



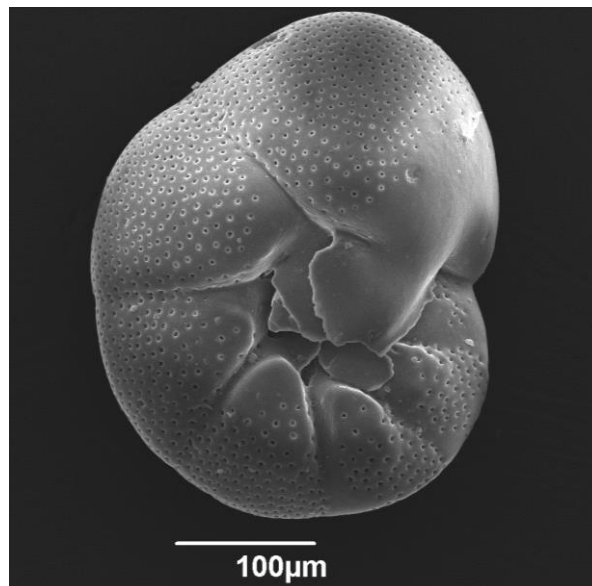
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΘΕΟΧΑΡΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

**ΑΝΙΧΝΕΥΟΝΤΑΣ ΤΟ ΟΡΙΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟΥ-ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟΥ ΣΤΗ
ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΣΤΡΥΜΩΝΑ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ
ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020



ΘΕΟΧΑΡΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5244

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωλογίας,
Εργαστήριο Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας

Επιβλέπουσα: Δρ. Κουκουσιούρα Όλγα, Ε.ΔΙ.Π.



© Θεοχαρίδης Νικόλαος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ANIXNEYONTAS TO OPIO MEIOKAINOY-PLIOCENΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ
STRYMONA ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ BENΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ

© Theocharidis Nikolaos, School of Geology, Dept. of Geology, 2020

All rights reserved.

TRACING THE MIOCENE-PLIOCENE BOYNDARY IN STRYMON BASIN
BASED ON BENTHIC FORAMINIFERA

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: *Valvulineria bradyana*, κοιλιακή όψη (από Κουκουσιούρα, 2012).



Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία ξεκίνησε εξαιτίας του ενδιαφέροντος που προκλήθηκε μετά την παρακολούθηση του μαθήματος της Μικροπαλαιοντολογίας, που διεξάγεται στο Τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η έρευνα και η εργαστηριακή επεξεργασία διεκπεραιώθηκαν στο Εργαστήριο Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. και συγκεκριμένα με τη μελέτη υλικού από την περιοχή Μυρρίνη, κοντά στον ποταμό Στρυμόνα, στο Νομό Καβάλας. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με τη συλλογή δειγμάτων από μία φυσική τομή κοντά στο χωριό Μυρρίνη. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας, είναι η κατανόηση του παλαιοπεριβάλλοντος, η διερεύνηση του ορίου Μεικοκαίνου-Πλειοκαίνου και η λειτουργία της Παρατηθύος θάλασσας στην περιοχή. Οι παραπάνω στόχοι της διπλωματικής εργασίας επιτυγχάνονται μέσω της μελέτης των βενθονικών τρηματοφόρων και της ποσοτικοποίησης των αποτελεσμάτων με τη βοήθεια στατιστικής επεξεργασίας. Ευχαριστώ τους μεταπτυχιακούς φοιτητές για την πολύτιμη βοήθεια τους για την δειγματοληψία στην περιοχή της Μυρρίνης Γ.Β. Δήμου, Σ. Γεωργίου, Ζ. Πανταζοπούλου, Χ.Α. Πλαστήρας, Ν. Βασιλειάδης, Ν. Μαυρομάτης και τους Καθηγητές Δ. Κωστόπουλο και Γ. Συρίδη, του Τομέα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. Ευχαριστώ πολύ για την συνεχή καθοδήγηση με υπομονή και αγάπη προς το αντικείμενο της Μικροπαλαιοντολογίας, επίσης στην μελέτη των τρηματοφόρων και την συμβολή της, στην συγγραφή της παρούσας εργασίας Δρ. Όλγα Κουκουσιούρα. Τέλος, ευχαριστώ τον Τομέα Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας, του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ. για τη χρήση των εγκαταστάσεων και εξοπλισμού προκειμένου να πραγματοποιηθεί η παρούσα διπλωματική εργασία.

Περιεχόμενα

	Περίληψη	6
	Abstract	7
1	Εισαγωγή	8
2.	Αντικείμενο Μελέτης	9
2.1	Τρηματοφόρα	9
3.	Περιοχή Μελέτης	15
3.1	Γεωλογία-Στρωματογραφία της περιοχής	17
3.2	Τεκτονική της Περιοχής	20
3.3	Παρατηθύς	21
4.	Μεθοδολογία	25
4.1	Δειγματοληψία	25
4.2	Εργαστηριακή επεξεργασία	28
4.3	Εργαστηριακή επεξεργασία δειγμάτων τρηματοφόρων	29
4.4	Συστηματική ταξινόμηση τρηματοφόρων	30
4.5	Στατιστική επεξεργασία	30
5.	Αποτελέσματα	31
6.	Συζήτηση	41
7.	Συμπεράσματα	45
	Βιβλιογραφία	46

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των βενθονικών τρηματοφόρων με σκοπό τον προσδιορισμό του παλαιοπεριβάλλοντος και του ορίου Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου στην περιοχή της Μυρρίνης Σερρών. Η περιοχή της Μυρρίνης βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Στρυμόνα και επιλέχθηκε διότι πολλοί ερευνητές κατά τη διάρκεια των ετών ασχολήθηκαν με τη διεύθυνση της Παρατηθούς θάλασσας στη συγκεκριμένη περιοχή και τον προσδιορισμό του ορίου Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου αλλά σχεδόν ποτέ μέσω τη μελέτης τρηματοφόρων. Η Παρατηθός θάλασσα τμήμα του ωκεανού της Τηθύος αναπτύχθηκε κυρίως κατά το Μειόκαινο και Πλειόκαινο και διασπάστηκε στο ανώτερο Μειόκαινο σε μικρότερα επιμέρους κομμάτια αλλά είχε συνεχή επικοινωνία με την περιοχή της Βορείου Ελλάδας και την περιοχή του Στρυμόνα. Πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία φυσικής τομής από την περιοχή της Μυρρίνης για τις ανάγκες της εργασίας. Τα δείγματα καταγράφηκαν, περιγράφηκαν τα μακροσκοπικά τους χαρακτηριστικά όπως το χρώμα, η σύσταση, τα θραύσματα που περιέχονταν, επεξεργάστηκαν και πλύθηκαν προκειμένου μελετηθεί η μικροπανίδα τρηματοφόρων. Επίσης, ζυγίστηκε το αρχικό και τελικό βάρος με σκοπό να υπολογιστεί το ποσοστό της άμμου και της ιλύος/αργίλου που εμπεριείχαν τα δείγματα.

Ο αριθμός των τρηματοφόρων που συλλέχθηκαν ανήλθε στα 777 άτομα και εξετάστηκαν προσεκτικά κάτω από το μικροσκόπιο, προσδιορίστηκαν 39 γένη και 64 είδη. Στη συνέχεια έλαβε χώρα η στατιστική τους επεξεργασία για τον υπολογισμό δεικτών ποικιλότητας για το χαρακτηρισμό του παλαιοπεριβάλλοντος. Επίσης προσδιορίστηκε το παλαιοβάθος της περιοχής και οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά το Μειόκαινο-Πλειόκαινο.

Τα ιζήματα από τα οποία λήφθηκαν τα αποτελέσματα ήταν της ηλικίας του Πλειοκαίνου καθώς στα Μειοκαινικά ιζήματα δεν βρέθηκε ίχνος μικροπανίδας. Τα στρώματα αυτά πιθανά ανήκουν στα υφάλμυρα στρώματα Παρατηθούς ή σε ένα μεταβατικό στρώμα προς τα θαλάσσια ιζήματα του Πλειοκαίνου. Κατά το Πλειόκαινο η περιοχή αποτελεί μια θάλασσα βάθους περίπου 90 m πλούσια σε οργανικό υλικό και πιθανά χαμηλής οξυγόνωσης αλλά με μεγάλη αφθονία σε τρηματοφόρα. Στη συνέχεια σταδιακά μεταβάλλεται σε ρηχή θάλασσα με συνθήκες υψηλής ενέργειας, καλή οξυγόνωση και βλάστηση. Οι παραπάνω παρατηρήσεις συνέβαλλαν στην κατανόηση του παλαιοπεριβάλλοντος της Μυρρίνης και των γεωλογικών χαρακτηριστικών της περιοχής, μέσω της μελέτης των τρηματοφόρων.

Abstract

The aim of the present dissertation is the study of benthic foraminifera, in order to determine the palaeoenvironment and the Miocene-Pliocene boundary at Myrrini region. The area of Myrrini is located at the surrounding district of the Strymon basin and has been chosen because many scientists throughout the years, have dealt with the presence of the Paratethys sea in this region and the determination of the Miocene-Pliocene boundary, that has almost never been studied before from the foraminiferal perspective. The Paratethys sea was part of the Tethys ocean which developed mainly at Miocene and Pliocene and divided into smaller pieces, but it was always connected with Northern Greece area and the Strymon basin.

Sampling was carried out from a natural section in the area of Myrrini. The samples were recorded, their macroscopic features such as color, composition and fragments were described, and then they were elaborated and washed in order to study the microfauna. The initial and final weight were also weighed, in order to calculate the sand and silt/clay contained proportion.

The collected number of foraminifera has reached 777 individuals, where 64 species belonging to 39 genera were identified. Then statistical analysis took place and diversity indices were calculated in order to identify the paleoenvironment. The paleodepth and the environmental conditions that prevailed in the area during the Miocene-Pliocene, were also determined.

Since no foraminiferal fauna has been found in the Miocene sediments, all the elaborated results came from the Pliocene samples. These layers probably represent the brackish layers of Paratethys or a transitional layer to the marine Pliocene sediments. During the Pliocene, the area was a sea of about 90 m deep, rich in organic matter and possibly low oxygenation but with a large abundance of foraminifera. The area then gradually changed into a shallow sea with high energy conditions, good oxygenation and vegetation. The above observations contributed to the understanding of the paleoenvironment of Myrrini and the geological characteristics of the area, through the study of foraminifera.

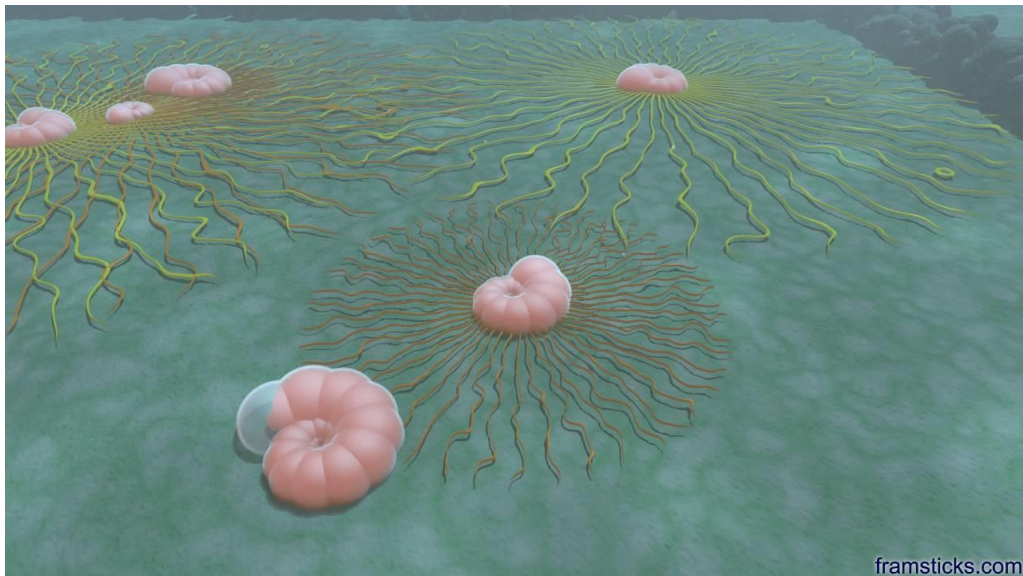
1. Εισαγωγή

Η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ένας λόφος υψομέτρου 45 m στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Στρυμόνα και πιο συγκεκριμένα 1km ΒΔ από το χωριό Μυρρίνη. Η επιλογή της θέσης αυτής έγινε με γνώμονα πολλές έρευνες επιστημόνων που έχουν πραγματοποιηθεί και πιστοποιούν την διεύδυση της Παρατηθύος θάλασσας στην λεκάνη του Στρυμόνα κατά την γεωλογική περίοδο του Μειοκαίνου.

