσά”. Εμφανίσεις της Ενότητας Ωλονού-Πίνδου αναφέρονται στη νήσο Γαύδο κυρίως στο νότιο τμήμα του νησιού και σχεδόν σε όλο το τμήμα της νήσου Γαυδοπούλα (Vicente, 1970).

Πάνω από της παραπάνω αναφερόμενες εξωτερικές ζώνες υπάρχουν σε ανώτερη τεκτονική θέση αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των εσωτερικών ζωνών, της είναι η ενότητα της Άρβης.

Ενότητα Άρβης: Ανώτερες τεκτονικές ενότητες: Της ενότητες αυτές περιλαμβάνονται τα “καλύμματα της Μιαμού και των σχιστολίθων του Βάτου” (Bonneau, 1972, 1974) και το “κάλυμμα των Αστερουσίων” κατά Bonneau (1972) ή “σύνολο Σερπεντινών-Αμφιβολιτών” κατά Greutzburg & Seidel (1975).

Το κάλυμμα των Αστερουσίων αντιπροσωπεύεται α) από ένα σύνολο υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης πετρωμάτων (Seidel et al., 1981) και β) οφιόλιθους, οι οποίοι κατέχουν συνήθως την ανώτερη τεκτονική θέση.

Τέλος, πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς τα οποία συνήθως έχουν κυμαινόμενο πάχος και εξάπλωση στις διάφορες περιοχές της Κρήτης.

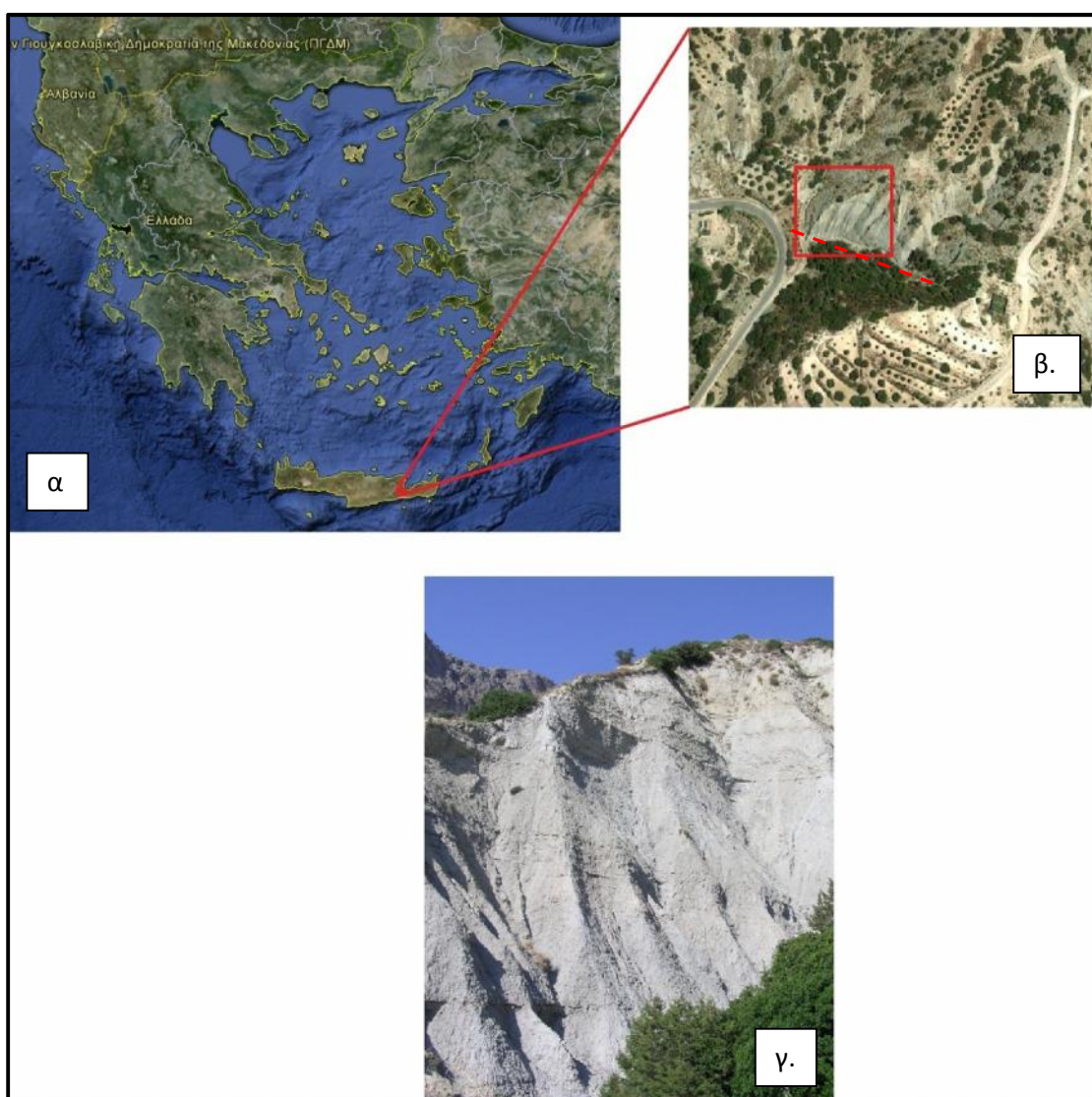


Εικόνα 1.2: Γενικευμένος τεκτονικός χάρτης του Αιγαίου, όπου παρουσιάζονται μεγάλες τεκτονικές μονάδες. Επίσης φαίνονται οι επιφάνειες αποκόλλησης της ίου και της Κρήτης καθώς και η ρηξιγενής ζώνης της Κριτσάς. (Ring et al., 2001).

1.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νότιο μισό της νήσου Κρήτης (Εικόνα 1.3α) και πιο συγκεκριμένα 0,42 km ανατολικά του χωριού της Μακρυλιάς. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες της τομής της Μακρυλιάς είναι $35^{\circ} 03' 42,59''$ το γεωγραφικό της πλάτος και $25^{\circ} 43' 21,35''$ το γεωγραφικό της μήκος.

Επίσης η περιοχή μελέτης περιέχεται στο γεωλογικό χάρτη του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε), κλίμακας 1:50.000 (φύλλο: Ιεράπετρα).



Εικόνα 1.3: (α) Η θέση της περιοχής μελέτης στον χάρτη της Ελλάδος, (β) Η περιοχή μελέτης στη νήσο Κρήτη, με διακεκομμένη γραμμή σημειώνεται το ρήγμα με ΔΒΔ διεύθυνση που οριοθετεί το νότιο περιθώριο της περιοχής μελέτης, (γ) Εικόνα της τομής της Μακρυλιάς, όπου έγινε η δειγματοληψία.

Σύμφωνα με τους Ring et al., (2001) η τάφρος της Ιεράπετρας έχει μια ασύμμετρη αρχιτεκτονική, με τις παλαιότερες αποθέσεις να κυριαρχούν στο νότιο τμήμα της. Το δυτικό τμήμα της τάφρου της Ιεράπετρας περιβάλλεται από προ-νεογενή πετρώματα με την εξής στρωματογραφική σειρά από τα ανώτερα προς τα κατώτερα: Ανώτερη Μονάδα, Μονάδα Πίνδου, Μονάδα Τρίπολης και μονάδα Φυλλιτών-Χαλαζιτών (βλέπε Greutzburg et al., 1977, για την περιγραφή). Σύμφωνα με τους Fortuin και Peters (1984), οι αποθέσεις του σχηματισμού του Μυθίου προέρχονται αποκλειστικά από την Άνω Μονάδα, ενώ οι αποθέσεις στην υπερκείμενη σειρά είναι κατά κύριο λόγο από τη Μονάδα της Πίνδου.

Η υπερκείμενη σειρά λατυποπαγών του κατωτέρου Τορτονίου, περιλαμβάνει θραύσματα από τη μονάδα της Τρίπολης.

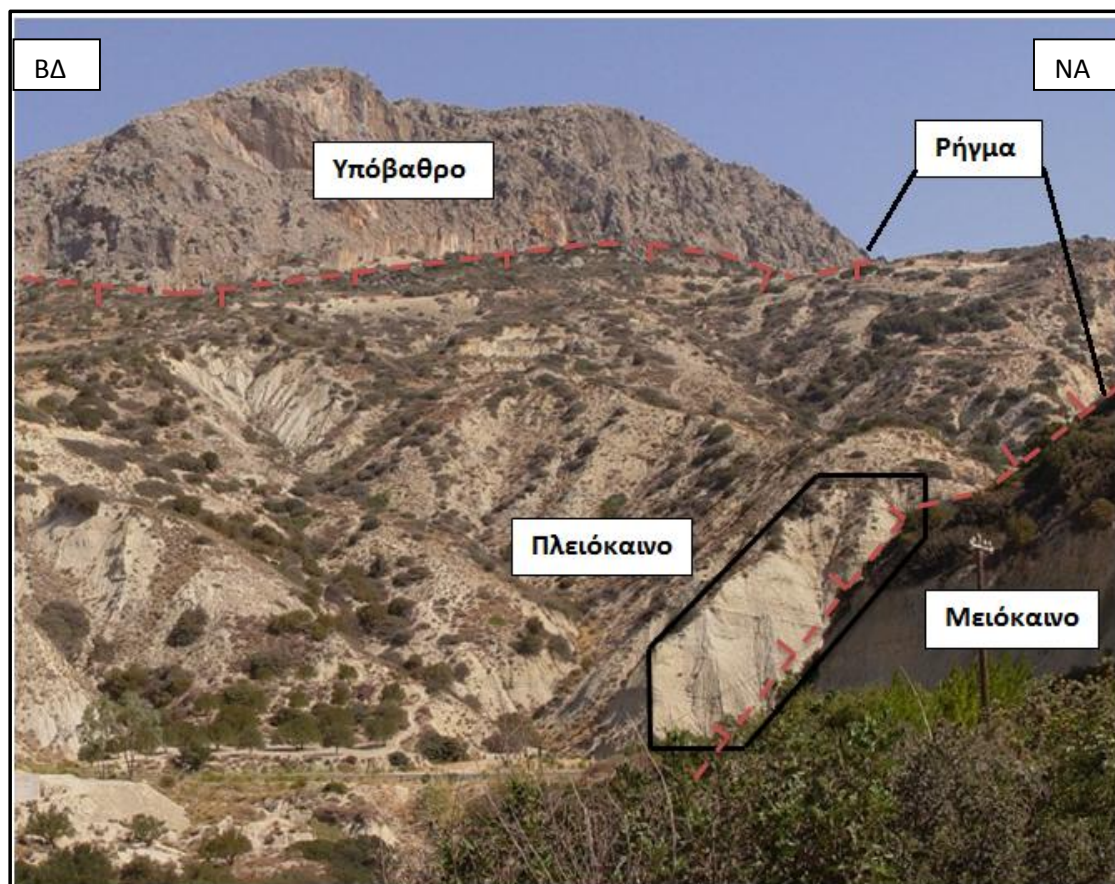
Ούτε το πάχος, ούτε η διάταξη των κροκάλων ή το κοκκομετρικό μέγεθος των ιζημάτων του σχηματισμού του Μυθίου έχουν ξεκάθαρη σχέση με τα ρήγματα που σχημάτισαν την τάφρο της Ιεράπετρας (ten Veen and Postma, 1999). Τα ιζήματα του σχηματισμού του Μάλε έχουν αποτεθεί ως αλλουβιακά ριπίδια, και συνδέονται με τη δράση του ρήγματος της Κρητσάς, που επηρεάζει το περιβάλλον ιζηματογένεσης με την απόθεση των αλλουβιακών ριπιδίων. Ωστόσο η ηλικία του σχηματισμού των Μαλίων δείχνει ότι η δραστηριότητα του ρήγματος της Κρητσάς ξεκίνησε κατά το κατώτερο Σαραβάλλιο (14-12 Ma). Οι ποτάμιες αποθέσεις με κροκαλοπαγή έχουν παλαιογεωμετρικές διευθύνσεις παράλληλες με τον άξονα της λεκάνης και προέρχονται από τα δυτικά ενώ οι αποθέσεις λατυποπαγών, που αναγνωρίστηκαν πολύ κοντά σε μεγάλα ρήγματα τοποθετήθηκαν-προήλασαν από τα βόρεια (Postma et al., 1993).

Εγκάρσιες σχέσεις δείχνουν ότι οι ρηξιγενείς ζώνες της Κρητσάς και της Κρούστας στο βόρειο τμήμα της τάφρου της Ιεράπετρας, δημιουργηθήκαν από BBA-κανονικά διευθυνόμενα ρήγματα. Στο κεντρικό και νότιο τμήμα της τάφρου της Ιεράπετρας, οι ρηξιγενείς ζώνες της Μακρυλιάς και του Παραμυθίου είναι δύο μεγάλα ΔΒΔ-κανονικά ρήγματα. Το ρήγμα της Μακρυλιάς διακόπτει τη συνέχεια ή κόβει εγκάρσια τα BBA διευθυνόμενα ρήγματα ενώ η ρηξιγενής ζώνη του Παραμυθίου νοτιότερα, κύρια διακόπτει τη συνέχεια των BBA-κανονικών διευθυνομένων ρηγμάτων. Τα παραπάνω δείχνουν ξεκάθαρα ότι η ρηξιγενής ζώνη της Κρητσάς ανήκει στις παλαιότερες ρηξιγενείς δομές που δημιούργησαν τάφρους στην περιοχή. Η ρηξιγενής ζώνη της Κρητσάς με πολλές επιφανειακές εμφανίσεις δείχνει βύθιση νότια (Ring et al., 2001).

2. ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

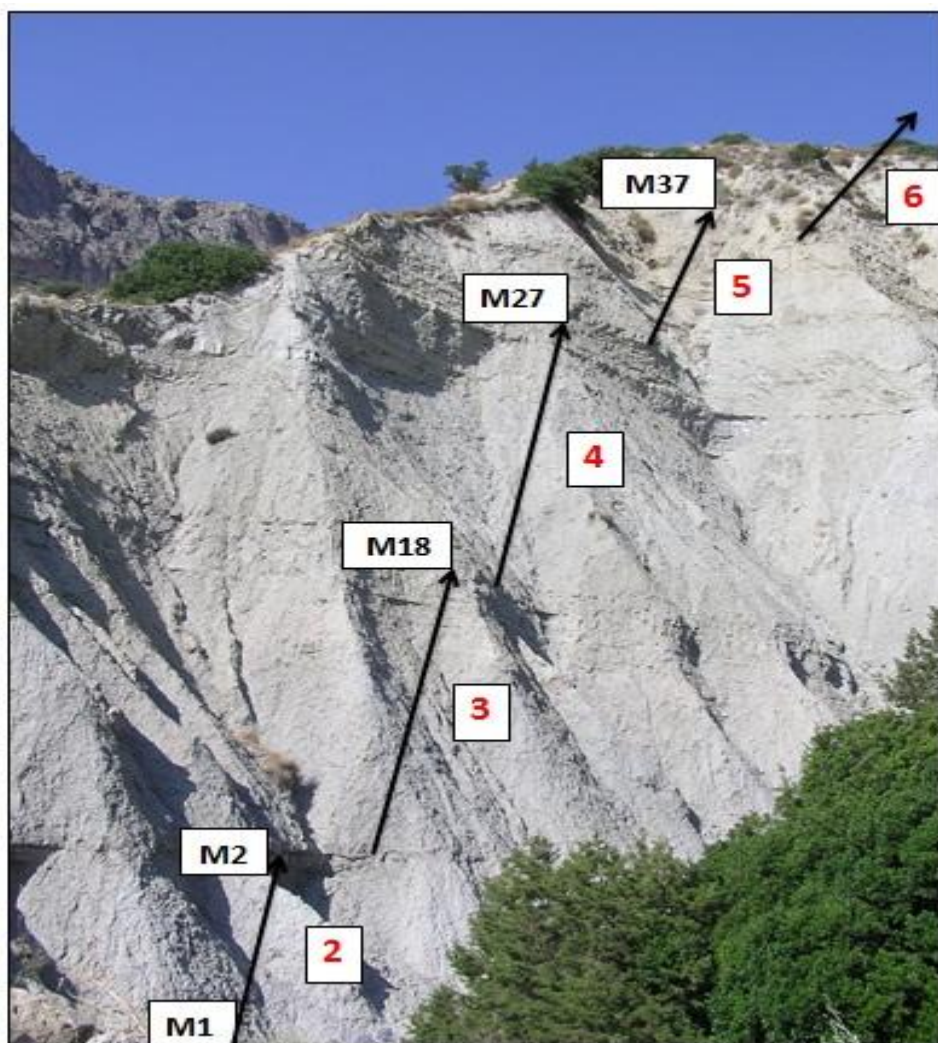
2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η περιοχή μελέτης αποτελεί μια ενδοορεινή ρηξιγενή λεκάνη, που περιορίζεται από ΒΒΔ διευθυνόμενα ρήγματα, βόρεια από το υπόβαθρο ενώ νότια από ιζήματα του Μειοκαίνου (Ring et al., 2001),(Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Άποψη από την τομή Μακρυλιά (ΝΑ Κρήτη). Στην εικόνα φαίνονται τα ΔΒΔ διευθυνόμενα ρήγματα που οριοθετούν την λεκάνη βόρεια με το υπόβαθρο και νότια με τα παλαιότερα ιζήματα του Μειοκαίνου.

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα στοιχεία που προέκυψαν, ύστερα από την εργασία στην ύπαιθρο. Κατά τις εργασίες υπαίθρου αναγνωρίστηκαν 6 κύκλοι ιζηματογένεσης (Εικόνα 2.2), εκ των οποίων ο τελευταίος κύκλος δεν ήταν προσεγγίσιμος. Όλοι οι κύκλοι απεικονίζονται στην εικόνα 2.2, με εξαίρεση τον πρώτο κύκλο που δεν καλυπτόταν από τη φωτογραφία.



Εικόνα 2.2: Τομή Μακρυλιάς όπου έγινε η δειγματοληψία. Στην εικόνα είναι τοποθετημένα τα δείγματα τα οποία σηματοδοτούν το κλείσιμο κάθε κύκλου καθώς και η αρίθμηση των κύκλων ιζηματογένεσης. Ο πρώτος κύκλος κλείνει στο σημείο όπου βρίσκεται το δείγμα M1.

Τα γενικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι ότι όλοι κύκλοι που εξετάστηκαν (κύκλοι 1 έως 5), κλείνουν με επάλληλες αμμούχες αποθέσεις ποικίλου πάχους, οι οποίες φιλοξενούν οργανικούς ορίζοντες. Επίσης μεταξύ των αμμούχων αποθέσεων παρεμβάλλονται αργιλικές αποθέσεις, των οποίων το πάχος είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από εκείνο των αμμούχων αποθέσεων. Τέλος προσδιορίστηκε η γενική διεύθυνση κλίσης των στρωμάτων, η οποία είναι 145/10.

