



**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**Ζαίμοβ Ντεμιαν (6046)
Διπλωματική Εργασία**

**Παλιό-περιβαλλοντολογικές συνθήκες ιζηματογένεσης των αποθέσεων υποθαλάσσιων
ριπιδίων (Ανώτερο Ηώκαινο – Κατώτερο Ολιγόκαινο) της λεκάνης της Θράκης, Νήσος
Λήμνος, Ελλάδα**

**Επιβλέπων Καθηγητής:
Αγγελος Γ. Μαραβέλης**



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Πρόλογος.....	2
Κεφάλαιο 1	3
1.1 Εισαγωγή	3
Κεφάλαιο 2	4
2.1 Γεωλογική Επισκόπηση.....	4
2.2 Λεκάνη της Θράκης (Λήμνος).....	4
2.3 Νήσος Λήμνος	7
2.3.1 Κατώτερη Ιζηματογενής Ακολουθία.....	7
2.3.2 Ανώτερη Ιζηματογενής Ακολουθία.....	10
Κεφάλαιο 3.....	10
3.1 Περιβάλλοντα Ιζηματογένεσης -Εισαγωγή.....	10
3.1.1 Βαρυτικές Ροές.....	10
3.1.2 Τουρβιδιτικά Ρεύματα.....	12
3.1.3 Τουρβιδίτες.....	13
3.1.4 Ατελείς Ακολουθία BOUMA.....	15
3.1.5 Ταξινόμηση Τουρβιδιτικών Φάσεων.....	16
3.2 Φάσεις Ιζηματογένεσης στη Λήμνο.....	17
Κεφάλαιο 4.....	21
4.1 Μεθοδολογία.....	21
4.2 Τμήμα ανάλυσης INAA.....	21
4.3 Κόρια στοιχεία με ICP-OES, ιχνοστοιχεία με ICP-MS.....	21
Κεφάλαιο 5.....	23
5.1 Γεωχημική ανάλυση.....	23
5.1.1 Αποτελέσματα.....	23
5.1.2 Συζήτηση-Ερμηνεία.....	29
5.1.2 Συμπέρασμα.....	39
Κεφάλαιο 6.....	40



Πρόλογος

Η ανάθεση της διπλωματικής εργασίας έγινε μετά από απόφαση της Γενικής Συνέλευσης του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η διπλωματική εργασία δόθηκε στις 19/06/2023 με τίτλο <<Παλιό-περιβαλλοντολογικές συνθήκες ιζηματογένεσης των αποθέσεων υποθαλάσσιων ριπιδίων (Ανώτερο Ηώκαινο – Κατώτερο Ολιγόκαινο) της λεκάνης της Θράκης, Νήσου Λήμνου, Ελλάδος >>

Κεφάλαιο 1

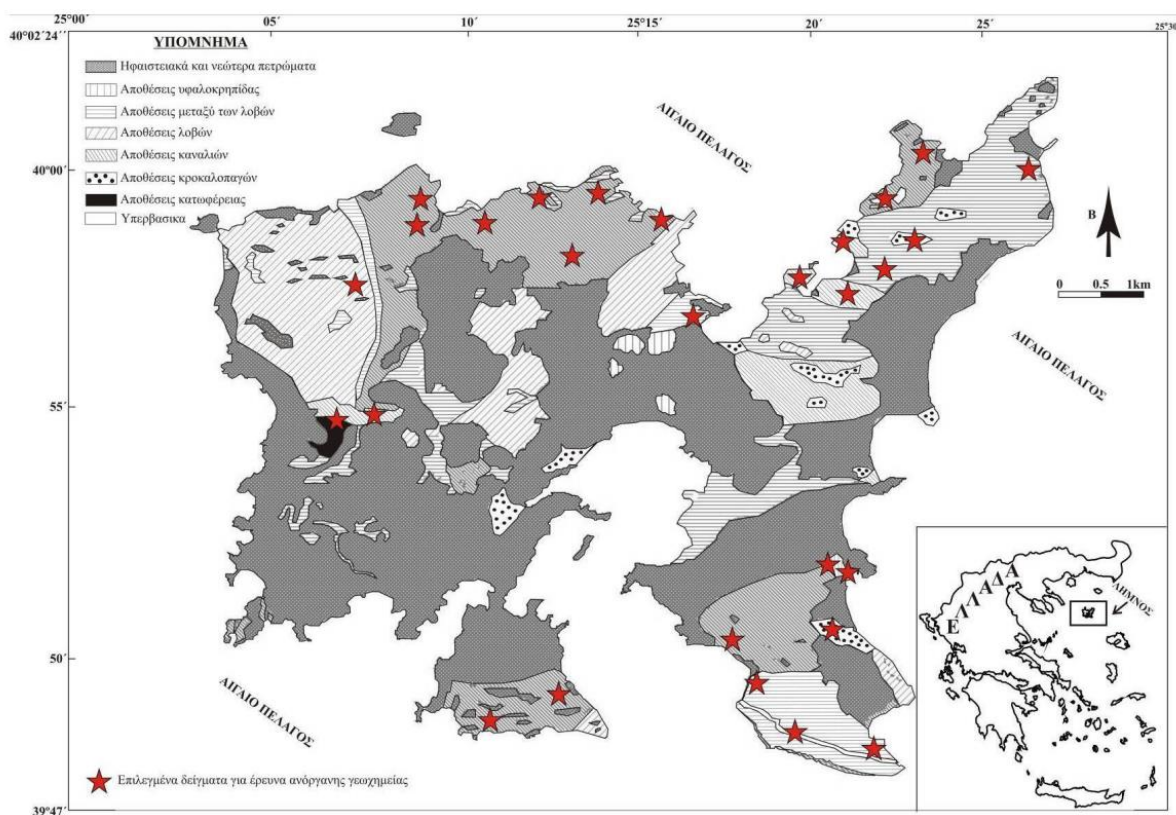
1.1 Εισαγωγή

Η περιοχή μελέτης: ΒΑ Αιγαίο (Εικ.1).



Εικ. 1. Χάρτης που απεικονίζει την περιοχή μελέτης.

Η περιοχή που επιλέχθηκε για ανάλυση είναι η λεκάνη της Θράκης, Νήσου Λήμνου και οι αποθέσεις υποθαλάσσιων ριπιδίων (Ανώτερο Ηώκαινο – Κατώτερο Ολιγόκαινο) αυτής. Γεωγραφικά εκτείνεται 40°02'24'' και 39° 47' Βόρεια προς Νότια αντίστοιχα και 25°00' και 25°30' Δυτικά προς Ανατολικά αντίστοιχα. Σε είκοσι οκτώ δείγματα ψαμμιτών και πηλιτών πραγματοποιήθηκαν γεωχημικές έρευνες (Εικ.2) για την μελέτη των γεωχημικών αποτελεσμάτων, με τη χρήση των αναλογιών (για παράδειγμα $V/(V+Ni)$, Ni/Co) και τριγωνικών διαγραμμάτων για την εύρεση των παλαιοκλιματολογικών και οξειδοαναγωγικών συνθηκών, αλλά και των επικρατουσών κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης των συνθηκών αλατότητας.



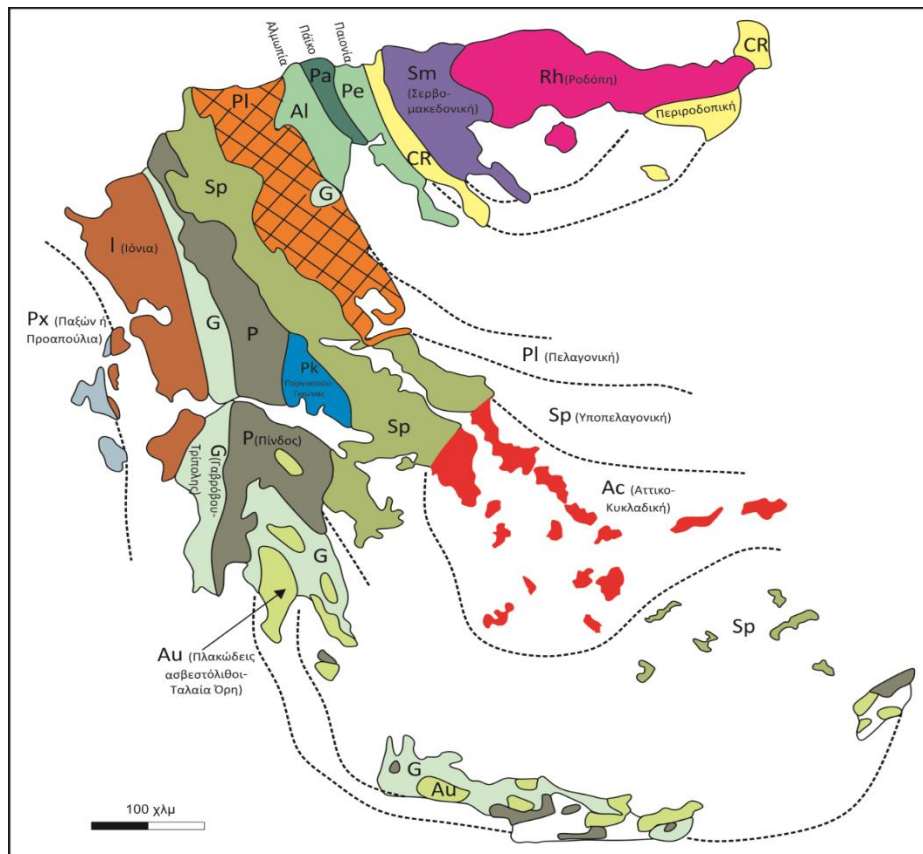
Εικ. 2. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης στον οποίο απεικονίζονται οι θέσεις δειγματοληψίας (τροποποιημένο από I.G.M.E, Maravelis, 2009)

Κεφάλαιο 2

2.1 Γεωλογική Επισκόπηση

Ένα από τα πιο έντονα παραμορφωμένα τεκτονικά καθεστώτα της νοτιοανατολικής

Ευρώπης αποτελεί το Ελληνικό Ορογενές. Από την σύγκλιση της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής τεκτονικής πλάκας και το οριακό κλείσιμο του ωκεανού της Τηθύος στις αρχές του Τριτογενούς, σχηματίστηκε το ορογενές των Ελληνίδων ζωνών, που αποτελείται από τη Μεσογειακή, την Αλπική και την Κιμμερική μικροπλάκα (sensu Boyer and Elliot 1982). Οι Ελληνίδες ζώνες χωρίζονται στις Εξωτερικές (Πίνδος Τρίπολη, Ιόνιος, Προαπούλια) και στις Εσωτερικές (Ροδόπη, Περιροδοπική, ζώνη Αξιού, Πελαγονική, Υποπελαγονική, Παρνασσού) (Kober 1929) (Εικ. 3). Η ΒΑ-ΝΔ αναδίπλωση του ορογενούς οφείλεται στην έντονη συμπίεστική δύναμη που ασκήθηκε κατά τον σχηματισμό του.

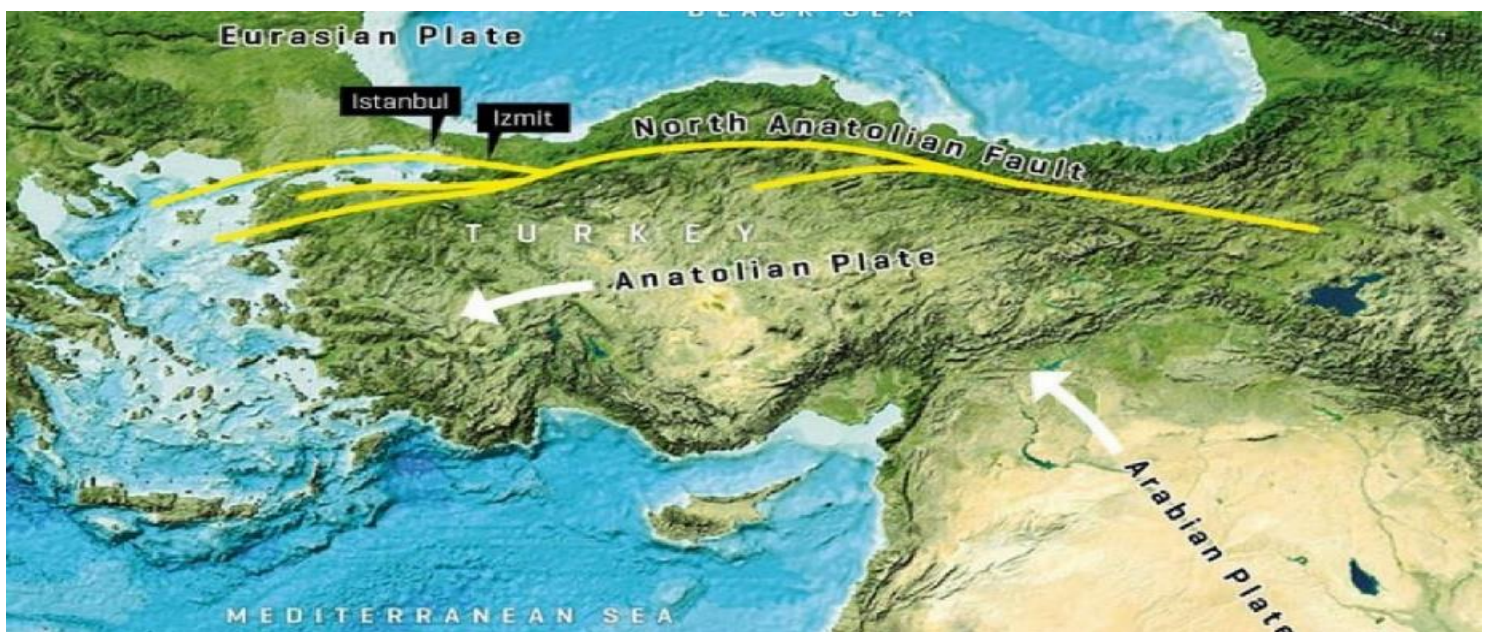


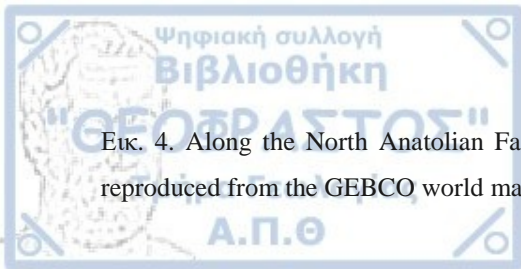
Εικ. 3. Οι γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας (προσαρμογή από Μουντράκη, 1985)

2.2 Λεκάνη της Θράκης

Στην λεκάνη της Θράκης συναντώνται κυρίως πυριτικοκλαστικά ιζήματα Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου και αποθέσεις ιζημάτων Νεογενής και Τεταρτογενής ηλικίας, με πάχος 9 km και εμφανίζονται στα ανατολικά τμήματα, όπως παρουσιάζονται στις σεισμικές τομές (Korpp et al., 1969; Turgut et al., 1991; Gorur & Huvaz, 2007). Το μεταμορφωμένο σύμπλεγμα της Ροδόπης και Στράντζα δημιουργεί το Βορειοδυτικό και το Βορειοανατολικό τμήμα της

λεκάνης. Το δυτικό περιθώριο αποτελείται από μολασσικά ιζήματα (Lalechos 1986; Burchfiel et al., 2003; Mainhold & BounDagaher-Fadel, 2010; Papanikolaou & triantaphyllou, 2010; Kiliyas et al., 2013; Papanikolaou, 2015). Λόγω υψηλού ποσοστού υδρογονανθράκων η ανατολική περιοχή της λεκάνης της Θράκης έχει μελετηθεί αρκετά (Gorur et al., 1996; Gorue & Okay, 1996; Okay et al., 1990; Turgur & Eseller, 2010; Siyako & Huvaz, 2007; Ozean et al., 2010). Κατά το μέσο- Ανώτερο Ηώκαινο, ξεκίνησε η ηφαιστειακή δράση, και αυτό φαίνεται από την εμφάνιση ηφαιστειακών πετρωμάτων σε κλαστικά ιζήματα (Burchfiel et al., 2003). Στο Βόρειο μέτωπο της λεκάνης εμφανίζεται πάνω από τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής και της Ροδόπης (Bonev et al., 2006). Στα βορειοδυτικά (Kauffmann et al., 1976; Papanikolaou, 2009) περιβάλλεται από ασβεστόλιθους Αλικής Κατώτερης Κρητιδικής ηλικίας (Maratos & Andronopoulos, 1964; von Braun, 1968; Ivanov et al., 1993) τα οποία βρίσκονται είτε ασύμφωνα (Kopp, 1969), είτε τεκτονιά (von Braun, 1968; von Braun, 1993) της ενότητας Μάκρη, καθώς και από οφιολίθια, φυλλιτικά και ανακρυσταλλωμένα ασβεστιτικά ηλικίας Τριαδικουρασιακού (ενότητα Μακρή, Papadopoulos & Romoni-Papaioannou, 1988; Papadopoulos et al., 1989; von Braun, 1993). Στο νότιο τμήμα της λεκάνης (Λήμνος), το υπόβαθρο δεν είναι εκτεθειμένο (Maravelis and Zelilidis, 2016), αλλά τα γεωχημικά στοιχεία και η σύσταση του κλαστικού ιζήματος δείχνουν ότι το πιο πιθανόν να πρόκειται για την υπο-Πελαγονική ζώνη (Maravelis et al., 2015). Το ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας (North Anatolian Fault) (Εικ.4), δημιουργεί την παραμόρφωση του ελληνικού τμήματος αφού η λεκάνη είναι προγενέστερη (Armijo et al., 1999; Tranos, 2009).