Η ανάληψη της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας έγινε με στόχο την εισαγωγή στο πεδίο της Μικροπαλαιοντολογίας και την προσπάθεια προσδιορισμού του παλαιοπεριβάλλοντος αλλά και του ορίου Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου με βάση τη συλλογή, μελέτη και επεξεργασία των βενθονικών τρηματοφόρων, καθώς δεν υπάρχουν αντίστοιχες μελέτες στην περιοχή. Σκοπός της εργασίας είναι η κατανόηση της χρησιμότητας των τρηματοφόρων στη επίλυση σύνθετων γεωλογικών προβλημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αναγνώρισης κάτω από το μικροσκόπιο, καταγραφής τους, χρήσης στατιστικών μεθόδων και των απαραίτητων δεικτών ποικιλότητας για την ερμηνεία του παλαιοπεριβάλλοντος. Τα συμπεράσματα λήφθηκαν μετά από τη συλλογή δειγμάτων από την περιοχή της Μυρρίνης και τη συνεχή επεξεργασία τους στο εργαστήριο του Τομέα Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ.

3. Αντικείμενο Μελέτης

Η επιστημονική ονομασία των τρηματοφόρων είναι Foraminifera, και είναι κυρίως θαλάσσιοι και σε εξαιρετικές περιπτώσεις υφάλμυροι μονοκύτταροι οργανισμοί. Εμφανίστηκαν πριν από περίπου 650 εκατομμύρια χρόνια και συνεχίζουν να ζουν και να αναπτύσσονται στα θαλάσσια περιβάλλοντα της Γης. Έχουν βρεθεί 50.000 απολιθωμένα είδη και πάνω από 4.000 αρτίγονα. Είναι ετερότροφοι, μικροπαμφάγοι οργανισμοί, ενώ σημαντικός αριθμός τρηματοφόρων, μπορεί να φέρει συμβιώτες που χρησιμοποιούν τη φωτοσύνθεση για να τραφούν. Αποτελούν συνεχείς παραγωγούς θαλάσσιου ιζήματος και είναι πολύ καλοί δείκτες παλαιοπεριβάλλοντος (π.χ., Koukousioura et al., 2012; Triantaphyllou et al., 2010, 2016). Συλλέγουν την τροφή τους με ψευδοπόδια, που αναπτύσσει το πρωτόπλασμα, δηλαδή το κύριο σώμα του κυττάρου (Τριανταφύλλου και Δήμιζα, 2012) (Εικ. 1).



Εικόνα 1. Προσομοίωση της προσκόλλησης των τρηματοφόρων στον πυθμένα των ωκεανών και της συλλογής της τροφής τους (από Komosinski et al., 2016).

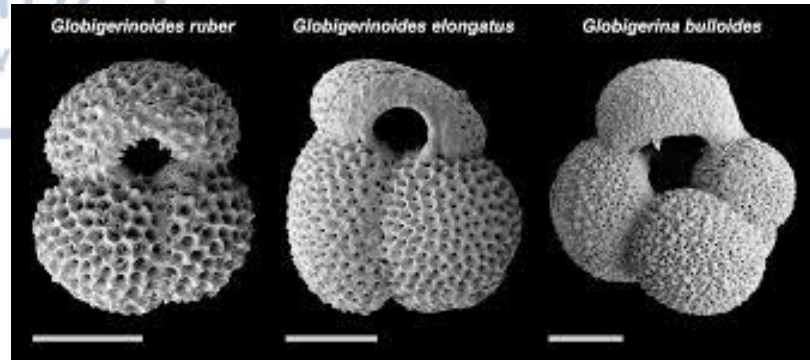
Στο αρχικό στάδιο της ζωής των τρηματοφόρων, το πρωτόπλασμα σχηματίζει το κέλυφος, που αναπτύσσεται σε έναν ή περισσότερους θαλάμους. Τα κελύφη αυτά, διατηρούνται στα ιζήματα και μετά το θάνατο του οργανισμού. Με αρχικό κριτήριο τη φύση του κελύφους, τα τρηματοφόρα διαχωρίζονται σε τάξεις και οικογένειες. Τα κριτήρια για να

πραγματοποιηθεί η συστηματική ταξινόμηση των τρηματοφόρων κατά Loeblich and Tappan (1987), είναι τα εξής (Τριανταφύλλου και Δήμιζα, 2012):

- Σύσταση τοιχώματος (χιτινώδες, ασβεστιτικό, αραγωνιτικό, πυριτικό, συμφυρματοπαγές)
- Δομή κελύφους (πορσελανώδες ή αδιάτρητο, υαλώδες ή διάτρητο)
- Αριθμός και συναρμογή θαλάμων (μονοθάλαμα, πολυθάλαμα) και συναρμογή αυτών (μονόσειρα, δίσειρα, περιελιγμένα, τροχοσπειροειδή ή επιπεδοσπειροειδή)
- Σχήμα κελύφους (σφαιρικό, κυλινδρικό, ελικοειδές, φακοειδές)
- Δομή τοιχώματος (ελασματοειδές ή όχι)
- Παρουσία ή όχι πόρων
- Στοματικά ανοίγματα (αριθμός, σχήμα, θέση)
- Κέλυφος ελεύθερο ή προσκολλημένο
- Εσωτερική δομή κελύφους
- Διαστάσεις κελύφους
- Σχήμα και διαστάσεις θαλάμων
- Χαρακτηριστικά γραμμών ραφής
- Ποικίλσεις

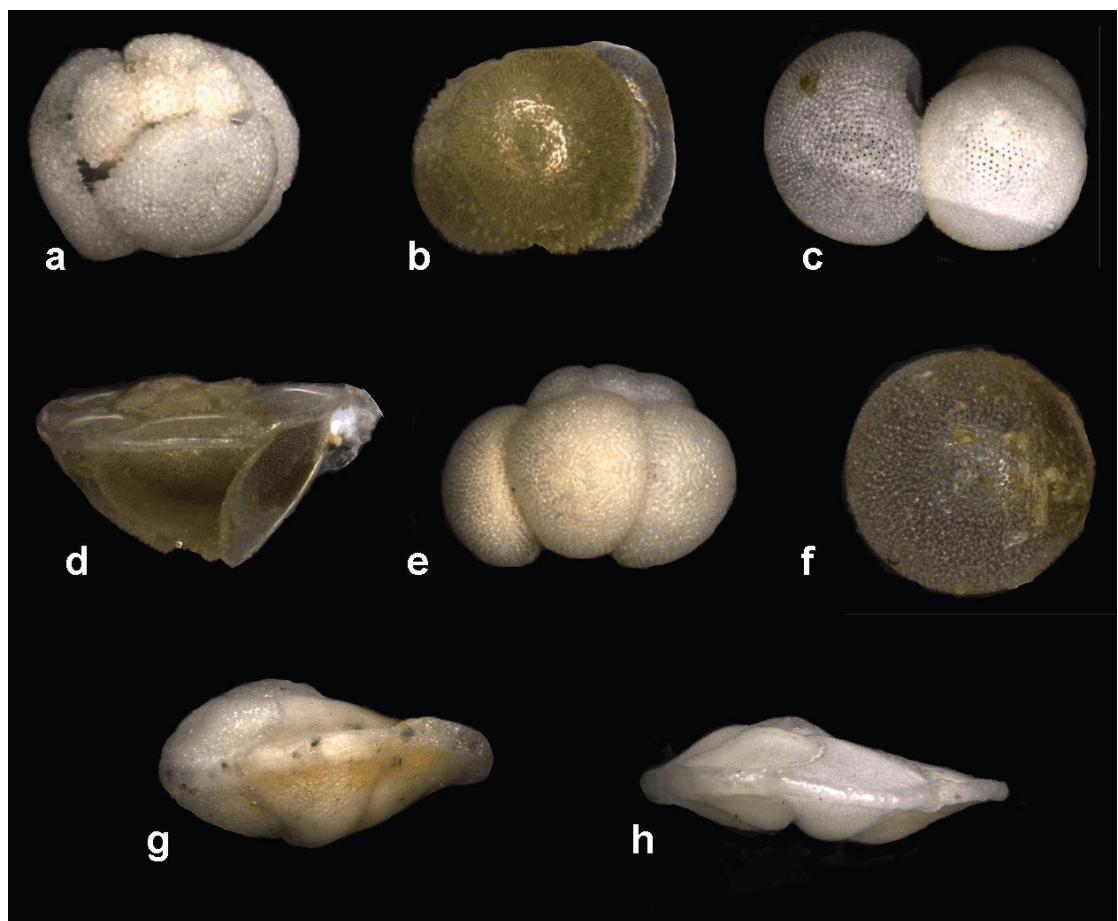
Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες τρηματοφόρων ανάλογα με τον τόπο και τρόπο διαβίωσης τους, τα **πλαγκτονικά** και τα **βενθονικά**:

- **Πλαγκτονικά** χαρακτηρίζονται τα τρηματοφόρα που διαβιούν ελεύθερα στην υδάτινη στήλη των ωκεανών ή θαλασσών, και έχουν την ικανότητα με την βοήθεια του κελύφους τους να μην βυθίζονται, αλλά να επιπλέουν. Αποτελούν την τάξη Globigerinida. Η διάμετρος του κελύφους τους είναι μικρότερη από 0,1-1 mm και είναι ασβεστιτικής σύστασης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η δομή του κελύφους τους, που αποτελείται από πολυάριθμους διάτρητους πόρους ή μικρά κοιλώματα, βασικό χαρακτηριστικό των πλαγκτονικών τρηματοφόρων για την ταξινόμηση τους (Εικ. 2).