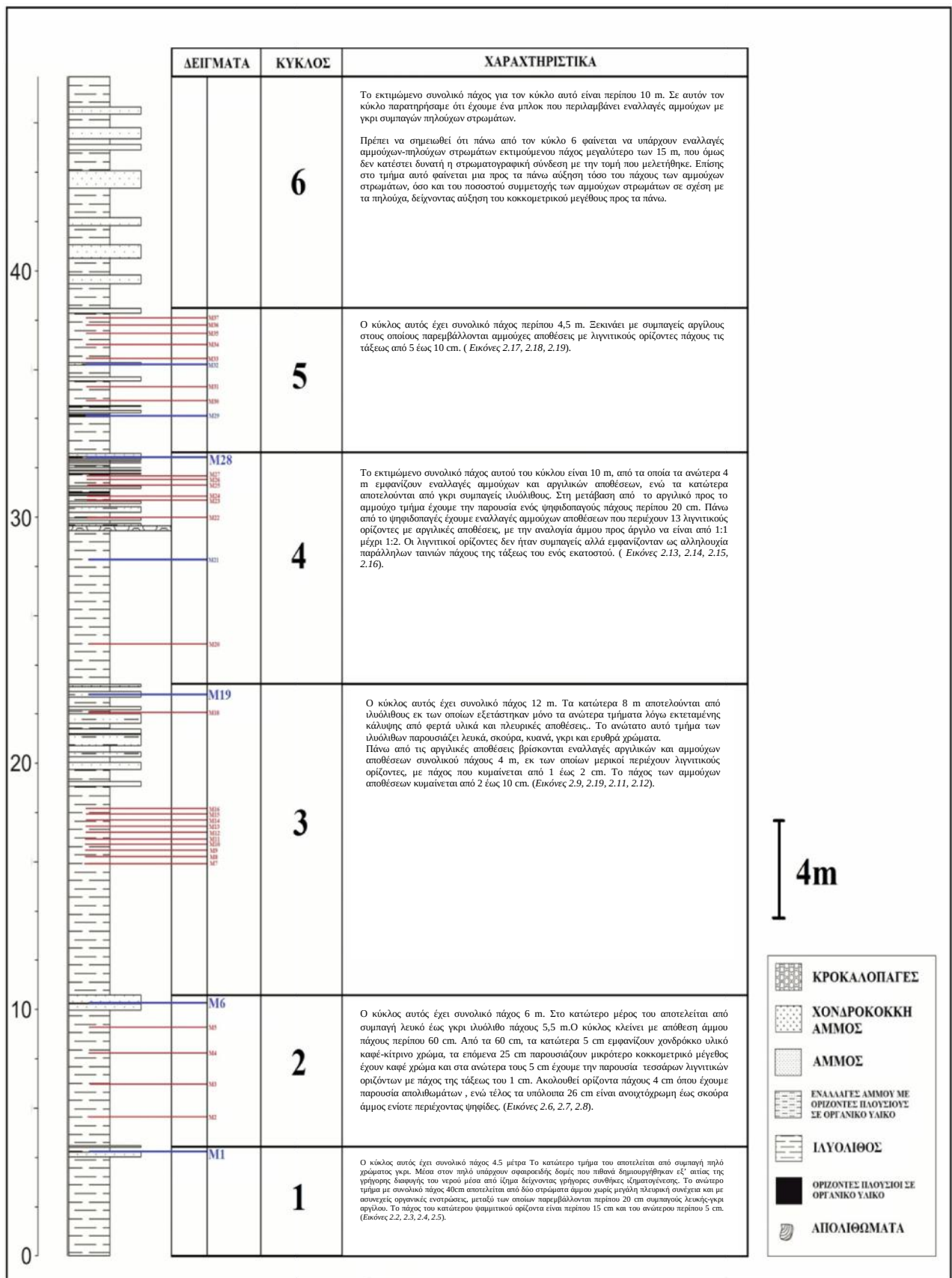
2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΚΛΩΝ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗΣ

Πιο αναλυτικά για τους κύκλους ιζηματογένεσης:

1. **Πρώτος Κύκλος:** Ο κύκλος αυτός έχει συνολικό πάχος 4,5 μέτρα. Το κατώτερο τμήμα του αποτελείται από συμπαγή πηλό χρώματος γκρι. Μέσα στον πηλό υπάρχουν σφαιροειδής δομές που πιθανά δημιουργήθηκαν εξ' αιτίας της γρήγορης διαφυγής του νερού μέσα από ίζημα, δείχνοντας γρήγορες συνθήκες ιζηματογένεσης. Το ανώτερο τμήμα με συνολικό πάχος 40 cm αποτελείται από δύο στρώματα άμμου, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται 20 cm συμπαγούς λευκής-γκρι αργίλου. Το πάχος του κατώτερου ψαμμιτικού ορίζοντα είναι περίπου 15 cm και του ανώτερου περίπου 5 cm.
2. **Δεύτερος Κύκλος:** Ο κύκλος αυτός έχει συνολικό πάχος 6 m. Στο κατώτερο μέρος του αποτελείται από συμπαγή λευκό έως γκρι ιλυόλιθο πάχους 5,5 m. Ο κύκλος κλείνει με αποθέσεις άμμου πάχους περίπου 60 cm. Από τα 60 cm, τα κατώτερα 5 cm εμφανίζουν χονδρόκοκκο υλικό καφέ-κίτρινο χρώμα. Τα επόμενα 25 cm παρουσιάζουν μικρότερο κοκκομετρικό μέγεθος, έχουν καφέ χρώμα και στα ανώτερα 5 cm έχουμε την παρουσία τεσσάρων λιγνιτικών οριζόντων με πάχος της τάξεως του 1 cm. Ακολουθεί ορίζοντας πάχους 4 cm όπου έχουμε παρουσία απολιθωμάτων, ενώ τέλος τα υπόλοιπα 26 cm, του συνόλου των 60 cm, είναι ανοιχτόχρωμη έως σκούρα άμμος ενίοτε περιέχοντας ψηφίδες.
3. **Τρίτος Κύκλος:** Ο κύκλος αυτός έχει συνολικό πάχος 12 m. τα κατώτερα 8 m αποτελούνται από ιλυόλιθους εκ των οποίων εξετάστηκαν μόνο τα ανώτερα τμήματα λόγω εκτεταμένης κάλυψης από φερτά υλικά και πλευρικές αποθέσεις. Το ανώτατο αυτό τμήμα των υλιόλιθων παρουσιάζει λευκά, σκούρα, κυανά, γκρι και ερυθρά χρώματα. Πάνω από τις αργιλικές αποθέσεις βρίσκονται εναλλαγές αργιλικών και αμμούχων αποθέσεων συνολικού πάχους 4 m, εκ των οποίων μερικοί περιέχουν λιγνιτικούς ορίζοντες, με πάχος που κυμαίνεται από 1 έως 2 cm. Το πάχος των αμμούχων αποθέσεων κυμαίνεται από 2 έως 10 cm.
4. **Τέταρτος Κύκλος:** Το εκτιμώμενο συνολικό πάχος αυτού του κύκλου είναι 10 m, από τα οποία τα ανώτερα 4 m εμφανίζουν εναλλαγές αμμούχων και αργιλικών αποθέσεων, ενώ τα κατώτερα αποτελούνται από γκρι συμπαγείς

ιλυόλιθους. Στη μετάβαση από το αργιλικό προς το αμμούχο τμήμα έχουμε την παρουσία ενός ψηφιδωπαγούς πάχους περίπου 20 cm. Πάνω από το ψηφιδωπαγές έχουμε εναλλαγές αμμούχων αποθέσεων που περιέχουν 13 λιγνιτικούς ορίζοντες με αργιλικές αποθέσεις, με την αναλογία άμμου προς άργιλο να είναι από 1:1 μέχρι 1:2. Οι λιγνιτικοί ορίζοντες δεν ήταν συμπαγείς αλλά εμφανίζονταν ως αλληλουχία παράλληλων ταινιών πάχους της τάξεως του ενός εκατοστού.

5. **Πέμπτος Κύκλος:** Ο κύκλος αυτός έχει συνολικό πάχος 6 m περίπου. Ξεκινάει με συμπαγείς αργίλους στους οποίους παρεμβάλλονται αμμούχες αποθέσεις με λιγνιτικούς ορίζοντες πάχους της τάξεως από 5 έως 10 cm.
6. **Έκτος Κύκλος:** Το εκτιμώμενο συνολικό πάχος για τον κύκλο αυτό είναι περίπου 10 m. Σε αυτόν τον κύκλο παρατηρήσαμε ότι έχουμε ένα μπλοκ που περιλαμβάνει εναλλαγές αμμούχων με γκρι συμπαγών πηλούχων στρωμάτων.
 - Πρέπει να σημειωθεί ότι πάνω από τον έκτο κύκλο φαίνεται να υπάρχουν εναλλαγές αμμούχων-πηλούχων στρωμάτων εκτιμώμενου πάχους μεγαλύτερο από 15 m, που όμως δεν κατέσται δυνατή η στρωματογραφική σύνδεση με την τομή που μελετήθηκε. Επίσης στο τμήμα αυτό φαίνεται μια προς τα πάνω αύξηση τόσο του πάχους των αμμούχων στρωμάτων όσο και του ποσοστού συμμετοχής των αμμούχων στρωμάτων σε σχέση με τα πηλούχα δείχνουν αύξηση του κοκκομετρικού μεγέθους προς τα πάνω.



Εικόνα 2.2: Στρωματογραφική στήλη της τομής Μακρυλιά (ΝΑ Κρήτη), όπου φαίνονται οι κύκλοι ιζηματογένεσης έτσι όπως προσδιορίστηκαν, καθώς και η θέση των δειγμάτων πάνω στη στήλη.

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ

3.1 ΧΡΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ηλικία των δειγμάτων της τομής Μακρυλιά, πραγματοποιήθηκε η τεχνική της επιχρίσεως (smear-slide technique). Σύμφωνα με αυτή, μικρή ποσότητα ιζήματος (περίπου 1mm^3) από καθαρή επιφάνεια δείγματος επιχρίεται σε αντικειμενοφόρο πλάκα, με τη βοήθεια μιας σταγόνας απεσταγμένου νερού και πλατιάς οδοντογλυφίδας. Μόλις η συντικειμενοφόρος πλάκα στεγνώσει επικολλάται η καλυπτρίδα με τη βοήθεια ανυψωτικού μέσου (Entellan) (Schmidt, 1978, Τριανταφύλλου, 1996). Έπειτα ακολούθησε η ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των κοκκολίθων στα συλλεχθέντα δείγματα, η οποία πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια πολωτικού μικροσκοπίου (LM) τύπου LEICA DMLSP σε μεγέθυνση 1250x. Η μελέτη περιλάμβανε τη μέτρηση 300 κοκκόλιθων ανά δείγμα παρατήρησης και τον προσδιορισμό παρατηρηθέντων γενών και ειδών.

Η ανάλυση των δειγμάτων (σύνολο δειγμάτων: 37) στο πολωτικό μικροσκόπιο (LM) έδειξε τα εξής είδη νανοαπολιθωμάτων: *Reticulofenestra pseudoumbilicus* (αφθονία >10%), *Discoaster asymmetricus*, *Discoaster tamalis*, *Discoaster pentaradiatus*, *Discoaster brouweri*, *Discoaster variabilis*, *Helicosphaera sellii*, *Pseudoemiliana lacunosa*, *Sphenolithus abies*, *Braarudosphaera bigelowii*, *Calcidiscus macintyreii*, *Discoaster surculus*, *Dictyococcites spp.* Σύμφωνα με τα παραπάνω και χρησιμοποιώντας τα βιοχρονολογικά δεδομένα για το ασβεστολιθικό πλαγκτόν της Μεσογείου (Lourens et al., 2004) η τομή Μακρυλιά τοποθετείται από πλευράς ηλικίας μεταξύ 4.12 Ma και 3.84 Ma (βιοζώνη MNN14-15, Rio et al., 1990), δηλαδή στο Κατώτερο Πλειόκαινο (Ζάγκλιο).

3.2 ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ

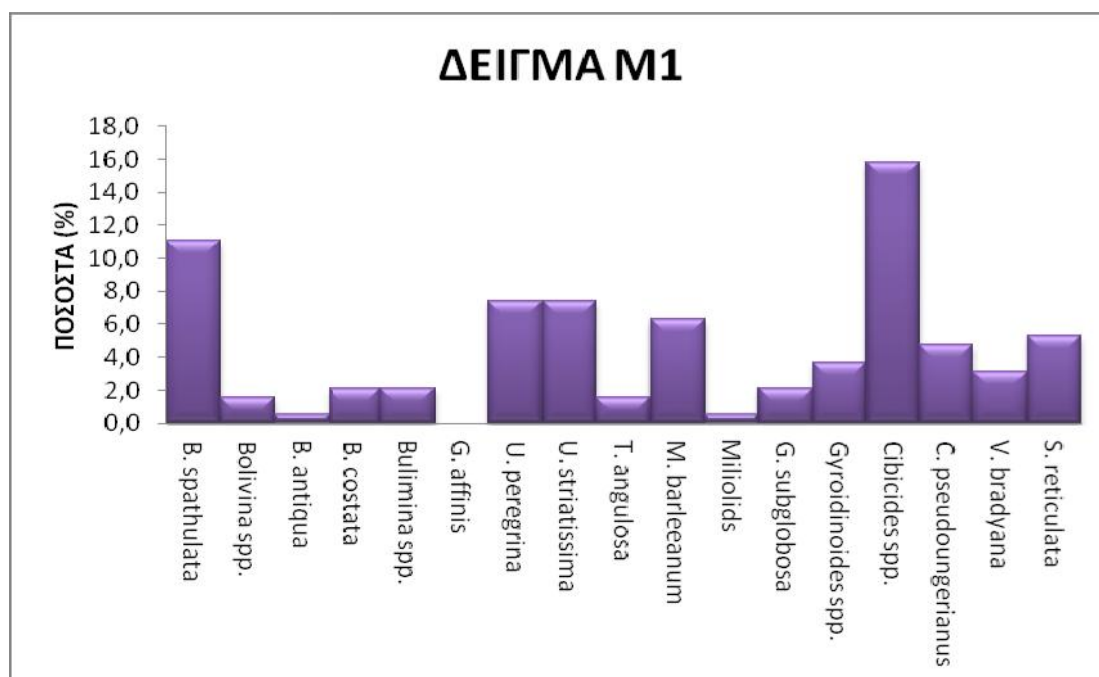
Η ανάλυση των ποσοτικών μετρήσεων καθώς και η μελέτη των σχετικών συχνοτήτων που αφορούν την τομή Μακρυλιά έδειξε ότι τα κυριότερα είδη των βενθονικών τρηματοφόρων που προσδιορίζονται στους μελετηθέντες πλούσιους σε οργανικό υλικό ορίζοντες της τομής Μακρυλιά, είναι τα εξής: *Bolivina spathulata*, *Bolivina antiqua*, *Bolivina spp.* (περιλαμβάνει τα είδη *B. alata*, *B. striatula*, *B. midwayensis*, *B. tortuosa*), *Bolivina costata*, *Bulimina spp.* (περιλαμβάνει τα είδη *B. marginata*, *B. elongata*, *B. aculeata*), *Globobulimina affinis*, *Uvegerina peregrina*, *Uvigerina striatissima*, *Trifarina angulosa*, *Melonis barleeum*, *Globocassidulina subglobosa*, *Gyroidinoides spp.*, *Cibicides spp.* (περιλαμβάνει τα είδη *C. dutemplei* και *C. refulgens*), *Cibicidoides pseudoungerianus*, *Valvulineria bradyana*, *Siphonina reticulata*. Επίσης παρατηρήθηκαν τα είδη *Hanzawaia boueana*, *Ammonia beccarii*, *Planulina ariminensis*, *Asterigerinata spp.*, *Robulus spp.* και *Elphidium spp.* Τα οποία θεωρήθηκαν επανεπεξεργασμένα (reworked) καθώς πρόκειται για είδη τα οποία ζουν αποκλειστικά σε ρηχά νερά (π.χ. Murray, 1991; Jorissen et al., 1993). Τέλος χαρακτηριστικές είναι και οι εμφανίσεις των βενθονικών τρηματοφόρων που ανήκουν στην ομάδα των *Miliolids*.

Πιο συγκεκριμένα, στο δείγμα M1 (εικόνα 6.1) χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση των *Cibicides spp.* Που περιλαμβάνει τα είδη *C. dutemplei* και *C. refulgens* με ποσοστό που φτάνει το 15,8%. Στη συνέχεια ακολουθεί το είδος *Bolivina spathulata* με ποσοστό 11,1% και στη συνέχεια ακολουθούν τα είδη *Uvigerina peregrina* και *Uvigerina striatissima* με ποσοστό 7,4% το κάθε ένα. Έπειτα παρατηρείται το *Melonis barleeum* με ποσοστό 6,3%, η *Siphonina reticulata* με ποσοστό 5,3%, *Cibicidoides pseudoungerianus* με ποσοστό 4,7%, το *Gyroidinoides spp.* με ποσοστό 3,7%, η *Valvulineria bradyana* με ποσοστό 3,2% ενώ τα υπόλοιπα είδη (*Globocassidulina subglobosa*, *Bulimina costata*, *Bulimina spp.*, *Trifarina angulosa*, *Globobulimina affinis*, *Bolivina antiqua*, *Bolivina spp.*, *Miliolids*) εμφανίζονται με ποσοστό που δεν ξεπερνά το 3%.

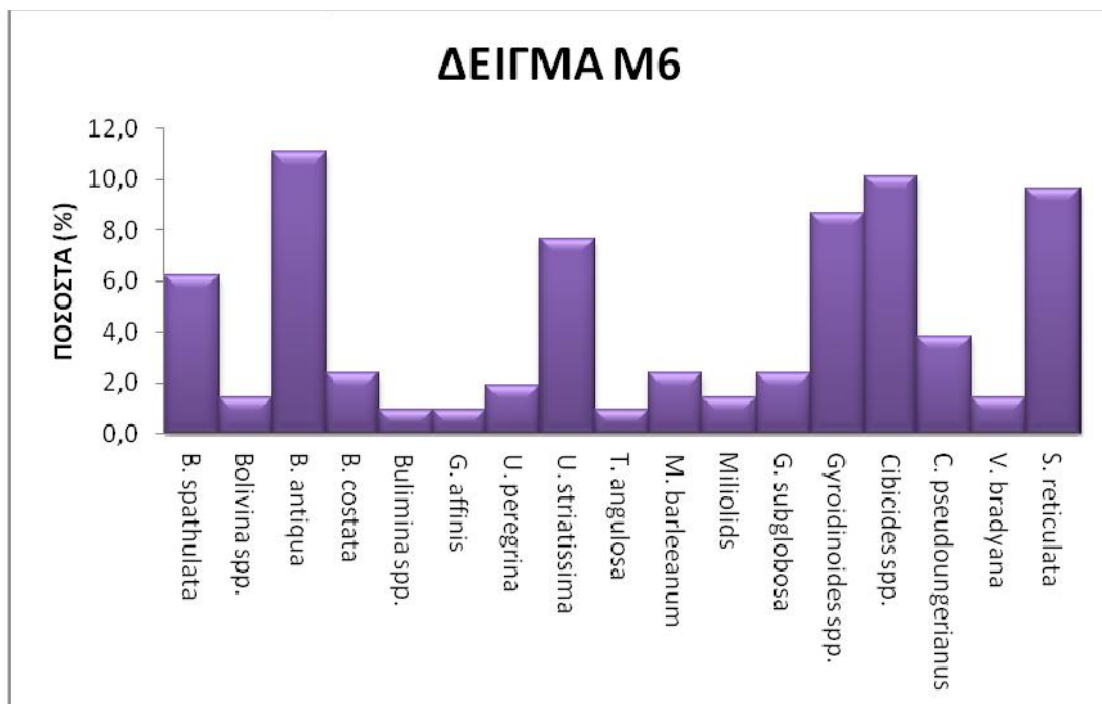
Στο δείγμα M6 (εικόνα 6.2), το μέγιστο ποσοστό που παρατηρείται είναι το 11,1% και αντιστοιχεί στο είδος *Bolivina antiqua*. Στη συνέχεια τα είδη *Cibicides spp.* με ποσοστό 10,1%, *Siphonina reticulata* με ποσοστό 9,6%, *Gyroidinoides spp.* με ποσοστό 8,7%, *Uvigerina striatissima* με ποσοστό 7,7%, *Bolivina spathulata* με

ποσοστό 6.3% και *Cibicidoides pseudoungerianus* με ποσοστό 3.8%. Τα υπόλοιπα είδη (*Bolivina* spp., *Bulimina costata*, *Bulimina* spp., *Globobulimina affinis*, *Uvigerina peregrina*, *Trifarina angulosa*, *Melonis barleeaanum*, *Globocassidulina subglobosa*, *Valvulineria bradyana*) δεν ξεπερνούν το 2.4%.