Εικ. 4. Along the North Anatolian Fault, Anatolia and the Eurasian Earth Plate push past each other. Image reproduced from the GEBCO world map 2014, www.gebco.net

2.3 Νήσος Λήμνος

Η Λήμνος έχει συνολική έκταση 400km², χαμηλό ανάγλυφο και ήπια μορφολογία στα ανατολικά. Το νησί είναι αρκετά λοφώδες, τραχύ και απότομο στο δυτικό μέρος. Το βορειοδυτικό τμήμα έχει το μεγαλύτερο υψόμετρο που φτάνει τα 430 μέτρα. Ένα κομμάτι της γεωλογίας της Λήμνου αποτελείται από τα Ηωκαινικής ως Μειοκαινικής ηλικίας ιζηματογενή πετρώματα.

2.3.1 Κατώτερη Ιζηματογενής Ακολουθία

Τρεις διακριτές μονάδες που καλύπτουν το 60% του νησιού αποτελούνται από το κατώτερο ιζηματογενές τμήμα (Innocenti et al., 2009).

1. Ενότητα Φισίνης-Σαρδών

Είναι η πιο εμφανέστερη ιζηματογενή ακολουθία της περιοχής. Στο βαθύτερο τμήμα αποτελείται από ψαμμιτικά, σχιστολιθικά και ιλυολιθικά πετρώματα. Ο ψαμμίτης είναι καλά συγκολλημένος και κανονικά διαβαθμισμένος με στρώματα πάχους 20-30εκ. ως 1 μέτρο και επιφανειακές επιφάνειες αποσάθρωσης. Επίσης, στο κατώτερο τμήμα συναντώνται ολισθόλιθοι από σκληρούς νουμουλιτοφόρους ασβεστόλιθους γκρίζου χρώματος. Υπέρκεινται από επίστρωση τόφφων, έκτασης 8 km και πάχους 6 m. Στην περιοχή της Πλάκας επίσης, συναντώνται αποθέσεις τόφφων. Οι παχιοί ψαμμίτες υπερισχύουν του αργιόλιθου και του πηλόλιθου στο μέσο και ανώτερο μέρος της ακολουθίας.

2. Ενότητα Ηφαιστίας

Κιτρινοκόκκινοι ψαμμίτες, που αποτελούνται από παχιά στρώματα, ως πέντε μέτρα, αποτελούν κυρίως αυτή την ενότητα. Χαρακτηριστικά Α-Δ πρίσματα σχηματίζονται στην περιοχή μεταξύ Νέας Κουτάλης και Παναγιάς. Μια παχιά ακολουθία σχιστόλιθων, πηλόλιθων, αργιλωδών και μάργας με ενστρώσεις ψαμμιτών και θραυσμάτων από πυριτόλιθους, αποτελούν τα ανώτερα τμήματα των σχηματισμών και βρίσκονται κοντά στο



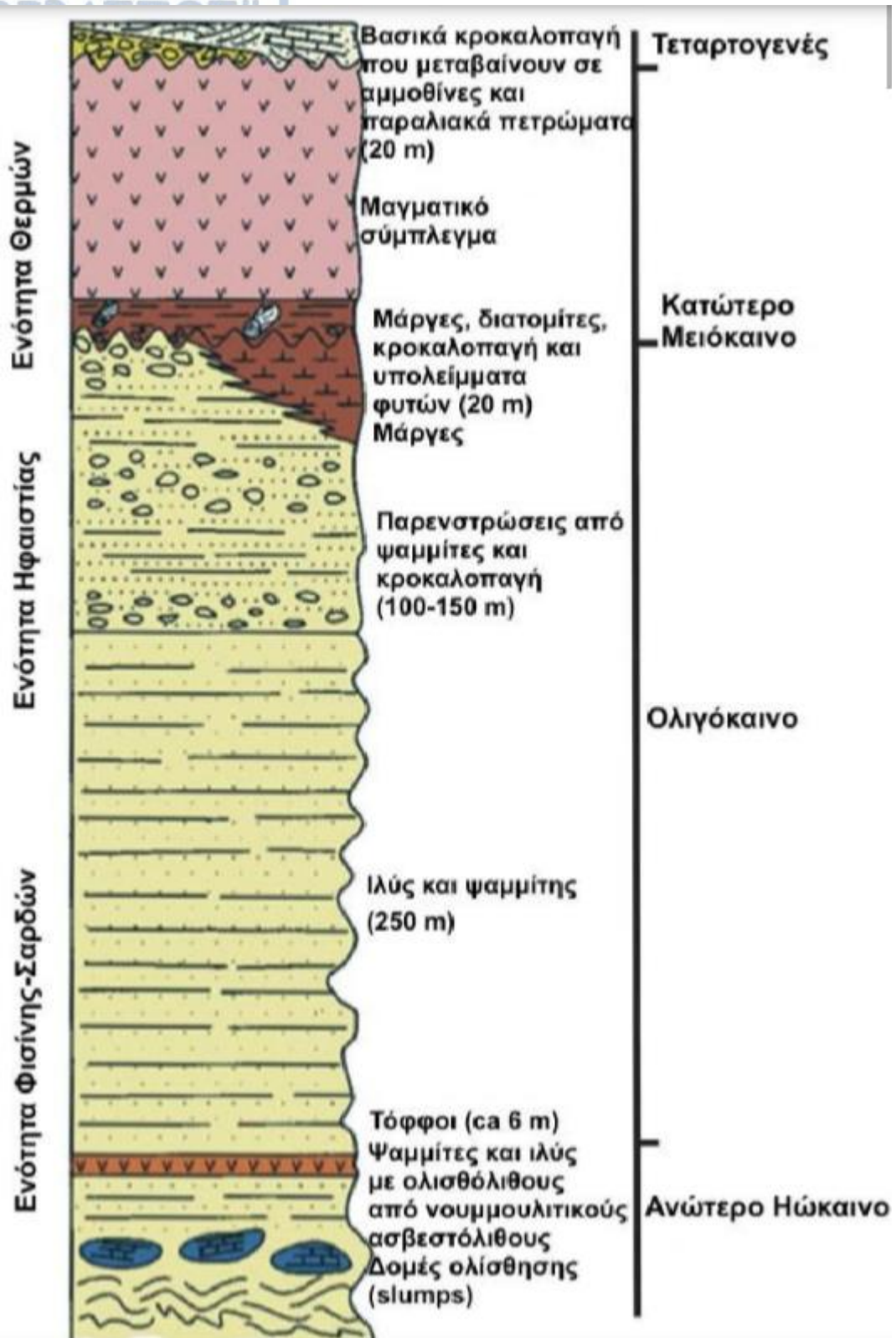
Ρουσσοπούλι και την Μύρινα. Μία διαβρωτική επιφάνεια που υπερκάλυψε μεγάλο κομμάτι του σχηματισμού αυτού, αποτελεί την κορυφή της Ηφαιστίας.

3.Ενότητα Θερμών

Η ενότητα αυτή, εμφανίζεται μόνο δυτικά και νοτιοδυτικά του νησιού, έχει πάχος 10m και αποτελείται από ηφαιστειακά κλαστικά, μάργα με διάτομο, οξειδωμένα χαλίκια και άφθονο υπόλειμμα φυτικών οργανισμών. Στα ανώτερα τμήματα της Ηφαιστίας, παρουσιάζονται ξεκάθαρες σχέσης με την ενότητα, ακριβώς δίπλα από τα Θερμά, ενώ δυτικά του ακρωτηρίου είναι περαιτέρω ορατές οι σχέσεις με το υπερκείμενο ηφαιστειακό σχηματισμό. Η υπερκείμενη κάτω-μειοκαινική λάβα και το υποκείμενο ιζηματογενές της ενότητας Ηφαιστίας που περιβάλλουν την ενότητα Θερμών, της προσδιορίζουν μια ηλικία κάτω-μειοκαίνου.

Πυριγενές σύμπλεγμα

Στο δυτικό και στο κεντροδυτικό τμήμα του νησιού εμφανίζεται το πυριγενές σύμπλεγμα. Οι ηλικίες που προέκυψαν μετά από ραδιοχρονολογικές έρευνες, έδειξαν ότι η δραστηριότητα έλαβε χώρα μεταξύ 22,6 και 18Ma. Γύρω από τον κόλπο του Μούδρα εμφανίζεται η Ενότητα Ρωμανού που αποτελείται από πυροκλαστικά υλικά. Τα κατώτερα τμήματα της αποτελούνται από κλάστες, από ελαφρόπετρα και πυροκλαστικές ροές, πλούσιες σε λιθοκλάστες. Στο νότιο τμήμα οι πυροκλαστικές αποθέσεις είναι ενστρωμένες με ηπειρωτικούς ιζηματογενής σχηματισμούς, αποτελούνται από απολιθωμένους κορμούς και απολιθωμένα φυτά. Εμφανίζουν ηλικία 19,8Ma (Fytikas et al., 1979).



Εικ. 5. Στρωματογραφική στήλη ιζηματογενών στρωμάτων του Καινοζωικού της περιοχής μελέτης (τροποποιημένο από Innocenti et al., 2011).

2.3.2 Ανώτερη Ιζηματογενής Ακολουθία

Στην περιοχή Λαγκαδά και μεταξύ της Παναγίας και Νέας Κουτάλης εμφανίζεται ακολουθία που περιλαμβάνει μειοκαινικές αποθέσεις (Innocenti et al., 2009). Βρίσκονται ασύμφωνα πάνω στα πυροκλαστικά στην περιοχή του Λαγκαδά και έχει λιθολογική ομοιότητα με τα πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα (Ρουσσο, 1993).

Κεφάλαιο 3

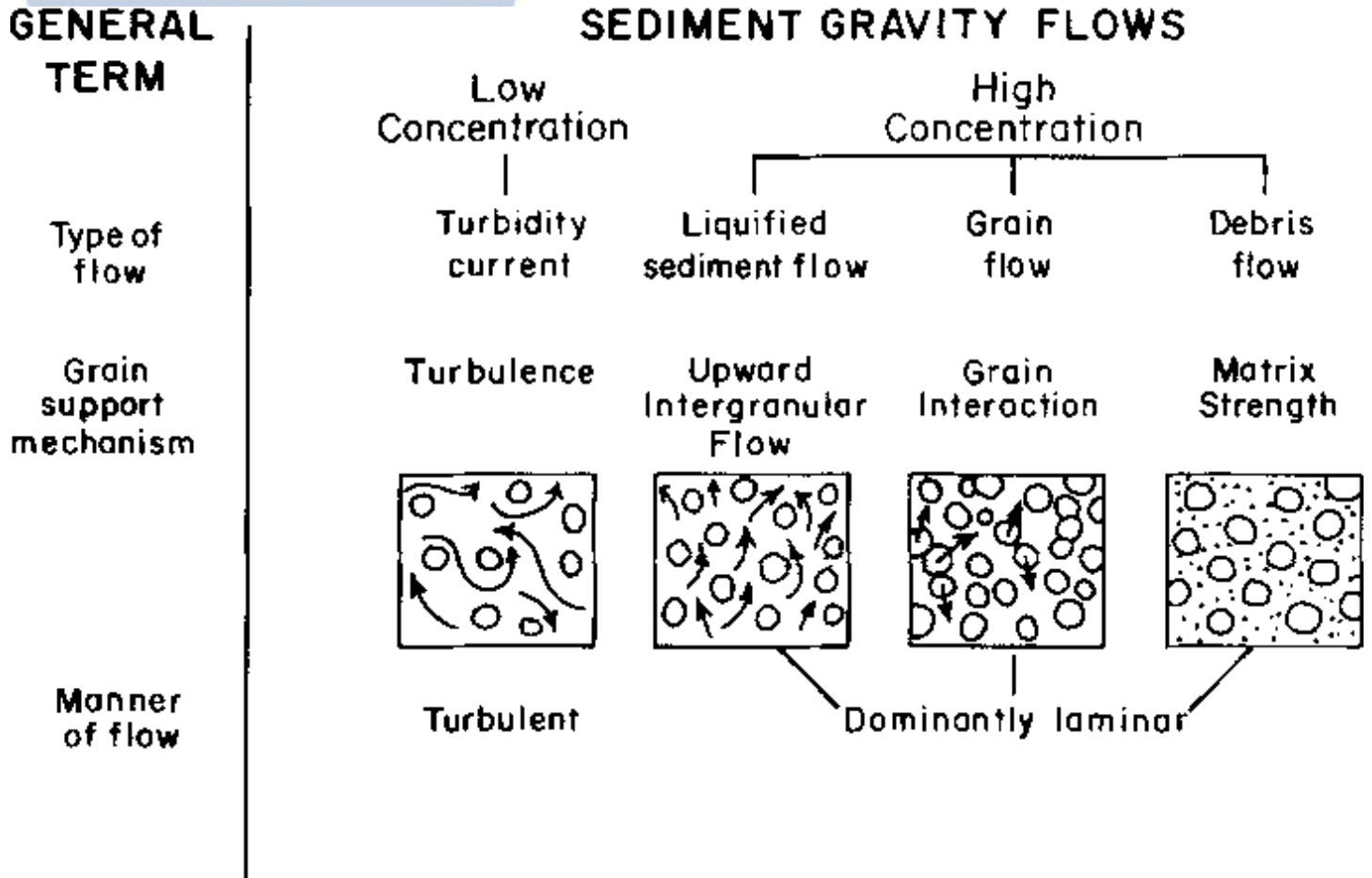
3.1 Περιβάλλοντα Ιζηματογένεσης -Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό έχει ως σκοπό τη λεπτομερή ιζηματογενής μελέτη στα ιζήματα άνω Ηωκαίνου – κάτω Ολιγοκαίνου, της περιοχής, τη ταξινόμηση των τουρβιδιτικών συστημάτων κατά Mattern, 2005 και τη χωρική εξέταση διαφόρων περιβαλλόντων ιζηματογένεσης.

3.1.1 Βαρυτικές Ροές

Οι βαρυτικές ροές ιζημάτων περιγράφουν της κύριες μορφές ροών που σχετίζονται με διαδικασίες επαναϊζηματογένεσης. Ο όρος αυτός εισήλθε στην γεωλογική βιβλιογραφία για πρώτη φορά από τους Middleton and Hampton, 1973. Σύμφωνα με το εκάστοτε καθεστώς ροής και με τον κυρίαρχο μηχανισμό συγκράτησης, ορίζονται και ταξινομούνται αυτές οι ροές (Middleton and Hampton, 1973, 1976; Carter, 1975; Lowe, 1982; Nardin et al., 1979; Postma, 1986). Κατά Middleton and Hampton (1973, 1976), αναγνωρίζονται τέσσερις τύποι βαρυτικών ροών (εικ.6):

- 1) Τουρβιδιτικά ρεύματα, στα οποία τα ιζήματα μεταφέρονται λόγω της τυρβώδους ροής.
- 2) Ροές κόκκων, στις οποίες τα ιζήματα μεταφέρονται λόγω της αλληλεπίδρασης των κόκκων μεταξύ τους.
- 3) Υγροποιημένες ροές, στις οποίες τα ιζήματα μεταφέρονται από τις προς τα πάνω ροές των υγρών που διαφεύγουν μεταξύ των κόκκων όπως οι κόκκοι καθιζάνουν λόγω της δύναμης της βαρύτητας.
- 4) Δεβριτικές ροές, στις οποίες τα ιζήματα μεταφέρονται από μια θεμελιώδη μάζα (matrix).

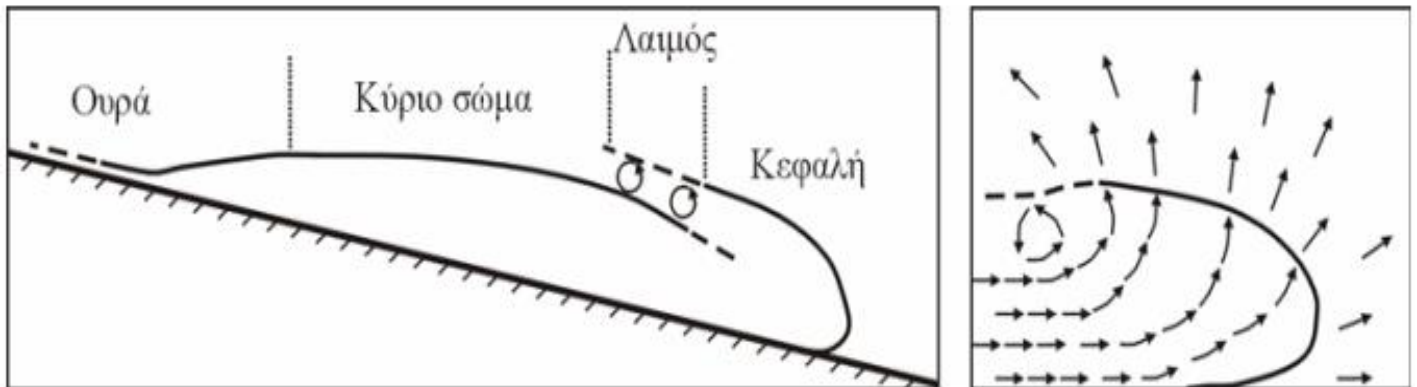


Εικ. 6 Αναλύσεις των βαρυτικών τύπων ροής σύμφωνα με τους Middleton and Hampton, 1976.