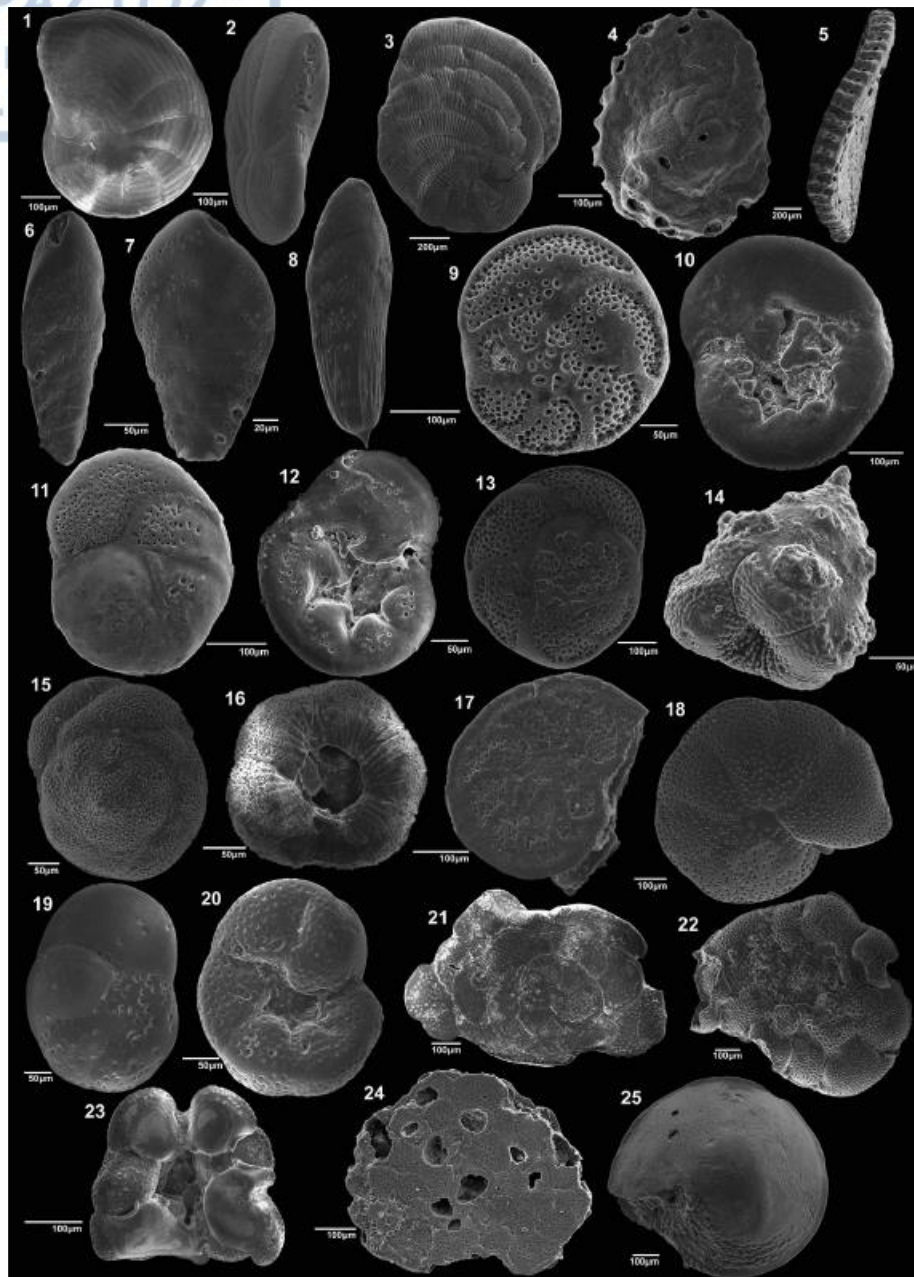
Εικόνα 2. Πλαγκτονικά Τρηματοφόρα, όπου διακρίνονται οι πολυάριθμοι διάτρητοι πόροι στο κέλυφός τους (από Weinkauf et al., 2016).

Η αρχιτεκτονική του κελύφους των πλαγκτονικών τρηματοφόρων ρυθμίζει τον έλεγχο της πλευστότητας του οργανισμού. Η πλειοψηφία των ειδών διαβιεί στην ευφωτική ζώνη, (μέγιστο βάθος 200 m) καθώς στο κέλυφός τους φιλοξενούνται ενδοσυμβιωτικοί αυτότροφοι οργανισμοί (κυρίως δινομαστιγωτά) (Τριανταφύλλου και Δήμιζα, 2012).

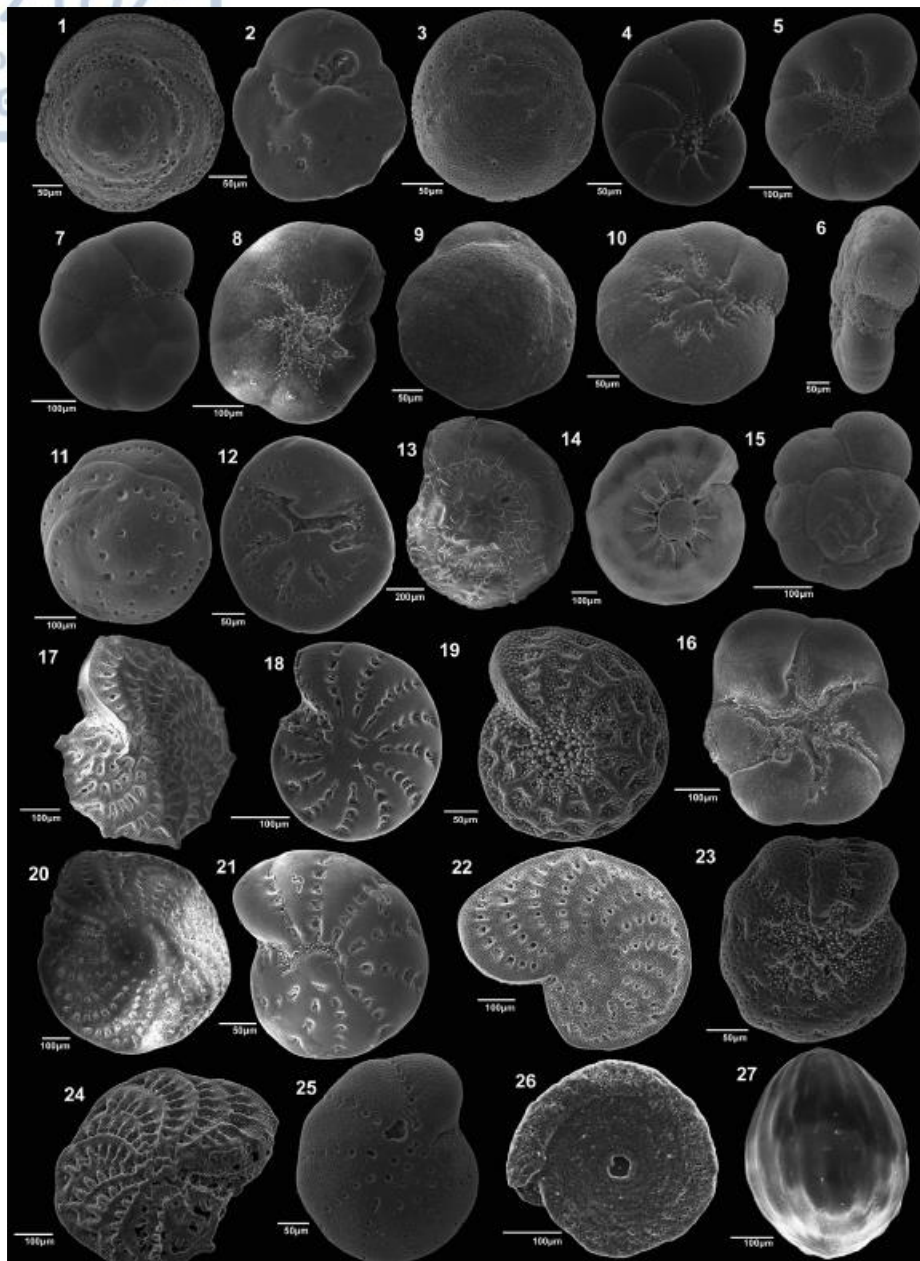


Εικόνα 3. Διαφορετικά είδη πλαγκτονικών τρηματοφόρων (από Burke and Hull, 2017).

- **Βενθονικά** χαρακτηρίζονται τα τρηματοφόρα που ζουν ελεύθερα η προσκολλημένα, σε μικρό ή και σε μεγάλο βάθος, στην επιφάνεια του θαλάσσιου ή ωκεάνιου πυθμένα (Εικ. 4, Εικ. 5). Μπορούν να διαβιούν μέσα στο ίζημα του πυθμένα και σε αρκετές περιπτώσεις κάτω από τα αρχικά 10 cm του ιζήματος. Μπορεί σε επόμενο στάδιο της ζωής τους να προσκολληθούν σε κάποιο σταθερό υπόστρωμα. Αν το υπόστρωμα είναι ζωικό τότε τα τρηματοφόρα ονομάζονται επιζωικά, ενώ αν είναι φυτικό ονομάζονται επιφυτικά. Ανάλογα με το βάθος διαβίωσης αναπτύσσουν διαφορετικές διατροφικές συνήθειες και συμπεριφορές. Η πανίδα που διαβιεί σε βάθος έως 200 m τρέφεται με διάτομα και φυτοπλαγκτόν, ενώ τα τρηματοφόρα των αβυσσικών περιοχών, με τα ψευδοπόδια τους, συλλαμβάνουν τροφή από φυτοθρύμματα. Επίσης, η μελέτη των σύγχρονων μεγάλου μεγέθους βενθονικών τρηματοφόρων έχει δείξει ότι φέρουν συμβιωτικά διάτομα (φύκη, διάτομα και δινομαστιγωτά). Στις περιπτώσεις που συναντάται το συγκεκριμένο είδος συμβίωσης, υπάρχει ένα αμφίδρομο όφελος από τους οργανισμούς, καθώς οι ενδοσυμβιωτικοί οργανισμοί προστατεύονται από το τρηματοφόρο, ενώ ταυτόχρονα προσφέρουν μεγάλο μέρος των προϊόντων τους μέσω της φωτοσύνθεσης σε αυτό (Τριανταφύλλου και Δήμιζα, 2012).
- Η υψηλή αφθονία και ποικιλότητα καθιστά τα τρηματοφόρα χρήσιμους βιοστρωματογραφικούς δείκτες αλλά και βασικά εργαλεία στην παλαιοωκεανογραφική, παλαιοπεριβαλλοντική και παλαιοκλιματική έρευνα, καθώς και στον προσδιορισμό της ποιότητας των υδάτων (Τριανταφύλλου και Δήμιζα, 2012).



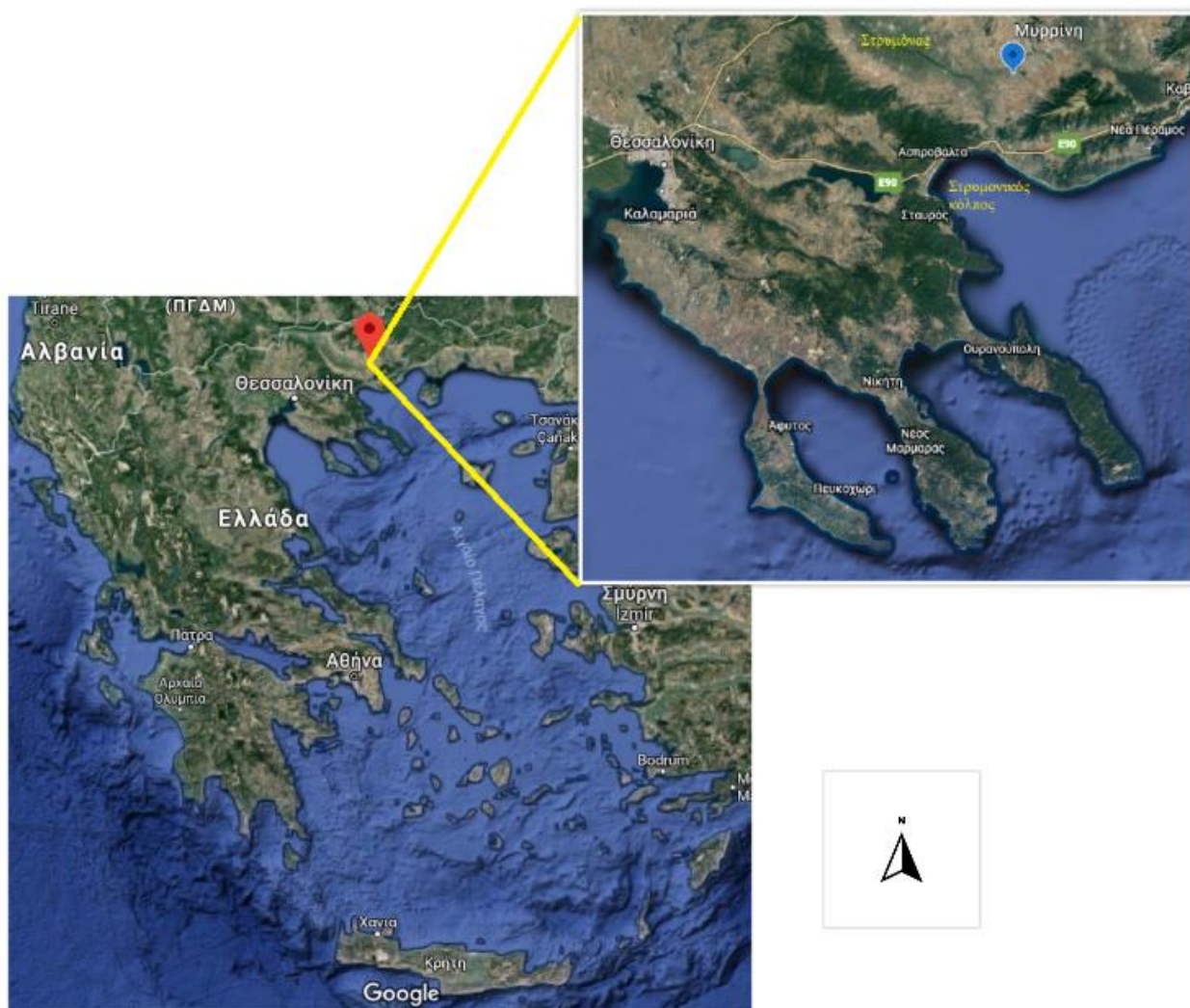
Εικόνα 4. Είδη βενθονικών Τρηματοφόρων από την περιοχή του Αιγαίου πελάγους (από Dimiza et al., 2016).