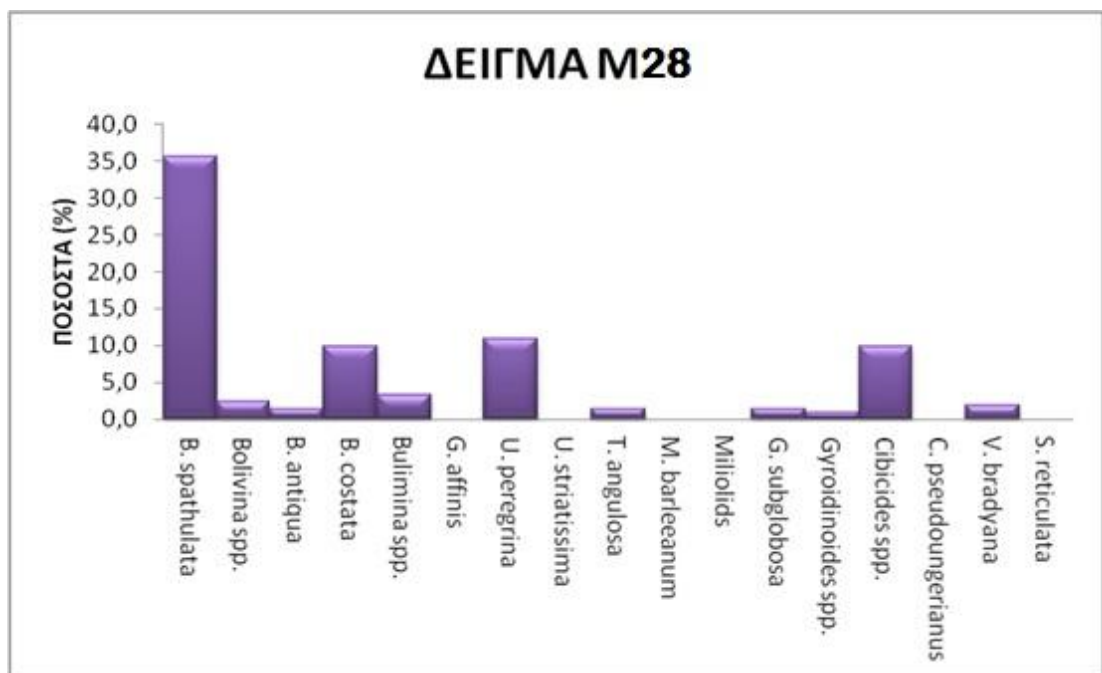
Τέλος, στο δείγμα M27 (εικόνα 5.8), ενδιαφέρον παρουσιάζει το είδος *Bolivina spathulata* το οποίο φτάνει το 35.5%. Ακολουθεί η *Uvigerina peregrina* με ποσοστό 10.9% και στη συνέχεια τα είδη *Bulimina costata* και *Cibicides* spp. με ποσοστό 10% το κάθε ένα. Όλα τα υπόλοιπα είδη (*Bolivina antiqua*, *Bolivina* spp., *Bulimina* spp., *Globobulimina affinis*, *Uvigerina striatissima*, *Trifarina angulosa*, *Melonis barleeaanum*, *Globocassidulina subglobosa*, *Gyroidinoides* spp., *Cibicidoides pseudoungerianus*, *Valvulineria bradyana*, *Siphonina reticulata*) εμφανίζονται σε πολύ μικρότερα ποσοστά που δεν ξεπερνούν το 3.3%.



Εικόνα 3.1: Ποσοστιαία κατανομή των κυριότερων ειδών βενθονικών τρηματοφόρων της τομής Μακρυλιά, Δείγμα M1.



Εικόνα 3.2: Ποσοστιαία κατανομή των κυριότερων ειδών βενθονικών τρηματοφόρων της τομής Μακρυλιά, Δείγμα M6.



Εικόνα 3.3: Ποσοστιαία κατανομή των κυριότερων ειδών βενθονικών τρηματοφόρων της τομής Μακρυλιά, Δείγμα M28.

3.2 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Παρατηρώντας τις διακυμάνσεις των βενθονικών τρηματοφόρων για την τομή Μακρυλιά (εικόνες 3.1-3.3) διαπιστώνονται αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις των ειδών *Bolivina spathulata*, *Bolivina antiqua*, *Uvigerina peregrina*, *Uvigerina striatissima*, *Cibicides* spp., *Gyroidinoides* spp., *Siphonina reticulata*, *Cibicidoides pseudodoungerianus*, *Bulimina costata*. Ορισμένα από αυτά τα είδη είναι χαρακτηριστικά δυσοξικών συνθηκών ενώ άλλα εντοπίζονται μόνο σε καλά οξυγονωμένα περιβάλλοντα. Πιο συγκεκριμένα, η *B. antiqua* επιβιώνει σε περιβάλλοντα με χαμηλή περιεκτικότητα οξυγόνου (π.χ. Kaiho, 1999), όπως και η *B. spathulata* (π.χ. Drinia & Anastasakis, 2012), ενώ μεγάλη ανοχή σε δυσοξικά περιβάλλοντα εμφανίζει και η *B. costata*. Το γένος *Cibicides* περιγράφεται ως δείκτης οξυγόνου (π.χ. Kaiho, 1994), όπως και η *S. reticulata* η οποία ζει σε καλά οξυγονωμένα ύδατα (π.χ. Van der Zwaan, 1983). Επίσης, το είδος *C. pseudoungerianus* εμφανίζεται σε περιβάλλοντα με υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου (π.χ. Van der Zwaan, 1983). Όπως επίσης και το *Gyroidinoides* spp. Η *U. striatissima* αναφέρεται ότι επιβιώνει σε μεσοξικές συνθήκες και σε όχι έντονα δυσοξικά/ανοξικά περιβάλλοντα (π.χ. Russo et al., 2007), ενώ η *U. peregrina* αντέχει σε δυσοξικές συνθήκες (π.χ. Fontanier et al., 2002 Kuhnt et al., 2007). Τέλος, σε χαμηλά ποσοστά εμφανίζονται και τα είδη *G. affinis*, *M. barleeanum*, τα οποία χαρακτηρίζουν συνθήκες δυσοξίας.

Δεδομένου ότι τα δείγματα αυτά χαρακτηρίζουν ανοξικές-δυσοξικές συνθήκες σε συνδυασμό με τα υψηλά ποσοστά TOC που εμφανίζουν, θα ήταν αναμενόμενο να επικρατούν βενθονικά τρηματοφόρα που αντιπροσωπεύουν δυσοξικές συνθήκες και σε μικρότερο βαθμό βενθονικά τρηματοφόρα που χρειάζονται για την επιβίωση τους υψηλότερες περιεκτικότητες οξυγόνου. Ωστόσο, αντί αυτού τα δείγματα εμφανίζονται σχεδόν ομογενοποιημένα, με τα είδη που φανερώνουν οξυγόνωση του πυθμένα πολλές φορές να ξεπερνούν εκείνα των δυσοξικών συνθηκών.

Πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν ότι στα γεωλογικά περιέχεται ένα μίγμα όλων των πανίδων που διαβιούν στο χώρο κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών διαστημάτων και αντιπροσωπεύουν τις μέσες συνθήκες (π.χ. οξυγόνο) που επικρατούν στο σύνολο των αντίστοιχων διαστημάτων του γεωλογικού χρόνου. Εάν οι περιβαλλοντικές συνθήκες έχουν παραμείνει σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια της

υπό εξέταση περιόδου, τότε η σύνθεση της πανίδας μπορεί να καταγράψει με μεγάλη ακρίβεια την οξυγόνωση του πυθμένα. Σε περιπτώσεις όμως όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες πιθανά δεν είναι σταθερές, είναι δύσκολο να απομονωθούν τέτοιου είδους πληροφορίες (Jorissen et al., 2007). Στην περίπτωση της τομής Μακρυλιά (4.12 έως 3.84 Ma) παρατηρούνται ορίζοντες πλούσιοι σε οργανικό υλικό (λόγω υψηλού TOC) που χαρακτηρίζονται από δυσοξικές συνθήκες, οι οποίες όμως κατά πάσα πιθανότητα διακόπτονταν συνεχώς από περιόδους οξυγόνωσης του πυθμένα όπως μαρτυρά η συνολική εικόνα της εγκλειόμενης βενθονικής μικροπανίδας. Οι εναλλαγές δυσοξικών/οξικών συνθηκών κατά τη διάρκεια του Κ. Πλειόκαινου στην τομή Μακρυλιά έλαβαν χώρα κατά την διάρκεια 0.28 Ma. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να δώσει πιθανά τη δυνατότητα στα βενθονικά τρηματοφόρα να προσαρμοστούν στις επικρατούσες συνθήκες, καθώς το φάσμα των συγκεντρώσεων του οξυγόνου στο οποίο επιβιώνουν μπορεί να ευρύνεται κατά τη διάρκεια της ζωής τους (π.χ. Barmawidjaja et al, 1992; Ohga and Kitazato, 1997; Jorissen et al., 2007).

4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ

4.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

Οι υδρογονάνθρακες είναι συνθετικές ενώσεις που αποτελούνται αποκλειστικά από άνθρακα και υδρογόνο. Το πετρέλαιο είναι μια ανάμειξη από συστατικά υδρογονάνθρακα και άλλα συνθετικά που περιέχουν σημαντικές ποσότητες αζώτου, θείου και οξυγόνου.

Με την ανάλυση του πετρελαίου βρέθηκαν τρεις κύριες ομάδες συνθετικών όπως φαίνονται πιο κάτω:

- **Κορεσμένοι υδρογονάνθρακες:** Είναι συνθετικές ενώσεις στις οποίες κάθε άτομο του άνθρακα είναι εντελώς κορεσμένο σε υδρογόνο. Οι δομές περιλαμβάνουν απλούς ίσους δεσμούς του ατόμου του άνθρακα, διακλαδιζόμενους δεσμούς και δακτυλίους.
- **Αρωματικοί υδρογονάνθρακες:** Είναι ομάδες ακόρεστων υδρογονανθράκων με κυκλική δομή και περιλαμβάνουν διάφορα σημαντικά συνθετικά βιοδεικτών που επιτρέπουν στα πετρέλαια και στα μητρικά πετρώματα να συγκριθούν.
- **Συνθετικά αζώτου-θείου-οξυγόνου:** Περιέχουν άτομα (εκτός από τον άνθρακα και το υδρογόνο) κυρίως αζώτου, θείου και οξυγόνου. Είναι γνωστά σαν ετεροσυνθετικά και υποδιαιρούνται στα ασφατέλαια και στις ρητίνες.

4.2 ΠΕΔΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

Για τη δημιουργία πεδίων υδρογονανθράκων θα πρέπει να ικανοποιούνται μια σειρά από τις παρακάτω συνθήκες:

Μια Αποταμιευτήρια Μονάδα (Reservoir): Ικανή ώστε να αποθηκεύσει τα ρευστά του πετρελαίου. Η κύρια θεώρηση στην εκτίμηση ενός ταμιευτήρα είναι το πιθανό πορώδες και η διαπερατότητα του. Ο ταμιευτήρας είναι εκείνο το πέτρωμα που προσφέρει τον κενό χώρο που υπάρχει σε μια παγίδα. Το αποταμιευτήριο πέτρωμα είναι συνήθως χονδρόκοκοι ψαμμίτες ή ανθρακικά πετρώματα (Gluyas and Swarbrick, 2004).

Ένα Πετρελαϊκό Σύστημα Φόρτισης: Συνθέτοντας μητρικά πετρώματα με θερμικά ώριμα πετρώματα πετρελαίου ικανά να αποβάλουν ρευστά πετρελαίου μέσα στο πορώδες των στρωμάτων μεταφοράς, τα οποία μεταφέρονται σε θέσεις συγκέντρωσης (παγίδες) στην αποταμιευτήρια μονάδα. Μητρικά πετρώματα υδρογονανθράκων μπορούν να καθοριστούν εκείνα τα λεπτόκοκκα ιζήματα τα οποία δημιουργήθηκαν, δημιουργούνται ή θα δημιουργηθούν στο φυσικό τους περιβάλλον και θα απελευθερώσουν αρκετό υδρογονάνθρακα για να σχηματιστεί μια αξιοσημείωτη συγκέντρωση από πετρέλαιο ή αέριο (Brooks et al., 1987).

Μετανάστευση των υδρογονανθράκων (migration): Η διαδικασία της μετανάστευσης των υδρογονανθράκων είναι απαραίτητη για τη δημιουργία πεδίων υδρογονανθράκων καθώς με αυτήν εξασφαλίζεται η μεταφορά τους από το μητρικό πέτρωμα στον ταμιευτήρα. Η μετανάστευση περιλαμβάνει δύο στάδια, την πρωτογενή και την δευτερογενή μετανάστευση. Η πρωταρχική μετανάστευση αναφέρεται στην αποβολή του πετρελαίου από το μητρικό πέτρωμα και η δευτερογενής στην διαδρομή των υδρογονανθράκων προς μια παγίδα (Allen & Allen, 2005; Gluyas & Swarbrick, 2004).

Υπαρξη Περιφερειακού Μονωτήρα (Seal): Το πετρέλαιο και το αέριο είναι λιγότερο πυκνά από το νερό και ως εκ τούτου από την στιγμή που μεταναστεύουν από το μητρικό πέτρωμα έχουν την τάση να ανυψώνονται μέσα στην ιζηματογενή στήλη. Τα ρευστά των υδρογονανθράκων συνεχίζουν την ανοδική τους πορεία μέχρι να φθάσουν στον περιφερειακό μονωτήρα. Η παρουσία ενός ή περισσότερων περιφερειακών μονωτήρων κρίνεται απαραίτητη για τη δημιουργία συγκεντρώσεων υδρογονανθράκων. Εβαπορίτες και λεπτόκοκκα ιζήματα, όπως αργιλικόι σχίστες και ιλυόλιθοι, οι οποίοι δεν έχουν ‘ανοιχτά σπασίματα’ (open fracture) λειτουργούν ως αποτελεσματικοί μονωτήρες. Μόνωση στην ροή των ρευστών μπορεί να δημιουργηθεί κατά μήκος ρηγμάτων, ρηξιγενών ζωνών και διακλάσεων. (Einsele, 1992; Gluyas & Swarbrick, 2004).

Υπαρξη Παγίδων (Trap): Η παγίδα αντικατοπτρίζει την ύπαρξη ενός υπό-επιφανειακού εμποδίου στην μετανάστευση του πετρελαίου προς την επιφάνεια της γης. Οι παγίδες ταξινομούνται σε δομικές, στρωματογραφικές και υδροδυναμικές. (Gluyas & Swarbrick, 2004).

Α) Οι δομικές παγίδες δημιουργούνται από διαδικασίες τεκτονικές, διαπυριτικές, συμπύκνωσης και βαρυτικές.

Β) Οι στρωματογραφικές παγίδες σχηματίζονται από λιθολογικές διακυμάνσεις που δημιουργούνται στο ίζημα κατά την απόθεση ή μεταγενέστερα είτε από αλλαγές του υλικού απόθεσης, είτε κατά την διαγένεση.

Γ) Οι υδροδυναμικές παγίδες είναι πιο σπάνιες και προκαλούνται από διαφορές στην πίεση του νερού που δημιουργούνται λόγω της κρίσης των ρευστών.

Η σύγχρονη σχέση των παραπάνω παραγόντων (timing), δίνει τη δυνατότητα παραδείγματος χάρη να υπάρχουν διαθέσιμες παγίδες την χρονική στιγμή της πετρελαϊκής φόρτισης.

4.2.1 Μητρικά πετρώματα

Το μητρικό πέτρωμα είναι ένα ιζηματογενές πέτρωμα το οποίο περιέχει ικανή ποσότητα οργανικού υλικού, τέτοια ώστε όταν θαφτεί και θερμανθεί να παράξει υδρογονάνθρακες (υγρούς και αέριους) (Gluyas & Swarbrick, 2004). Τα μητρικά πετρώματα σχηματίζονται όταν μια μικρή αναλογία οργανικού άνθρακα που συμμετέχει στον κύκλο του άνθρακα θάφτηκε σε ιζηματογενή περιβάλλοντα όπου αναστέλλεται η οξείδωση. Οι δύο απαραίτητοι παράγοντες για την παραγωγή και διατήρηση του οργανικού υλικού στα ιζήματα είναι η υψηλή παραγωγικότητα και η έλλειψη οξυγόνου στην υδάτινη στήλη και τον πυθμένα. Η διατήρηση του οργανικού υλικού είναι, μεταξύ άλλων παραγόντων, ένας δείκτης της περιεκτικότητας του οξυγόνου στα νερά του πυθμένα, του ρυθμού ιζηματογένεσης και της έντασης της βενθονικής ζώνης (Ζεληλίδης, 1995).

4.2.2 Περιβάλλοντα απόθεσης μητρικών πετρωμάτων

Οι τρεις κύριες θέσεις μητρικών πετρωμάτων είναι οι Λιμναίες, Δελταϊκές και Θαλάσσιες λεκάνες. Απόθεση μητρικών πετρωμάτων μπορεί να γίνει και σε άλλες θέσεις όπως έλη γλυκών νερών, μη δελταϊκές ακτογραμμές, ηπειρωτικές κατωφέρειες και υβώματα, οι οποίες έχουν προσφέρει μια σχετικά μικρή αναλογία στα παγκόσμια

αποθέματα πετρελαίου και σε επίπεδο προφητείας μητρικών πετρωμάτων παράγουν μια σχετικά μικρή πιθανότητα (Allen & Allen, 2005).

Οι λιμναίες λεκάνες είναι οι πιο σπουδαίες θέσεις για την απόθεση των μητρικών πετρωμάτων σε ηπειρωτικές ακολουθίες. Οι λίμνες για να σχηματίσουν αποθέσεις μεγάλου στρωματογραφικού πάχους πρέπει να έχουν μεγάλο γεωλογικό χρόνο ζωής. Ανοξικές συνθήκες σε μόνιμες λίμνες αναπτύσσονται όταν η υδάτινη στήλη παρουσιάζει διαστρωμάτωση (Allen & Allen, 2005). Η παραπάνω συνθήκη σύμφωνα με τους Allen & Collison (1986), είναι πιο πιθανό να πραγματοποιηθεί στις εξής περιπτώσεις: α) Σε βαθιές λίμνες, οι οποίες συνήθως ελέγχονται τεκτονικά, αναπτύσσονται σε γρήγορα βυθιζόμενα συστήματα ηπειρωτικών τάφρων διαστολής (extensional rift, continental rift system) και σπανιότερα σε περιοχές τεκτονικής συμπίεσης, β) σε χαμηλά γεωγραφικά πλάτη, με θερμά, τροπικά, ομοιόμορφα κλίματα όπου τα νερά των ποταμών είναι λιγότερο πυκνά και δεν έχουν την τάση να σχηματίζουν υψηλής πυκνότητας ροές και περιέχουν λιγότερο οξυγόνο, ευνοώντας την ανάπτυξη ανοξικών συνθηκών και γ) σε ξηρά κλίματα, μπορεί να αναπτυχθεί διαστρωμάτωση αλμυρότητας, σαν αποτέλεσμα υψηλής απώλειας επιφανειακής εβαποριτοποίησης.

Το οργανικό υλικό που υπάρχει στις λίμνες μπορεί να είναι αυτόχθονο αποτελούμενο από φύκη και βακτήρια ή αλλόχθονο προερχόμενο από ανώτερα φυτά που παρασύρθηκαν από το υδρογραφικό δίκτυο της λίμνης (Einsele, 1992).