3.1.2 Τουρβιδιτικά Ρεύματα

Αιωρήσεις ιζημάτων τα οποία λόγω της τύρβωσης διατηρούνται σε αυτή την κατάσταση, ονομάζονται τουρβιδιτικά ρεύματα. Ο Johnson (1938), ήταν ο πρώτος που εισήγαγε τον όρο τουρβιδιτικό ρεύμα. Σαφής μηχανισμός που ρυθμίζει ένα τουρβιδιτικό ρεύμα, έδωσε η λεπτομερής εργαστηριακή μελέτη (Kuenen, 1950; Middleton, 1966, 1967; Allen, 1971). Οι ροές μιγμάτων υγρού-ιζήματος μέσα στα περιβάλλοντα σώματα υγρού, όπου η διαφορές πυκνοτήτων προκαλούνται από υψηλές συγκεντρώσεις ιζημάτων μέσα στην υγρή μάζα χαρακτηρίζεται ως τουρβιδιτικό ρεύμα. Λόγω υδραυλικού άλματος, μπορεί να αυξηθεί η αιώρηση και η τύρβωση (Van Andel and Komar, 1969; Komar, 1971). Αυτοαίωρηση είναι ο μηχανισμός που βοηθά τα τουρβιδιτικά ρεύματα να διατηρηθούν κατά μήκος μεγάλης απόστασης χωρίς αποθέση και διαβρώση.

Η κλίση του πρηνούς παίζει σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά της ροής, καθώς το ρεύμα επιταχύνεται και διαβρώνει ή επιβραδύνει και αποθέτει ανάλογα με τις μεταβολές της κλίσης. Το τουρβιδιτικό ρεύμα μπορεί να μεταφέρει διάφορο μέγεθος κόκκων από λεπτόκοκκη άργιλο μέχρι κροκάλες ακόμη και σε πολύ μικρές κλίσεις. Για τον λόγο αυτό αναγνωρίζονται τα τουρβιδιτικά ρεύματα και υψηλής και χαμηλής πυκνότητας.



Εικ. 7. Επιμηκες ανατομία των τουρβιδιτικών ρευμάτων (τροποποιημένο από τους Middleton and Hampton 1976)

3.1.3 Τουρβιδίτες

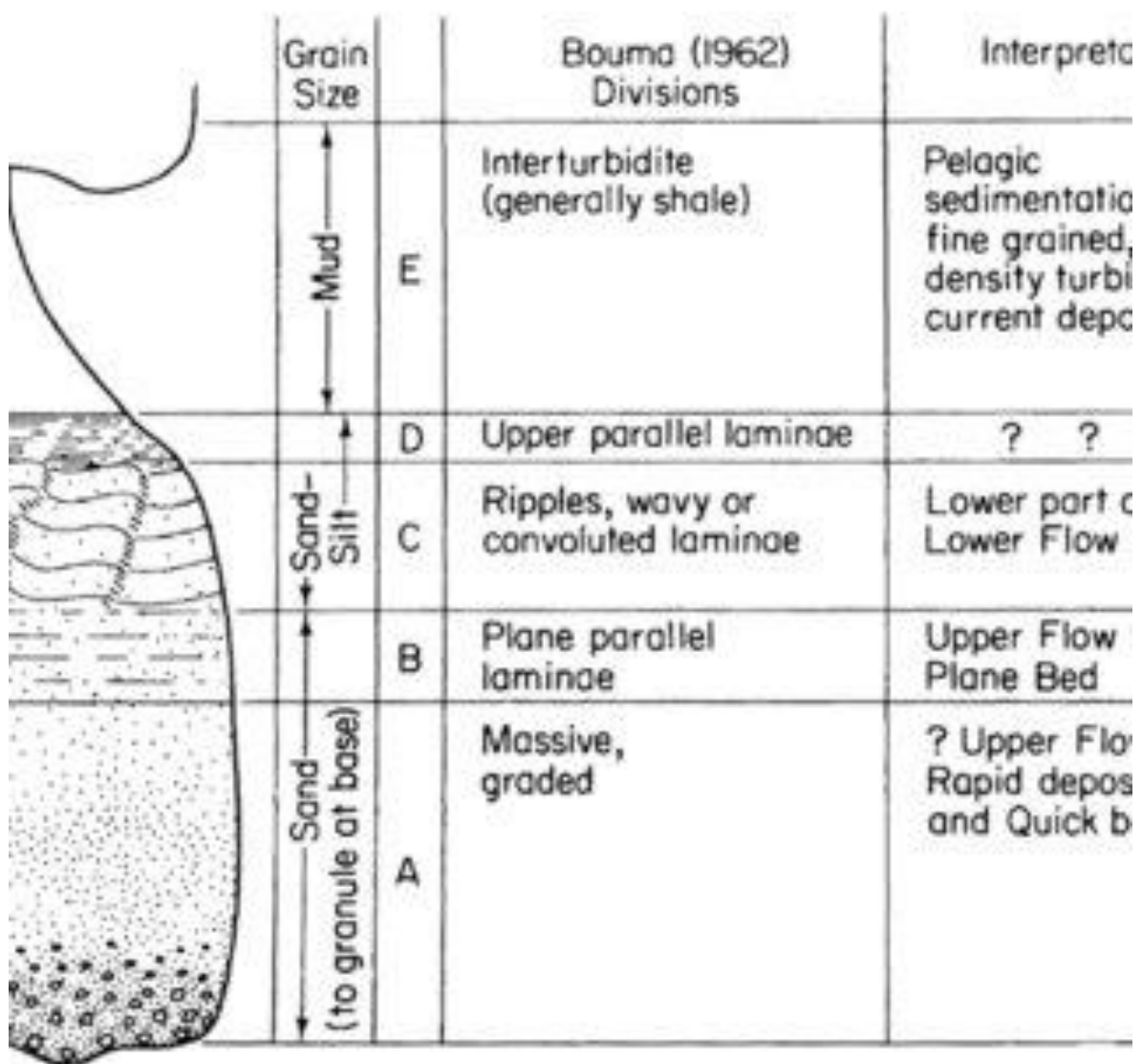
Τουρβιδίτες είναι οι αποθέσεις του τουρβιδιτικού ρεύματος που βρίσκονται σε θαλάσσιο περιβάλλον μεγάλου βάθους και οι ακολουθίες του φθάνουν τα πάχη της τάξης των χιλιομέτρων. Η χαρακτηριστική ακολουθία δομής και ιστών των τουρβιδιτικών ρευμάτων αποτελούνται από:

- 1) Ίχνη τυθμένα(sole marks).
- 2) Συγκεκριμένη ακολουθία εσωτερικής δομής(ακολουθία Bouma).
- 3) Σχετικά υψηλά ποσοστά συνδετικού υλικού(matrix)
- 4) Κατακόρυφη διαβάθμιση

Η πρωταρχική ιζηματογενείς δομή στην βάση του τουρβιδιτικού στρώματος που σχηματίζεται από το ρεύμα, αποτελείται ως επί των πλουστών από δομές διάβρωσης π.χ.

- Τχνη πέλματος (flute marks)
- Τχνη εργαλείων (tool marks)
- Τχνη αύλακος (groove marks)

Οι ακολουθίες Bouma είναι το σημαντικότερο αποτέλεσμα των ερευνών για τις δομές σε τουρβιδίτες, διότι μας δείχνουν ότι οι διάφορες εσωτερικές ιζηματογενείς δομές εμφανίζονται σε μία προβλέψιμη κατακόρυφη ακολουθία (Bouma, 1962). Πέντε υποδιαιρέσεις αποτελούν μια ακολουθία που είναι πλήρης. (Εικ. 8).



Εικ. 8. Ακολουθίες Bouma σε πλήρη μορφή (τροποποιημένη από τους Darke and Lyttle, 1981)

Τα ιχνοαπολιθώματα είναι ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα πολλών τουρβιδιτικών ακολουθιών. Ίχνη ανάπαυσης ή ερπυσμού μικροοργανισμών μέσα σε διασταυρούμενους ημιπελαγίτες ή στα ανώτερα τμήματα των τουρβιδιτών είναι πολύ κοινά. Στην επιφάνεια, ίχνη σίτισης και βόσκησης οργανισμών και εσωτερική δομές στοών συναντάται στις βάσεις του τουρβιδιτικού στρωμάτος.

3.1.4 Ατελείς Ακολουθία BOUMA

Λόγοι για της παρουσίες η της απουσίες των πέντε υποδιαίρεσεις των ακολουθιών Bouma που προτάθηκαν από τον Walker (1965), μετά από εξέταση των υδροδυναμικών συνθηκών που επηρεάζουν τα τουρβιδιτικά ρεύματα:

➤ Ακολουθία στην οποία απουσιάζει η βάση

Όταν η αποθέσεις από τα ρεύματα δεν ξεκινούν παρά μόνο σε προχωρημένα στάδια, σχηματίζονται η ακολουθία στην οποία απουσιάζουν οι βάσεις(Bouma, 1962). Η ακολουθία Tbcde υποδηλώνει την αρχική αποθετική διαδικασία κατά την παραγωγή οριζόντιων στρωμάτων στο καθεστώς υψηλής ροής, ή την πλήρη αναδιαμόρφωση των προηγούμενα αποτιθέμενων διαβαθμισμένων υποδιαίρεσεων σε ελασματώσεις.

➤ Ακολουθία στην οποία απουσιάζει η οροφή

Η διάβρωση που προκαλείται από ένα επόμενο ρεύμα, είναι ο προφανέστερος λόγος την ακολουθίας Tabc , Tabcd , Ta και Tab, στην οποία απουσιάζουν οι κορυφές. Η απουσία των αποθέσεων της ανώτερης υποδιαίρεσης, είναι μια άλλη αιτία της απουσίας της οροφής.

➤ Ακολουθία στην οποία απουσιάζει το μεσαίο μέλος

Το απότομο πάγωμα του στρώματος σύρσης, πιθανώς να οδήγησε στην αρχική απόθεση της υποδιαίρεσης Ta και την δημιουργία της ακολουθίας Tae. Όταν τα ρεύματα εξασθενούν, η ιλύς και όλα τα εναπομείναντα ιζήματα μεταφέρονται μακριά στην λεκάνη, όπου καθιζάνουν αργά, συμπληρώνοντας την ακολουθία Tae.

3.1.5 Ταξινόμηση Τουρβιδιτικών Φάσεων

Οι Mutti and Ricci Lucchi (1972) ανέπτυξαν ένα σύστημα ταξινόμησης του υποθαλάσσιου κλαστικού αποθετικού υλικού σε φάσεις με βάση τη μελέτη των καλά εμφανιζόμενων τουρβιδιτικών ακολουθιών στην Βόρεια Ιταλία και Ισπανία. Αυτό το σύστημα ταξινόμησης, υποδιαιρεί την υποθαλάσσια απόθεση σε επτά φάσεις, A-G. Το 1975 οι Mutti and Ricci Lucchi πρόσθεσαν σημαντικές λεπτομέρειες στην ταξινόμηση (Εικ. 9).

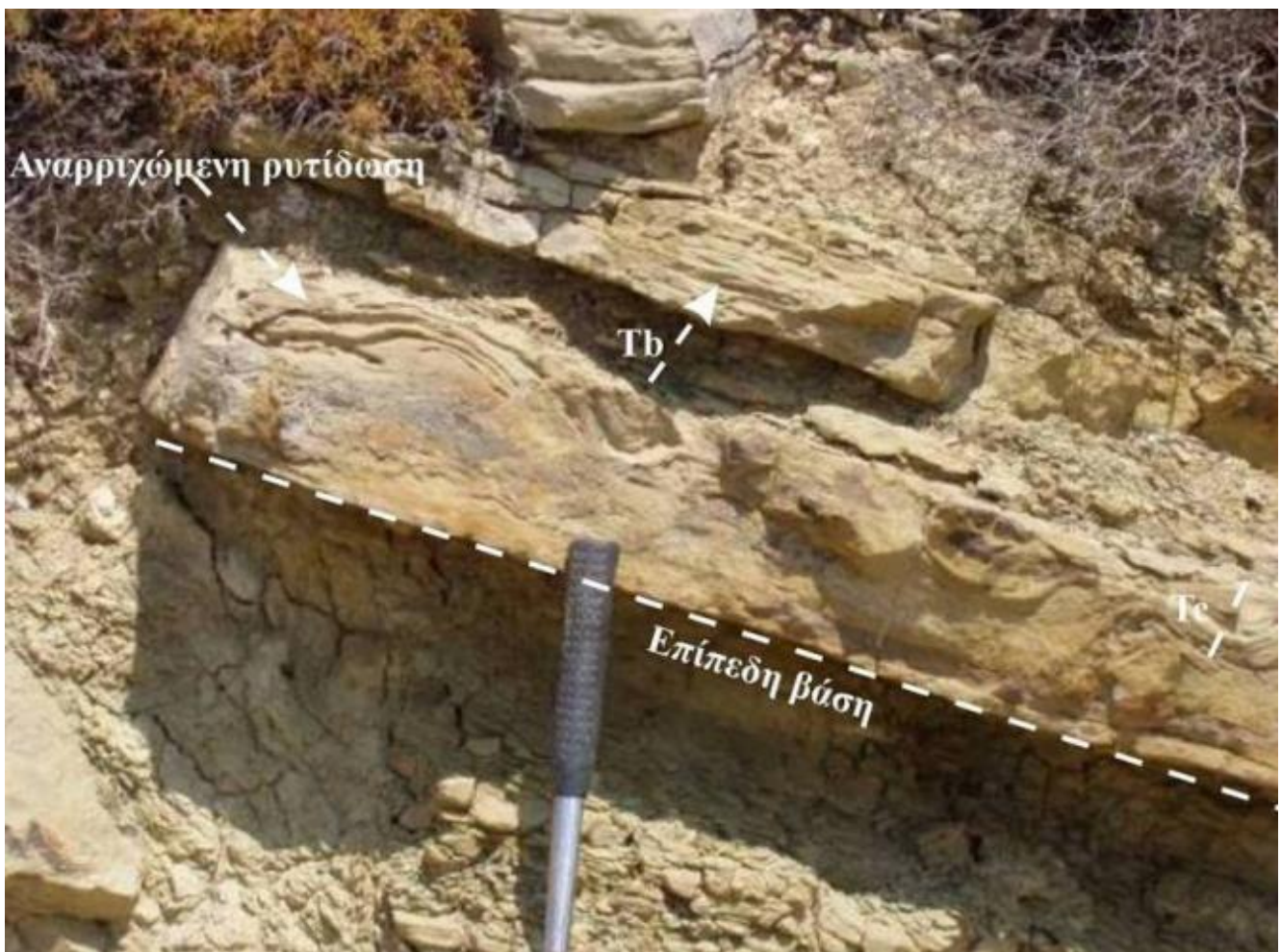
<u>Φάση A</u>	<p>➤ Πολύ χονδρά και πολύ χονδρόκοκκα στρώματα</p> <p>Υποφάσεις A1: οργανωμένα κροκαλοπαγή, χαλικώδης ψαμμίτης, ψαμμίτης</p> <p>A2: ανοργάνωτα κροκαλοπαγή, χαλικώδης ιλύόλιθοι, "slurrified" στρώματα</p>
<u>Φάση B</u>	<p>➤ Χονδρά, μέσο- έως χονδρόκοκκα στρώματα, με παράλληλη ελασμάτωση στην βάση</p> <p>Υποφάσεις B1: Σχετικά συνεχή στρώματα, 30-200 εκ πάχος</p> <p>B2: Φακοειδή, σφηνοειδή, στην κορυφή με ρυτιδώσεις, 20-50 εκ πάχος</p>
<u>Φάση C</u>	<p>➤ Στρώματα που περιέχουν υποδιαιρέσεις της ακολουθίας Bouma, που περιέχουν στην βάση την υποδιαίρεση Ta</p> <p>Υποφάσεις C1: Χονδρό- έως λεπτόκοκκη άμμο, με τις υποδιαιρέσεις Tace και Tac</p> <p>C2: Μέσο- έως λεπτόκοκκη άμμο, με τις υποδιαιρέσεις Tabcde, Tabce και Tabde</p>
<u>Φάση D</u>	<p>➤ Στρώματα στα οποία απουσιάζει η υποδιαίρεση Ta της ακολουθίας Bouma</p> <p>Υποφάσεις D1: Tb-e, Tc-e, Tde, αναλογία ψαμμίτη προς άργιλο > 1, 3-40 εκ πάχος</p> <p>D2: Tb-e, Tc-e, Tde, αναλογία ψαμμίτη προς άργιλο < 1, 30-150 εκ πάχος</p> <p>D3: Te ιλύόλιθος, 3-200 εκ πάχος</p>
<u>Φάση E</u>	<p>➤ Λεπτοστρωματώδεις, μέσο- έως χονδρόκοκκοι ψαμμίτες με ασυνεχή τμήματα αργίλου, υψηλή αναλογία ψαμμίτη προς άργιλο, ακανόνιστης γεωμετρίας, αδιαβάθμιτα, με μεγάλης κλίσης διασταυρούμενη στρώση, με απότομη κορυφή, 3-20 εκ πάχος</p>
<u>Φάση D</u>	<p>➤ Χαοτικές αποθέσεις λόγω βαρυτικών ολισθήσεων εκτός αποθέσεων δεβριτικών ροών</p>
<u>Φάση G</u>	<p>➤ Πελίτες από ημιπελαγική απόθεση</p>

Εικ. 9. Ταξινόμηση της τουρβιδιτικής φάσης με βάση του Mutti and Ricci Lucchi (1975).