Εικόνα 5. Είδη βενθονικών τρηματοφόρων από την περιοχή του Αιγαίου πελάγους (από Dimiza et al., 2016).

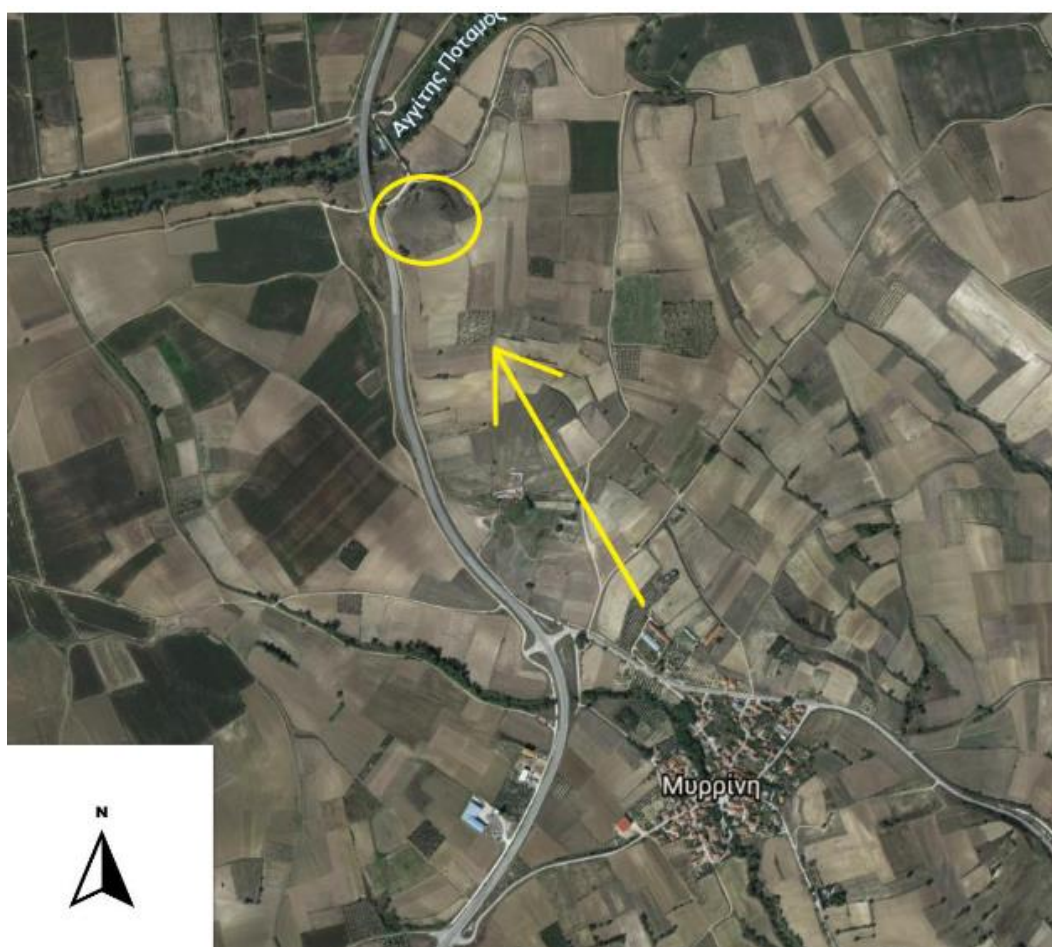
3. Περιοχή Μελέτης

Την περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί ένας χαμηλός λόφος, με υψόμετρο 45 m από το επίπεδο της θάλασσας, ο οποίος βρίσκεται 1 km ΒΔ από το χωριό Μυρρίνη (23° 53' 20.64" E, 40° 56' 58.09" N). Η Μυρρίνη είναι ένα πεδινό χωριό που τοποθετείται Βόρεια του Ελληνικού χώρου, με μικρή απόσταση από το Αιγαίο πέλαγος (Εικ. 6). Απέχει 11 km ΝΑ από το χωριό Νέα Ζίχνη και 39 km ΝΑ από την πόλη των Σερρών.



Εικόνα 6. Η περιοχή μελέτης στον Ελλαδικό χώρο (από Google earth).

Ο λόφος όπου πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία βρίσκεται Δυτικά του δρόμου Αμφίπολης-Σερρών και ΝΔ από τη γέφυρα του Αγγίτη ποταμού (Εικ. 7).

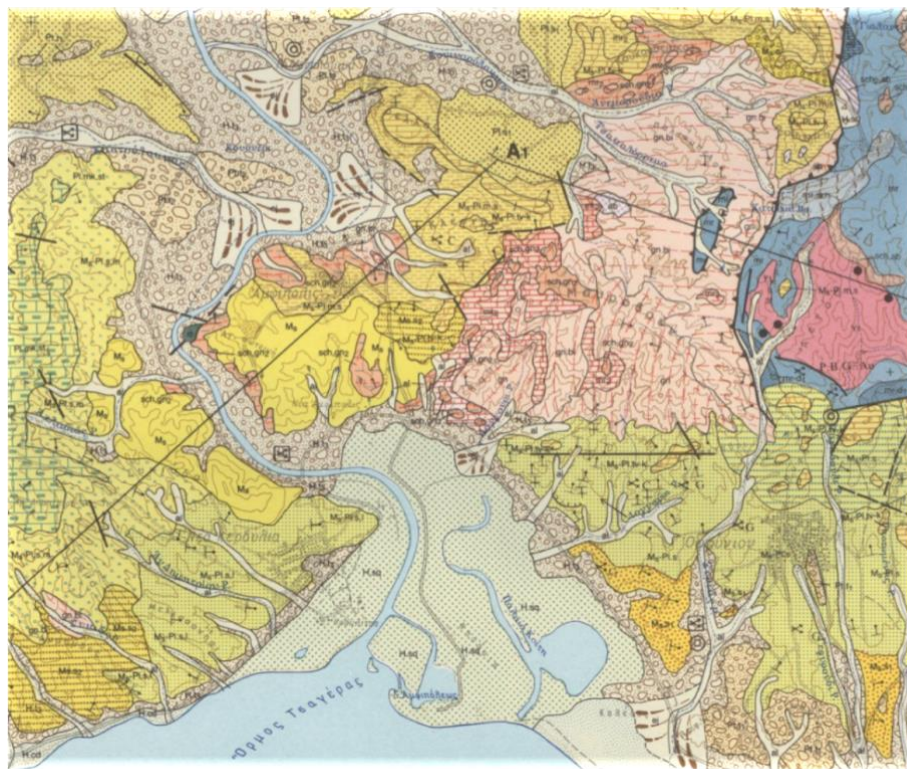


Εικόνα 7. Η περιοχή δειγματοληψίας (από Google Earth).

3.1. Γεωλογία-Στρωματογραφία της περιοχής

Η Μυρρίνη τοποθετείται ανάμεσα στις γεωτεκτονικές ζώνες της Σερβομακεδονικής Μάζας, στα δυτικά, και της Μάζας της Ροδόπης, στα ανατολικά. Όριο τους αποτελεί ο ποταμός Στρυμόνας. Η τεκτονική γραμμή επαφής δεν είναι ορατή στην επιφάνεια λόγω της πλήρωσης της τεκτονικής λεκάνης, από Νεογενή-Τεταρτογενή ιζήματα (Μουντράκης, 2010).

Τα πετρώματα της ταφρολεκάνης του Στρυμόνα διαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) τα μεταμορφωμένα πετρώματα του υποβάθρου της Μάζας της Ροδόπης στα ανατολικά και της Σερβομακεδονικής Μάζας στα δυτικά, β) το σύστημα των Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων.

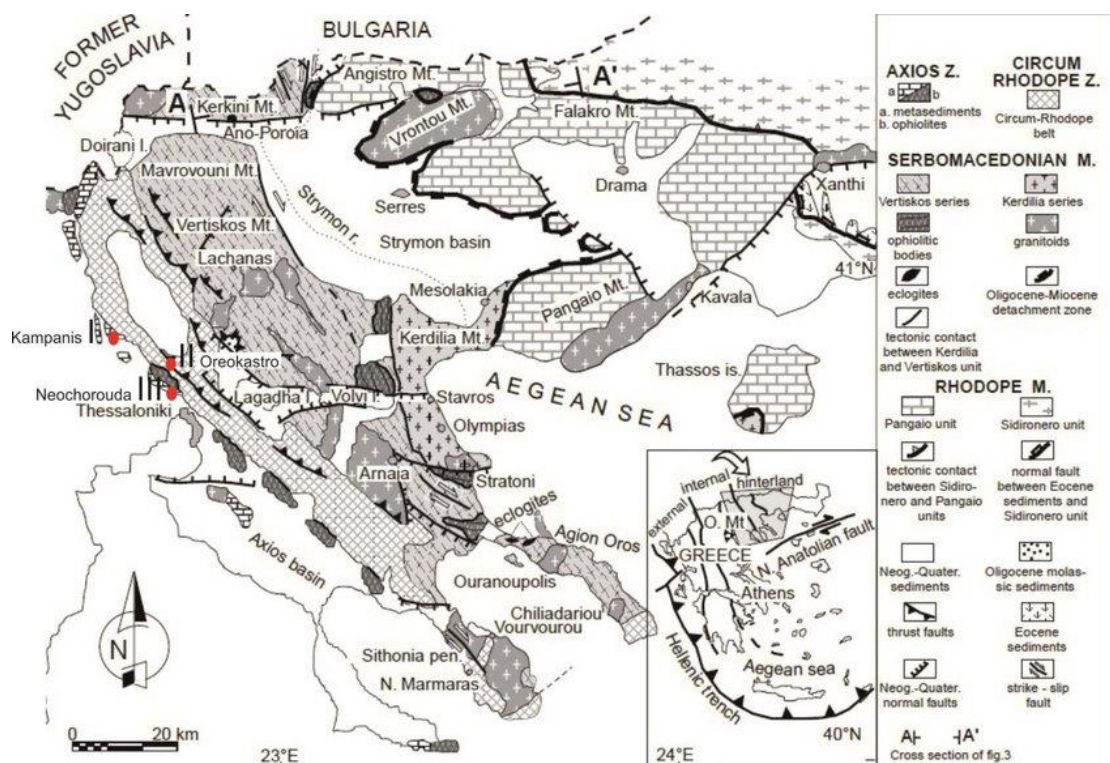


Εικόνα 8. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Στρυμόνα (Ι.Γ.Μ.Ε., 1970).