Τα δέλτα μπορεί να είναι σημαντικές θέσεις απόθεσης μητρικών πετρωμάτων. Το οργανικό υλικό μπορεί να προέρχεται από φύκη γλυκών νερών, βακτήρια σε έλη και λίμνες που δημιουργούνται στην δελταϊκή πλατφόρμα, από θαλάσσιο φυτοπλαγκτόν και βακτήρια στη δελταϊκή κατωφέρεια, θαλάσσιους σχιστόλιθους στην προδελταϊκή περιοχή και πιθανά πιο σημαντικά από τα μεταμορφωμένα χερσαία φυτά που αναπτύσσονται στην δελταϊκή πλατφόρμα (Einsele, 1992).

Μητρικά πετρώματα μπορούν επίσης να αναπτυχθούν σε κλειστές θαλάσσιες λεκάνες με περιορισμένη κυκλοφορία οξυγόνου (μειωμένη παροχή οξυγόνου), ή σε ανοιχτές υφαλοκρηπίδες/κατωφέρειες, όπου η προς τα πάνω ωκεάνια ροή (upwelling) δικαιολογεί: α) την υψηλή οργανική παραγωγικότητα και β) την κατανάλωση οξυγόνου για την αποδόμηση του οργανικού υλικού από αερόβια βακτήρια και την παραγωγή της ωκεάνιας μεσοπελαγικής ζώνης ελάχιστου οξυγόνου (oceanic midwater oxygen-minimum layer) (Einsele, 1992).

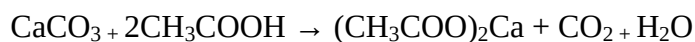
5. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

5.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

5.1.1 Εισαγωγή

Για τον προσδιορισμό της επί της % περιεκτικότητας των δειγμάτων σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος διάσπασης του CaCO_3 με CH_3COOH (οξικό οξύ) όπως αυτή περιγράφεται από τον Βαρνάβα, 1979.

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην πλήρη διάσπαση του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3), με οξικό οξύ (CH_3COOH) προς σχηματισμό ευδιάλυτου άλατος οξικού ασβεστίου και διαφυγή του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:



Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ζυγίζεται σε κάθε περίπτωση 1g ξηρού και κονιοποιημένου δείγματος και μεταφέρεται σε κωνική φιάλη των 100ml. Μέσα στην κωνική φιάλη προστίθενται 10ml (περίσσεια) οξικού οξέος 25% w/w και το δείγμα τοποθετείται προς ανάδευση για χρονική διάρκεια τεσσάρων (4) ωρών σε ηλεκτρικό δονητή, είτε παραμένει προς αντίδραση είκοσι τέσσερις (24) ώρες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος εφ' όσον δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν ότι το αποτέλεσμα παραμένει το ίδιο. Μετά το πέρας της διεργασίας αυτής πραγματοποιείται διήθηση του εναπομείναντος δείγματος και των προϊόντων της αντίδρασης σε προ-ζυγισμένο με ζυγό ακριβείας φίλτρο διηθητικού χάρτη πολύ λεπτού ηθμού (DIN EN ISO 9001). Το ευδιάλυτο άλας του οξικού ασβεστίου διέρχεται από το διηθητικό χαρτί-για το σκοπό αυτό πραγματοποιούνται 2-3 εκπλύσεις του φίλτρου με απιονισμένο νερό-ενώ το μέρος του ιζήματος που δεν αντέδρασε συγκρατείται. Το διηθητικό χαρτί με το αδιάσπαστο ίζημα αφήνεται προς ξήρανση σε πυριατήριο και στη συνέχεια ζυγίζεται. Η διαφορά βάρους του διηθητικού χάρτη με και χωρίς ίζημα δίνει το βάρος του μη ανθρακικού μέρους του δείγματος, ενώ η διαφορά του συγκρατηθέντος ιζήματος από το αρχικό βάρος του δείγματος πολλαπλασιαζόμενο επί εκατό (100) δίνει το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου που περιέχει το δείγμα. Εάν το βάρος του αρχικού

δείγματος δεν είναι ακριβώς 1g τότε το επί τοις % ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\% \text{ ποσοστό CaCO}_3 = [(W_{\text{δείγματος}} - \Delta W_{\text{φίλτρου}}) / W_{\text{δείγματος}}] 100\%$$

Όπου $W_{\text{δείγματος}}$ και $\Delta W_{\text{φίλτρου}}$ είναι το βάρος του δείγματος και η διαφορά βάρους του φίλτρου με και χωρίς ίζημα.

5.1.2 Συζήτηση

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία για τον προσδιορισμό του ανθρακικού ασβεστίου που αναφέρθηκαν παραπάνω (υποκεφάλαιο 5.1.1), έγινε ο υπολογισμός των ποσοστών του ανθρακικού ασβεστίου, για τα δείγματα από την τομή Μακρυλιά και τα οποία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1).

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	% ΠΟΣΟΣΤΟ CaCO ₃	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	% ΠΟΣΟΣΤΟ CaCO ₃	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	% ΠΟΣΟΣΤΟ CaCO ₃
M1	31,01	M13	23,48	M26	12,28
M2	24,04	M14	17,74	M27	19,1
M3	20,4	M15	17,58	M28	14,98
M4	26,54	M16	14,44	M29	18,74
M5	30,25	M18	22,15	M30	17,07
M6	29,21	M19	13,64	M31	20,03
M7	31,5	M20	23,75	M32	14,3
M8	26,53	M21	19,55	M33	19,02
M9	14,97	M22	19,33	M34	23,63
M10	14,49	M23	23,7	M35	13,62
M11	15,44	M24	23,87	M36	19,25
M12	11,26	M25	37,26	M37	21,59

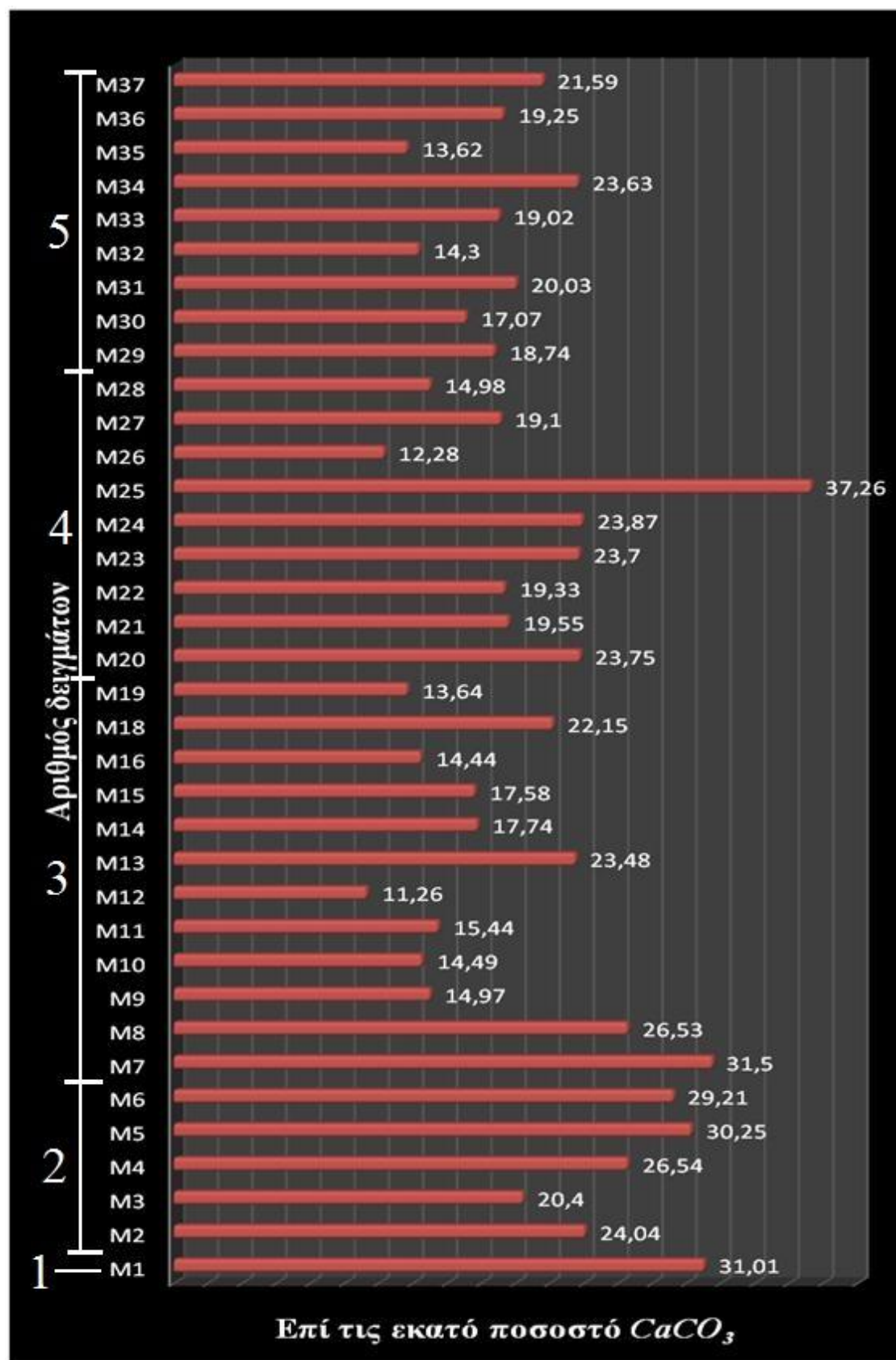
Πίνακας 5.1: Το % ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃) των δειγμάτων από την τομή Μακρυλιά.

Ο μέσος όρος των δειγμάτων σε ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου είναι 20,17%. Το δείγμα M25 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή ανθρακικού ασβεστίου, η οποία είναι 37,26%, ενώ αντίθετα το δείγμα M12 παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή ανθρακικού ασβεστίου, η οποία είναι 11,26%.

Πιο αναλυτικά έγινε υπολογισμός των μέσων όρων σε κάθε κύκλο ιζηματογένεσης, καθώς επίσης εντοπίστηκαν και οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές για κάθε κύκλο ξεχωριστά. Συγκεκριμένα στον πρώτο κύκλο ιζηματογένεσης παρουσιάζεται μόνο το δείγμα M1, με ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου 31,01%. Στο δεύτερο κύκλο ιζηματογένεσης, στον οποίο περιλαμβάνονται τα δείγματα M2 έως M6, ο μέσος όρος του ανθρακικού ασβεστίου είναι 26%, με μέγιστη τιμή 30,25% για το δείγμα M5, ενώ ελάχιστη τιμή 20,40, για το δείγμα M3. Για τον τρίτο κύκλο ιζηματογένεσης, προέκυψε ότι ο μέσος όρος είναι 18,60%, με μέγιστη τιμή 31,50%, για το δείγμα M7 και ελάχιστη τιμή 11,26% για το δείγμα M12, η οποία αποτελεί και την ελάχιστη τιμή εκ του συνόλου των δειγμάτων, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ο μέσος όρος του τέταρτου κύκλου ιζηματογένεσης είναι 21,53%. Σε αυτόν τον κύκλο η μέγιστη τιμή είναι 37,26%, για το δείγμα M25, που αποτελεί και τη μέγιστη τιμή σε ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου από το σύνολο των δειγμάτων. Αντίθετα η ελάχιστη τιμή για τον τέταρτο κύκλο είναι 12,28 για το δείγμα M26. Τέλος στον πέμπτο κύκλο ιζηματογένεσης ο μέσος όρος είναι 18,58%, με μέγιστη τιμή 23,63% για το δείγμα M34 και ελάχιστη τιμή 17,07 για το δείγμα M30.

Η αύξηση ή η μείωση του ανθρακικού ασβεστίου σε μια ακολουθία ιζημάτων δείχνει τις συνθήκες ιζηματογένεσης. Σε συνθήκες έντονης ιζηματογένεσης η ποσότητα του ανθρακικού ασβεστίου αυξάνεται προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα (ποτάμια-δελταϊκά), ενώ στα θαλάσσια ιζήματα σε θέσεις χαμηλού ρυθμού ιζηματογένεσης το ανθρακικό υλικό αυξάνεται προς τα χονδρόκοκκα κλάσματα

Ύστερα από τον προσδιορισμό του ποσοστού του ανθρακικού ασβεστίου και με τη βοήθεια του λιθολογικού χαρακτήρα των δειγμάτων από την τομή Μακρυλιά, μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα: (α) συγκρίνοντας τους μέσους όρους από κάθε κύκλο ιζηματογένεσης παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη διαφοροποίηση καθώς οι τιμές κυμαίνονται από 18,58% έως 26%, χωρίς κάποιος κύκλος να παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη αυξημένη ή μειωμένη τιμή και (β) η αύξηση του ανθρακικού ασβεστίου στα πιο αδρομερή κλάσματα που παρατηρήθηκε υποδηλώνει θαλάσσιο περιβάλλον με χαμηλό ρυθμό ιζηματογένεσης.



Πίνακας 5.2: Το ποσοστό (%) ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) των δειγμάτων από την τομή Μακρυλιά, σε ραβδόμορφο διάγραμμα, στο οποίο σημειώνονται και οι κύκλοι ιζηματογένεσης.

5.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

5.2.1 Μέθοδος προσδιορισμού οργανικού άνθρακα με τιτλοδότηση

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του οργανικού άνθρακα με τιτλοδότηση σύμφωνα με τη μέθοδο Gaudette et al. 1974 γίνεται ως εξής: Παίρνουμε 0,2-0,5 gr ξηρού και κονιοποιημένου δείγματος και το τοποθετούμε σε φιάλη σχήματος φλασκίου χωρητικότητας 500 ml. Προσθέτουμε ακριβώς 10 ml διαλύματος διχρωμικού καλίου κανονικότητας 1 (1 N) και ανακατεύουμε τη φιάλη προσεκτικά. Κατόπιν προσθέτουμε 20 ml πυκνού θειϊκού οξέος και ανακατεύουμε το μίγμα με απαλό κούνημα της φιάλης για ένα λεπτό. Αυτό γίνεται προσεκτικά για να πετύχουμε την πλήρη επαφή (αντίδραση) του ιζήματος με το αντιδραστήριο, ενώ συγχρόνως προσέχουμε να μην κολλήσει ίζημα στα τοιχώματα της φιάλης και δεν έρχεται σε επαφή με τα αντιδραστήρια.

Μετά τα 30 λεπτά το διάλυμα αραιώνεται με 200 ml αποσταγμένο νερό και σε αυτό προσθέτουμε 10 ml φωσφορικού οξέος και 0,2 gr φθοριούχου νατρίου (NaF) και 15 σταγόνες δείκτη διφενυλαμίνης.

Το διάλυμα επανατιτλοδοτείται με διάλυμα σιδηρούχου θειϊκού αμμωνίου κανονικότητας 0,5 N. το χρώμα εξελίσσεται από θαμπό πράσινο-καφέ σε πράσινο, με την προσθήκη κατά προσέγγιση 10 ml του σιδηρούχου διαλύματος. Το χρώμα συνεχίζει να μεταβάλλεται με την προσθήκη 10 έως 20 σταγόνων του σιδηρούχου διαλύματος που θα επιφέρουν μεταβολή στο χρώμα και θα το κάνουν πολύ φωτεινό πράσινο. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και σε ένα τυφλό δείγμα, δηλαδή ένα δείγμα το οποίο δεν περιέχει ίζημα.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης υπολογίζονται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\% \text{ Οργανικού Άνθρακα} = 10 (1-T/S) [1.0N (0.003) (100/W)], \text{ όπου:}$$

T= τιτλοδοτημένο δείγμα, σε ml το σιδηρούχου διάλυμα

S= τιτλοδοτημένο τυφλό δείγμα, σε ml το σιδηρούχο διάλυμα

0.003= 12/4000= το μέγιστο βάρος του άνθρακα (C)

1.0 N= η κανονικότητα του διχρωμικού καλίου ($K_2Cr_2O_7$)

10= η ποσότητα του διχρωμικού καλίου ($K_2Cr_2O_7$) σε ml

W= το βάρος του ιζήματος σε gr.

5.2.2 Συζήτηση

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία για τον προσδιορισμό του οργανικού υλικού, όπως αναφέρθηκε παραπάνω (Υποκεφάλαιο 5.2.1), έγινε ο υπολογισμός του ποσοστού του οργανικού υλικού για τα δείγματα από την τομή Μακρυλιά, τα οποία παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.3).

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΥΛΙΚΟ (% Corg)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΥΛΙΚΟ (% Corg)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΥΛΙΚΟ (%Corg)
M1	1,15	M13	0,25	M26	0,53
M2	0,02	M14	0,19	M27	0,04
M3	0,40	M15	0,20	M28	1,13
M4	0,09	M16	0,03	M29	0,92
M5	0,03	M18	0,11	M30	0,63
M6	1,71	M19	2,27	M31	0,58
M7	0,23	M20	0,14	M32	0,99
M8	0,00	M21	0,19	M33	0,44
M9	0,33	M22	0,93	M34	0,21
M10	0,18	M23	0,19	M35	2,06
M11	0,25	M24	0,00	M36	1,57
M12	0,28	M25	0,06	M37	0,10

Πίνακας 5.3: Το % ποσοστό του οργανικού υλικού, των δειγμάτων από την τομή Μακρυλιά.

Ο μέσος όρος των δειγμάτων όσο αναφορά το ποσοστό του οργανικού υλικού είναι 0,41%. Η μέγιστη τιμή είναι 2,27% για το δείγμα M19 και η ελάχιστη 0% που παρουσιάζουν τόσο το δείγμα M8 όσο και το δείγμα M24.

Αναλυτικότερα στον πρώτο κύκλο ιζηματογένεσης, όπου έχουμε την παρουσία ενός μόνο δείγματος το ποσοστό του οργανικού υλικού είναι 1,15%. Για τον δεύτερο κύκλο ο μέσος όρος υπολογίστηκε στο 0,44% με το δείγμα M6 να παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή 1,71% και το δείγμα M2 την ελάχιστη τιμή οργανικού υλικού 0,02%. Στον τρίτο κύκλο ιζηματογένεσης ο μέσος όρος του οργανικού υλικού είναι 0,35%, με 2,27% να αποτελεί την μέγιστη τιμή για το δείγμα M19 και 0% την ελάχιστη τιμή για το δείγμα M8. Επίσης μέσος όρος 0,35%, υπολογίστηκε και για τον τέταρτο κύκλο, με το δείγμα M28 να παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή 1,12% και το δείγμα M24 την ελάχιστη τιμή 0%. Για τον πέμπτο κύκλο προέκυψε μέσος όρος 0,45%, με μέγιστη τιμή 0,99% για το δείγμα M32 και ελάχιστη τιμή 0,04% για το δείγμα M35.

Σύμφωνα με τους Peters and Casa (1994), πετρώματα με τιμές TOC λιγότερο από 0,5% έχουν φτωχή δυνατότητα γένεσης, με τιμές TOC από 0,5 έως 1% μέτρια δυνατότητα γένεσης, με τιμές TOC 1 έως 2% καλή δυνατότητα γένεσης, με τιμές

ΤΟC 2 έως 4 % έχουν πολύ καλή δυνατότητα γένεσης και με τιμές ΤΟC μεγαλύτερες του 4% θεωρούνται ότι έχουν εξαιρετική δυνατότητα γένεσης υδρογονανθράκων.