3.2 Φάσεις Ιζηματογένεσης στη Λήμνο

Επτά διαφορετικές φάσεις ιζηματογένεσης αναγνωρίζονται στην περιοχή της Λήμνου: αποθέσεις μεταξύ των ριπιδίων, αποθέσεις καναλιών, αποθέσεις λοβών, αποθέσεις μεταξύ των λοβών, αποθέσεις αναχωμάτων, αποθέσεις κατωφέρειας και αποθέσεις υφαλοκρηπίδας (Μαραβέλης, 2009, Maravelis et al., 2007, Maravelis & Zelilidis, 2011, Maravelis et al., 2015).

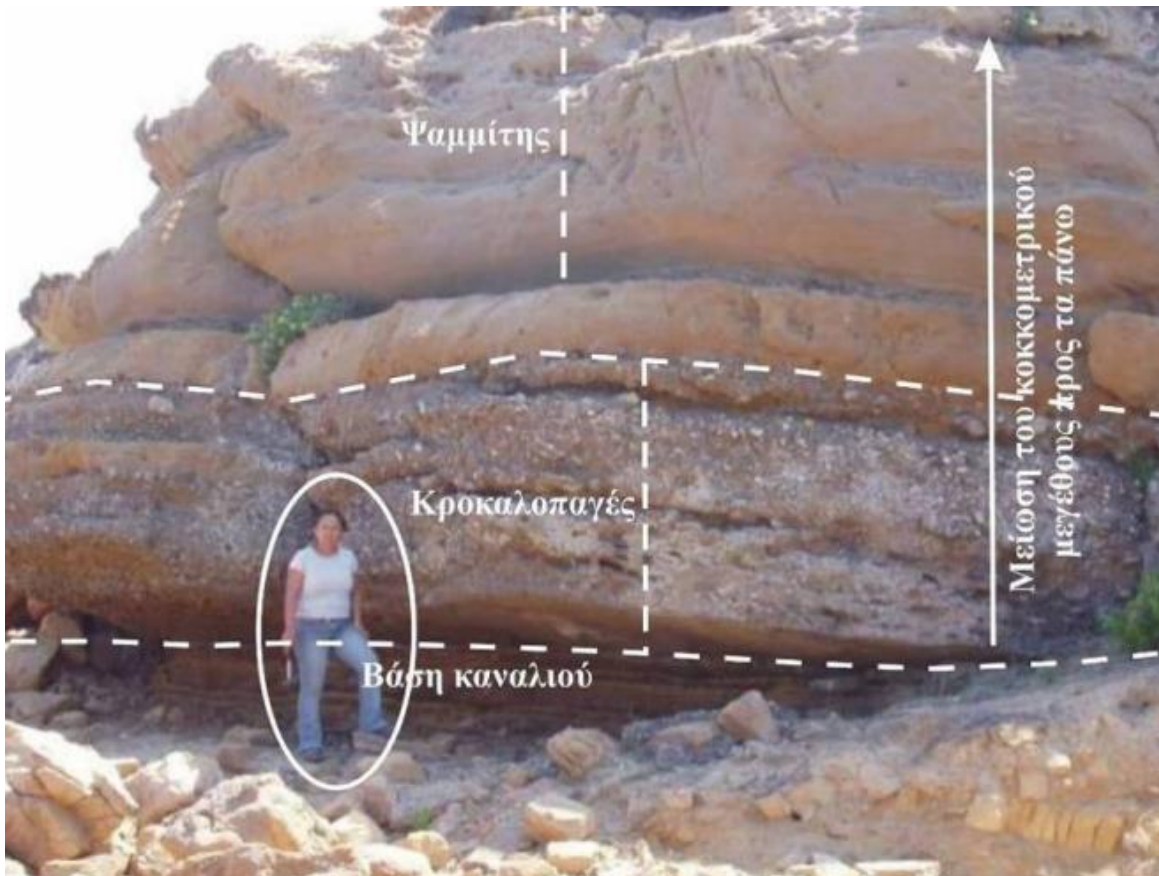
Αποθέσεις μεταξύ των ριπιδίων χαρακτηρίζονται από εναλλαγές αργίλου χωρίς εσωτερική δομή και ψαμμίτη με επίπεδες βάσεις (Εικ.10). Το πάχος τους ξεπερνά τα 30m και εμφανίζει μεγάλη αφθονία σε ιχνοαπολιθώματα.



Εικ. 10. Ψαμμιτικό στρώμα με επίπεδη βάση. (Maravelis, 2009)

Οι αποθέσεις καναλιών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, σε αυτές που περιέχουν κροκάλες και σε αυτές που δεν περιέχουν:

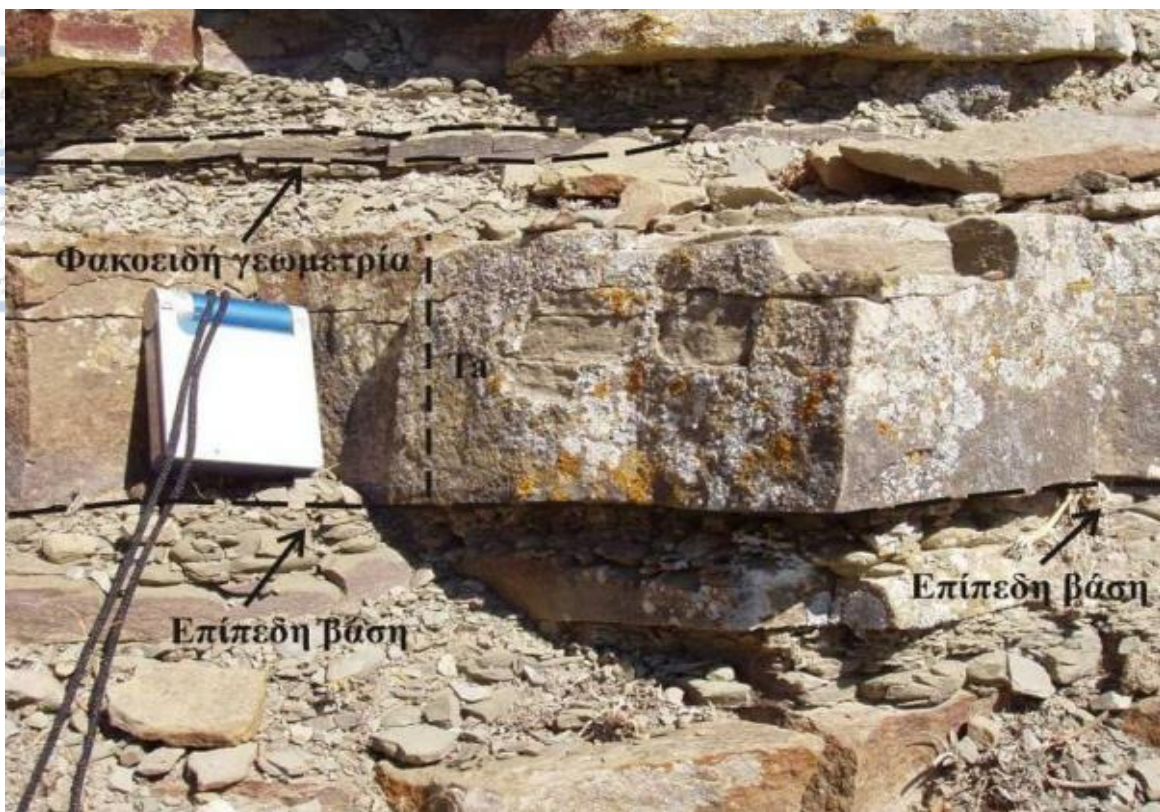
- Οι αποθέσεις με κροκαλοπαγές εμφανίζονται με εναλλαγές ψαμμιτών οι οποίες κατά τόπους συσχετίζονται με κροκαλοπαγή και χαλικώδεις ψαμμίτες με ημιπελαγικούς αργίλους (Εικ. 11). Τα κροκαλοπαγή αυτά είναι αδιαβάθμητα και αποτελούνται από κροκάλες ασβεστόλιθου, ραδιολαρίτη, ψαμμίτη, σχιστόλιθου, γνευσίου, χαλαζία και από ψαμμιτικό συνδετικό υλικό. Το πάχος τους ξεπερνά τα τρία μέτρα.



Εικ.11. Εναλλαγές κροκαλοπαγών και ψαμμιτών με αργιλικά στρώματα. (Maravelis, 2009)

- Οι αποθέσεις χωρίς κροκαλοπαγές αποτελούνται από εναλλαγές ημιπελαγικών αργίλων χωρίς εσωτερική δομή με ψαμμίτες (με διαβρωσιγενείς η απότομες βάσεις).

Αποθέσεις λοβών εμφανίζονται στο βόρειο και βορειοδυτικό τμήμα του νησιού και έχουν πάχος που φτάνει τα 100 m. Χαρακτηρίζεται από εναλλαγές αργίλου ο οποίος εμφανίζεται με παρενστρώσεις πηλού και ψαμμίτη με επίπεδη βάση (Εικ.12). Συχνή παρουσία παλαιορευματικών δεικτών (flute,groove marks) και ιχνοαπολιθωμάτων.



Εικ.12. Ψαμμιτικό στρώμα με επίπεδη βάση με φακοειγή γεωμετρία χαρακτηριστική των αποθέσεων λοβών. (Maravelis, 2009)

Αποθέσεις μεταξύ των λοβών αποτελούνται από εναλλαγές ψαμμιτών και αργίλων, μεταξύ των οποίων συναντώνται υπερβασικά ιζήματα (μέχρι 6m πάχους) (Εικ.13) που είναι αποθεθειμένα παράλληλα στις στρώσεις της τουρβιδιτικής αποθέσεως. Το πάχος τους συχνά ξεπερνά τα 30m.



Εικ.13. Ιζήμα υπερβασικό που παρεμβάλλονται παράλληλα στις στρώσεις της τουρβιδιτικής απόθεσης. (Maravelis, 2009)

Αποθέσεις κατοφέρειας: αποτελείται από άργιλο χωρίς άλλη εσωτερική δομή με πάχος μεγαλύτερο των τριάντα μέτρων (Εικ.14). Προέρχονται από καθίζηση λεπτόκοκκου υλικού από ρεύματα πλημμύρας ή καταγίδας. Οι ψαμμίτες είναι σπάνιοι.

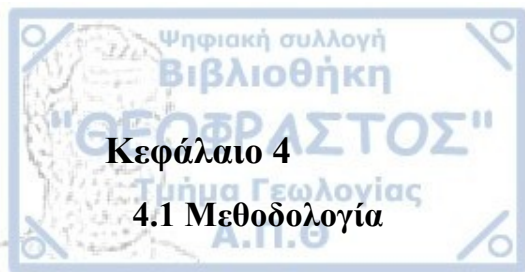


Εικ.14. Αποθέσεις κατοφέρειας (Maravelis, 2009).

Αποθέσεις υφαλοκρηπίδας έχουν ως βάση ψαμμίτες πάχους 3m με παρεμβολές λεπτών αργίλων, πλούσιων σε οργανικό υλικό (Εικ.15) . Το πάχος τους είναι μεγαλύτερο από 50m. Η ομογενής άργιλος αποτελεί σχεδόν εξολοκλήρου τη μορφή τους.



Εικ.15. Άργιλος με υψηλό ποσοστό οργανικού υλικού (Maravelis, 2009).



Κεφάλαιο 4

4.1 Μεθοδολογία

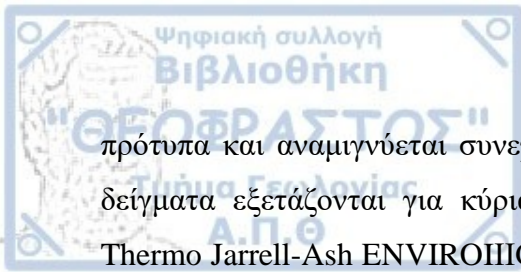
Η γεωχημική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με την μέθοδο επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος φασματόμετρου μάζας (ICP-MS), εκπομπές των επαγωγικά συζευγμένων πλάσματος οπτικού φασματόμετρου (ICP-OES), και των αναλύσεων ενεργοποίησης του νετρονίου με χρήσιμων (INAA) στα εργαστήρια του ACTLABS. Η επιλογή του δείγματος έγινε για να καλυφθούν τόσο οι πλευρικές εξελίξεις των τουρβιδιτικών φάσεων όσο και ολόκληρη την στρωματογραφία στην περιοχή μελέτης κατά την περίοδο κάτω Ηώκαινο – άνω Ολιγόκαινο. Έτσι από τις αποθέσεις υφαλοκρηπίδας και από τα εσωτερικά και εξωτερικά τμήματα των τουρβιδιτικών συστημάτων, συλλέχθηκαν συνολικά 26 αργιλικά και ψαμμιτικά δείγματα.

4.2 Τμήμα ανάλυσης INAA

Η ζύγιση των δειγμάτων γίνεται σε μικρά φιαλίδια πολυαιθυλενίου της Actlabs. Έπειτα το δείγμα ακτινοβολείται με τα διεθνή υλικά αναφοράς έλεγχο CANMET WMS-1 και το καλώδιο συλλιπάσματος NiCr σε ένα θερμικό συλλίπασμα νετρονίων $7 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ στους πυρηνικούς αντιδραστήρες Mc Master. Μετά την επταήμερη διάσπαση, το δείγμα μετριέται με έναν ανιχνευτή Ge Ortec υψηλής καθαρότητας με μια ανάλυση 1,67 KeV για τα 1332 Co-60 photpeak. Υπό την εποπτεία του ηλεκτρονικού υπολογιστή, συνδέεται ο αναλυτής Canberra Series 95 με τον ανιχνευτή. Ο Hoffman E.L.,(1992) περιγράφει πλήρως την μέθοδο.

4.3 Κύρια στοιχεία με ICP-OES, ιχνοστοιχεία με ICP-MS

Το δείγμα προετοιμάζεται και αναλύεται σε ποσοτικά σύστημα. Το κάθε σύστημα περιλαμβάνει ένα κενό αντιδραστήριο μεθοδολογίας, ένα επικυρωμένο υλικό αναφοράς πιστοποίησης και 17% ακριβή αντίγραφα. Τα δείγματα αναμιγνύονται με ένα υγρό που περιέχει λίθιο (Li) και τετραβορικό άλας λιθίου και λειώνονται σε ένα επαγωγικό φούρνο. Αφού λιώσει το μέταλλο διαλύεται αμέσως με νιτρικό οξύ 5%, το οποίο περιέχει εσωτερικά



πρότυπα και αναμιγνύεται συνεχώς μέχρι να διαλυθεί τελείως (~30 λεπτά). Ακολούθως τα δείγματα εξετάζονται για κύρια στοιχεία και επιλεγμένα ιχνοστοιχεία σε μια διαδοχική Thermo Jarrell-Ash ENVIROIIIICP ή μια Spectro Cirros ICP συσκευή. Για την ανάλυση ICP, αναλύονται α) τα κενά αντιδραστηρίων με ή χωρίς τη ροή βορικών αλάτων λιθίου, β) το κενό αντιδραστηρίων μεθόδου και γ) τα πρότυπα επαλήθευσης διορθώσεων παρέμβασης. Η διαβάθμιση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας πολλαπλά USGS και CANMET επικυρωμένα υλικά αναφοράς πιστοποίησης. Δύο από τα πρότυπα προσλαμβάνονται κατά τη διάρκεια της ανάλυσης για κάθε ομάδα δέκα δειγμάτων. Το πρότυπο αυτό υποστηρίζει την ομάδα δειγμάτων. Η διάλυση των δειγμάτων υλοποιείται με εσωτερικά πρότυπα και διαλύεται περαιτέρω σε ένα Perkin Elmer SCIEXELAN 6000 ή σε έναν 6100 ICPMS αναλυτή χρησιμοποιώντας μια ιδιόκτητη μέθοδο εισαγωγής δειγμάτων. Η βαθμονόμηση εκτελείται χρησιμοποιώντας επικυρωμένα υλικά αναφοράς πιστοποίησης USGS ή CANMET.