Η Μάζα της Ροδόπης αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα (γνεύσιους, αμφιβολίτες, μιγματίτες, μάρμαρα) στις περιοχές Παγγαίο όρος, Σιδηρόνερο, Κάρδαμο, Κεχρί, Κίμη και μεγάλους πυριγενείς όγκους οι οποίοι διεισδύουν στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Τα πυριγενή πετρώματα της Ροδόπης είναι πλουτωνικά (γρανίτες, γρανοδιορίτες, μονζονίτες, τοναλίτες, διορίτες) με εμφανίσεις τους στις περιοχές Καβάλα, Βροντού, Παρανέστι, Ξάνθη και ηφαιστειακά (βασάλτες, ανδεσίτες, λατίτες, δακίτες, τραχύτες, ρυόλιθοι) σε δυο κύρια σημεία Φέρρες-Σάπες στον Έβρο και

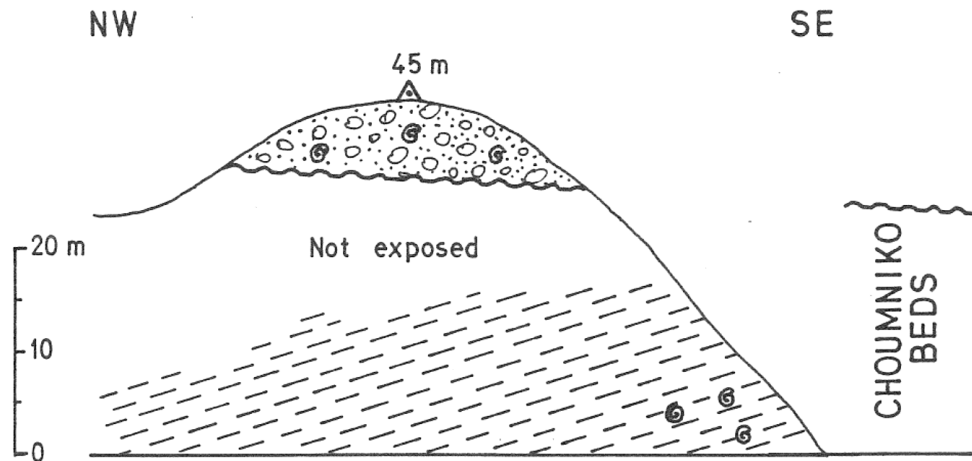
βόρεια της Ξάνθη-Κομοτηνής κοντά στα ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Το πάχος της υπολογίζεται 10-20 km (Μουντράκης, 2010) (Εικ. 8).

Αντίστοιχα, η Σερβομακεδονική μάζα αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα (γνεύσιους, αμφιβολίτες, εκλογίτες, σχιστόλιθους) που εναλλάσσονται με λεπτά στρώματα μαρμάρων. Καθώς και μεταμορφωμένα βασικά πυριγενή σώματα (μεταγάββροι, μεταδιαβάσες, ορθοαμφιβολίτες), οι οποίοι βρίσκονται με τη μορφή φακοειδών σωμάτων, μέσα στα μεταμορφωμένα πετρώματα (Εικ. 9).



Εικόνα 9. Γεωλογικός χάρτης της Σερβομακεδονικής ζώνης (από Kiliyas et al., 1999).

Συγκεκριμένα, στην περιοχή της Μυρρίνης, εμφανίζονται άργιλοι και ιλύες γκρι χρώματος με πανίδες μαλακίων (Syrides, 2000) διατόμων, οστρακωδών και υπολείμματα ιχθύων (Snel et al., 2006). Τα στρώματα αυτά αποτελούν τμήμα του Σχηματισμού Χουμνικό (Choumnikon Formation, Gramann and Kockel, 1969), βυθίζονται 15 μίρες ΝΑ και παραμορφώνονται από κανονικά ρήγματα (Snel et al., 2006). Ανώτερα και στρωματογραφικά ασύμφωνα, μέχρι την κορυφή του λοφίσκου, τοποθετούνται νεότερες άμμοι, κίτρινου και καφέ χρώματος και αποστρογγυλεμένες κροκάλες ασβεστολιθικής σύστασης με απολιθώματα *Ostrea*, *Pecten* και ένα δόντι καρχαρία (Syrides, 2000). (Εικ. 10, Εικ. 11).



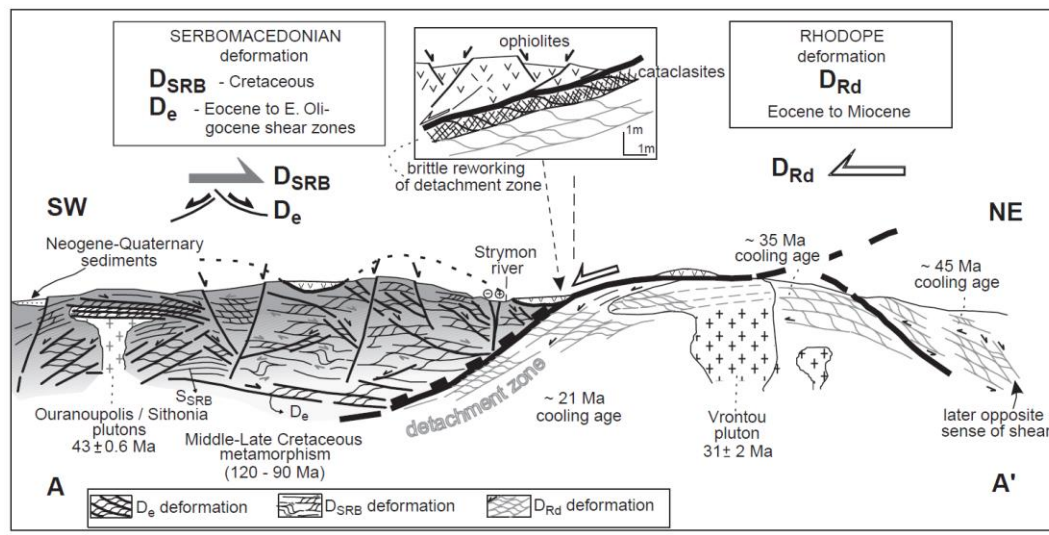
Εικόνα 10. Σχηματική στρωματογραφική τομή του λοφίσκου στην περιοχή της Μυρρίνης (από Syrides, 2000).

AGE		PALEOENVIRONMENT		STRATIGRAPHY	FOSSIL SITES
PLEISTOCENE		Terrestrial	Fanglomerates		
P L I O C E N E	Upper	Lagoonal			DRV, DEK, DIM
	Lower	Marine			3-IER, NPG (GAL, KER)
M I O C E N E	Uppermost (Pontian)	Brackish Paratethys invasion	CHOUNNIKON BEDS		Choumnikon Skini Oreskia, Christos Kato Kerdylio
	Upper	Marine	DAFNI BEDS		Kastanochori
PRE-NEOGENE		Fluvial Terrestrial Lacustrine (lignites)	BASALFOLFE (Grammenand Kocle, 1999) LEFKON GROUP (JARIKINEOS, 1984)		
		CRYSTALLINE BASEMENT			

Εικόνα 11. Συνθετική στρωματογραφική στήλη της λεκάνης του Στρυμόνα με διεύθυνση Δυτικά προς Ανατολικά (τροποποιημένο από Syrides, 2000).

3.2. Τεκτονική της περιοχής

Η λεκάνη του Στρυμόνα παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον από τεκτονική σκοπιά, καθώς ο ποταμός Στρυμόνας αποτελεί το όριο της Σερβομακεδονικής με τη Ροδόπη, αλλά η επαφή τους δεν εντοπίζεται, εκτός δύο σημείων, λόγω της κάλυψης της τεκτονικής γραμμής από τις Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις μέσα στη λεκάνη. Το πρώτο σημείο βρίσκεται στο όρος Άγγιστρο (χωριό Προμαχών) κοντά στα ελληνοβουλγαρικά σύνορα, ενώ το δεύτερο νοτιότερα, στην περιοχή ανατολικά των εκβολών του Στρυμόνα μεταξύ των χωριών Κάτω Λακοβίκια και Παλαιοκόμη. Και στις δυο επαφές, διαπιστώνεται η εφίπλευση της Σερβομακεδονικής πάνω στη Ροδόπη, με γραμμή εφίπλευσης διεύθυνσης ΒΑ (40 μοίρες) και κλίσης 45-60 μοίρες ΒΔ. Η τεκτονική αυτή γραμμή μήκους πολλών χιλιομέτρων εντοπίζεται και στη Βουλγαρία και ονομάστηκε «Γραμμή του Στρυμόνα» (Μουντράκης, 2010).



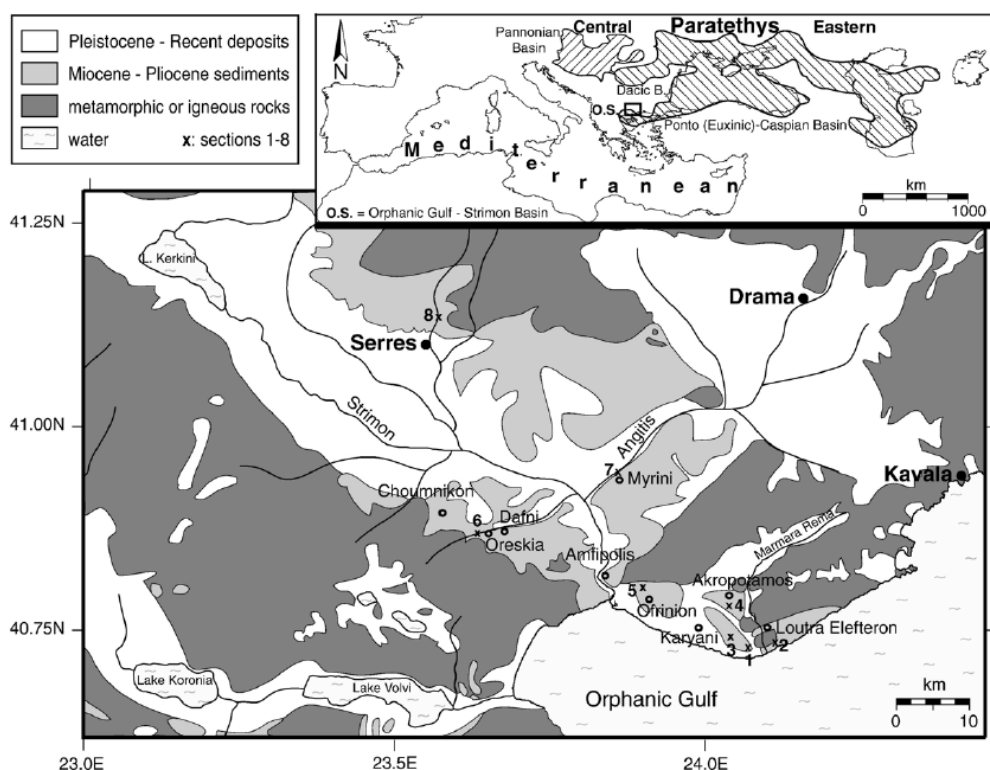
Εικόνα 12. Οι τεκτονικές κινήσεις της Σερβομακεδονικής ζώνης και της Μάζας της ζώνης της Ροδόπης (από Kiliyas et al., 1999).

Σήμερα θεωρείται ότι η λεκάνη του Στρυμόνα δημιουργήθηκε εξαιτίας αυτής της τεκτονικής Γραμμής και ότι είναι αποτέλεσμα εφελκυστική τεκτονικής και όχι συμπίεστικής. Αυτή η εφελκυστική τεκτονική ξεκινάει κατά το Τριτογενές και από ημιπλαστική, εξελίσσεται σε θραυσιγενή στο Μειόκαινο-Πλειόκαινο, με μεγάλη κίνηση προς τα ΝΔ, δημιουργώντας τα μεγάλης γωνίας κλίσης κανονικά ρήγματα, που αποτελούν τη Γραμμή του Στρυμόνα και τελικά σχηματίζουν τη λεκάνη κατά το Μειόκαινο-Πλειόκαινο (Μουντράκης, 2010) (Εικ. 12).