Με βάση το μέσο όρο για το ποσοστό του οργανικού υλικού των δειγμάτων, όπως αυτό προσδιορίστηκε για την τομή Μακρυλιά και σύμφωνα με τους Peters and Casa (1994), προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα: (α) οι κύκλοι ιζηματογένεσης δεν παρουσιάζουν κάποια σημαντική διαφοροποίηση όσο αφορά το μέσο όρο του οργανικού υλικού, καθώς κυμαίνεται στο 0,35% (κύκλος 3 και 4), στο 0,44% (κύκλος 2) και στο 0,45% (κύκλος 5) και (β) τα δείγματα M1, M6, M19, M21, M28, M29 και M32 παρουσιάζουν αυξημένο ποσοστό οργανικού υλικού, βρίσκονται στα ανώτερα τμήματα κάθε κύκλου ιζηματογένεσης στον οποίο ανήκουν και μπορούν να αποτελέσουν εν δυνάμει μητρικά πετρώματα για τη γένεση υδρογονανθράκων. Τα παραπάνω δείγματα φαίνονται στην στρωματογραφική στήλη που παρατέθηκε παραπάνω (Υποκεφάλαιο 2.2, Εικόνα 2.20) με μπλε χρώμα.

6. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Το κοκκομετρικό μέγεθος είναι μια θεμελιώδης ιδιότητα των ιζημάτων που επηρεάζει την έναρξη μεταφοράς, την μεταφορά και την απόθεση τους. Επομένως η κοκκομετρική ανάλυση παρέχει σημαντικά στοιχεία για την προέλευση, τη διαδικασία μεταφοράς και τις συνθήκες αποθέσεις των ιζημάτων (Krumbein 1941, Friedman 1979, Sheridan et al. 1987, Bui et al. 1989, Blott et al. 2004).

Οι κλασσικές μέθοδοι (μέθοδος πιπέτας, μέθοδος πυκνομέτρου) για την κοκκομετρική ανάλυση βασίζονται στον ρυθμό ιζηματογένεσης για τα λεπτομερή κλάσματα και την κοσκίνιση για τα αδρομερή.

Με το πέρασμα των δεκαετιών έχουν αναπτυχθεί πληθώρα ενόργανων μεθόδων για την κοκκομετρική ανάλυση οι οποίες περιλαμβάνουν την μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης των σωματιδίων (π.χ. Coulter Counter), φωτομετρικές τεχνικές (π.χ. Hydrophotometer), απόσβεσης ακτίνων X (π.χ. Sedigraph) και η μέθοδος σκέδασης φωτός (π.χ. microtrac, Malvern Laser Sizer, Coulter LS) (Beuselinck et al. 1998, Blott et al., 2004, Gee & Bauder 1986, McCave & Syvitski 1991).

Η μέθοδος κοσκίνων-πιπέτας που ανήκει στις κλασσικές μεθόδους είναι εκείνη που επιλέχθηκε για την συγκεκριμένη διατριβή.

6.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΟΣΚΙΝΩΝ-ΠΙΠΕΤΑΣ

Η κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο κοσκίνων-πιπέτας πραγματοποιήθηκε όπως αυτή περιγράφεται από τον Folk (1974). Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιεί κόσκινα για τους κόκκους με διάμετρο μεγαλύτερο των 0,063 mm (ή 4 φ) κόκκοι μεγέθους άμμου ή μεγαλύτερο) (Kaufman, 2006). Η μέθοδος των κοσκίνων καθορίζει τη διάμετρο των κόκκων ως το ελάχιστο μήκος της πλευράς ενός τετραγώνου μέσο του οποίου ο κόκκος μπορεί να περάσει (Konert and Vandenberghe, 1997). Οι κόκκοι με μικρότερο μέγεθος είναι συνήθως συνεκτικοί ή έχουν ηλεκτροστατικά φορτία που τους καθιστούν ακατάλληλους για ξηρή κοσκίνιση (Kaufman, 2006). Για αυτούς τους κόκκους χρησιμοποιείται η μέθοδος της πιπέτας η οποία βασίζεται στο νόμο του Stokes και προσδιορίζει το μέγεθος των λεπτόκοκκων σωματιδίων από την ταχύτητα καθίζησης κάτω από συγκεκριμένες και γνωστές συνθήκες. Η μέθοδος της πιπέτας

πραγματοποιείται αφού το λεπτομερές υλικό διαχωριστεί από το υπόλοιπο με υγρή κοσκίνιση.

Η χρήση της μεθόδου της πιπέτας βασίζεται στις παρακάτω παραδοχές (Konert and Vandenberghe, 1997):

- Η ταχύτητα καθίζησης (sedimentation speed) είναι σταθερή και δεν είναι μεγάλη.
- Ο αριθμός Reynolds των σωματιδίων) πρέπει να είναι μικρότερος από ένα ($Re < 1$).
- Τα σωματίδια είναι συμπαγείς και λείες σφαίρες.
- Τα σωματίδια έχουν πυκνότητα ίση με αυτή του χαλαζία ($2,65 \text{ g cm}^{-3}$).
- Δεν παρουσιάζεται αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων ή μεταξύ των σωματιδίων και των τοιχωμάτων του δοχείου καθίζησης.
- Τα σωματίδια δεν επηρεάζουν το ιξώδες του υγρού.

Επίσης είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η ανάλυση με κόσκινα επηρεάζεται από τους παρακάτω παράγοντες: τη μέθοδο βαθμονόμησης των κοσκίνων, το σχήμα των σωματιδίων, την χημική και μηχανική σταθερότητα, την ομοιομορφία και την πυκνότητα των σωματιδίων (Konert and Vandenberghe, 1997).

6.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

6.2.1 Μέθοδος κοσκίνων πιπέτας

Η κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο κοσκίνων-πιπέτας πραγματοποιήθηκε όπως αυτή περιγράφεται από τον Folk (1974). Από κάθε δείγμα λήφθηκε ποσότητα 20-25 gr. Οι ποσότητες αυτές τοποθετήθηκαν σε ποτήρια ζέσεως των 600 ml και στη συνέχεια προστέθηκαν σε αυτά 100 ml απιονισμένου νερού και αφέθηκαν 24 ώρες σε αναμονή με στόχο την αποσυμπέτρωση των δειγμάτων, ενώ ανά τακτά χρονικά διαστήματα αναδεύονταν με τη χρήση γυάλινης ράβδου.

Με την παρέλευση 24 ωρών προστέθηκαν 25 ml υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) περιεκτικότητας 30 % κατ' όγκον, έτσι ώστε να οξειδωθεί το οργανικό υλικό που περιείχαν. Στα δείγματα παρατηρήθηκε αναβρασμός και αφέθηκαν εκ νέου για

24 ώρες με ανάδευση πάλι ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Κατόπιν προστέθηκε μικρή ποσότητα υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) (περίπου 10 ml) ώστε να διαπιστωθεί αν η αντίδραση είχε επιτευχθεί πλήρως. Στα δείγματα που παρατηρήθηκε εκ νέου αναβρασμός συνεχίστηκε η προσθήκη μικρών ποσοτήτων υπεροξειδίου του υδρογόνου ανά εικοσιτετράωρα μέχρι τα δείγματα να παύσουν να αναβράζουν. Η κατάπαυση του αναβρασμού σηματοδοτεί την επιτυχή διάσπαση του οργανικού υλικού.

Έπειτα στα δείγματα τοποθετήθηκαν επιπλέον 300 ml απιονισμένου νερού και αφού τα ποτήρια ζέσεως καλύφθηκαν με ύαλους ωρολογίου, τοποθετήθηκαν σε θερμαντική πλάκα και ακολούθησε προσεκτική θέρμανσή τους, έτσι ώστε να απομακρυνθεί τυχόν υπόλοιπο του υπεροξειδίου του υδρογόνου. Όταν τα δείγματα άρχισαν να αναβράζουν παρατηρήθηκε αφρισμός και τα δείγματα αφέθηκαν στην θερμαντική πλάκα έως ότου σταματήσει ο αφρισμός αυτός (που δείχνει την απομάκρυνση της περίσσειας του υπεροξειδίου του υδρογόνου).

Με την αφαίρεση των δειγμάτων από την θερμαντική πλάκα και αφού αφέθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος προκειμένου να πέσει η θερμοκρασία τους προστέθηκε ποσότητα απιονισμένου νερού στα ποτήρια ζέσεως μέχρι τη χαραγή των 400 ml. Η διαδικασία αυτή έγινε προσεκτικά προκειμένου να καθαριστούν τα τοιχώματα από τα ποτήρια ζέσεως καθώς και οι ύαλοι ωρολογίου, έτσι ώστε να μην έχουμε απώλεια υλικού. Εν συνεχεία τα δείγματα αφέθηκαν σε ηρεμία και ακολούθησε μια σειρά 2-3 εκπλύσεων για την απομάκρυνση των προϊόντων της οξείδωσης.

Στη συνέχεια τα δείγματα υποβλήθηκαν σε υγρή κοσκίνιση ώστε να επιτευχθεί διαχωρισμός μεταξύ των αδρομερών συστατικών (ψηφίδες + άμμος) και των λεπτομερών συστατικών (πηλός και άργιλος). Η υγρή κοσκίνιση είναι μια έκπλυση του δείγματος με απιονισμένο νερό μέσα από ένα κόσκινο διαμέτρου 63μm ή 4φ, όπου το διερχόμενο υλικό (κόκκοι μεγέθους πηλού και αργίλου + νερό) συγκεντρώνεται σε ογκομετρικούς κυλίνδρους των 1000 ml, ενώ το συγκρατούμενο (κόκκοι μεγέθους μεγαλύτερων των 63μm) μεταφέρθηκε σε ποτήρια ζέσεως των 400 ml και τοποθετήθηκε σε φούρνο σε θερμοκρασία 60° C για να ξηρανθεί.

Το μέρος που συγκρατήθηκε κατά την υγρή κοσκίνιση, αφού ξηράνθηκε, υποβλήθηκε σε κοσκίνιση ώστε να γίνει ο καθορισμός των επιμέρους κλασμάτων της άμμου και της εκατοστιαίας συμμετοχής τους στο δείγμα. Επιπλέον τυχόν υλικό που πέρασε από το κόσκινο διαμέτρου 63 μm στη διάρκεια της κοσκίνισης (αστοχίας στη

υγρή κοσκίνιση) τοποθετήθηκε στους ογκομετρικούς κυλίνδρους οι οποίοι φέρουν το λεπτομερές υλικό.

Ακολούθησε η προσθήκη 25 ml μεταφωσφορικού νατρίου ($(\text{NaPO}_4)_6$), το οποίο συνήθως αναφέρεται και ως Calgon, στους ογκομετρικούς κυλίνδρους. Το Calgon χρησιμοποιήθηκε ως μέσο διασποράς για να αποφευχθούν προβλήματα συσσωμάτωσης και κροκίδωσης του λεπτόκοκκου υλικού, κατά την διάρκεια της ανάλυσης, τα οποία θα αλλοίωναν την κοκκομετρική καμπύλη. Η δράση του Calgon υποβοηθείται με την προηγηθείσα καταστροφή και απομάκρυνση του οργανικού υλικού.

Τέλος αφού οι ογκομετρικοί κύλινδροι συμπληρώθηκαν με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή των 100 ml και τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρα θερμοκρασίας 25° C, ακολούθησε η διαδικασία της πιπέτας.

Το περιεχόμενο στους ογκομετρικούς σωλήνες, οι οποίοι βρίσκονταν σε θερμοκρασία 25° C, αναδεύτηκε έντονα για 2 με 3 λεπτά και στη συνέχεια με χρήση πιπέτας έγινε αναρρόφηση 25 ml υλικού από τα βάθη και τους χρόνους που φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί με στόχο τον καθορισμό των κλασμάτων που φαίνονται στον ίδιο πίνακα. Το υλικό αυτό τοποθετήθηκε σε προ-ζυγισμένα ποτήρια ζαχάρεως και έπειτα ξηράνθηκε στους 70° C. Τα ποτήρια ζυγίστηκαν εκ νέου αφού είχαν ζυγιστεί και πριν από την προσθήκη υλικού, προκειμένου να υπολογιστεί το βάρος των περιεχόμενων κλασμάτων εκ της διαφοράς των δύο ζυγίσεων. Από το ευρισκόμενο βάρος των κλασμάτων αφαιρέθηκε το βάρος του Calgon που υπήρχε μέσα σε αυτά και πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός της εκατοστιαίας συμμετοχής κάθε κλάσματος στο δείγμα.

Βάθος αναρόφησης (cm)	Χρόνος αναρόφησης	Κοκκομετρικό μέγεθος λεπτότερο από
20	20'	4φ
10	1' 41"	5φ
10	6' 45"	6φ
10	27' 1"	7φ
5	54' 2"	8φ
5	3h 36'	9φ

Πίνακας 6.1: Πίνακας με τα βάθη και τους χρόνους στους οποίους γίνεται η αναρρόφηση για τον προσδιορισμό του αντίστοιχου κοκκομετρικού μεγέθους σε υδρόλουτρο 25° C.

6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

Από τις κοκκομετρικές καμπύλες που προέκυψαν υπολογίστηκαν οι στατιστικές παράμετροι των κοκκομετρικών κατανομών των δειγμάτων με τη χρήση των υπολογιστικών τύπων των γραφικών παραμέτρων κατά Folk & Word (1957). Ο υπολογισμός των παραμέτρων αυτών έγινε με τη χρήση του λογισμικού Origin 6 Professional για τις κοκκομετρικές καμπύλες που προέκυψαν από τη μέθοδο κοσκίνων-πιπέτας.

Επίσης έγινε υπολογισμός των % ποσοστών των κλασμάτων άμμου, πηλού και αργίλου τα οποία ύστερα από προβολή σε τρίγωνα ταξινόμησης κατά Folk & Word (1957), προσδιορίστηκε ο λιθολογικός χαρακτήρας των δειγμάτων. Τέλος κατασκευάστηκε το διάγραμμα CM, που πρότεινε αρχικά ο Passega (1957). Στο διάγραμμα αυτό προβάλλονται σε διλογαριθμικό σύστημα αξόνων η διάμεσος (Md), στον οριζώντιο άξονα και το 1% εκατοστημόριο (1φ), στον κατακόρυφο άξονα, εφόσον πρώτα μετατράπηκαν τα μεγέθη αυτά σε μικρόμετρα (μm). Η προβολή αυτή παράγει πεδία, κάθε ένα από τα οποία χαρακτηρίζει τον τρόπο μεταφοράς του ιζήματος.

6.3.1 Καθορισμός των στατιστικών παραμέτρων της κοκκομετρικής κατανομής

Τα βάρη των κλασμάτων, που προέκυψαν από την κοκκομετρική ανάλυση, μετατράπηκαν στους στατιστικούς πίνακες σε αθροιστικά επί τοις % βάρη. Κατόπιν κατασκευάστηκαν οι κοκκομετρικές καμπύλες αθροιστικής επί τοις % συχνότητας σε κανονικό χάρτη πιθανότητας (normal probability graph paper) με τετμημένη σε απλή αριθμητική κλίμακα, στην οποία απεικονίζεται η κλίμακα φ και με τεταγμένη σε κλίμακα συχνότητας πιθανότητας στην οποία απεικονίζονται τα αθροιστικά επί τοις % βάρη.

Με τη βοήθεια των καμπυλών αυτών υπολογίστηκαν τα εκατοστημόρια $\Phi_5, \Phi_{16}, \Phi_{25}, \Phi_{50}, \Phi_{75}, \Phi_{84}, \Phi_{95}$. Στις περιπτώσεις, που εξέλιπαν κάποια από τα μικρά εκατοστημόρια, ο προσδιορισμός του αποτελέσματος γινόταν συμπερασματικά με

προέκταση της καμπύλης προς τα κάτω (extrapolation). Αντίθετα όταν το ποσοστό ηλίου-αργίλου ήταν μεγαλύτερο του 5% και συνεπώς αδύνατος ο απ' ευθείας προσδιορισμός κάποιων από τα μεγάλα εκατοστημόρια, τότε ο υπολογισμός των τετμημένων γινόταν γραμμικά-γεωμετρικά (Καρκάνας, 2006) με τη βοήθεια των παρακάτω τύπων:

$$\Phi_{95} = 14 - 5 * 5\%/\alpha\% = 14 - 25/\alpha$$

$$\Phi_{84} = 14 - 5 * 16\%/\alpha\% = 14 - 80/\alpha$$

$$\Phi_{75} = 14 - 5 * 25\%/\alpha\% = 14 - 125/\alpha$$

$$\Phi_{50} = 14 - 5 * 50\%/\alpha\% = 14 - 250/\alpha,$$

όπου $\alpha\%$ = η εκατοστιαία συμμετοχή της αργίλου στο δείγμα.

Στη συνέχεια, με γνωστές πλέον τις τιμές των εκατοστημορίων για κάθε ένα δείγμα, υπολογίστηκαν οι στατιστικές παράμετροι της κοκκομετρικής κατανομής των δειγμάτων με τη χρήση των υπολογιστικών τύπων των γραφικών παραμέτρων κατά Folk & Word (1957), που δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Διάμεσος	$Md = \Phi_{50}$
Αριθμητικός μέσος	$Mz = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3$
Σταθερή απόκλιση	$\sigma_i = [(\Phi_{84} - \Phi_{16})/4] + [(\Phi_{95} - \Phi_{5})/6,6]$
Ασυμμετρία	$Ski = [(\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50})/2(\Phi_{84} - \Phi_{16})] + [(\Phi_{5} + \Phi_{95} - 2\Phi_{50})/2(\Phi_{95} - \Phi_{5})]$
Κύρτωση	$KG = (\Phi_{95} - \Phi_{5})/2,44(\Phi_{75} - \Phi_{25})$

Πίνακας 6.2: Υπολογιστικοί τύποι στατιστικών παραμέτρων κατά Folk & Word (1957).

6.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Η χρήση πινάκων, που απεικονίζονται οι στατιστικές παράμετροι, βοηθά στην αναγνώριση των περιβαλλόντων και υπο-περιβαλλόντων αποθέσεις, για το λόγο αυτό είναι σημαντική και η εύρεση τους.