Κεφάλαιο 5

5.1 Γεωχημική ανάλυση

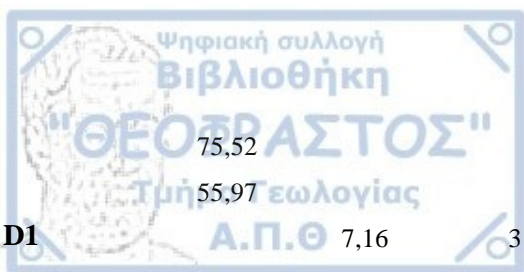
5.1.1 Αποτελέσματα

Κύρια Στοιχεία

Οι αναλύσεις των κύριων στοιχείων στα ιζηματογενή πετρώματα της Λήμνου έγινε στο εργαστήριο του ACTIVATION LABS. Από τις αναλύσεις των κύριων στοιχείων προκύπτει ότι ως κύριο στοιχείο εμφανίζεται το SiO₂, ως δευτερεύοντα Al₂O₃, Fe₂O₃ και CaO και με μικρότερη ποσότητα τα MgO, Na₂O, TiO₂, K₂O, MnO, P₂O₅ (Πίνακας 1). Οι συγκεντρώσεις των SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO κυμαίνονται από 46,37% έως 80,34% (μ.τ. 65,89%), 6,48% έως 19,81% (μ.τ. 12,03%), 0,91% έως 10,83% (μ.τ. 5,38%), 0,17% έως 21,57% (μ.τ. 9,54%) αντίστοιχα. Τα στοιχεία MgO, Na₂O και K₂O εμφανίζουν μέση τιμή κάτω από 5%, 0,49% έως 7,13% (μ.τ. 2,46%), 0,09% έως 3,68% (μ.τ. 1,58%), 1,16% έως 3,78% (μ.τ. 2,24%) αντίστοιχα και τα MnO, TiO₂, P₂O₅ έχουν μέση τιμή κάτω από 1%, 0,02% έως 0,48% (μ.τ. 0,12%), 0,17% έως 1,14% (μ.τ. 0,67%), 0,03 έως 0,19 (μ.τ. 0,13) αντίστοιχα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Συγκέντρωση κύριων οξειδίων των υπό μελέτη περιοχής. LOI: Loss of Ignition.

SampleID	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	LOI %
D14	67,41	9,37	5,57	0,1	0,45	5,41	0,08	1,24	0,588	0,12	8,91
D21	61,52	6,87	3,72	0,06	0,9	12,28	1,13	1,47	0,357	0,09	12,29
D24	48,33	8,91	4,14	0,41	2,74	15,98	1,45	1,58	0,589	0,13	15,06
D12	56,36	7,16	4,34	0,08	3,78	10,15	2	1,41	0,463	0,12	14
D26	66,45	10,78	5,34	0,07	1,57	3,81	2,7	2,04	0,607	0,11	7,43
D6	56,81	6,95	3,28	0,28	1,03	15,28	1,43	1,04	0,378	0,1	13,79
D13		11,17	3,27	0,02	0,61	2,13	0,11	1,6	0,697	0,14	6



D1	75,52	55,97	7,16	3	0,18	2,06	14,31	1,47	1,61	0,421	0,09	13,84
D29	62,25	8,94	5,73		0,09	1,26	7,44	1,88	1,83	0,513	0,1	9,7
D27	58,06	6,36	2,43		0,11	1,3	15,16	1,46	1,36	0,5	0,1	14,05
D25	61,63	6,75	3,61		0,07	0,64	11,74	1,22	1,15	0,333	0,09	11,16
D9	51,24	6,87	2,39		0,25	1,29	17,8	1,5	1,83	0,442	0,09	15,89
D30	64,61	12,09	6,32		0,09	4,91	2,39	1,8	1,64	0,913	0,17	6,06
D31	58,8	5,5	3,01		0,08	2,01	13,06	1,71	0,98	0,306	0,06	15,18
D35	49,22	7,14	3,91		0,09	5,8	11,95	1,46	1,42	0,489	0,1	18,7
D32	52,03	15,84	6,11		0,07	2,81	4,08	1,01	2,96	0,806	0,12	14,54
D33	48,74	14,16	6,23		0,08	3,35	7,46	0,85	2,82	0,791	0,11	14,24
D34	49,27	14,6	6,7		0,07	4,15	8,37	1,27	2,84	0,73	0,13	11,58
D3	55,5	13,47	5,59		0,07	3,34	6,73	1,46	2,68	0,733	0,13	11,16
D4	58,5	12,08	6,67		0,06	3,88	5,86	1,89	1,92	0,696	0,13	8,95
E4	65,62	14,52	7,5		0,03	1,25	0,69	0,96	2,54	0,748	0,15	5,73
E10	63,13	17,01	5,13		0,05	0,96	0,96	0,84	3,11	0,99	0,18	6,88
E15	60,66	18,24	3,75		0,02	1,33	0,94	1,59	3,48	1,052	0,16	7,92
E14	65,08	13,33	10,09		0,06	1,04	0,16	0,39	3,04	0,715	0,12	6,84
H15	37,37	11,82	5,84		0,11	2,44	17,38	1,19	2,2	0,587	0,13	19,41

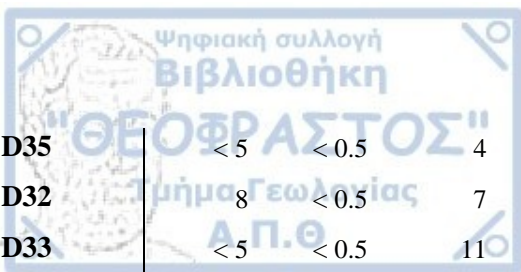
B1 0,8 0,02 1,02 2,03 3,24 1,78 0,15 0,03 12,03

Ιχνοστοιχεία

Σε συνθήκες διαγένεσης, κλίματος και μέτριας έντασης επίπεδης μεταμόρφωσης, τα ιχνοστοιχεία στα κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα είναι ακίνητα και διατηρούνται σε αυτά (Bhatia and Crook 1986, Mc Lennan et al. 1993). Τα ιχνοστοιχεία Ba (μ.τ. 295,77 ppm), Cr (μ.τ.239,73 ppm), Ni (μ.τ. 118,19 ppm), Rb (μ.τ. 65,20 ppm), Sr (μ.τ. 270,4 ppm), V (μ.τ.93,50 ppm), Zn (μ.τ. 59,54 ppm) και Zr (μ.τ. 176,88 ppm) εμφανίζουν τις μεγαλύτερες περιεκτικότητες στα υπό μελέτη δείγματα. Τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία των δειγμάτων εμφανίζονται με περιεκτικότητα κάτω από 50 ppm. Την μεγαλύτερη συγκέντρωση έχει το Ba με περιεκτικότητες από 110 ppm μέχρι 950 ppm με μ.τ. 295,77 ppm.

Πίνακας 2.: Συγκέντρωση ιχνοστοιχείων στα δείγματα της περιοχής μελέτης σε ppm (parts per million) και ppb (parts per billion).

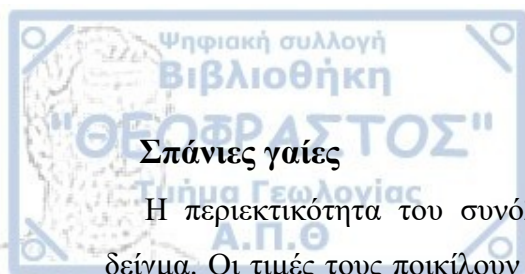
	Au	Ag	As	Ba	Be	Bi	Br	Cd	Co	Cr	Cs
	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
Sample ID											
D14	< 5	< 0.5	31	226	1	< 2	1	< 0.5	21	266	3,5
D21	< 5	< 0.5	3	208	1	< 2	1	< 0.5	13	183	0,9
D24	< 5	< 0.5	10	235	2	< 2	< 1	< 0.5	18	211	3
D12	< 5	0,9	4	270	1	< 2	< 1	< 0.5	6	236	3,5
D26	< 5	< 0.5	7	333	2	< 2	12	< 0.5	19	211	4,2
D6	< 5	< 0.5	15	110	1	< 2	< 1	< 0.5	6	138	2,6
D13	9	< 0.5	98	268	2	< 2	2	< 0.5	15	259	6,8
D1	< 5	< 0.5	6	198	1	< 2	< 1	< 0.5	11	229	2
D29	< 5	< 0.5	6	287	2	< 2	2	< 0.5	21	208	2,1
D27	< 5	< 0.5	3	212	1	< 2	< 1	< 0.5	10	763	1,2
D25	< 5	< 0.5	11	149	1	< 2	1	< 0.5	13	178	2
D9	< 5	< 0.5	8	229	< 1	< 2	< 1	< 0.5	12	204	1,2
D30	< 5	< 0.5	21	293	2	< 2	1	0,5	26	411	3,5
D31	< 5	< 0.5	3	194	1	< 2	45	< 0.5	13	432	1,6



D35	< 5	< 0.5	4	226	1	< 2	2	< 0.5	9	168	2,1
D32	< 8	< 0.5	7	355	3	< 2	7	< 0.5	20	197	7,9
D33	< 5	< 0.5	11	308	2	< 2	3	< 0.5	21	196	6,6
D34	< 5	< 0.5	9	315	3	< 2	< 1	0,5	26	185	7,5
D3	< 5	< 0.5	6	300	2	< 2	2	< 0.5	13	229	6,9
D4	< 5	< 0.5	17	300	2	< 2	3	< 0.5	26	215	4,1
E4	< 5	< 0.5	40	374	3	< 2	3	< 0.5	21	194	12,3
E10	5	0,6	11	410	3	< 2	3	< 0.5	16	270	6,6
E15	< 5	< 0.5	13	389	3	< 2	17	< 0.5	12	265	7,1
E14	< 5	< 0.5	19	285	3	< 2	9	0,7	22	201	19,7
H15	6	0,6	3	266	2	< 2	3	< 0.5	25	166	7,8
B1	< 5	1,3	2	950	4	< 2	4	< 0.5	< 1	18	2,7

	Cu PPM	Hf PPM	Hg PPM	Ir PPM	Mo PPM	Ni PPM	Pb PPM	Rb PPM	S% PPM	Sb PPM	Sc PPM	Se PPM
Sample ID												
D14	25	5	< 1	< 5	< 2	137	15	30	0,007	9,4	12,7	< 3
D21	9	2,8	< 1	< 5	< 2	90	10	20	0,005	0,2	6	< 3
D24	22	4,1	< 1	< 5	< 2	101	10	50	0,003	0,5	11,1	< 3
D12	13	5,5	< 1	< 5	< 2	64	7	30	0,011	0,3	8,5	< 3
D26	24	3,5	< 1	< 5	< 2	127	16	70	0,013	0,5	14,3	< 3
D6	18	3,1	< 1	< 5	< 2	82	7	40	0,006	0,9	6,6	< 3
D13	28	4,5	< 1	< 5	< 2	126	16	60	< 0,001	10,6	9,8	< 3
D1	16	3,1	< 1	< 5	< 2	115	8	50	0,01	0,3	7,2	< 3
D29	21	3,7	< 1	< 5	< 2	150	13	50	0,003	0,4	12,5	< 3
D27	13	8,5	< 1	< 5	< 2	65	6	20	0,004	0,3	6,1	< 3
D25	14	2,5	< 1	< 5	< 2	103	9	40	0,007	1,1	6,2	< 3
D9	12	3,7	< 1	< 5	< 2	71	7	30	0,064	0,4	7	< 3
D30	34	8,1	< 1	< 5	< 2	199	< 5	70	0,004	0,6	16,8	< 3
D31	11	3,3	< 1	< 5	< 2	96	< 5	30	0,128	0,3	6,2	< 3
D35	12	4	< 1	< 5	< 2	76	7	30	0,139	< 0,2	7	< 3
D32	50	2,9	< 1	< 5	< 2	132	17	120	0,113	0,6	17,5	< 3
D33	41	3,7	< 1	< 5	< 2	148	15	100	0,055	0,5	17,5	< 3
D34	46	2,7	< 1	< 5	< 2	154	17	100	0,723	0,6	17,9	< 3
D3	38	4	< 1	< 5	< 2	158	13	90	0,001	0,4	15,6	< 3
D4	32	3,7	< 1	< 5	< 2	147	21	70	0,215	0,5	11,9	< 3
E4	61	4,3	< 1	< 5	< 2	246	15	80	0,009	3,9	19,6	< 3
E10	53	4,6	< 1	< 5	< 2	117	10	100	0,005	0,5	14,7	< 3
E15	55	4,2	< 1	< 5	< 2	78	17	110	0,014	0,6	16,7	< 3
E14	44	3,2	< 1	< 5	< 2	129	23	120	0,012	5,9	18,5	< 3
H15	35	2,4	< 1	< 5	< 2	144	16	120	0,014	0,5	14,3	< 3
B1	4	3,7	< 1	< 5	< 2	18	21	< 20	0,062	< 0,2	2,4	< 3

Sample	Sr PPM	Ta PPM	Th PPM	U PPM	V PPM	W PPM	Y PPM	Zn PPM	Zr PPM
D14	104	< 1	7,3	2,9	84	< 3	23	61	217
D21	255	< 1	4,4	1,3	43	< 3	17	30	150
D24	204	< 1	8,4	2,6	84	< 3	21	49	164
D12	756	< 1	6,5	1,6	64	< 3	20	38	225
D26	222	< 1	8,9	1,9	95	< 3	22	55	141
D6	239	< 1	5,3	1,8	46	< 3	17	36	144
D13	54	< 1	8,8	2,6	95	< 3	17	86	174
D1	254	< 1	5,8	2	49	< 3	16	34	140
D29	172	< 1	6,6	2,8	81	< 3	26	64	184
D27	376	< 1	6,5	1,9	38	< 3	19	29	443
D25	58	< 1	5,3	1,5	49	< 3	13	37	99
D9	216	< 1	4,5	2,2	50	< 3	15	26	156
D30	118	< 1	10,8	3,2	123	< 3	24	87	389
D31	157	< 1	4,6	1,8	49	< 3	15	38	144
D35	301	< 1	5,3	1,3	48	< 3	16	24	186
D32	257	2	12,6	4,2	152	< 3	20	63	129
D33	217	< 1	12,1	3	137	< 3	26	78	157
D34	213	< 1	12,1	2,8	153	< 3	23	81	116
D3	201	< 1	11,3	3,4	121	< 3	23	71	161
D4	196	< 1	7,9	2,3	123	< 3	21	62	171
E4	57	1	10,6	3,3	145	< 3	27	148	175
E10	350	1	13,4	3,8	140	< 3	22	72	189
E15	320	2	14,3	4,2	157	4	20	58	168
E14	163	< 1	11,6	4,2	172	< 3	25	122	141
H15	588	1	9,7	2,4	123	< 3	17	73	97
B1	983	2	32,3	12,6	10	< 3	20	26	139



Σπάνιες γαίες

Η περιεκτικότητα του συνόλου των σπάνιων γαιών (ΣREE) διαφέρει από δείγμα σε δείγμα. Οι τιμές τους ποικίλουν από 50 ppm έως 152,6 ppm με μ.τ. 90,50 ppm. Η τιμή των HREE κυμαίνονται από 1,72 ppm έως 4,3 ppm και των LREE από 50,3 ppm έως 148,3 ppm, οι συγκεντρώσεις των HREE είναι πολύ μικρότερες από αυτές των LREE, με μέση τιμή 2,74 ppm και 87,7 ppm. Ο λόγος των LREE/HREE ποικίλει από 19,7 ppm έως 49,4 ppm. (Πίνακας 3)

$$\Sigma\text{REE}=\text{La}+\text{Ce}+\text{Nd}+\text{Sm}+\text{Eu}+\text{Tb}+\text{Yb}+\text{Lu}$$

$$\text{LREE},\Sigma\text{REE}=\text{La}+\text{Ce}+\text{Nd}+\text{Sm}+\text{Eu}$$

$$\text{HREE},\Sigma\text{HREE}=\text{Tb}+\text{Yb}+\text{Lu}$$

Πίνακας 3.: Συγκέντρωση σπάνιων γαιών στις δειγματοληψίες σε ppm.