Για τον Ελληνικό χώρο είναι πολύ μεγάλης σημασίας και επίσης έχει βρεθεί σημαντικό γεωθερμικό πεδίο που αποδεικνύει ότι είναι μια πρόσφατα τεκτονικά ενεργή περιοχή (Μουντράκης, 2010).

3.3 Παρατηθός

Η περιοχή μελέτης, Μυρρίνη, που βρίσκεται στο Βόρειο Αιγαίο, θεωρείται μια μεταβατική περιοχή εμφάνισης και λειτουργίας της Παρατηθός, κατά την περίοδο του Πλειόκαινου έως και το Πλειστόκαινο (Παυλίδης, 2016). Η Παρατηθός επικοινωνούσε με τον Ατλαντικό ωκεανό, μέσω της Μεσογείου, αλλά η επικοινωνία δεν ήταν συνεχής. Ένα από τα πιο σημαντικά σημεία επικοινωνίας της Παρατηθός με τη Μεσόγειο στην Ελλάδα, ήταν ο Στρυμονικός κόλπος (Snel et al., 2006). Η Παρατηθός εκτεινόταν από τη σημερινή Ουγγαρία (λεκάνη Πανονίας), Ρουμανία, Μαύρη θάλασσα, Κριμαία, ενώ η Κασπία και η λίμνη Αράλη, θεωρούνται υπολείμματα της Παρατηθός (Παυλίδης, 2016) (Εικ. 13). Αυτό γίνεται αντιληπτό από την εναλλαγή θαλάσσιων και ποταμολιμναίων ιζημάτων, στα οποία παρατηρείται ταυτόχρονη πτώση του ποσοστού αλατότητας των υδάτων.

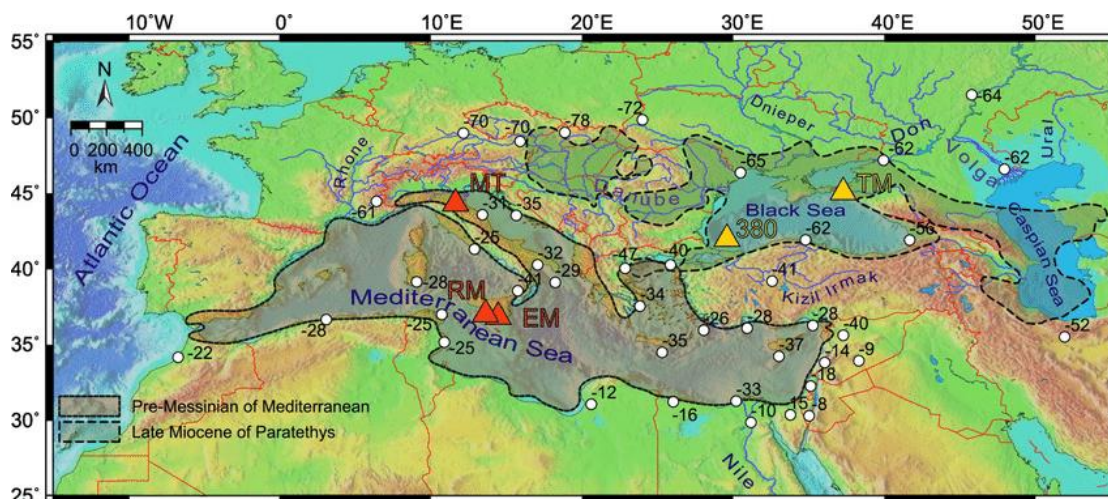


Εικόνα 13. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής στον κόλπο του Ορφανού και της λεκάνης του Στρυμόνα (από Snel et al., 2006).

Περίοδος Ανώτερου Μειοκαίνου (12-5,5 Ma)

Κατά το Ανώτερο Μειόκαινο σχηματίζεται το Ελληνικό τόξο και μορφοποιείται η πρώτη θάλασσα του Αιγαίου με τη λεγόμενη «επίκλυση του Τορτονίου». Στην περίοδο του Μέσου Τορτονίου η επίκλυση έφθασε μέχρι το Βόρειο Αιγαίο και τις ακτές των Δαρδανελίων (Παυλίδης, 2016).

Η Κεντρική Παρατηθύς άρχισε να διασπάται σε πολλές μικρές λεκάνες, οι οποίες μόνο εποχιακά συνδέονταν. Η γνωστή κρίση αλμυρότητας του Μεσσηνίου είναι το πιο σημαντικό παλαιογεωγραφικό γεγονός του Ανωτέρου Μειοκαίνου με τη μεγάλη εξάπλωση των κοιτασμάτων των εβαποριτών. Τα γεγονότα της κρίσης αυτής προκάλεσαν τον παραπέρα τεμαχισμό της Παρατηθύς σε μικρότερες λεκάνες με ενδημικές πανίδες. Πολύ γνωστές επίσης για τον Ελληνικό χώρο, είναι οι χερσαίες αποθέσεις της βαθμίδας του Ποντίου, με τα πολλά απολιθώματα των θηλαστικών που βρίσκονται σε πολλές περιοχές της ηπειρωτικής και νησιωτικής Ελλάδας (Παυλίδης, 2016) (Εικ. 14).

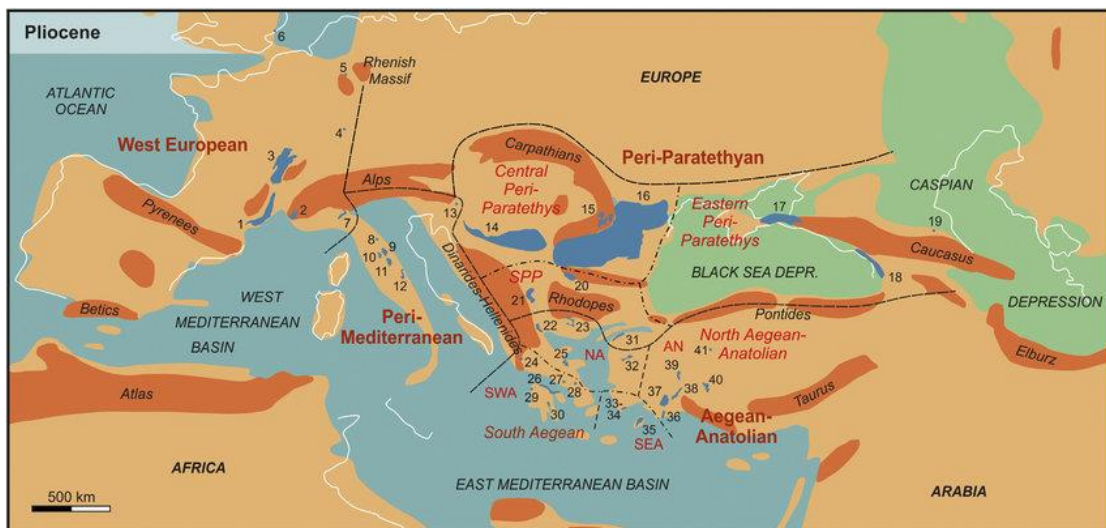


Εικόνα 14. Παλαιογεωγραφικός χάρτης της περιοχής της Μεσογείου κατά το Ανώτερο Μειόκαινο (από Vasiliev et al., 2017).

Περίοδος Πλειόκαινου (3,5-3 Ma)

Μια νέα επίκλυση της θάλασσας έλαβε χώρα στο Πλειόκαινο και δημιούργησε τη σύγχρονη θάλασσα της Μεσογείου. Η θάλασσα αυτή κατά το Πλειόκαινο είχε επικοινωνία τόσο με την Μαύρη θάλασσα όσο και με την Κασπία και πιθανόν επεκτάθηκε μέχρι τη λίμνη Βαϊκάλη (Παυλίδης, 2016).

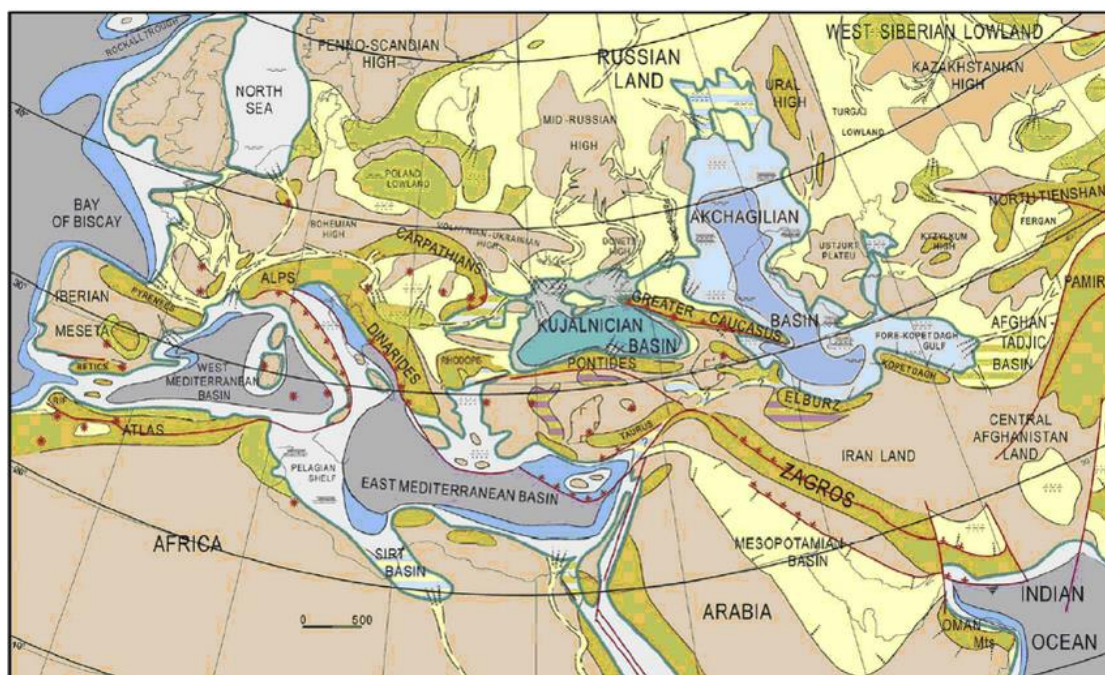
Στον Μεσογειακό χώρο, το Νεογενές χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη της Παρατηθούς, η οποία λειτούργησε από το τέλος του Ολιγόκαινου - αρχές Μειόκαινου σαν μια μεγάλη ηπειρωτική θάλασσα, υπόλειμμα του ωκεανού της Τηθύος. Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την εξέλιξη της Παρατηθούς είναι οι νεότερες τεκτονικές κινήσεις, η παγκόσμια μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας και οι αντίστοιχες κλιματικές μεταβολές. Το τελευταίο στάδιο εξέλιξης της Παρατηθούς, που άρχισε μεταξύ Μέσου και Ανώτερου Μειόκαινου και ολοκληρώθηκε στο Πλειόκαινο, ονομάζεται Νεοπαρατηθός (Παυλίδης, 2016) (Εικ. 15).



Εικόνα 15. Η Παρατηθός και η Μεσόγειος κατά το Πλειόκαινο (από Poron et al., 2006).

Περίοδος Πλειστοκαίνου (3-0,12 Ma)

Έχουν εκφραστεί πολλές απόψεις για την παλαιογεωγραφική θέση του Αιγαίου και για τη δημιουργία εκτεταμένων λιμνών. Είναι κοινώς αποδεκτές οι απόψεις για την ύπαρξη πολυάριθμων, διάσπαρτων, υφάλμυρων λεκανών, καθώς επίσης και για τη συνεχή επικοινωνία της Παρατηθούς με τη Μεσόγειο, μέσω του Αιγαίου κατά το Πλειστόκαινο (Syrides, 1998, 2000) (Εικ. 16).



Εικόνα 16. Η Μεσόγειος κατά το Πλειστόκαινο (από Meriz et al., 2015).