Βάσει των αριθμητικών τιμών των στατιστικών παραμέτρων, όπως αυτές υπολογίστηκαν με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω, είναι δυνατός ο χαρακτηρισμός των ιζημάτων ανάλογα με το βαθμό ταξινόμησής τους (σι), τη λοξότητα ή ασυμμετρία τους (Ski) και την κύρτωση τους (KG), σύμφωνα με τις ονοματολογίες ταξινόμησης, που έχουν προτείνει οι Folk & Word (1957) και που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΒΑΘΜΟΥ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΥΡΤΩΣΗΣ	
<0,35	Πολύ καλή	(+1,0)-(+0,3)	Πολύ θετική	<0,67	Πολύ πλατύκυρτη
0,35 - 0,50	Καλή	(+0,3)-(+0,1)	Θετική	0,67 - 0,90	Πλατύκυρτη
0,50 - 0,70	Μετρίως καλή	(+0,1)-(-0,1)	Συμμετρική	0,90 - 1,11	Μεσόκυρτη
0,70 - 1,00	Μέτρια	(-0,1)-(-0,3)	Αρνητική	1,11 - 1,50	Λεπτόκυρτη
1,00 - 2,00	Φτωχή	(-0,3)-(-1,0)	Πολύ αρνητική	1,50 - 3,00	Πολύ λεπτόκυρτη
2,00 - 4,00	Πολύ φτωχή			>3,00	Υπερβολικά λεπτόκυρτη
>4,00	Υπερβολικά φτωχή				

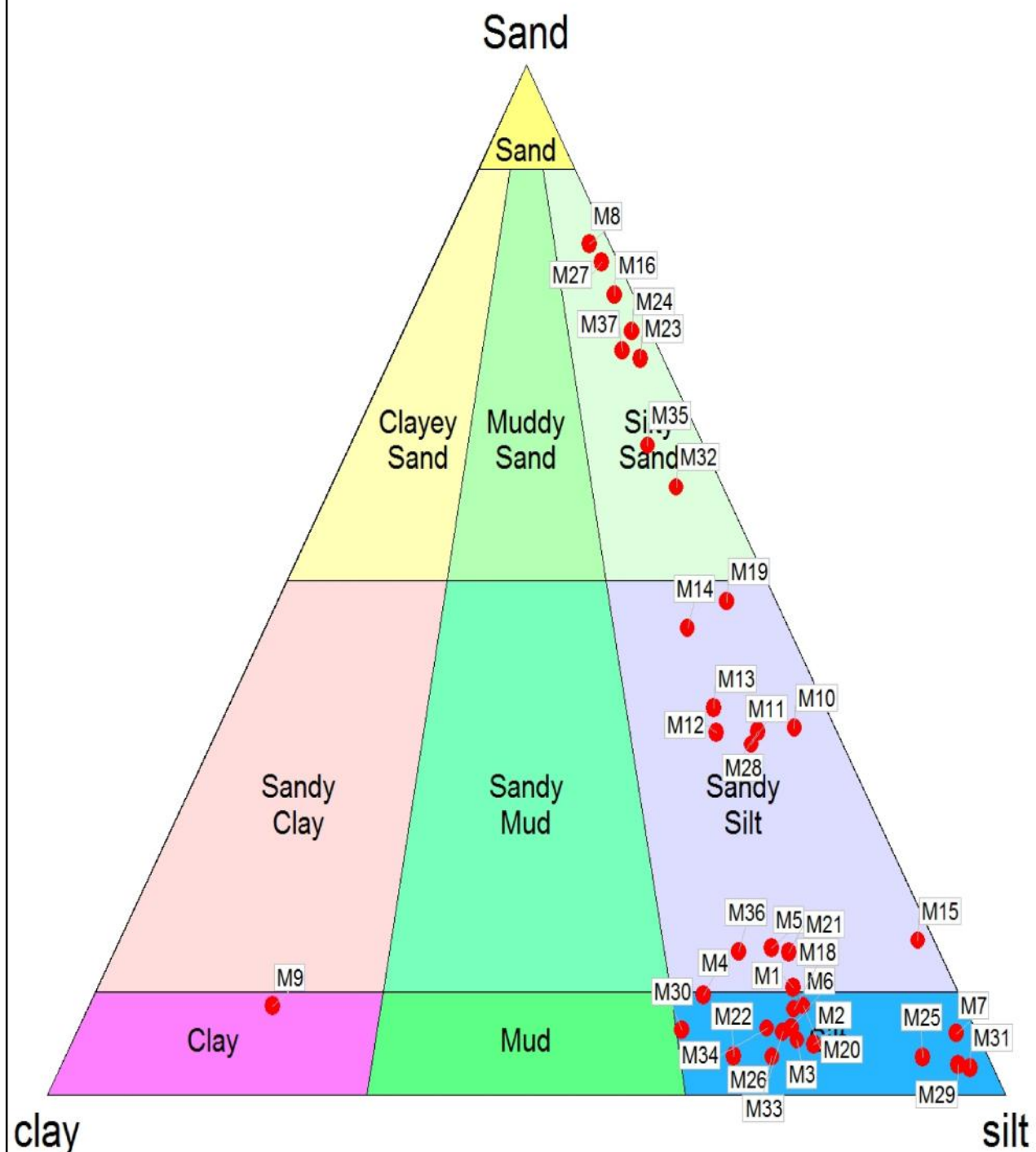
Πίνακας 6.3: Πίνακας όπου παρουσιάζονται οι λεκτικοί χαρακτηρισμοί των στατιστικών παραμέτρων.

Παρακάτω ακολουθούν πίνακες με τις στατιστικές παραμέτρους έτσι όπως υπολογίστηκαν. Επίσης παρατίθεται το τρίγωνο Folk, καθώς και ο πίνακας με το λιθολογικό χαρακτήρα των δειγμάτων από την τομή Μακρυλιά, με τα ποσοστά πηλού, άμμου και ιλύος έτσι όπως προσδιορίστηκαν ύστερα από την κοκκομετρική ανάλυση. Τέλος στο παράρτημα τοποθετήθηκαν τα διαγράμματα αθροιστικής συχνότητας-πιθανότητας, τα οποία κατασκευάστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος Origin 6.0 Professional.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Md	Mz	σ_G	σ_i	SK1	KG
M1	6,47	6,76	2,39	2,60	0,24	1,55
M2	6,53	6,94	2,29	2,53	0,36	1,64
M3	6,76	7,16	2,44	2,54	0,30	1,58
M4	6,97	7,64	3,02	3,00	0,29	1,66
M5	5,97	6,48	2,63	2,78	0,33	1,35
M6	6,81	7,13	2,51	2,61	0,26	1,60
M7	4,96	5,07	0,78	0,94	0,29	1,41
M8	2,37	2,68	1,39	1,60	0,42	1,58
M9	6,55	8,51	4,51	4,05	0,35	2,45
M10	4,30	4,43	1,11	1,28	0,31	1,66
M11	4,75	5,21	1,89	2,19	0,49	1,23
M12	5,59	5,58	2,11	2,44	0,20	1,14
M13	5,00	5,28	2,24	2,80	0,21	0,99
M14	4,41	4,59	2,79	3,15	0,17	1,17
M15	5,82	5,73	1,62	1,46	-0,11	0,68
M16	3,09	3,47	1,10	1,26	0,58	1,67
M18	6,55	6,93	2,43	2,56	0,30	1,55
M19	4,09	4,60	1,61	1,78	0,52	1,39
M20	6,66	6,86	2,28	2,47	0,23	1,56
M21	6,52	6,24	1,88	2,31	0,04	1,42
M22	7,20	7,86	2,79	2,73	0,34	1,10
M23	3,47	3,73	1,17	1,33	0,41	1,54
M24	3,37	3,58	0,97	1,12	0,40	1,50
M25	5,26	5,73	1,48	1,81	0,57	1,20
M26	6,21	6,74	2,34	2,48	0,40	1,46
M27	2,94	3,26	0,95	1,17	0,58	1,84
M28	4,49	5,03	1,63	1,97	0,59	1,49
M29	6,65	6,51	1,00	1,02	-0,24	1,00
M30	7,00	7,97	2,93	2,89	0,41	0,97
M31	4,92	5,48	1,32	1,20	0,60	0,83
M32	3,79	4,22	1,74	2,07	0,21	1,75
M33	6,88	7,49	2,72	2,68	0,36	1,70
M34	6,89	7,37	2,70	2,71	0,30	1,63
M35	3,56	3,72	2,69	2,99	0,11	1,46
M36	6,83	7,07	2,97	2,96	0,18	1,46
M37	3,16	3,62	1,78	1,87	0,40	1,44

Πίνακας 6.4: Οι στατιστικές παράμετροι έτσι όπως υπολογίστηκαν, ύστερα από την κοκκομετρική ανάλυση.

Sand / Gravel / Clay Distribution



Εικόνα 6.1: Τρίγωνο ταξινόμησης κατά Folk (1957), όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα της μεθόδου κοσκίνων-πιπέτας.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	% ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΜΜΟΥ (SAND)	% ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΗΛΟΥ (SILT)	% ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΡΓΙΛΟΥ (CLAY)	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ
M1	10,42	72,61	16,96	Αμμούχος ιλύς
M2	4,95	77,37	17,51	Ιλύς
M3	5,38	75,53	19,08	ιλύς
M4	9,75	63,57	26,67	ιλύς
M5	14,31	68,4	17,29	Αμμούχος Ιλύς
M6	6,55	74,39	19,05	Ιλύς
M7	6,02	91,83	2,14	Ιλύς
M8	82,62	15,25	2,12	Ιλυούχος άμμος
M9	8,69	19,13	72,16	Ιλύς
M10	35,67	60,1	4,21	Αμμούχος ιλύς
M11	34,05	56,42	9,52	Αμμούχος ιλύς
M12	35,16	52,2	12,58	Αμμούχος ιλύς
M13	37,57	50,76	11,66	Αμμούχος ιλύς
M14	45,36	44,1	10,53	Αμμούχος ιλύς
M15	15,01	83,32	1,65	Αμμούχος ιλύς
M16	77,71	20,31	1,97	Ιλυούχος άμμος
M18	8,38	73,68	17,94	Ιλύς
M19	47,95	46,93	5,11	Αμμούχος ιλύς
M20	8,68	74,51	16,79	Ιλύς
M21	13,89	70,39	15,71	Αμμούχος ιλύς
M22	3,81	69,68	26,5	Αμμούχος ιλύς
M23	71,53	26,11	2,35	Ιλυούχος άμμος
M24	74,17	23,9	1,92	Ιλυούχος άμμος
M25	3,65	89,53	6,81	Ιλύς
M26	6,37	76,47	21,01	Ιλύς
M27	80,87	17,34	1,77	Ιλυούχος άμμος
M28	35,33	56,44	8,22	Αμμούχος ιλύς
M29	2,97	93,56	3,46	Ιλύς
M30	6,35	63	30,63	Ιλύς
M31	2,67	94,92	2,4	Ιλύς
M32	59,06	36,08	4,85	Ιλυούχος άμμος
M33	3,72	73,25	22,37	Ιλύς
M34	6,51	71,81	21,66	Ιλύς
M35	63,11	31,07	5,81	Ιλυούχος άμμος
M36	13,94	65,19	20,85	Αμμούχος ιλύς
M37	72,29	23,82	3,87	Ιλυούχος άμμος

Πίνακας 6.5: Τα % ποσοστά των κλασμάτων άμμου, πηλού, αργίλου και ο λιθολογικός χαρακτήρας έτσι όπως προέκυψαν από τα τρίγωνα ταξινόμησης κατά Folk (1957).

6.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

6.5.1 Εισαγωγή

Η μεταφορά των ιζηματογενών κόκκων από τη μητρική τους πηγή προς το περιβάλλον απόθεσης τους καθώς και ο τρόπος με τον οποία γίνεται η απόθεση στο περιβάλλον αυτό καθορίζονται από τους παρακάτω τρεις νόμους της ρευστομηχανικής:

1. Τον αριθμό Reynolds, ο οποίος συσχετίζει τις δυνάμεις αδράνειας προς το ιξώδες για ένα κόκκο ιζήματος που κινείται μέσα σε ένα ρευστό και είναι:

$$R = U d \rho / \mu, \text{ όπου}$$

R είναι ο αριθμός Reynolds, U η ταχύτητα του ρευστού ή του κινούμενου κόκκου, d η διάμετρος του αγωγού, ρ η πυκνότητα του ρευστού και μ το ιξώδες του ρευστού.

Για μια δεδομένη κατάσταση, ο αριθμός Reynolds μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαχωρίσει δυο διαφορετικούς τύπους συμπεριφοράς των ρευστών στην οριακή επιφάνεια ενός στερεού, που μπορεί να είναι η επιφάνεια ενός καναλιού ή η επιφάνεια ενός ιζηματογενούς κόκκου, που κινείται μέσα στο ρευστό αυτό. Σε ανοιχτούς αγωγούς για μικρούς αριθμούς Reynolds (<1000), η ροή είναι γραμμική ενώ για μεγάλους (>1000), η ροή είναι τυρβώδης. Η τιμή R=1000 δίνει το διαχωρισμό γραμμικής και τυρβώδους ροής.

2. Τον αριθμό Froude, ο οποίος συσχετίζει τις δυνάμεις αδράνειας προς τις δυνάμεις βαρύτητας και είναι ο λόγος της δύναμης που απαιτείται για να σταματήσει ένας κινούμενος κόκκος ιζήματος προς τη δύναμη της βαρύτητας και ισούται με:

$$F = U / (g L)^{1/2}, \text{ για κλειστούς αγωγούς και}$$
$$F = U / (g D)^{1/2}, \text{ για ανοιχτούς αγωγούς, όπου}$$

U παριστάνεται η ταχύτητα του ρευστού ή του κόκκου, με g η επιτάχυνση της βαρύτητας, με L το μήκος που διατρέχει ο κόκκος μέχρι να σταματήσει και με D το βάθος του καναλιού.

3. Τον αριθμό Weber, ο οποίος συσχετίζει τις δυνάμεις αδράνειας προς τις δυνάμεις της επιφανειακής ενέργειας και είναι σημαντικός στην περίπτωση, που ένα ρευστό ρέει μέσα σε ένα πορώδες υλικό:

$$W=U^2dp/\sigma, \text{ όπου}$$

U παριστάνεται η ταχύτητα του ρευστού, d είναι η διάμετρος της σταγόνας ή του κόκκου, ρ η πυκνότητα και σ η επιφανειακή ενέργεια.

Ανάλογα με το βάρος και το μέγεθος, που έχει ένας κόκκος, μπορεί να μεταφερθεί από ένα ρευστό με τους εξής τρόπους:

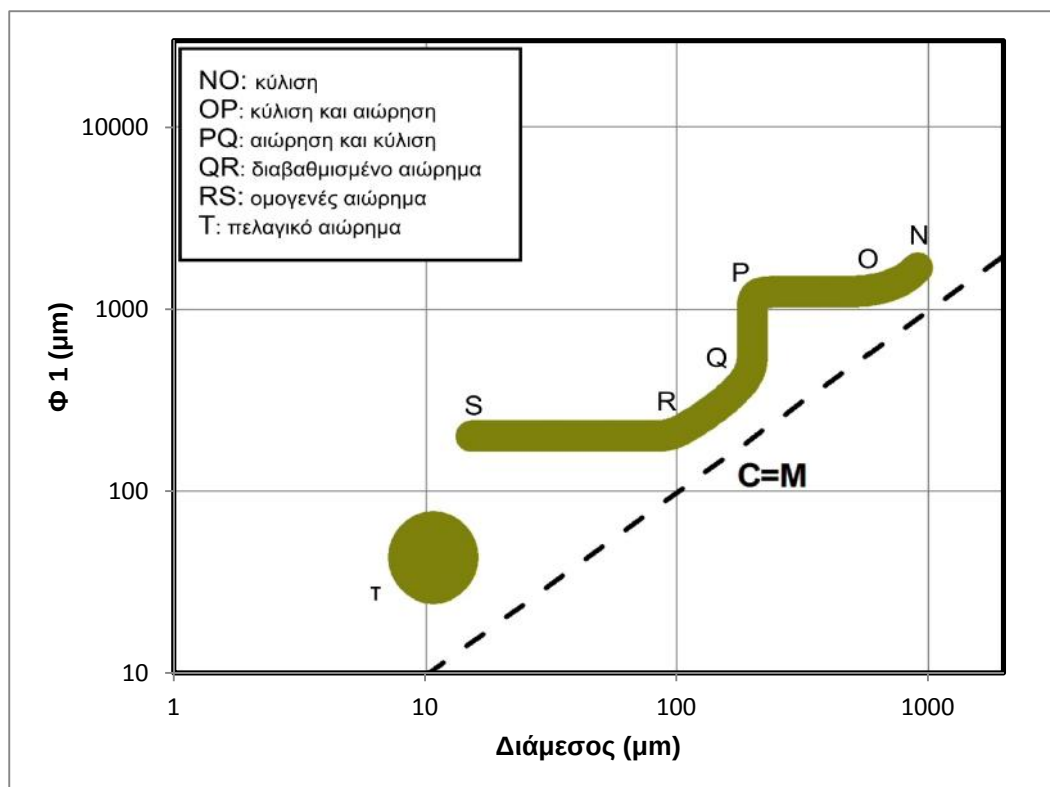
- Με κύλιση και σύρσιμο, που πραγματοποιείται στον πυθμένα μιας υδάτινης στήλης και αφορά τους βαρύτερους κόκκους (κροκάλες).
- Με αναπήδηση, που πραγματοποιείται μεταξύ του πυθμένα και του κατώτερου τμήματος της υδάτινης στήλης και αφορά τα υλικά μεγέθους κόκκων άμμου.
- Με αιώρηση, που πραγματοποιείται στο ανώτερο τμήμα μιας υδάτινης στήλης και αφορά τα λεπτότερα υλικά (πηλό, άργιλο).

Η μεταφορά του υλικού με κύλιση και αναπήδηση προκαλείται από ρεύματα έλξης, ενώ η μεταφορά με έλξη και αιώρηση προκαλείται με ρεύματα πυκνότητας.

Ο τρόπος μεταφοράς των ιζημάτων στην περιοχή της Μακρυλιάς, ελέγχθηκε με τη χρήση του διαγράμματος CM: Στο διάγραμμα αυτό, που πρότεινε αρχικά ο Passega (1957), προβάλλονται σε διλογαριθμικό σύστημα αξόνων η διάμεσος (Md), στον οριζόντιο άξονα και το 1 % εκατοστημόριο (1φ), στον κατακόρυφο άξονα, εφόσον πρώτα μετατραπούν τα μεγέθη αυτά σε μικρόμετρα ($\mu\text{m}=\text{microns}$). Η προβολή αυτή παράγει πεδία καθένα από τα οποία χαρακτηρίζει ένα ιδιαίτερο περιβάλλον απόθεσης.

Στην εικόνα 6.2 φαίνεται το διάγραμμα όπως διαμορφώθηκε μετά από σειρά αναλύσεων του Passega (1957, 1964) και των Passega & Byramjee (1969). Στο διάγραμμα αυτό διαμορφώνεται ένα ελικοειδές πεδίο αποτελούμενο από τέσσερα τμήματα. Τα σημεία που απεικονίζονται στο τμήμα NO, αντιστοιχούν σε κόκκους, που κυλίνουν στον πυθμένα ενός πεδίου απόθεσης, ακόμη και όταν δεν υπάρχει στροβιλισμός. Στο τμήμα OP συμβαίνει κύλιση και αιώρηση του υλικού, ενώ στο τμήμα PQ αιώρηση και κύλιση. Οι κόκκοι που απεικονίζονται στο τμήμα QR, που

είναι παράλληλο με την ευθεία $C=M$, στην κατωφέρεια του ελικοειδούς πεδίου, αποτίθενται μετά από διαβαθμισμένη αιώρηση, χωρίς κύλιση. Το υλικό, το οποίο αποτιθέμενο απεικονίζεται σε αυτό το τμήμα του πεδίου προβολής, συνίσταται από άμμο, το αιώρημα της οποίας έχει συγκέντρωση, που κυμαίνεται από 1 g/l έως 8,5g/l. το μέγεθος του μέγιστου κόκκου στη διαβαθμισμένη αιώρηση εξαρτάται από την αναταραχή που συμβαίνει όταν αρχίζει η απόθεση. Το τμήμα RS, είναι παράλληλο προς τον άξονα M και αντιστοιχεί σε ομογενές αιώρημα, στην κορυφή μιας υδάτινης στήλης, ενώ μικρή τυρβώδης ροή κοντά στον πυθμένα δεν επιτρέπει την ταξινόμηση των αποτιθέμενων κόκκων. Τέλος τα πελαγικά ιζήματα απεικονίζονται στο κυκλικό πεδίο κοντά στην αρχή των αξόνων, μακριά από τη γραμμή $C=M$. Ένα πελαγικό αιώρημα συγκροτείται από κόκκους μεγέθους μικρότερου από 30 μ m-40 μ m.