	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE	LREE/HREE
	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM				
Sample ID												
D14	17,9	36	15	2,8	1,1	0,6	2,7	0,39	76,5	72,8	3,69	19,7
D21	11,6	24	12	2	0,8	< 0,5	1,6	0,23	52,2	50,4	1,83	27,5
D24	22,9	44	21	3	1,1	< 0,5	2,4	0,34	94,7	92	2,74	33,6
D12	16,3	33	12	2,4	1	< 0,5	2,2	0,35	67,3	64,7	2,55	25,4
D26	20,1	40	16	3,1	1,2	< 0,5	2,2	0,35	83	80,4	2,55	31,5
D6	14,1	26	11	2,3	1	< 0,5	1,6	0,27	56,3	54,4	1,87	29
D13	20,8	42	20	2,8	1,1	0,5	2,1	0,31	89,6	86,7	2,91	29,8
D1	15,8	29	14	2,1	0,7	< 0,5	1,6	0,25	63,45	61,6	1,85	33,3
D29	18,2	33	15	2,8	1,2	< 0,5	2,7	0,4	73,3	70,2	3,1	22,6
D27	16	31	12	2,2	0,9	< 0,5	2,1	0,32	64,5	62,1	2,42	25,7
D25	12,6	26	9	2	0,7	< 0,5	1,5	0,22	52	50,3	1,72	29,2
D9	13,8	27	9	1,8	0,7	< 0,5	1,6	0,22	54,1	52,3	1,82	28,7
D30	25	49	20	3,3	1,2	< 0,5	2,9	0,42	101,8	98,5	3,32	29,7
D31	11,9	22	12	1,8	0,7	< 0,5	1,5	0,26	50	48,4	1,76	27,5
D35	15,6	27	11	2,1	0,8	< 0,5	1,8	0,29	59	56,5	2,09	27
D32	31	57	23	3,6	1,2	< 0,5	2,3	0,36	118	115,8	2,66	43,5
D33	30,8	60	26	3,9	1,4	0,6	2,8	0,41	126	122,1	3,81	32
D34	29,2	57	24	3,7	1,3	< 0,5	2,5	0,39	118	115,2	2,89	39,9
D3	26,1	50	26	3,4	1,3	0,6	2,6	0,39	110	106,8	3,59	29,7
D4	20,9	44	16	2,9	1,2	0,6	2,2	0,35	88,15	85	3,15	27
E4	29,1	57	25	4,3	1,4	< 0,5	3	0,42	120	116,8	3,42	34,2

E10	36,4	69	29	4,6	1,6	0,8	2,5	0,38	144	140,6	3,68	38,2
E15	35,5	67	29	4,3	1,4	< 0,5	2,4	0,38	140	137,2	2,78	49,4
E14	40,8	72	29	4,5	2	0,6	3,2	0,5	152,6	148,3	4,3	34,5
H15	21,2	45	17	2,8	1	< 0,5	2,1	0,33	89,43	87	2,43	35,8
B1	31,5	52	19	2,3	< 0,1	< 0,5	2,2	0,34	107,34	105	2,5	41,3

5.1.2 Συζήτηση-Ερμηνεία

Οξειδοαναγωγικές συνθήκες

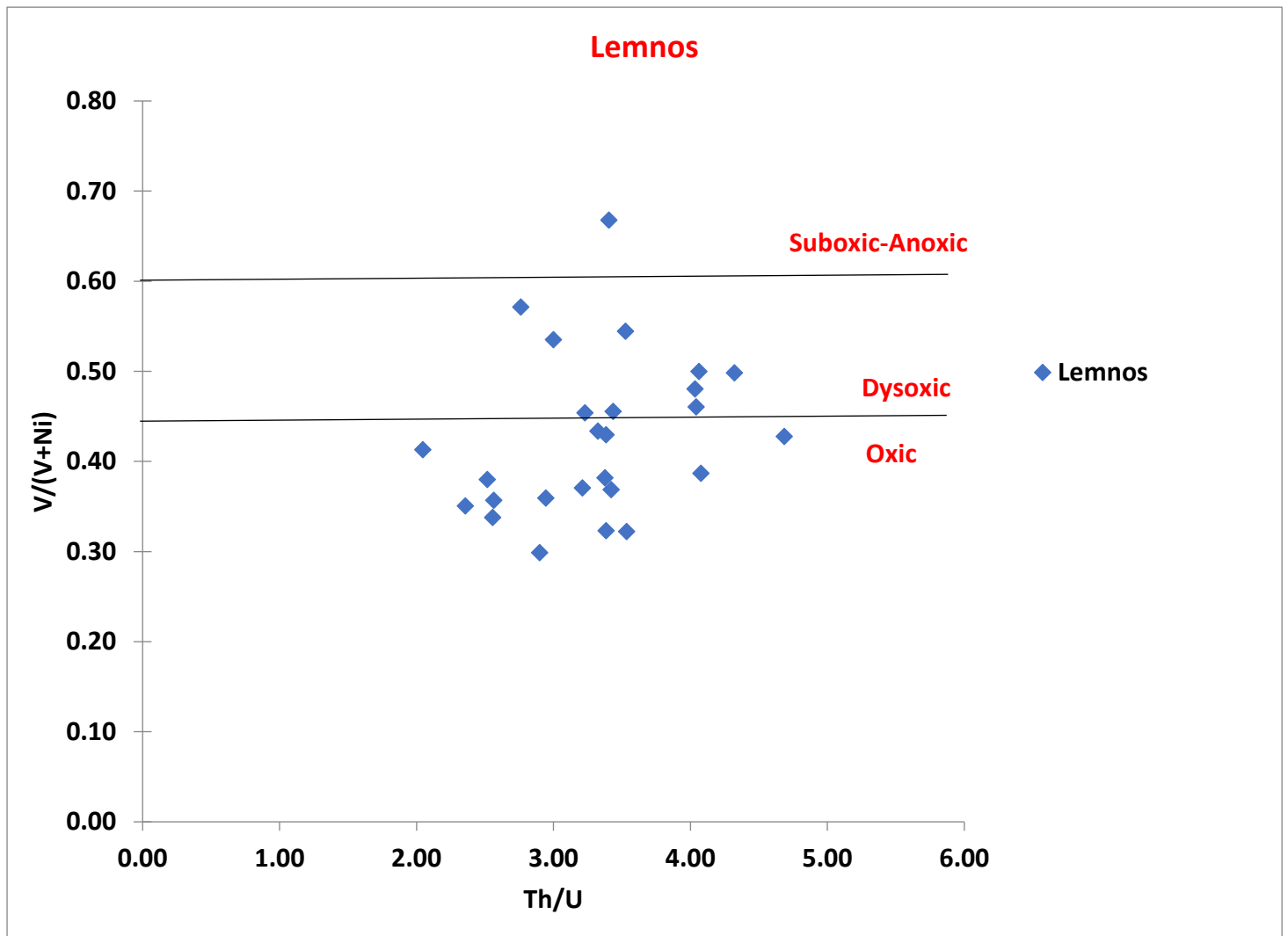
Κατά Algeo and Liu (2020), ο πιο αξιόπιστος οξειδοαναγωγικός δείκτης του θαλάσσιου συστήματος είναι ο παράγοντας εμπλουτισμού των ευαίσθητων οξειδοαναγωγικά ιχνοστοιχείων. Τέτοια στοιχεία είναι Mo, Pb, U, Zn, Ni, Cu, V και Cd, και παρουσιάζουν μεγάλες συγκεντρώσεις σε ανοξικές συνθήκες, σε αντίθεση με το Mn που είναι σε εξάντληση σε τέτοιο περιβάλλον (Pisarzowska et al., 2020). Κατά Wignall and Myers, 1988, τα συμπεράσματα για τα περιβάλλοντα και η συνθήκη εναπόθεσης μπορούν να εξαχθούν από την αναλογία των ιχνοστοιχείων όπως U/Th, Ni/Co, V/(V+Ni) και V/Cr (Jones and Manning, 1994; Pattan et al., 2005; Nagarajan et al.,; Madhavaraju and Lee, 2009). Αναλογίες V/Cr με τιμές από μεγαλύτερες από 4,5 υποδηλώνουν ανοξικό περιβάλλον, τιμές από 2 έως 4,5 υποδηλώνουν δυσοξικό και τιμές μικρότερες από 2, οξικό. Αναλογίες U/Th με τιμές μικρότερες από 0,75, από 0,75 έως 1,25 και μεγαλύτερες από 1,25 υποδηλώνουν οξικό, δυσοξικό και υποοξικό-ανοξικό περιβάλλον αντίστοιχα. Οι τιμές μεγαλύτερες από 0,6 για την αναλογία V/(V+Ni) δηλώνουν δυσοξικές – ανοξικές συνθήκες (Hatch and Leventhal, 1992; Jones and Manning, 1994). Οι τιμές μικρότερες από 5 για την αναλογία Ni/Co δηλώνουν οξικό περιβάλλον ενώ οι τιμές μεγαλύτερες του 5 δείχνουν ανοξία. Τέλος, η αναλογία Th/U έχει μεγάλη ιστορία ως οξειδοαναγωγικός δείκτης (Adams and Weaver, 1958). Το Θόριο (Th) τείνει να συγκεντρώνεται σε αργιλικά ιζήματα διότι σε οξικό περιβάλλον είναι ακίνητο (Adams and Weaver, 1958; Wignall and Myers, 1988). Διάφορες απόψεις αναφέρονται για τον καθορισμό του ανοξικού περιβάλλοντος από τις αναλογίες Th/U, συγκεκριμένα οι Wignall and Myers (1988) αναφέρουν ότι οι τιμές για την αναλογία Th/U μικρότερες από 3 υποδηλώνουν ανοξία, κατά Wignall and Twitchett (1996) ανοξικό περιβάλλον περιλαμβάνει τιμές μικρότερες από 2, ενώ οι Jones and Manning (1994) αναφέρουν ως ανοξικό τις τιμές μικρότερες από 0,8.

Οι αναλογίες U/Th των δειγμάτων της Λήμνου υποδεικνύουν οξικό περιβάλλον με μέση τιμή 0,31. Η ψηλότερη τιμή παρουσιάζεται στο δείγμα D9 με τιμή 0,49 και η μικρότερη στο δείγμα D26 με τιμή 0,21. Ο δείκτης V/(V+Ni) για την περιοχή της Λήμνου δείχνει οξικές συνθήκες με μέση τιμή 0,43. Η ψηλότερη τιμή παρουσιάζεται στο δείγμα E15 με τιμή 0,67 και η μικρότερη στο δείγμα D1 με τιμή 0,30. Η αναλογία V/Cr για τα δείγματα παρουσιάζει πολύ ισχυρό οξικό περιβάλλον με μέση τιμή 0,45. Η ψηλότερη τιμή παρουσιάζεται στο δείγμα E14 με τιμή 0,86 και η μικρότερη στο δείγμα D27 με τιμή 0,05. Ο δείκτης Ni/Co δίνει μέση τιμή > από 5, υποδηλώνοντας ανοξία. Η μέση τιμή για τον δείκτη Th/U είναι 3,31 αποκλείοντας το ανοξικό περιβάλλον από όλες τις προαναφερόμενες απόψεις. Από το διάγραμμα (Th/U vs V/(V+Ni)) η περιοχή της Λήμνου εμφανίζει οξικό - δύσοξικό περιβάλλον, τείνοντας προς οξικό (Εικ. 16). Η εισροή βασικού υλικού στην περιοχή από τα υπερβασικά πετρώματα στο εξωτερικό τμήμα του συστήματος των υποθαλάσσιων ριπιδίων, οδηγεί στον αυξημένο λόγο Ni/Co.

Πίνακας 4.: Τιμές των δεικτών σχετικά με τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες στη Λήμνο.

	Th/U ppm	Ni/Co ppm	U/Th Ppm	V/(V+Ni) ppm	V/Cr ppm
Sample ID					
D14	2,52	6,52	0,40	0,38	0,32
D21	3,38	6,92	0,30	0,32	0,23
D24	3,23	5,61	0,31	0,45	0,40
D12	4,06	10,67	0,25	0,50	0,27
D26	4,68	6,68	0,21	0,43	0,45
D6	2,94	13,67	0,34	0,36	0,33
D13	3,38	8,40	0,30	0,43	0,37
D1	2,90	10,45	0,34	0,30	0,21
D29	2,36	7,14	0,42	0,35	0,39
D27	3,42	6,50	0,29	0,37	0,05
D25	3,53	7,92	0,28	0,32	0,28
D9	2,05	5,92	0,49	0,41	0,25
D30	3,38	7,65	0,30	0,38	0,30
D31	2,56	7,38	0,39	0,34	0,11
D35	4,08	8,44	0,25	0,39	0,29

D32	3,00	6,60	0,33	0,54	0,77
D33	4,03	7,05	0,25	0,48	0,70
D34	4,32	5,92	0,23	0,50	0,83
D3	3,32	12,15	0,30	0,43	0,53
D4	3,43	5,65	0,29	0,46	0,57
E4	3,21	11,71	0,31	0,37	0,75
E10	3,53	7,31	0,28	0,54	0,52
E15	3,40	6,50	0,29	0,67	0,59
E14	2,76	5,86	0,36	0,57	0,86
H15	4,04	5,76	0,25	0,46	0,74
B1	2,56		0,39	0,36	0,56



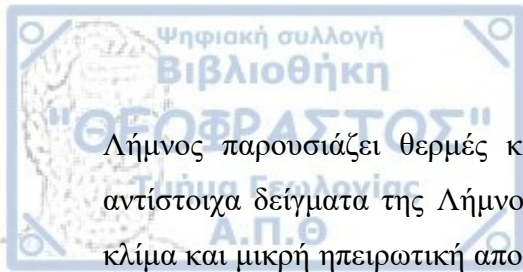
Εικ.16. Διάγραμμα Th/U vs V/(V+Ni) (Zeng et al., 1995) για τα υπό μελέτη δείγματα

Παλαιοκλιματικές Συνθήκες

Για την μελέτη των παλαιοκλιματικών συνθηκών σε λεπτόκοκκα κλαστικά πετρώματα, χρησιμοποιούνται συγκεντρώσεις ορισμένων κύριων οξειδίων και ιχνοστοιχείων (Roy and Roser, 2013; Wang et al., 2017; Cao et al., 2018). Σύμφωνα με τους Cao et al (2012), Feng et al (2014), Fu et al (2016), Hu et al (2016) κάτω από υγρές κλιματικές συνθήκες, πιθανόν να βρίσκονται συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων V, Fe, Cr, Co, Mn και Ni. Αντίθετα τα αλατούχα στοιχεία εμφανίζονται σε ξηρό κλίμα διότι η αύξηση της αλκαλικότητας του νερού επιτρέπει την συγκέντρωσή τους. Για την ερμηνεία του παλαιοκλίματος χρησιμοποιούνται οι αναλογίες C-values που είναι αντιπροσωπευτικοί δείκτες του κλίματος (Cao et al., 2012; Feng et al., 2014; Fu et al., 2016; Hu et al., 2016). Σύμφωνα με τους Cao et al. (2012), Feng et al. (2014), Fu et al. (2016), Hu et al. (2016) οι τιμές C-values αντιπροσωπεύουν ξηρό, ημίξηρο-ημίυγρο, ημίυγρο και υγρό κλίμα και διαχωρίζονται σε 5 ομάδες, 0-0.2, 0.2-0.4, 0.4-0.6, 0.6-0.8, 0.8-1 αντίστοιχα. Για τον προσδιορισμό της έντασης των καιρικών συνθηκών χρησιμοποιούνται οι αναλογίες των Al_2O_3/Na_2O (Asadi et al., 2013; Ali et al., 2014). Για την περιοχή της Λήμνου η μέση τιμή είναι 16,56 με την μεγαλύτερη τιμή να είναι 114,33 και εμφανίζεται στο δείγμα D14 και η μικρότερη τιμή είναι 3,21 στο δείγμα D31.

Το στοιχείο Cu εμπλουτίζεται σε υγρό περιβάλλον σε αντίθεση με το Sr που για να συγκεντρωθεί απαιτεί ξηρές συνθήκες, επομένως ο λόγος Sr/Cu αυξάνεται σε ξηρό παλαιοκλίμα και αυτό το καθιστά χρήσιμο δείκτη του παλαιοκλίματος (Sawyer, 1989; Lerman and Gat, 1989; Cao et al., 2015; Moradi et al., 2016). Οι αναλογίες Sr/Cu μεγαλύτερες του 5 αντιστοιχούν σε θερμό – άνυδρο κλίμα ενώ οι τιμές από 0,87 έως 5,0 αναλογούν σε θερμό και υγρό κλίμα (Cao et al., 2012; Royet et al., 2013). Οι υψηλές τιμές της αναλογίας Rb/Sr δηλώνουν υγρό κλίμα και για αυτό είναι βοηθητικές στην μελέτη της κλιματικής αλλαγής (Shen et al., 2001; Xu et al., 2015). Οι Newsbitt and Young (1982) χρησιμοποιούν τον δείκτη CIA για την αναπαράσταση των καιρικών συνθηκών και του παλαιοκλίματος. Ισχυρή βροχόπτωση και υγρές κλιματικές συνθήκες υποδηλώνουν υψηλές τιμές CIA (McLennan et al., 1993; Minyuk et al., 2007; Mc Henry, 2009).

Η μέση τιμή του λόγου Sr/Cu της περιοχής μελέτης είναι 21,09 με την μεγαλύτερη τιμή να εμφανίζεται στο δείγμα B1 (245,75) και η μικρότερη τιμή στο δείγμα E4 (0,93). Επομένως η



Λήμνος παρουσιάζει θερμές και άνυδρες κλιματικές συνθήκες. Ο δείκτης CIA για τα αντίστοιχα δείγματα της Λήμνου δίνει μια μέση τιμή 49,63 που είναι ενδεικτική για ξηρό κλίμα και μικρή ηπειρωτική απορροή. Οι τιμές του CIW για την περιοχή μελέτης εμφανίζουν μέση τιμή 55,37 που είναι παραπλήσιες με την μέση τιμή του CIA υποδεικνύοντας χαμηλή ένταση καιρικών συνθηκών.