4. Μεθοδολογία

4.1. Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε έναν λόφο ύψους 31 m και σε υψόμετρο 45 m από το επίπεδο της θάλασσας, σε απόσταση 1 km ΒΔ από το χωριό Μυρρίνη (Εικ. 17α). Η δειγματοληψία γενικά αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και εμπειρία. Η συλλογή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε από μια επιφανειακή τομή η οποία στη συνέχεια γίνεται κάθετη με συνολικό ύψος 27 m (Τομή MYR) (Εικ. 17β, Εικ. 18).



Εικόνα 17. Περιοχή δειγματοληψίας, α. Η θέση του λόφου δειγματοληψίας ΒΔ από το χωριό Μυρρίνη, β. Ο λόφος και η τομή δειγματοληψίας MYR, γ. Άλλη όψη του λόφου και της τομής δειγματοληψίας MYR (από Google Earth).

Οι επιφανειακοί ορίζοντες είχαν υποστεί διάβρωση σε μεγάλο ποσοστό και προϊόντα εξαλλοίωσης τους είτε βρίσκονταν στα χαμηλότερα σημεία των φυσικών τομών είτε πάνω



στα προϋπάρχοντα ιζήματα, με αποτέλεσμα να επηρεάζουν τις ιδιότητες του δείγματος εξαιτίας της ανάπτυξης χλωρίδας και πανίδας. Για αυτό το λόγο δεν συμπεριλαμβάνεται το επιφανειακό στρώμα διάβρωσης αλλά τα δείγματα συλλέγονται από βαθύτερη, ανεπηρέαστη θέση. Συνολικά ο αριθμός των δειγμάτων που συλλέχθηκαν ανέρχεται στα 20. Τα δείγματα που συλλέχθηκαν τοποθετήθηκαν σε πλαστική σακούλα και συνοδεύτηκαν από σημείωμα, όπου αναγράφηκε η τοποθεσία, ο ακριβής ορίζοντας συλλογής και άλλα απαραίτητα στοιχεία (Εικ. 18).

Πίνακας 1. Δείγματα και ύψος δειγματοληψίας των δειγμάτων στην Τομή MYR.

Δείγμα	Ύψος (m)
1	26,5
2	23,5
3	20,5
4	17,5
5	14,5
6	11,5
7	8,5
8	8,0
9	7,5
10	7,0
11	6,5
12	6,0
13	5,5
14	5,0
15	4,5
16	4,0
17	3,5
18	2,90
19	2,40
20	2,0



Εικόνα 18. Δειγματοληψία στην Τομή MYR (φωτ. από Γ. Συρίδης).

4.2. Εργαστηριακή επεξεργασία

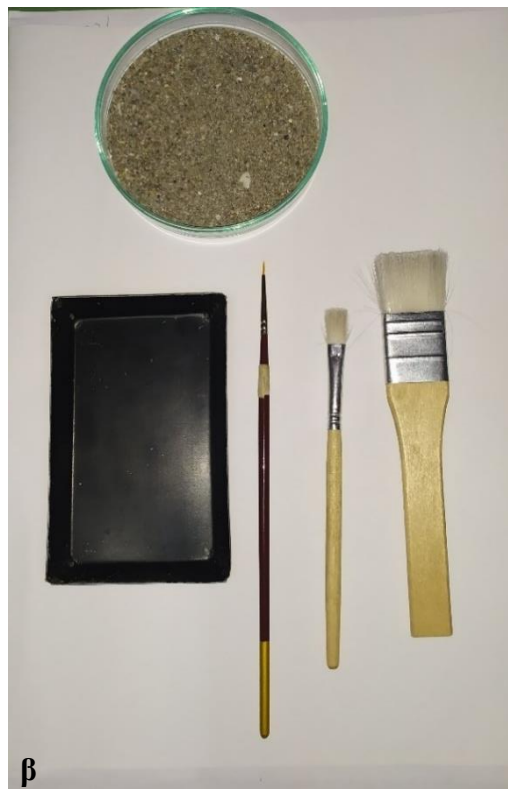
Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του Τομέα Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ., ζυγίστηκαν και καταγράφηκαν τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά τους, όπως το χρώμα τους, η σύστασή τους και τα θραύσματα που πιθανώς εμπεριείχαν. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ο εμποτισμός τους σε διάλυμα νερού και υπεροξειδίου του υδρογόνου 70% (perhydrol, H_2O_2) για χρονικό διάστημα μερικών ωρών, με σκοπό την αποσυσσωμάτωση του ιζήματος. Στη συνέχεια τα δείγματα πλύθηκαν με τρεχούμενο νερό σε μεταλλικό κόσκινο (Εικ. 18), με οπή διαμέτρου 0,063 mm, μέχρι να απομακρυνθεί πλήρως η ιλύς και η άργιλος. Κατόπιν ξηράνθηκαν σε χαμηλή θερμοκρασία (50 °C) και ξαναζυγίστηκαν προκειμένου να υπολογιστεί το ποσοστό του λεπτόκοκκου ιζήματος (ιλύς + άργιλος) που συμμετείχε στο κάθε δείγμα.



Εικόνα 18. Εργαστηριακή επεξεργασία και πλύση δειγμάτων από την Τομή MYR.

4.3. Εργαστηριακή επεξεργασία δειγμάτων τρηματοφόρων

Από τα 20 αρχικά δείγματα, επιλέχθηκαν 10 για περαιτέρω μικροπαλαιοντολογική μελέτη. Η διαλογή των μικροαπολιθωμάτων πραγματοποιήθηκε από το εναπομείναν ίζημα που είχε ξηρανθεί. Τα δείγματα διαχωρίστηκαν με την βοήθεια Otto Microsplitter, με σκοπό να προκύψει ένα αντιπροσωπευτικό μικρότερο δείγμα με τον απαιτούμενο αριθμό τρηματοφόρων (150-250 άτομα). Χρησιμοποιήθηκε στερεοσκόπιο Motic SMZ-140 SERIES, προσπίπτοντος φωτός και τα τρηματοφόρα συλλέχθηκαν κυρίως με την εφαρμογή των μεγεθύνσεων του μικροσκοπίου 1,6 και 2.5 X 25 (Εικ. 19α). Στη συνέχεια, με τη χρήση πινέλου 000 και άλλων ειδικών εργαλείων (Εικ. 19β), τα τρηματοφόρα τοποθετήθηκαν σε ειδικά μικροπαλαιοντολογικά πινακίδια.



Εικόνα 19. α. Το στερεοσκόπιο Motic SMZ-140 SERIES όπου πραγματοποιήθηκε η διαλογή των τρηματοφόρων, β. Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στο αρχικό στάδιο επεξεργασίας των τρηματοφόρων.

Η μελέτη των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του Α.Π.Θ. Μετά το πέρας της διαλογής τα άτομα επανατοποθετήθηκαν σε ένα ενιαίο αριθμημένο μεταλλικό πινακίδιο τύπου Chapman (Εικ. 20), όπου κολλήθηκαν με κόλλα Gome Adraganth, για την πιο εύκολη αναγνώριση,

συγκέντρωση και καταμέτρηση τους. Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν σε επίπεδο γένους και είδους και καταμετρήθηκαν. Τα αποτελέσματα καταγράφηκαν για το επόμενο στάδιο της ποσοτικοποίησης τους, μέσω στατιστικής επεξεργασίας.



Εικόνα 20. Το τελικό πινακίδιο (τύπου Charman) όπου κολλήθηκαν τα τρηματοφόρα για την επεξεργασία τους.

4.4. Συστηματική ταξινόμηση τρηματοφόρων

Τα μικροαπολιθώματα που συλλέχθηκαν, ταξινομήθηκαν σύμφωνα με το σχήμα ταξινόμησης των Loeblich and Tappan (1987), και με τη βοήθεια των Rupp (1986), Cimerman and Langer (1991), Hottinger et al. (1993), Dimiza et al. (2016), Rasmussen (2005) καθώς και Κουκουσιούρα (2012).

4.5 Στατιστική επεξεργασία

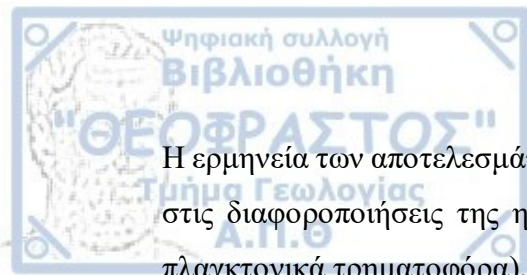
Μετά από τη συστηματική ταξινόμηση των τρηματοφόρων ακολούθησε καταμέτρηση του πληθυσμού τους, τοποθετήθηκαν σε πίνακες και με τη βοήθεια του προγράμματος Excel κατασκευάστηκαν ειδικά διαγράμματα με τον πληθυσμό των τρηματοφόρων. Υπολογίστηκαν η πυκνότητα των τρηματοφόρων σε κάθε δείγμα (Foram Density/1g), αλλά και οι δείκτες ποικιλότητας Shannon-Wiener (H') (Shannon and Weaver, 1963) και Taxa S, ο δείκτης επικράτησης (Dominance) και ο δείκτης ομοιομορφίας (J') (Equitability) (Kricher, 1972) με τη χρήση του προγράμματος Past.exe v.1.23 (Hammer et al., 2001).

Επιπρόσθετα, υπολογίστηκε ο δείκτης P/B ratio (πλαγκτονικά/βενθονικά τρηματοφόρα), για την εύρεση του παλαιοβάθους και του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας στην περιοχή. Για να υπολογιστεί το βάθος απόθεσης των ιζημάτων χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος των Van der Zwaan et al. (1990):

$$\text{Depth (m)} = e^{3.58718 + (0.03534 * \%P)}$$

όπου %P είναι το συνολικό ποσοστό των πλαγκτονικών τρηματοφόρων όπως υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο