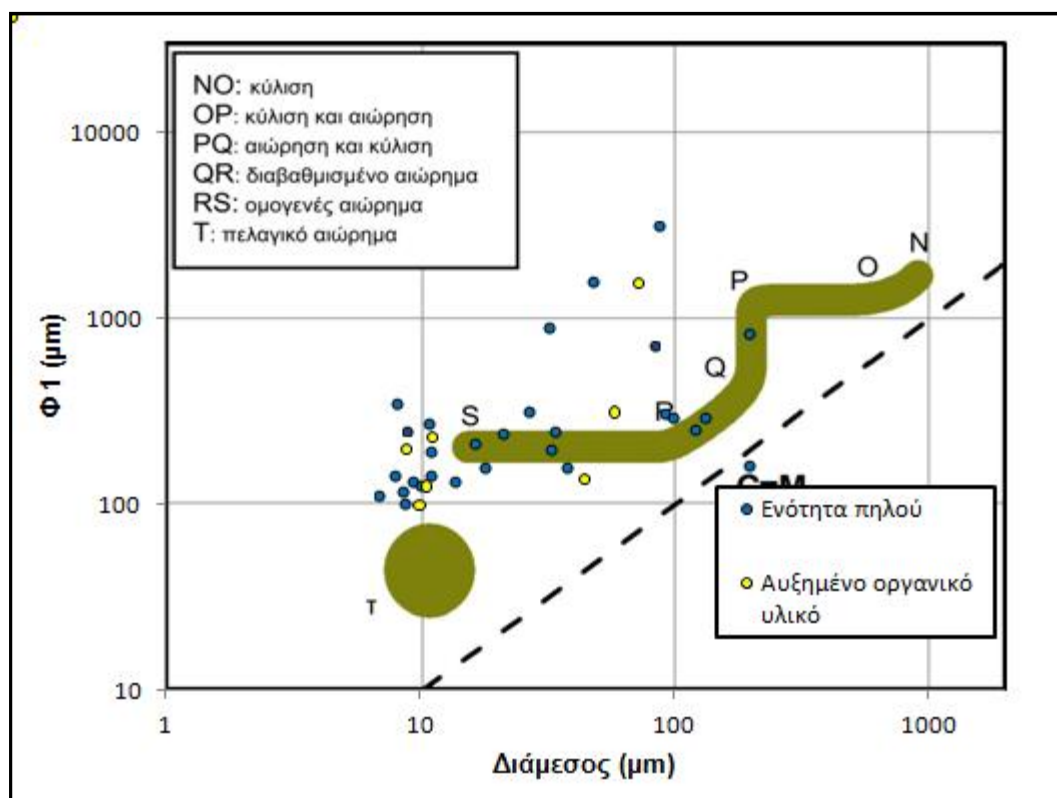
Εικόνα 6.2: Το διάγραμμα κατά Passega (1957, 1964).

6.5.2 Συζήτηση

Το διάγραμμα κατά Passega (1957, 1964), που κατασκευάστηκε από τα στοιχεία που προέκυψαν από την μέθοδο κοσκίνων-πιπέτας, συνάγεται ότι τα δείγματα των πηλών έχουν μεταφερθεί κατά κύριο λόγο ως ομογενές αιώρημα. Πιο συγκεκριμένα, για τα δείγματα της ενότητας του πηλού, σαν ομογενές αιώρημα (RS) έχουν μεταφερθεί 12 εκ του συνόλου των δειγμάτων ενώ 4 δείγματα έχουν μεταφερθεί ως διαβαθμισμένο αιώρημα (QR). Δύο εκ των δειγμάτων έχουν μεταφερθεί με τη μορφή αιώρησης και κύλισης (PQ).

Όσο αναφορά τα δείγματα που παρουσίασαν αυξημένο ποσοστό οργανικού υλικού έχουμε την παρουσία τριών δειγμάτων που έχουν μεταφερθεί ως ομογενές αιώρημα (RS) και τέσσερα δείγματα που δείχνουν να έχουν μεταφερθεί ως πελαγικό αιώρημα (T).

Στην εικόνα 5.2 που ακολουθεί απεικονίζεται το διάγραμμα CM (Passega 1957,1964), με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου κοσκίνων-πιπέτας.



Εικόνα 6.3: Διάγραμμα CM (Passega 1957, 1964), με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου κοσκίνων-πιπέτας, για τα δείγματα από την τομή Μακρυλιά. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται τα δείγματα από την ενότητα του πηλού, ενώ με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται τα δείγματα που παρουσίασαν αυξημένο ποσοστό οργανικού υλικού.

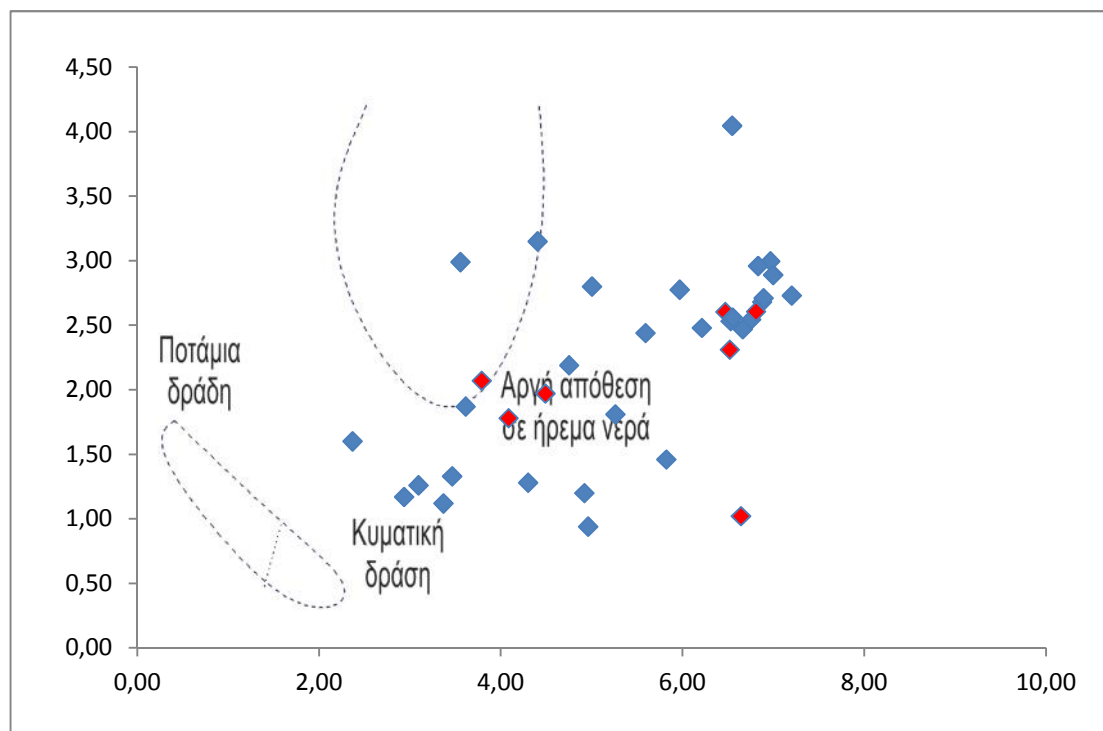
6.6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗΣ

6.6.1 Εισαγωγή

Για τον προσδιορισμό των περιβαλλόντων ιζηματογένεσης ποτάμιας δράσης, κυματικής δράσης, παράκτια, αποθέσεις ήρεμων υδάτων, θίνες χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Stewart (1958):

Το διάγραμμα που πρότεινε ο Stewart (1958) ήταν μια από τις πρώτες προσπάθειες να ερμηνευτούν τα περιβάλλοντα απόθεσης ιζημάτων με προβολή των στατιστικών παραμέτρων σε άξονες. Στο διάγραμμα αυτό προβάλλεται η διάμεσος (Md) στον ορίζοντα άξονα και η σταθερή απόκλιση (σι) στον κατακόρυφο άξονα και ορίζοντα με σαφήνεια περιοχές, στις οποίες προβάλλονται ιζήματα, των οποίων η προέλευση οφείλεται σε ποτάμια και κυματική δράση, καθώς και περιοχή που δείχνει αργή απόθεση σε περιβάλλον ήρεμων υδάτων. Το συμπέρασμα που προκύπτει από το διάγραμμα Stewart(1958) για την τομή Μακρυλιά, είναι ότι έχουμε αργή απόθεση ιζημάτων σε ήρεμα νερά.

Στην εικόνα 5.3 φαίνεται το διάγραμμα διαμέσου-ταξινόμησης (Stewart, 1958) στο οποίο απεικονίζονται τα δείγματα από την τομή Μακρυλιά. Τα σημεία με κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύουν τα δείγματα M1, M6, M19, M21, M28, M29 και M32, τα οποία παρουσίασαν αυξημένο ποσοστό οργανικού υλικού. Ως συμπέρασμα προκύπτει ότι δεν υπάρχει καμία σημαντική διαφοροποίηση στον τρόπο απόθεσης, σε σχέση με τον υπόλοιπο αριθμό των δειγμάτων. Άρα καταλήγουμε ότι ο τρόπος απόθεσης των ιζημάτων ως επί των πλείστον έγινε αργά σε ήρεμα νερά.



Εικόνα 6.4: Διάγραμμα διαμέσου-ταξινόμησης (Stewart, 1958) στο οποίο απεικονίζονται τα δείγματα από την τομή Μακρυλιά. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται τα δείγματα από την ενότητα του πηλού, ενώ με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα δείγματα που παρουσίασαν αυξημένο ποσοστό οργανικού υλικού.

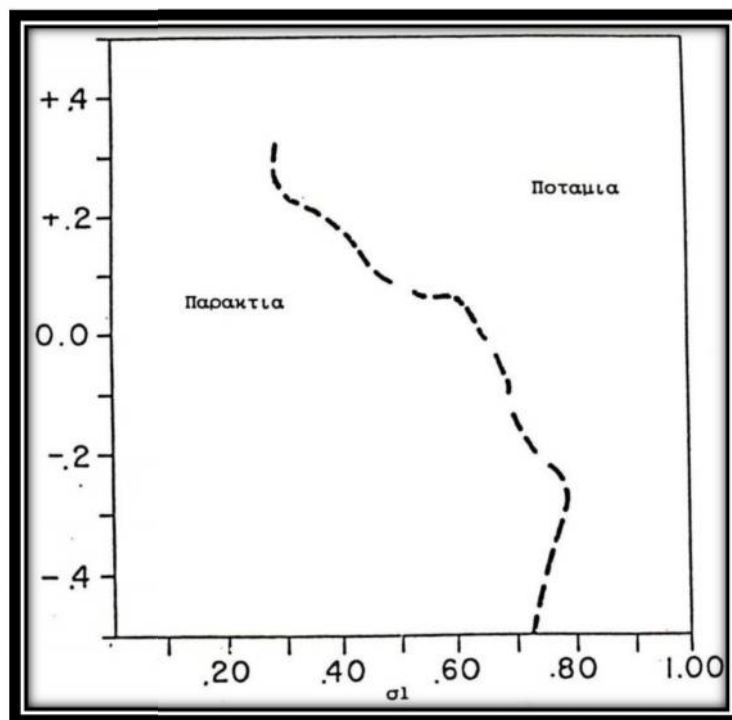
6.6.2 Συζήτηση

Παρατηρώντας το διάγραμμα κατά Stewart (1958), καταλήγουμε ότι στην περιοχή της Μακρυλιάς έχουμε αργή απόθεση ιζημάτων σε ήρεμα νερά. Σε συνδυασμό με το διάγραμμα κατά Passega (1994), που κατασκευάστηκε και παρατίθεται πιο πάνω (Υποκεφάλαιο 6.5.2) μπορούμε να καταλήξουμε συμπερασματικά, ότι τα ιζήματα στην περιοχή μελέτης μας αποτέθηκαν ως ομογενές αιώρημα κατά κύριο λόγο, με το ρυθμό απόθεσης να είναι αργός, σε ήρεμα-στάσιμα νερά.

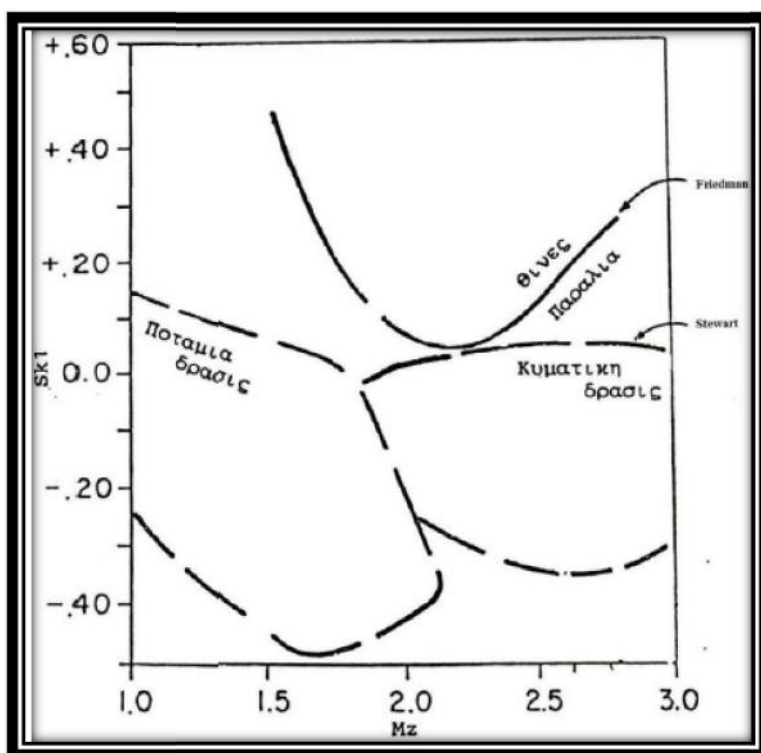
Επίσης με την βοήθεια των στατιστικών παραμέτρων, κατασκευάστηκαν τα εξής παρακάτω διαγράμματα:

1. Διάγραμμα κατά Friedman(1979) με προβολή του σί με το Ski (εικόνα), στο οποίο καμία από τις τιμές δεν προβάλλεται πάνω σε αυτό, διότι οι τιμές του σί είναι μεγαλύτερες του 1.
2. Διάγραμμα κατά Amarall(1977), με προβολή του Mz με το Ski (εικόνα). Σε αυτό το διάγραμμα επίσης δεν προβάλλεται καμία τιμή του Mz, καθώς δεν είναι μεταξύ 1 και 3.
3. Διαγράμματα κατά Valia & Cameron (1979), με προβολή (α) των Mz και Ski και (β) των Ski και σί (εικόνες).
4. Διαγράμματα κατά Moila & Visher (1968) με προβολή του KG και του Ski (εικόνα).

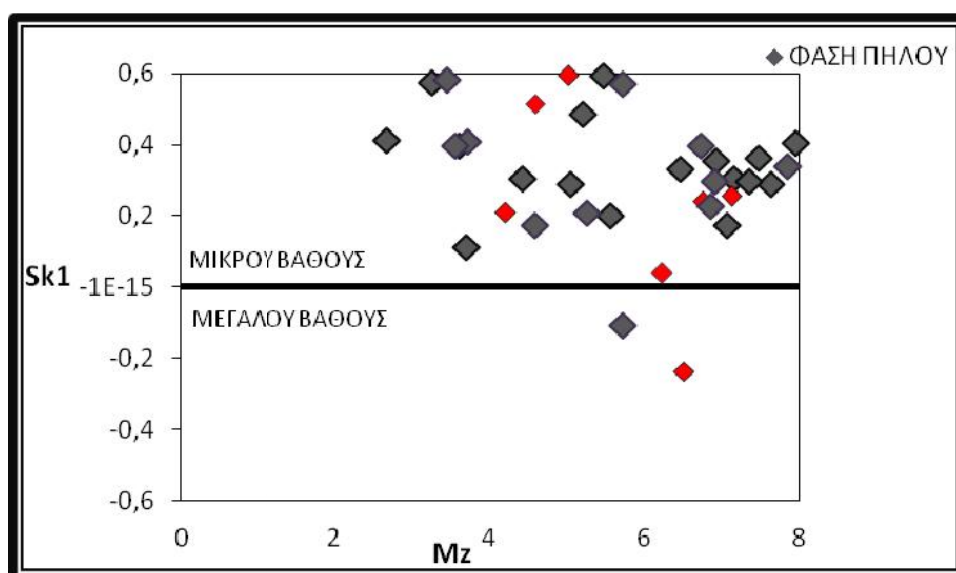
Παρακάτω παρατίθενται τα παραπάνω διαγράμματα έτσι όπως κατασκευάστηκαν:



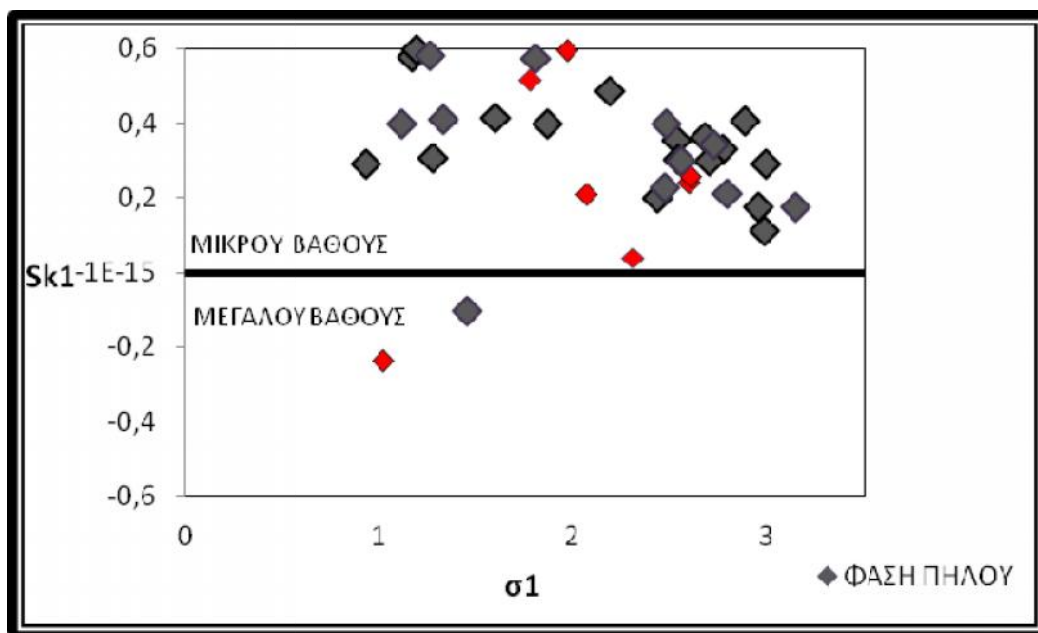
Εικόνα 6.5: Διάγραμμα κατά Friedman (1979) με προβολή του σ_1 με το Ski.



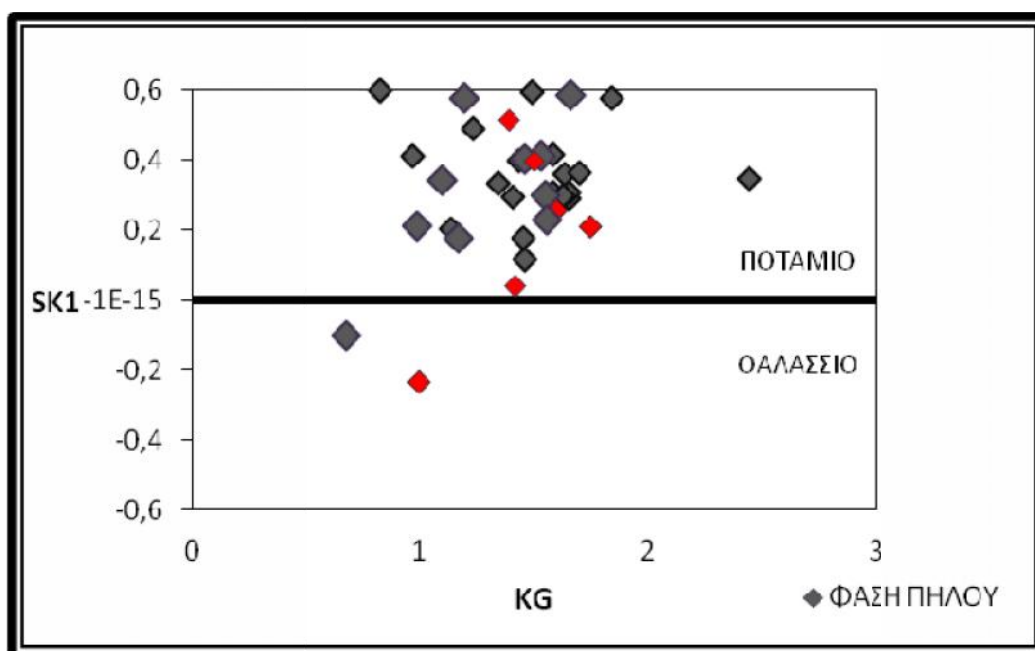
Εικόνα 6.6: Διάγραμμα κατά Amarall (1979) με προβολή του Mz με το Sk1.