CIA (Chemical degree of alternation) (Nesbitt and Young, 1982)

$$CIA = \frac{Al_2O_3}{CaO + Al_2O_3 + Na_2O + K_2O} \times 100$$

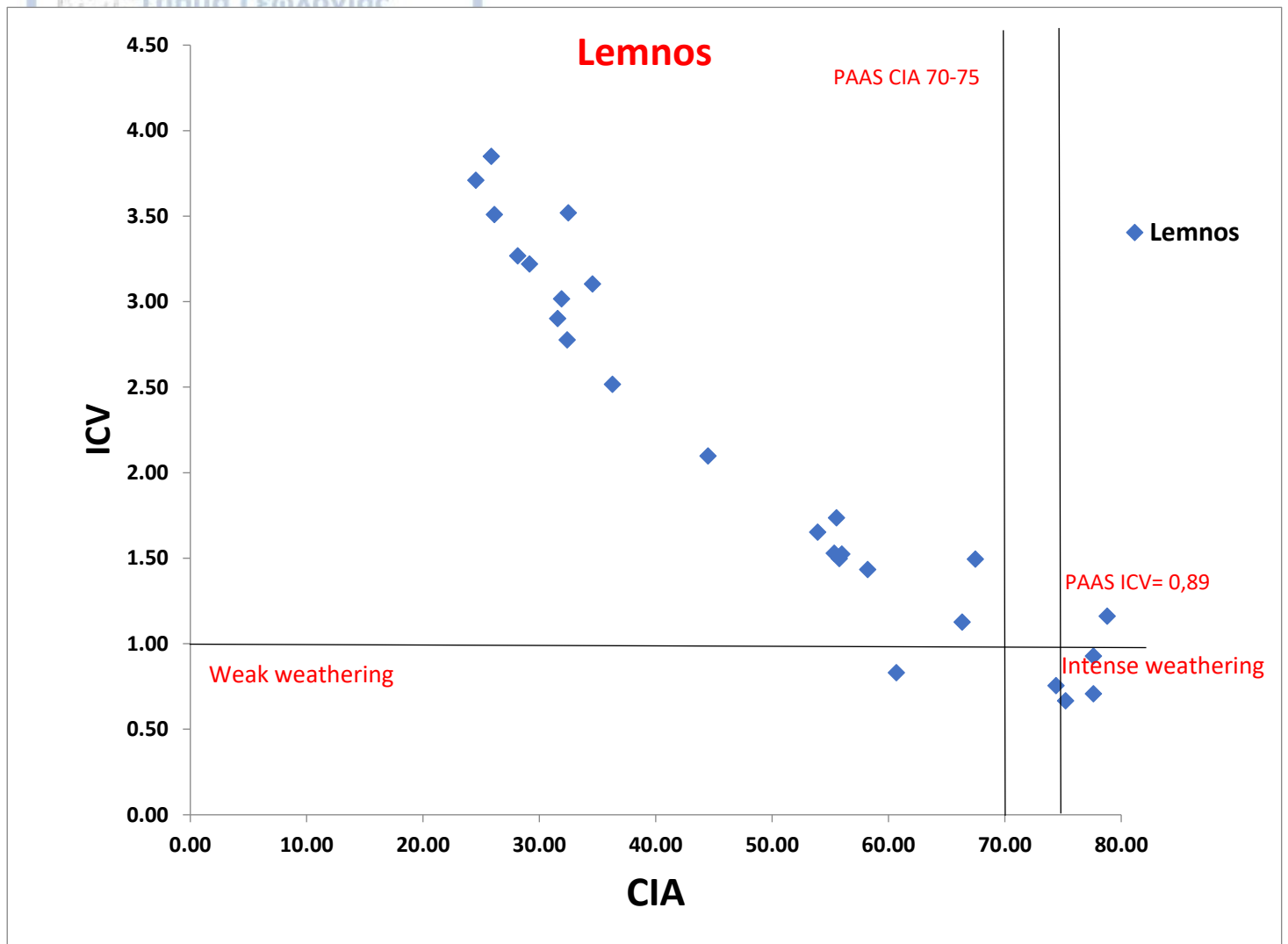
CIW (Chemical index of weathering)

$$CIW = \frac{Al_2O_3}{CaO + Al_2O_3 + Na_2O} \times 100$$

Για τις ενδείξεις των καιρικών συνθηκών ή για τον χαρακτηρισμό των μητρικών υλικών των ιζηματογενών πετρωμάτων χρησιμοποιούνται οι τιμές του ICV (Index of Compositional Variability). Σύμφωνα με του Cox et al. (1995) και Fedo et al. (1995) οι τιμές των ICV μικρότερες του 1 (ICV<1) πιθανό να σχετίζεται περισσότερο για τους καθορισμούς των καιρικών συνθηκών.

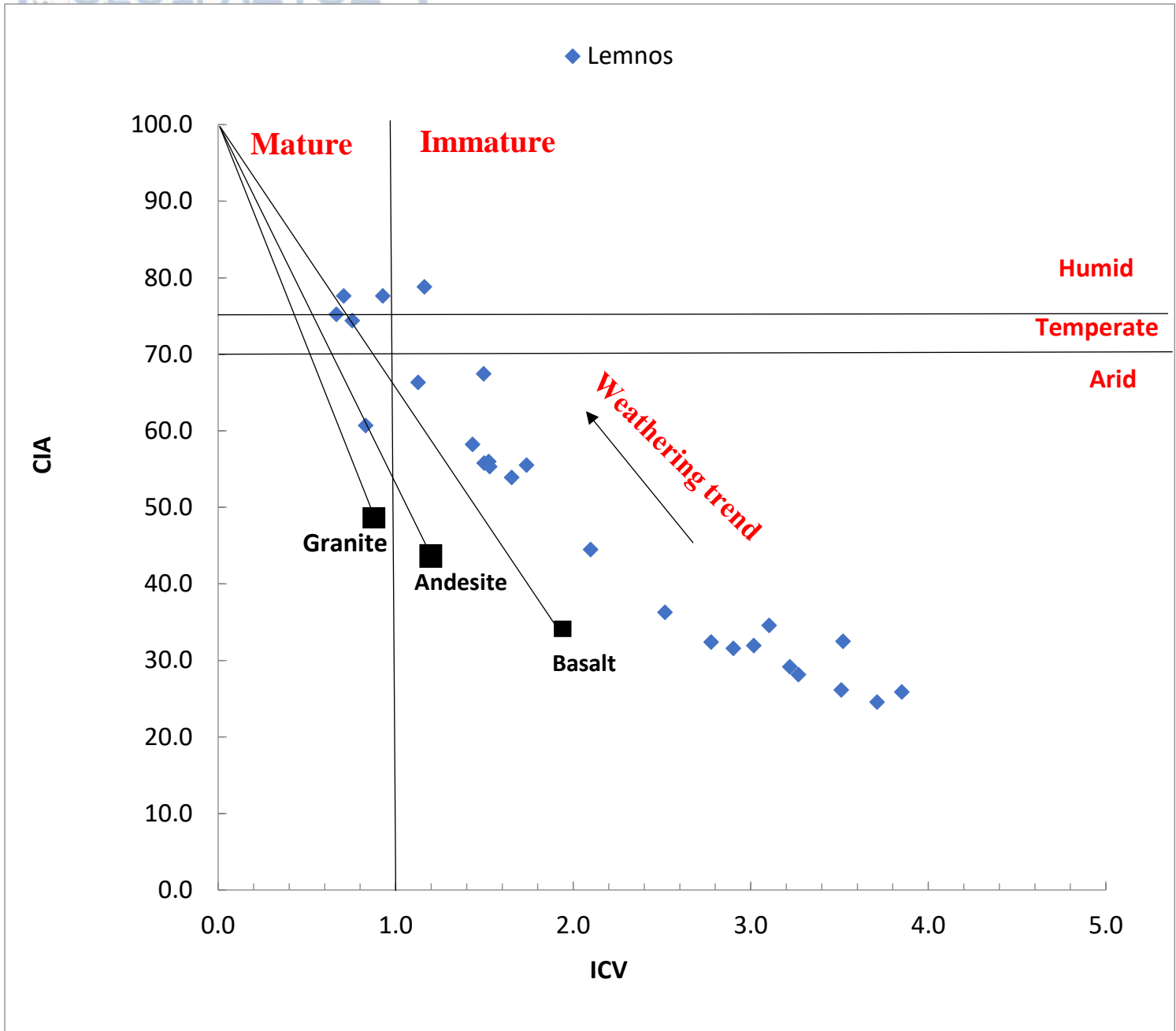
$$ICV = \frac{Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + MgO + MnO + TiO_2}{Al_2O_3} (Wt\%)$$

Τα αποτελέσματα της μέσης τιμής του ICV της περιοχής μελέτης είναι 2,10 με την μέγιστη τιμή να εμφανίζεται στο δείγμα D31(3.85) και την χαμηλότερη τιμή στο δείγμα E15(0,67). Στο διάγραμμα Taylor and McLennan (1985) με την χρήση των δεικτών CIA και ICV εντοπίζεται η ένταση των καιρικών συνθηκών. Μελετώντας το διάγραμμα CIA vs ICV (Εικ.17), παρατηρούμαι ότι οι περισσότερες τιμές των CIA εμφανίζουν τιμή μικρότερη από 75 (CIA<75) οι οποίες δείχνουν ήπιες καιρικές συνθήκες. Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα D13, E4, E10, E15 και E14 που εμφανίζουν τιμή CIA>75 και υποδεικνύουν έντονο κλίμα. Οι τιμές των δειγμάτων ICV του παραπάνω διαγράμματος εμφανίζονται ως επί των πλείστον στο πεδίο Immature (ICV>1) που αντιστοιχούν σε ανώριμο περιβάλλον, με εξαίρεση των δειγμάτων D13, E4, E10, E15 και B1 που δείχνουν mature-ώριμο περιβάλλον (ICV<1). Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η περιοχή εμφανίζει ήπιες καιρικές συνθήκες που κατά τόπους εμφανίζονται πιο έντονες.



Εικ. 17. Διάγραμμα CIA vs ICV (Taylor and McLennan, 1985).

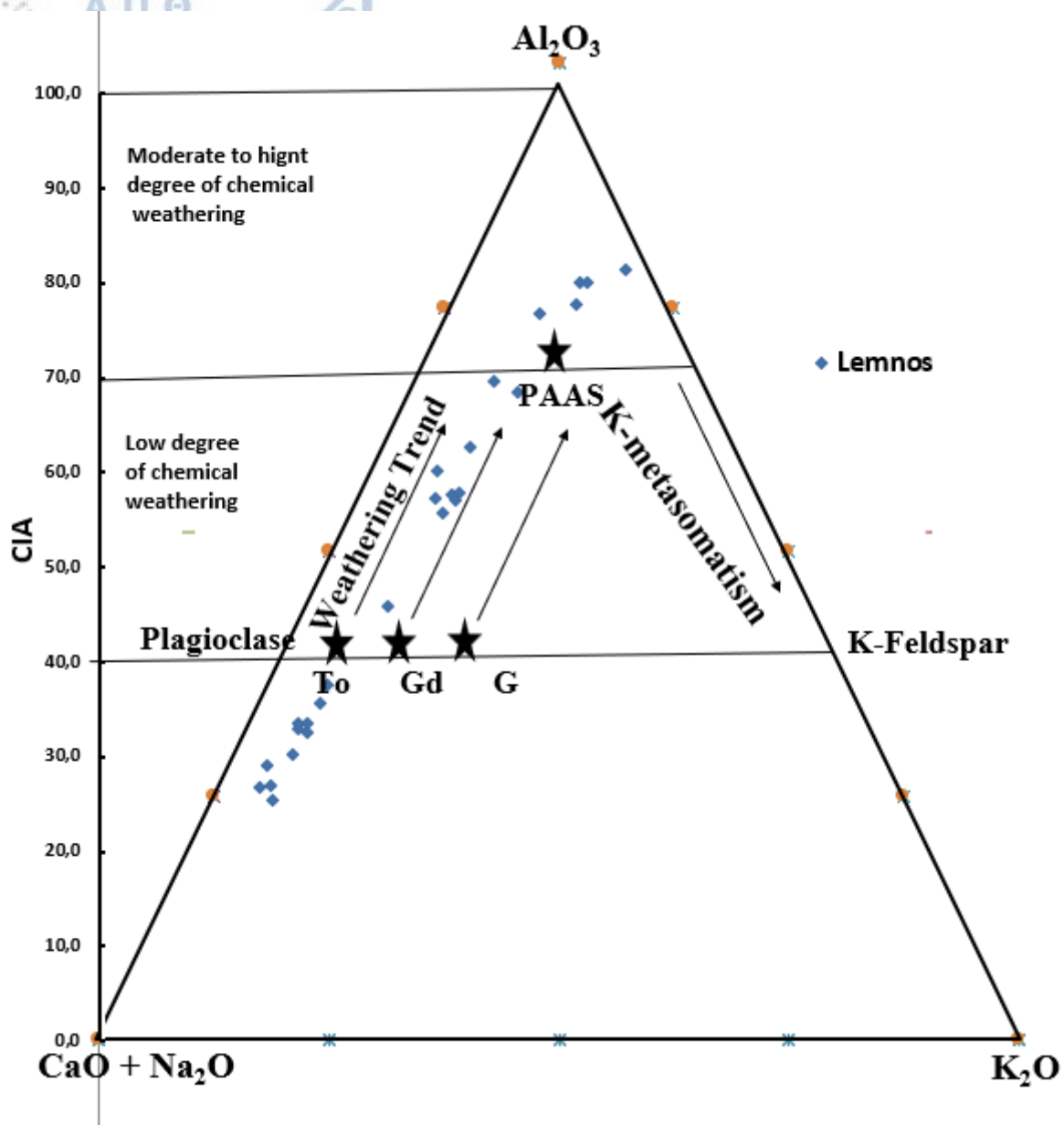
Ένα ακόμη διάγραμμα που χρησιμοποιείται συχνά για την μελέτη του κλίματος είναι το διάγραμμα ICV vs CIA (Εικ.18). Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις από το διάγραμμα, το κλίμα είναι κυρίως ξηρό, με τις περισσότερες τιμές των CIA να είναι μεγαλύτερες από 70 και ανώριμο δείγμα με τιμές των ICV να είναι μεγαλύτερες από 1 στα περισσότερα από τα δείγματα μελέτης. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με τις παρατηρήσεις των προηγούμενων διαγραμμάτων και καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η Λήμος έχει κυρίως ξηρό κλίμα.



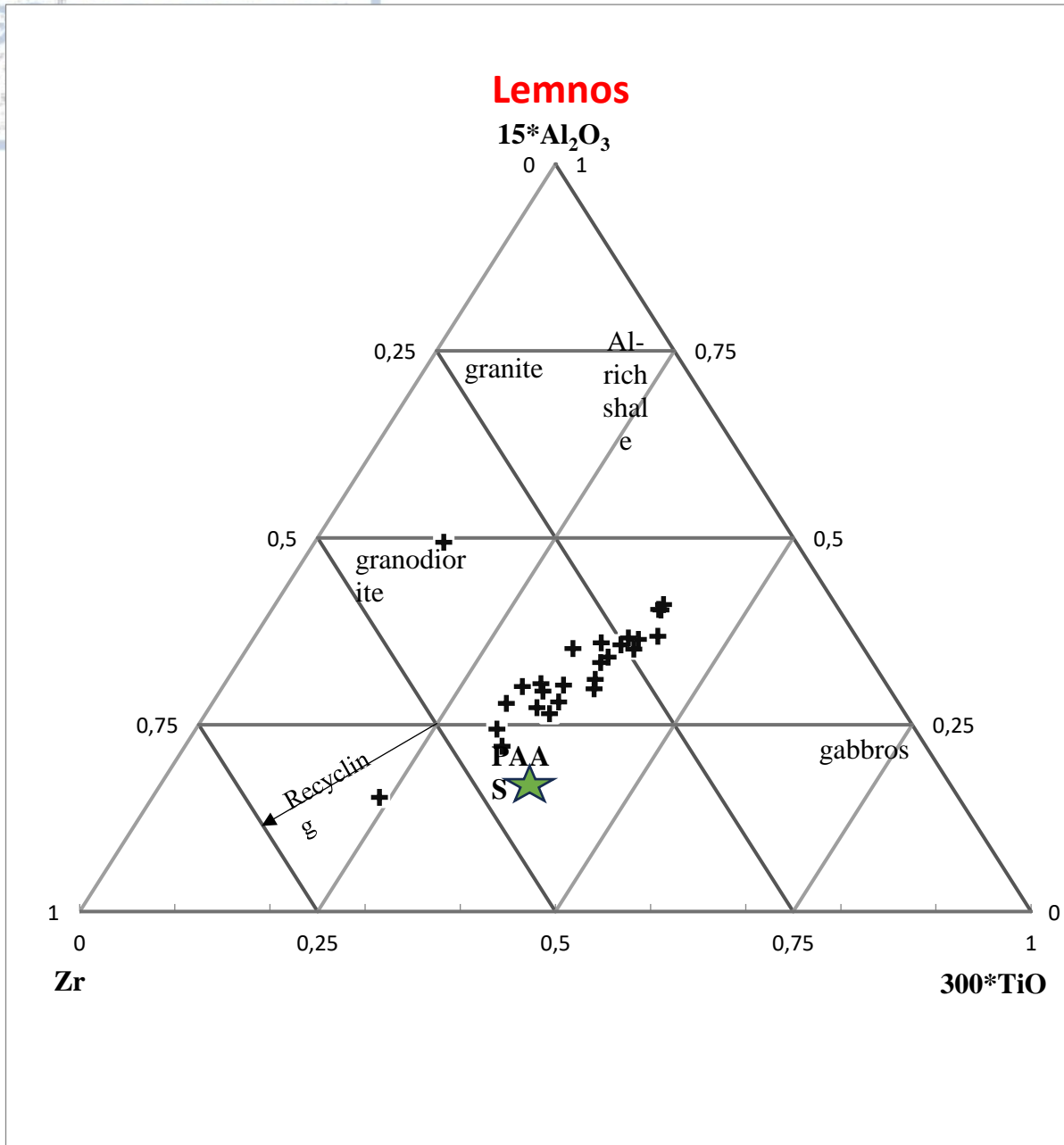
Εικ. 18. Διάγραμμα ICV vs CIA.