Εικόνα 6.7: Διαγράμματα κατά Valia & Cameron (1979) με προβολή (α) των Mz και Sk1. Με γκρι χρώμα απεικονίζονται τα δείγματα από την ενότητα του πηλού, ενώ με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα δείγματα που παρουσίασαν αυξημένο ποσοστό οργανικού υλικού.



Εικόνα 6.8: 6 Διαγράμματα κατά Valia & Cameron (1979) με προβολή (β) των $Sk1$ και $\sigma1$. Με γκρι χρώμα απεικονίζονται τα δείγματα από την ενότητα του πηλού, ενώ με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα δείγματα που παρουσίασαν αυξημένο ποσοστό οργανικού υλικού.



Εικόνα 6.9: Διαγράμματα κατά Moiola & Visher (1968) με προβολή του Kg με το $Sk1$. Με γκρι χρώμα απεικονίζονται τα δείγματα από την ενότητα του πηλού, ενώ με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα δείγματα που παρουσίασαν αυξημένο ποσοστό οργανικού υλικού.



Από τα παραπάνω διαγράμματα, προκύπτει ότι το κύριο μέρος των δειγμάτων από την τομή Μακρυλιά έχει αποτεθεί σε περιβάλλον υφαλοκρηπίδας (μικρά βάθη), στοιχείο που υποστηρίζεται από τα διαγράμματα Valia & Cameron (Εικόνα 6.7, 6.8) καθώς και Moiola & Visser (Εικόνα 6.9), που παρατίθενται παραπάνω. Επιπλέον, εξαιτίας αυτού του λόγου, πάνω στα διαγράμματα Frieman και Amarall δεν εμφανίζεται κάποια από τα δείγματα καθώς δεν εκφράζουν τέτοια περιβάλλοντα απόθεσης.

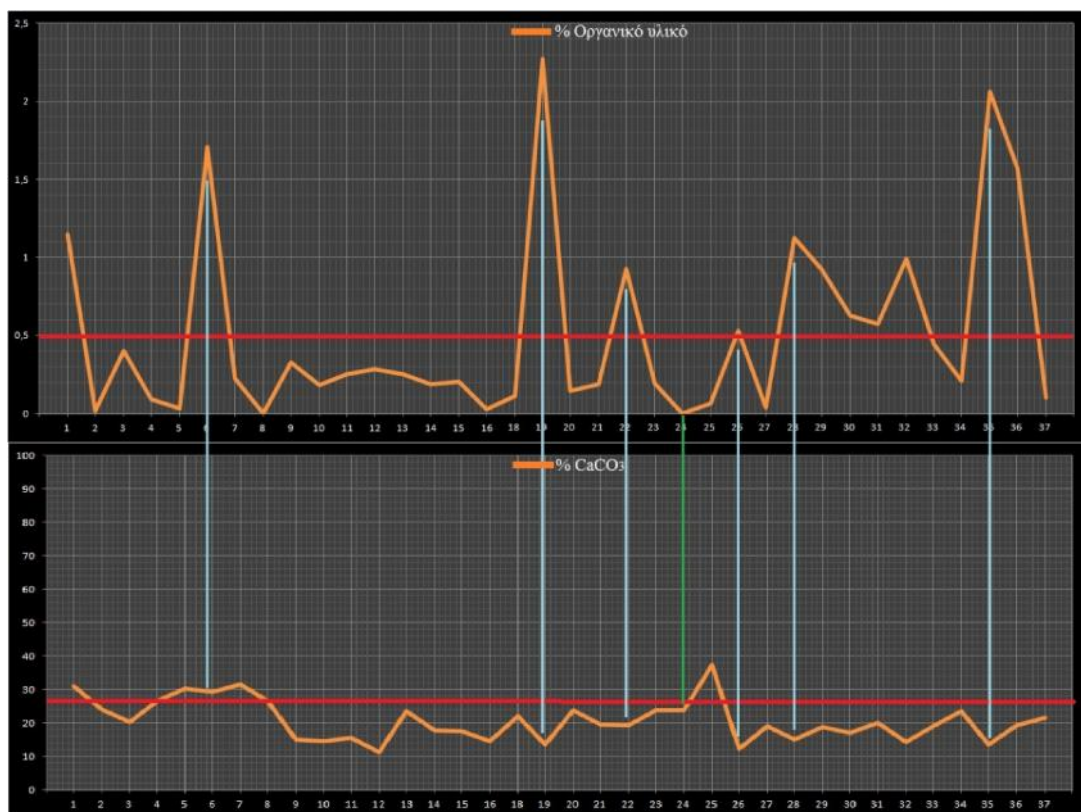
Σε συνδυασμό με τα διαγράμματα Stewart και Passega που παρατίθενται παραπάνω και με τη βοήθεια των διαγραμμάτων Valia & Cameron και Moiola & Visser, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα δείγματα στην περιοχή μελέτης έχουν αποτεθεί σε περιβάλλον υφαλοκρηπίδας (μικρά βάθη), σαν ομογενές αιώρημα, σε ήρεμα-στάσιμα νερά.

7. ΣΧΕΣΗ TOC-CaCO₃ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ

7.1 ΣΧΕΣΗ TOC-CaCO₃

Με βάση τα ποσοστά του οργανικού υλικού και του ανθρακικού ασβεστίου, έτσι όπως υπολογίστηκαν για τα δείγματα από την τομή Μακρυλιά, κατασκευάστηκε ένα συνθετικό διάγραμμα, προκειμένου να γίνει σύγκριση των δύο δεδομένων. Στο διάγραμμα αυτό εντοπίστηκε η συσχέτιση των δύο παραμέτρων ενώ παράλληλα προσδιορίστηκαν και η εντονότερες διακυμάνσεις μεταξύ τους.

Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα συσχέτισης οργανικού υλικού με το ανθρακικό ασβέστιο (Εικόνα 7.2.1).



Εικόνα 7.2.1: Διάγραμμα συσχέτισης TOC-CaCO₃. Με γαλάζιο χρώμα σημειώνονται οι αρνητικές συσχετίσεις, ενώ με πράσινο χρώμα οι θετικές συσχετίσεις.

Από τα δύο παραπάνω διαγράμματα που κατασκευάστηκαν και στα οποία φαίνονται τα ποσοστά του TOC και του CaCO₃, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δύο παραμέτρων. Δηλαδή είτε αύξηση του οργανικού υλικού και μείωση του ανθρακικού ασβεστίου, είτε μείωση του οργανικού

και αύξηση του ανθρακικού ασβεστίου. Οι παραπάνω συσχετίσεις παρουσιάζουν αρνητικό χαρακτήρα με αύξηση του TOC και μείωση του CaCO_3 στοιχείο που υποδηλώνει ανοξικές συνθήκες, που επηρεάζουν το περιβάλλον.

Ως γενικό συμπέρασμα προκύπτει ότι στην περίπτωση της αρνητικής συσχέτισης, έχουμε δύο υποπεριπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση με αναγωγικές συνθήκες, έχουμε αυξημένο ποσοστό οργανικού υλικού και μειωμένο ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τις αρνητικής συσχέτισης έχουμε οξείδωση του οργανικού υλικού και συνεπώς μικρά ποσοστά TOC, ενώ το οξειδωτικό περιβάλλον ευνοεί την καθίζηση των ανθρακικών ιόντων με αποτέλεσμα την αύξηση των ποσοστών του CaCO_3 . Στην περίπτωση της θετικής συσχέτισης όπου έχουμε αυξημένα ποσοστά ανθρακικού ασβεστίου τότε ο μεγάλος ρυθμός ιζηματογένεσης σε μια λεκάνη με γρήγορο ρυθμό βύθισης θα μπορούσε να εγκλωβίσει την οργανική ύλη και να την ενσωματώσει στα ιζήματα πριν αυτή οξειδωθεί δείχνοντας έτσι την θετική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων.

7.2. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ

Ύστερα από την ανάλυση των βενθονικών τρηματοφόρων, στα δείγματα από την τομή Μακρυλιά, μελετήθηκαν περαιτέρω τα δείγματα M6 και M28 προκειμένου να γίνει κατανοητή η σχέση μεταξύ ολικού οργανικού άνθρακα και ανθρακικού ασβεστίου (Δες κεφάλαιο 3.2).

Παρατηρώντας το συγκριτικό διάγραμμα μεταξύ ολικού οργανικού άνθρακα και ανθρακικού ασβεστίου για το δείγμα M6, διαπιστώνουμε ότι υπάρχει αρνητική συσχέτιση των δύο παραγόντων. Δηλαδή παρατηρούμε ότι ενώ το οργανικό υλικό αυξάνει, αντίθετα το ανθρακικό ασβέστιο μειώνεται. Το παραπάνω στοιχείο, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι έχουμε περιβάλλον με αναγωγικές συνθήκες, το οποίο δεν δηλώνεται από τα βενθονικά τρηματοφόρα που αναφέρονται παραπάνω, καθώς περιγράφονται ως δείκτες οξυγονωμένων υδάτων.

Αντίθετα στο δείγμα M28, τα βενθονικά τρηματοφόρα που παρουσιάζονται χαρακτηρίζουν περιβάλλοντα με αναγωγικές συνθήκες.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία για τα περιβάλλοντα των βενθονικών τρηματοφόρων και σε σύγκριση με την αρνητική συσχέτιση που προέκυψε από την σύγκριση TOC- CaCO_3 , παρατηρούμε μια αντίθεση. Πιο συγκεκριμένα, ενώ η

αρνητική συσχέτιση μεταξύ TOC-CaCO₃, υποδηλώνει ανοξικές συνθήκες, που επηρεάζουν το περιβάλλον, από τα βενθονικά τρηματοφόρα που εντοπίστηκαν στα δείγματα προκύπτει ότι έχουμε οξυγόνωση του πυθμένα.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

8.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Στην περιοχή έρευνας με βάση όλες τις λεπτομερείς ιζηματολογικές αναλύσεις συμπεραίνουμε ότι έχουμε χαμηλούς ρυθμούς ιζηματογένεσης σε ήρεμα νερά, με το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου να τείνει αυξανόμενο προς τα αδρομερή κλάσματα.
2. Η ανάλυση του οργανικού άνθρακα έδειξε ότι αρκετά από τα δείγματα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε οργανικό υλικό. Πιο συγκεκριμένα στην περιοχή μελέτης τα δείγματα M1, M6, M19, M21, M28, M29 και M32, παρουσίασαν αυξημένο ποσοστό οργανικού υλικού με αποτέλεσμα να αποτελούν εν δυνάμει μητρικά πετρώματα γένεσης υδρογονανθράκων.
3. Η κύρια λιθολογία που επικρατεί είναι ο αμμούχος πηλός και φαίνεται από τα δείγματα πως γενικά το κλάσμα της αργίλου παρουσιάζει μικρές τιμές.
4. Από την επεξεργασία των στατιστικών παραμέτρων με τα διαγράμματα που αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτει ως συμπέρασμα ότι έχουμε απόθεση των δειγμάτων σε περιβάλλον υφαλοκρηπίδας. Με βάση τις στατιστικές αναλύσεις, προκύπτει ότι έχουμε μεταφορά κυρίως με αιώρηση, με αργή απόθεση σε ήρεμα νερά.
5. Η σύγκριση του TOC-CaCO₃, έδειξε αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δύο παραμέτρων, στοιχείο που έρχεται σε αντίθεση με τα περιβάλλοντα των βενθονικών τρηματοφόρων, που εντοπίστηκαν στα δείγματα, τα οποία υποδηλώνουν κατά κύριο λόγο συνθήκες οξυγόνωσης.
6. Η περιοχή μελέτης αποτελεί μια ενδοορεινή λεκάνη τα ιζήματα της οποίας προσδιορίστηκαν ως ηλικίας Πλειοκαίνου. Η ιζηματογένεση έλαβε χώρα μέσα σε μια τάφρο που δημιουργήθηκε από τη δράση δύο ρηγμάτων με ΔΒΔ διεύθυνση, που σύμφωνα με τη βιβλιογραφία αποτελούν τα νεότερα ρήγματα που επηρεάζουν την περιοχή. Έξω από την μελετηθείσα περιοχή



αναπτύσσονται ιζήματα του Μειόκαινου, που αποτέθηκαν σε λεκάνες που δημιουργήθηκαν από τα παλαιότερα ρήγματα με διεύθυνση BBA. Τα παραπάνω μας οδηγούν στην εκτίμηση ότι η μελετηθείσα ενδοορεινή θαλάσσια λεκάνη επικοινωνούσε με την κύρια λεκάνη ιζηματογένεσης, νοτιότερα, μέσω ρηγμάτων μετασχηματισμού (πιθανά τα παλιότερα BBA διεύθυνσης κανονικά ρήγματα να δρουν ως μετασχηματισμού στη διάρκεια του Πλειοκαίνου). Έτσι, ενώ ο θαλάσσιος χαρακτήρας των ιζημάτων δηλώνει ότι οι διάδυλοι επικοινωνίας, δημιουργούσαν ανοιχτή επικοινωνία με την κύρια λεκάνη ιζηματογένεσης, η ιζηματολογική ανάλυση δείχνει ότι οι συνθήκες ιζηματογένεσης ήταν ήρεμες, πιθανά εξ' αιτίας του γεγονότος ότι επρόκειτο για μια προστατευμένη λεκάνη με χαμηλούς ρυθμούς ιζηματογένεσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Allen P. A. and Allen J. R. (2005). Basin analysis: Principles and Applications. Blackwell Science, Oxford 426-428.
- Allen P.A. and Collinson J. P. (1986). Lakes. In: READING H.G. (ed.) Sedimentary environments and facies. Blackwell Science, Oxford 63-94.
- Barnavas, S.P., (1979), Geochemistry of sediments from the eastern Pacific. Ph. D. Thesis University London pp. 431.
- Bonneau, M., 1984, Correlation of the Hellenic Nappes in the south-east Aegean and their tectonic reconstruction, in Dixon, L.E., and Robertson, A.H.F., EDS., The geological evolution of the eastern Mediterranean, Volume 17: London, Geological Society of London, p. 517-527.
- Folk R.L. and Ward W. C. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 26, 3-32.
- Folk R. L., (1974), Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Co, Austin, Texas, 170p.
- Friedman G. M. (1979). Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. Sedimentology, 26, 3-32.
- Gaudette, H.E., Flight, W.R., Toner, L., and Folger, D.W., (1974), An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. Jour. Sed. Petr., 44, 249-253.
- Gee G. W. and Bauder J. W. (1979). Particle size analysis by hydrometer: a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measured parameters. Soil Sci Soc. Am. J. 43:1004-1007.
- Gluyas J. and Swarbrick R. (2004). Petroleum geosciences. Blackwell Science. pp 3-5, 93-98, 116-169.
- Hunt JM. (1979). Petroleum Geochemistry and Geology. W.H. Freeman, San Francisco.
- Hunt JM. (1996). Petroleum Geochemistry and Geology: New York, W.H. Freeman and company, 743 p.
- Kaufman J. (2006). Pipette analysis of fine-grained sediments, Sedimentation and Stratigraphy-Laboratory 3.
- Kopp K. O. (1977). Stratigraphic and tectonic sequence of Crete. In: CLOSS, H., H.D. ROEDER & K.E. SCHMIDT (eds). Alps, Apennines, Hellenides. Schweizerbart, Stuttgart, 439-442.
- Krijgsman, W., Hilgen, F.J., Langereis, C.G., L.J., Lourens, Santarelli, A. & J.W. Zachariasse, 1995. Late Miocene magnetostratigraphy, biostratigraphy and cyclostratigraphy from the Mediterranean. Earth and Planetary Science Letters, 136, 475-494.
- Krumbein W. C. (1941). Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles. Journal of Sedimentary Petrology, 11, 64-72.

- Le Pichon X. and Angelier, J. (1979). The Hellenic Arc and Trench system: A key to the neotectonic evolution of the Eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1-42.
- McCave I.N. and Syvitski J. (1991). Principles and methods of geological particle size analysis. In: *Principles, methods and application of particle size analysis*. Cambridge University Press, p 3-21.
- McKenzie D., 1978, Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: The Aegean Sea and surrounding regions: *Geoph. J. R. astr. Soc.*, v. 55, p. 217-254.
- Meulenkamp J.E. (1979). Field guide to the Neogene of Crete. *Publ. Dep. Geol. Pal. Univ. Athens*, 32, 32.
- Passega R., 1957. Texture as characteristic of clastics deposition: *Am. Soc. Assoc. Petrol. Geol. Bull. Tulsa, Okland*, 41, 1952-1984.
- Passega R., 1964. Grain size representation by CM patterns as a geologic tool: *Jour. Sed. Petrol. Tulsa Ok.*, 34, No. 4, 830-847.
- Postma, G. and ten Veen J.H. (1999). Astronomically and tectonically linked variations in gamma-ray intensity in Late Miocene hemipelagic successions of the Eastern Mediterranean Basin *Sedimentary Geology* 128, p. 1-12.
- Ring U. et al., (2001). Middle Miocene graben development in Crete and its possible relation to large-scale detachment faults in the southern Aegean, *Volume 13*, p. 297-304.
- Van Hinsbergen, D.J.J., 2004, The evolving anatomy of a collapsing orogeny, *Geologica Ultraiectina*.
- Van Hinsbegren, D. and Meulenkamp, J. (2006). Neogene supradetachment basin development on Crete (Greece) during exhumation of the South Aegean core complex. *Basin Research*, 18, 103-124.

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Ζεληλίδης Α. (1995). Σημειώσεις του μαθήματος Γεωλογία Πετρελαίων. Παν. Πατρών.
- Ι.Γ.Μ.Ε. (1993). Γεωλογικός χάρτης Ιεράπετρας.
- Κτενάς Δ. (2011). Ιζηματολογική και γεωχημική ανάλυση των αποθέσεων της τομής Ποταμός στη νήσο Γαύδο.
- Κωστοπούλου Σ. (2012). Παλαιοωκεανογραφική ανάλυση ανοξικών συμβάντων του Ολοκαίνου σε ιζήματα του Βορείου Αιγαίου πελάγους και σύγκριση με ανοξικά συμβάντα του παρελθόντος, *Κεφ. 5.2, σελ. 62-63*.
- Παπανικολάου Κ., Πασαδάκης Ν., Fowler Μ. Και Φώσκολος Α. (200). Χρήση των βιοδεικτών για τη μελέτη της προέλευσης των κοιτασμάτων υδρογονανθράκων και λιγνιτοφόρων λεκανών της Ελλάδας. 30^ο Συνέδριο Ορυκτού Πλούτου, Αθήνα.
- Πασαδάκης Ν. (1995). Οι βιοδείκτες: Σημειώσεις για το μάθημα οργανική γεωχημεία ιζηματογενών πετρωμάτων.
- Πυλιώτης Ι. (2011). Ιζηματολογική και γεωχημική μελέτη του σχηματισμού Μετόχια, *Κεφ. 1, σελ.1-2*.



Φυτρολάκης, Ν. (1978), Συμβολή στη γεωλογική έρευνα της Κρήτης, Δελτίο
Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας., XIII, 101-115.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