Σύμφωνα με τους Nesbitt and Young (1984), αναλύοντας τα οξείδια Al_2O_3 , Na_2O και K_2O δημιουργούμε ακόμη ένα διάγραμμα A-CN-K (Εικ.19) που εκτιμά την ένταση των καιρικών συνθηκών. Στην περιοχή της Λήμνου τα δείγματα εμφανίζουν ήπιες-μεσαίες καιρικές συνθήκες εκτός από ένα μικρό αριθμό δειγμάτων που εμφανίζουν πιο έντονες συνθήκες. Σύμφωνα με τον δείκτη CIA στην περιοχή επικρατεί χαμηλός βαθμός χημικής αποσάθρωσης με την πλειοψηφία των δειγμάτων να εμφανίζουν τιμές CIA < 70. Εξάιρεση

αποτελούν τα δείγματα D13, E4, E10, E15 και E14 που εμφανίζουν τιμή CIA>70 και υποδεικνύουν υψηλού βαθμού χημική αποσάθρωση.



Εικ. 19 Τριγωνικό διάγραμμα A-CN-K (Al_2O_3 , Na_2O , K_2O) (Nesbitt and Young, 1984). To-Tonalite, Gd-Granodiorite και G-Granite (Doner et al., 2019). Ka-Kaolinite, Chl-Chlorite, Gi-Gibbsite (Condie, 1993).



Εικ.20 Διάγραμμα 15Al - Zr - 300 Ti (Garcia et al., 1991).

Πίνακας 5: Τιμές δειγμάτων για τους δείκτες των παλαιοκλιματικών συνθηκών της περιοχής μελέτης.

Sample ID	CIA	CIW	ICV	Al ₂ O ₃ /Na ₂ O	Sr/Cu	Rb/Sr	C-Value
D14	58,20	63,05	1,43	114,33	4,16	0,29	1,53
D21	31,57	33,87	2,90	6,07	28,33	0,08	0,70
D24	31,91	33,83	3,02	6,13	9,27	0,25	0,91
D12	34,56	37,09	3,10	3,58	58,15	0,04	0,36
D26	55,77	62,33	1,50	3,99	9,25		0,81
D6	28,13	29,37	3,27	4,86	13,28	0,17	0,75
D13	74,39	83,25	0,76	99,00	1,93	1,11	1,53
D1	29,16	31,21	3,22	4,86	15,88	0,20	0,87
D29	44,49	48,96	2,10	4,76	8,19		0,99
D27	26,13	27,67	3,51	4,35	28,92	0,05	1,45
D25	32,38	34,27	2,78	5,55	4,14		1,58
D9	24,54	26,26	3,71	4,59	18,00	0,14	0,73
D30	67,45	74,26	1,49	6,70	3,47		1,82
D31	25,86	27,11	3,85	3,21	14,27	0,19	1,62
D35	32,48	34,73	3,52	4,88	25,08		0,56
D32	66,32	75,69	1,13	15,70	5,14	0,47	0,81
D33	55,99	63,02	1,52	16,68	5,29		0,94
D34	53,90	60,21	1,65	11,47	4,63		0,97
D3	55,33	62,18	1,53	9,24	5,29	0,45	1,03
D4	55,52	60,90	1,74	6,38	6,13		1,02
E4	77,62	89,80	0,93	15,10	0,93	1,40	1,41
E10	77,61	90,45	0,71	20,30	6,60	0,29	0,72
E15	75,21	87,81	0,67	11,45	5,82	0,34	0,72
E14	78,80	96,04	1,16	34,07	3,70	0,74	1,18
H15	36,27	38,89	2,52	9,91	16,80	0,20	0,53
B1	60,68	67,36	0,83	3,36	245,75		

Αλατότητα

Κατά την εναπόθεση των ιζημάτων, με την βοήθεια των ιχνοστοιχείων μπορούμε να αξιολογήσουμε τον βαθμό της αλατότητας (Campell and Williams, 1965; Zhen et al., 2020; Li et al., 2020). Σύμφωνα με του Chivas et al. (1986), Custodio (2002) για την μελέτη της αλατότητας του νερού συχνά χρησιμοποιείται η αναλογία Sr/Ba που είναι χρήσιμος για την έρευνα της παλαιοαλατότητας. Προϋπόθεση για την παραπάνω μέθοδο είναι η περιεκτικότητα των ανθρακικών αλάτων σε αυτά να είναι χαμηλή η μηδενική (Wei and Algeo, 2020).

Αναλογία Sr/Ba μικρότερη από 0.6, από 0.6 έως 1 και μεγαλύτερη από 1, δηλώνουν συνθήκες γλυκού νερού, υφάλμυρου, αλμυρού περιβάλλοντος. Για την περιοχή μελέτης τα αποτελέσματα των δειγμάτων έδειξαν υφάλμυρο περιβάλλον με μέση τιμή 0,96.

Συμπέρασμα

Κατά την διάρκεια της μελέτης των παλαιοπεριβαλλοντικών, παλαιοκλιματικών, οξειδοαναγωγικών συνθηκών και της παλαιοαλατότητας κατά το Ανώτερο Ηώκαινο-Κατώτερο Ολιγόκαινο των αποθέσεων υποθαλάσσιων ριπιδίων της λεκάνης της Θράκης, πάρθηκαν από την Νήσο Λήμνος 26 αντιπροσωπευτικά δείγματα. Τα αποτελέσματα της γεωχημικής έρευνας σχετικά με της οξειδοαναγωγικές συνθήκες έδειξαν ότι κατά την διάρκεια της ιζηματογένεσης στην περιοχή μελέτης επικρατεί οξικό περιβάλλον. Σχετικά με τις παλαιοκλιματικές συνθήκες της Λήμνου, η περιοχή εμφανίζει ξηρό και θερμό κλίμα με ήπιες καιρικές συνθήκες και μικρή ηπειρωτική απορροή. Τα παραπάνω αποτελέσματα εμφανίζονται από διάφορους δείκτες οι οποίοι επαληθεύουν ο ένας τον άλλο. Τέλος από τους δείκτες της παλαιοαλατότητας, η περιοχή κατά την περίοδο της ιζηματογένεσης παρουσιάζει υφάλμυρο χαρακτήρα.

Κεφάλαιο 6 Βιβλιογραφία

- Adams, J.A.S., Weaver, C.E., 1958. Thorium to uranium ratios as indicators of sedimentary processes e examples of the concept of geochemical facies. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 42, 387e430.
- Allen, J.R.L. (1971). Mixing at turbidity current heads and its geological implications. *J. Sed. Petrol.*, 41, σελ. 97-113.
- Algeo, T.J.; Liu, J. A re-assessment of elemental proxies for paleoredox analysis. *Chem. Geol.* 2020, 540, 119549.
- Armijo, R., Meyer, B., Hubert, A., and Barka, A. (1999). Westward propagation of the North Anatolian Fault into the northern Aegean: timing and kinematics, *Geology*, 27, σελ. 267-270
- Bhatia MR (1983) Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J Geol* 91(6):611–627.
- Bhatia MR, Crook KAW (1986) Trace elements characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib Mineral Petrol* 92:181– 193.
- Bonev, N., Burg, J.P. and Ivanov, Z., 2006. Mesozoic-tertiary structural evolution of an extensional gneiss dome—the Kesebir–Kardamos dome, eastern Rhodope (Bulgaria–Greece). *Int. J. Earth Sci.* 95, 318–340.
- Bouma, A.H. (1962). *Sedimentology of Some Flysch Deposits: A Graphic Approach to Facies Interpretation*: Amsterdam, Elsevier, σελ. 168.
- Cao, J.; Yang, R.; Yin,W.; Hu, G.; Bian, L.; Fu, X. Mechanism of Organic Matter Accumulation in Residual Bay Environments: The Early Cretaceous Qiangtang Basin, Tibet. *Energy Fuels* 2018, 32, 1024–1037.
- Cao, J.;Wu, M.; Chen, Y.; Hu, K.; Bian, L.;Wang, L.; Zhang, Y. Trace and rare earth element geochemistry of Jurassic mudstones in the northern Qaidam Basin, northwest China. *Geochemistry* 2012, 72, 245–252.
- Fyticas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Peccerillo, A. and Villari, L., 1984. Tertiary to Quaternary evolution of the volcanism in the Aegean Region. In: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds.). *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Geological Society of London Special Publications, pp. 687–699.
- Hatch, J.R., Leventhal, J.S., 1992. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark

shale member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, USA. *Chem. Geol.* 99, 65–82.

- Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Pertusati, P., Fytikas, M. and Kolios, N., 1994. The geology and geodynamic significance of the island of Limnos, North Aegean Sea, Greece. *Neues Jahrb Geol Paläontol* 11:661–691.
- Johnson, D. (1938). The origin of submarine canyons. *J. Geomorphology*, 1, σελ. 230- 243.
- Jones, B., Manning, D.C., 1994. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleo-redox conditions in ancient mud stones. *Chem. Geol.* 111, 111– 129.
- Kuenen, P.H. (1950). Turbidity currents of high density. 18th Intl. Geol. Congr., London, 1948; Rept., 8, σελ. 44-52.
- Kuenen, P.H. and Migliorini, C.I. (1950). Turbidity currents as a cause of graded bedding. *J. Geol.*, 58, σελ. 91-127.
- Lowe D.R. (1982). Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *J. Sed. Petrology* 52, σελ. 279-297.
- Madhavaraju, J., Lee, Y.I., 2009. Geochemistry of the dalmiapuram formation of the uttatur group (Early Cretaceous), Cauvery basin, southeastern India: implications on provenance and paleoredox conditions. *Rev. Mex. Cienc. Geol.* 26, 380–394.
- Maravelis, A.G., Boutelier, D., Catuneanu, O., Seymour, K. St. and Zelilidis, A., 2016b. A review of tectonics and sedimentation in a forearc setting: Hellenic Thrace Basin, North Aegean Sea and Northern Greece. *Tectonophysics*, 674, 1–19.
- Maravelis, A.G., Pantopoulos, G., Tserolas, P. and Zelilidis, A., 2015. Accretionary prism-forearc interactions as reflected in the sedimentary fill of southern Thrace Basin (Lemnos Island, NE Greece). *Int. J. Earth Sci.* 104, 1039–1060.
- Maravelis, A. and Zelilidis, A., 2010. Petrography and geochemistry of the Late Eocene–Early Oligocene submarine fans and shelf deposits on Lemnos Island, NE Greece: implications for provenance and tectonic setting. *Geol. J.* 45, 412–433.
- Maravelis, A. and Zelilidis, A., 2013. ‘Unraveling the provenance of Eocene– Oligocene sandstones of the Thrace Basin, North-east Greece’: discussion. *Sedimentology* 60, 860–864.
- Maravelis, A.G., konstantopoulos, P., Pantopoulos, G. and Zelilidis, A., 2007. North Aegean sedimentary basin evolution during the Late Eocene to Early Oligocene based on sedimentological studies on Lemnos Island (NE Greece). *Geologica Carpathica* 58, 5, 1-10.

- Maravelis, A. and Zelilidis, A., 2011. Geometry and sequence stratigraphy of the Late Eocene–Early Oligocene shelf and basin floor to slope turbidite systems, Lemnos Island, NE Greece. *Stratigr. Geol. Correl.* 19, 205–220.
- Maravelis, A. and Zelilidis, A., 2012. Paleoclimatology and Paleocology across the Eocene/Oligocene boundary, Thrace Basin, Northeast Aegean Sea, Greece. *Pal. Pal. Pal.* 365-366, 81–98.
- McLennan SM, Hemming S, McDaniel DK, Hanson GN (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Johnsson MJ, Basu A (eds) *Processes controlling the composition of clastic sediments*. Geological Society of America Special Paper 284, pp 21–40.
- McLennan, S.M., 2001. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. *G-cubed 2*. Paper number 2000GC000109.
- Middleton, G.V. and Bouma, A.H. (Editors) (1973). *Turbidites and deep-Water Sedimentation*. Pacific Section Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Los Angeles, Calif., Σελ. 157.
- Middleton, G.V. and Hampton, M.A. (1976). Subaqueous sediment transport and deposition by gravity flows. In: Stanley DJ, Swift DJP (eds) *Marine sediment transport and environmental management*. Wiley, New York, σελ. 197-218.
- Mutti, E. and Ricci Lucci, F. (1972). Le torbiditi dell'Appennine settentrionale: introduzione all'analisi di facies : *Memorie Societa Geologica Italiana*, 11, σελ. 161-199.
- Nagarajan,R.,Madhavaraju,J.,Nagendra,R.,Armstrong-Altrin,J.S.,Moutte,J.,2007. Geochemistry of Neoproterozoic shales of Rabanpalli Formation, Bhimabasin, northern Karnataka, southern India: implications for provenance and paleoredox conditions.*Rev.Mex.Cien.Geol.*24,150–160.
- Nardin T.R., Hein F.J., Gorsline D.S. & Edwards B.D. (1979). A review of mass movements processes, sediments and acoustic characteristics and, contrasts in slope end. In: Doyle L.J. & Pilkey O.H. (Eds.): *Geology of continental slopes, society of economic. Paleont. Mineralogists, Spec. Publ.* 27, σελ. 39-78.
- Nesbitt, H.; Young, G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 1982, 299, 715–717.
- Nardin T.R., Hein F.J., Gorsline D.S. & Edwards B.D. (1979). A review of mass movements processes, sediments and acoustic characteristics and, contrasts in slope end. In: Doyle L.J. &

Pilkey O.H. (Eds.): Geology of continental slopes, society of economic. Paleont. Mineralogists, Spec. Publ. 27, σελ. 39-78.

- Pattan, J.N., Pearce, N.J.G., Mislankar, P.G., 2005. Constraints in using Cerium- anomaly of bulk sediments as an indicator of paleobottom water redox environment: a case study from the Central Indian Ocean Basin. Chem. Geol. 221, 260–278.
- Piszczowska, A.; Rakociński, M.; Marynowski, L.; Szczerba, M.; Thoby, M.; Paszkowski, M.; Perri, M.C.; Spalletta, C.; Schönlaub, H.P.; Kowalik, N.; et al. Large environmental disturbances caused by magmatic activity during the Late Devonian Hangenberg Crisis. Glob. Planet. Chang. 2020, 190, 103155.
- Postma G. (1986). Classification for sediments gravity flow deposits based on flow condition during deposition. Geology, 14, σελ. 291-294.
- Roy, D.K.; Roser, B.P. Climatic control on the composition of Carboniferous-Permian Gondwana sediments, Khalaspir basin, Bangladesh. Gondwana Res. 2013, 23, 1163– 1171.
- Tranos, M.D., Eleftheriadis, G.E. and Kiliass, A.A., 2009. Philippi granitoid as a proxy for the Oligocene and Miocene crustal deformation in the Rhodope Massif (Eastern Macedonia, Greece). Geotectonic Res. 96, 69–85.
- Van Andel, T.H. and Komar, P.D. (1969). Pondered sediments of the Mid-Atlantic Ridge between 22° and 23° North Latitude. Geol. Soc. Am. Bull, 80, σελ. 1163-1190.
- Walker, R.G. (1965). The origin and significance of the internal sedimentary structures of turbidities: Proceedings of the Yorkshire Geological Society, 33, σελ. 1-29.
- Wang, Z.; Fu, X.; Feng, X.; Song, C.; Wang, D.; Chen, W.; Zeng, S. Geochemical features of the black shales from the Wuyu Basin, southern Tibet: Implications for palaeoenvironment and palaeoclimate. Geol. J. 2017, 52, 282–297.
- Wei, W., Algeo, T.J., 2020. Elemental proxies for paleosalinity analysis of ancient shales and mudrocks. Geochim. Cosmochim. Acta 287, 341–366.
- Wignall, P.B., Myers, K.J., 1988. Interpreting the benthic oxygen levels in mud rocks, a new approach. Geology 16, 452–455.
- Wignall, P.B., Twitchett, R.J., 1996. Oceanic anoxia and the end Permian mass extinction. Science 272, 1155e1158.