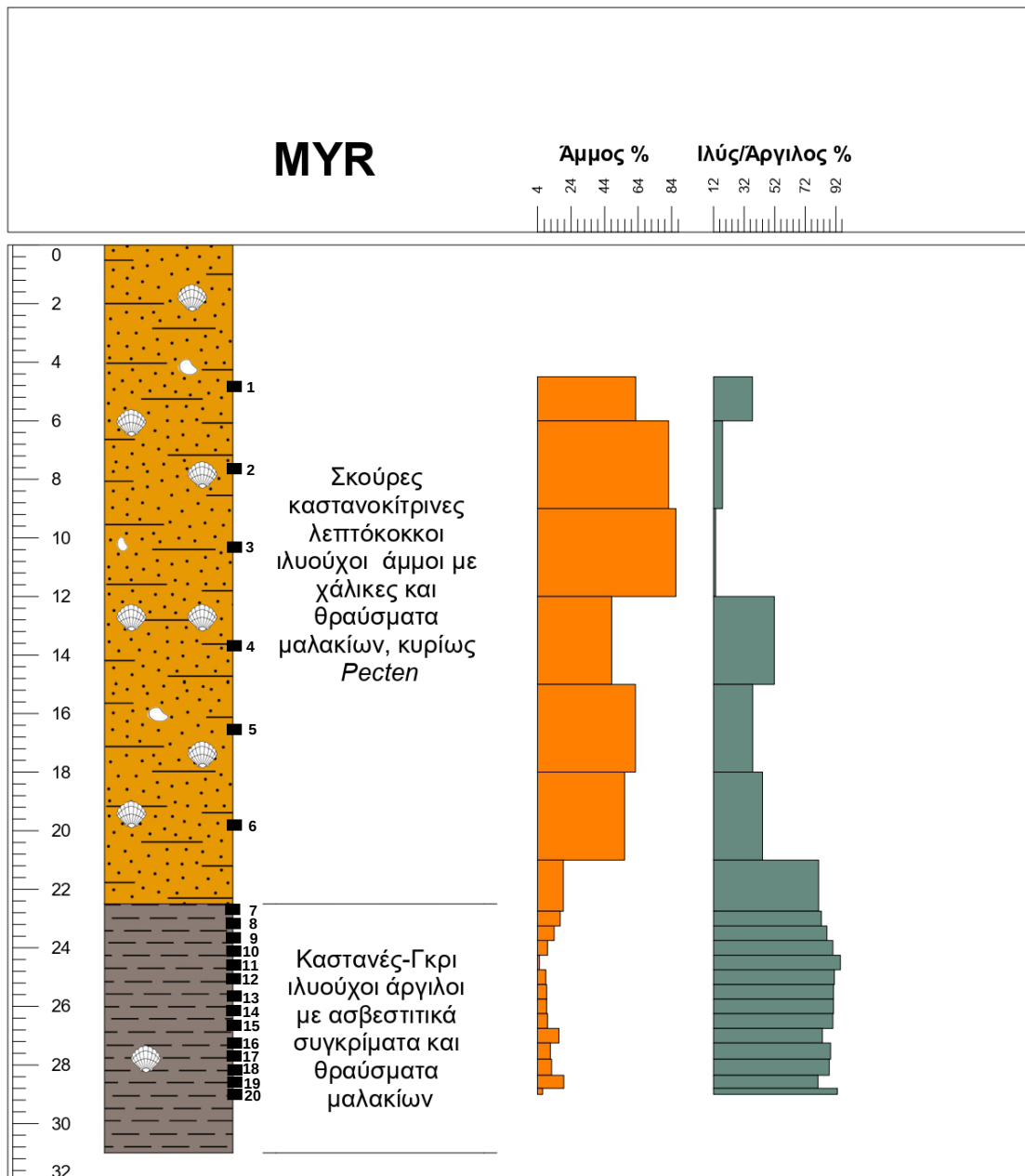
$$\%P = 100 * P / (P + B)$$



Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων του παλαιοβάθους έγινε σύμφωνα με τον Murray (1991), στις διαφοροποιήσεις της ηπειρωτικής κρηπίδας σε εσωτερική (inner shelf, <20% σε πλαγκτονικά τρηματοφόρα), σε μέση (middle shelf, 20-50% πλαγκτονικά τρηματοφόρα), εξωτερική (outer shelf, 50-70% πλαγκτονικά τρηματοφόρα) και ανώτερη βαθύαλη ζώνη (upper bathyal zone, >70% πλαγκτονικά τρηματοφόρα).

5. Αποτελέσματα

Η Τομή MYR αποτελείται από ιλυούχους αργίλους καστανογκρί χρώματος με συγκρίματα και θραύσματα μαλακίων στα κατώτερα 8,5 m, ενώ τα ανώτερα 18,5 m έχουν καστανοκίτρινο έως σκούρο καστανό χρώμα με σύσταση ιλυούχων άμμων έως λεπτόκοκκης άμμου με χάλικες διαφόρων μεγεθών και θραύσματα μαλακίων (Εικ. 21).



Εικόνα 21. Στρωματογραφική στήλη της Τομής MYR, λιθολογική περιγραφή και η αναλογία άμμου και ιλός αργίλου στα μελετηθέντα δείγματα.

Από τα δέκα δείγματα που μελετήθηκαν από την Τομή MYR, μόνο στα τέσσερα ανώτερα βρέθηκε πλούσια πανίδα τρηματοφόρων, ενώ στα κατώτερα δε βρέθηκε ίχνος μικροπανίδας. Η μικροπανίδα μελετήθηκε στα τέσσερα δείγματα, προκειμένου να δημιουργηθεί μια αντιπροσωπευτική εικόνα του παλαιοπεριβάλλοντος της Μυρρίνης.

Συνολικά σε ένα πληθυσμό 777 ατόμων τρηματοφόρων προσδιορίστηκαν 64 είδη βενθονικών που ανήκουν σε 39 γένη και 3 είδη πλαγκτονικών τρηματοφόρων που ανήκουν σε 3 είδη (Πιν. 3). Επίσης, κατά την επεξεργασία των δειγμάτων βρέθηκαν ένα οστρακώδες, μια δαγκάνα αρθρόποδου, καθώς και τμήματα μαλακίων και βελόνες αχινών.

Πίνακας 2. Κατάλογος τρηματοφόρων που προσδιορίστηκαν στη περιοχή της Μυρρίνης.

Δείγμα	Είδη	Είδη Βενθονικών Τρηματοφόρων	Είδη Πλαγκτονικών Τρηματοφόρων
MYR1	29	28	1
MYR3	33	31	2
MYR5	32	30	2
MYR6	38	35	3

Πίνακας 3. Τα είδη των τρηματοφόρων που προσδιορίστηκαν στη περιοχή της Μυρρίνης.

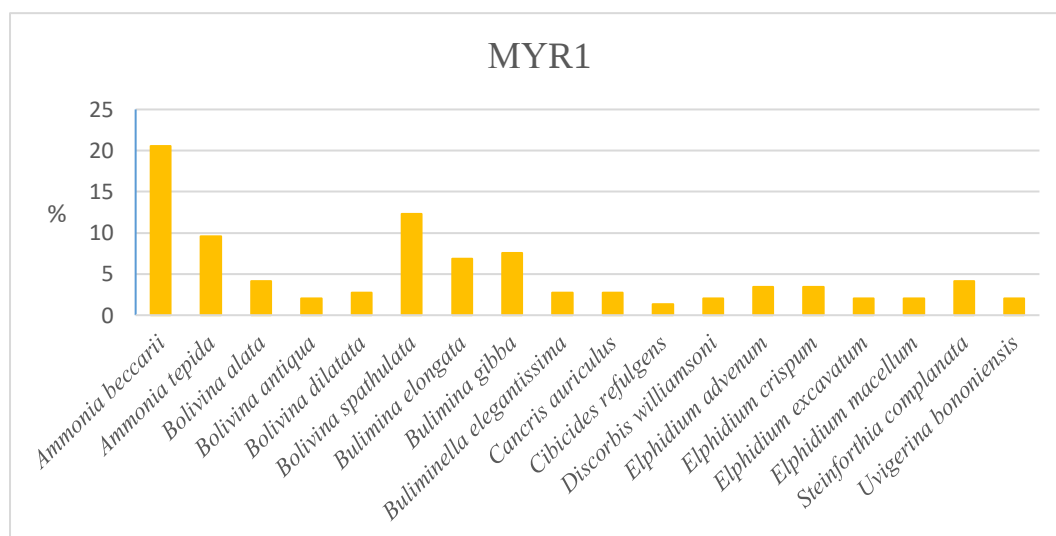
Βενθονικά Τρηματοφόρα	
<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus 1758)	<i>Guttulina lactea</i> (Walker and Jacob 1798)
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman 1926)	<i>Gyroidina soldanii</i> (d'Orbigny 1826)
<i>Amphicorina</i> sp.	<i>Haynesina depressula</i> (Walker and Jacob 1798)
<i>Asterigerinata mamilla</i> (Williamson 1858)	<i>Heterolepa dutemplei</i> (d'Orbigny 1846)
<i>Asterigerinata planorbis</i> (d'Orbigny 1846)	<i>Lagena hispida</i> (Reuss 1863)
<i>Bolivina alata</i> (Seguenza 1862)	<i>Lenticulina cultrata</i> (Montfort 1808)
<i>Bolivina antiqua</i> (d'Orbigny 1846)	<i>Lobatula lobatula</i> (Walker and Jacob 1798)
<i>Bolivina dilatata</i> (Reuss 1850)	<i>Neoconorbina terquemi</i> (Rzehak 1888)
<i>Bolivina seminuda</i> (Cushman 1911)	<i>Nodosaria</i> sp.
<i>Bolivina spathulata</i> (Williamson 1858)	<i>Nonionella atlantica</i> (Cushman 1947)
<i>Bolivina striatula</i> (Cushman 1922)	<i>Planulina ariminensis</i> (d'Orbigny 1826)
<i>Bulimina aculeata</i> (d'Orbigny 1826)	<i>Pullenia bulloides</i> (d'Orbigny 1846)
<i>Bulimina elongata</i> (d'Orbigny 1826)	<i>Rectuvigerina phlegeri</i> (Le Calvez 1959)
<i>Bulimina gibba</i> (Fornasini 1902)	<i>Reophax</i> sp.
<i>Bulimina marginata</i> (d'Orbigny 1826)	<i>Rosalina globularis</i> (d'Orbigny 1826)
<i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny 1839)	<i>rotaliid</i> juv.
<i>Buliminella</i> sp.	<i>rotaliid</i> sp.
<i>Cancris auriculus</i> (Fichtel and Moll 1798)	<i>Stainforthia complanata</i> (Egger 1893)
<i>Cassidella</i> sp. (Rupp 1986)	<i>Stilostomella lepidula</i> (Schwager 1866)
<i>Cassidulina carinata</i> (Silvestri 1896)	<i>Textularia agglutinans</i> (d'Orbigny 1839)
<i>Cibicides refulgens</i> (Montfort 1808)	<i>Textularia conica</i> (d'Orbigny 1839)
<i>Conorbella patelliformis</i> (Brady 1884)	<i>Trifarina fornasinii</i> (Selli 1948)
<i>Dentalina inornata</i> (d'Orbigny 1846)	<i>Triloculina</i> sp.
<i>Dentalina</i> sp.	<i>Triloculina trigonula</i> (Lamarck 1804)
<i>Discorbis williamsoni</i> (Chapman and Parr 1932)	<i>Uvigerina bononiensis</i> (Fornasini 1888)
<i>Elphidium advenum</i> (Cushman 1922)	<i>Uvigerina longistriata</i> (Perconig 1955)
<i>Elphidium complanatum</i> (d'Orbigny 1839)	<i>Uvigerina peregrina</i> (Cushman 1923)
<i>Elphidium crispum</i> (Linnaeus 1758)	<i>Uvigerina proboscidea</i> (Schwager 1866)
<i>Elphidium excavatum</i> (Terquem 1875)	<i>Valvulineria bradyana</i> (Fornasini 1900)
<i>Elphidium fichtelianum</i> (d'Orbigny 1846)	<i>Valvulineria complanata</i> (d'Orbigny 1846)
<i>Elphidium macellum</i> (Fichtel and Moll 1798)	
<i>Elphidium translucens</i> (Natland 1938)	Πλαγκτονικά Τρηματοφόρα
<i>Eponides repandus</i> (Fichtel and Moll 1798)	<i>Globigerina</i> sp.
<i>Globocassidulina subglubosa</i> (Brady 1881)	<i>Globigerinoides</i> sp.
	<i>Orbulina</i> sp.

Η επικρατούσα τάξη σε όλα τα δείγματα είναι τα υαλώδη rotaliids με μέγιστη τιμή 45,07% στο δείγμα MYR5 και ελάχιστη 37,5% στο δείγμα MYR3. Κύριος αντιπρόσωπος των rotaliids είναι το γένος *Ammonia*, με τα είδη *Ammonia beccarii* (max 20,55%, MYR1) και *Ammonia tepida* (max 9,58%, MYR1) ενώ η αφθονία τους φθίνει και σχεδόν μηδενίζεται στα κατώτερα δείγματα. Υψηλή σχετική αφθονία εμφανίζουν τα είδη *Lenticulina cultrata* (max 14,58, MYR3) και *Cibicides refulgens* (max 8,45, MYR5). Το γένος *Elphidium*, έχει και αυτό σημαντικό ποσοστό στην πανίδα με μέγιστη τιμή 10,96% και 7 είδη εκ των οποίων σε μεγαλύτερα ποσοστά βρέθηκαν τα *E. advenum* (max 3,42%, MYR1) και *E. crispum* (max 3,42%, MYR1), ενώ με μικρότερα ποσοστά (<2%) ακολουθούν τα *E. macellum*, *E. excavatum*, *E. complanatum*, *E. Fichtelianum* και *E. translucens*. Ακόμα προσδιορίστηκαν τα είδη *Heterolepa dutemplei* (max 6,10%, MYR5) και *Discorbis*

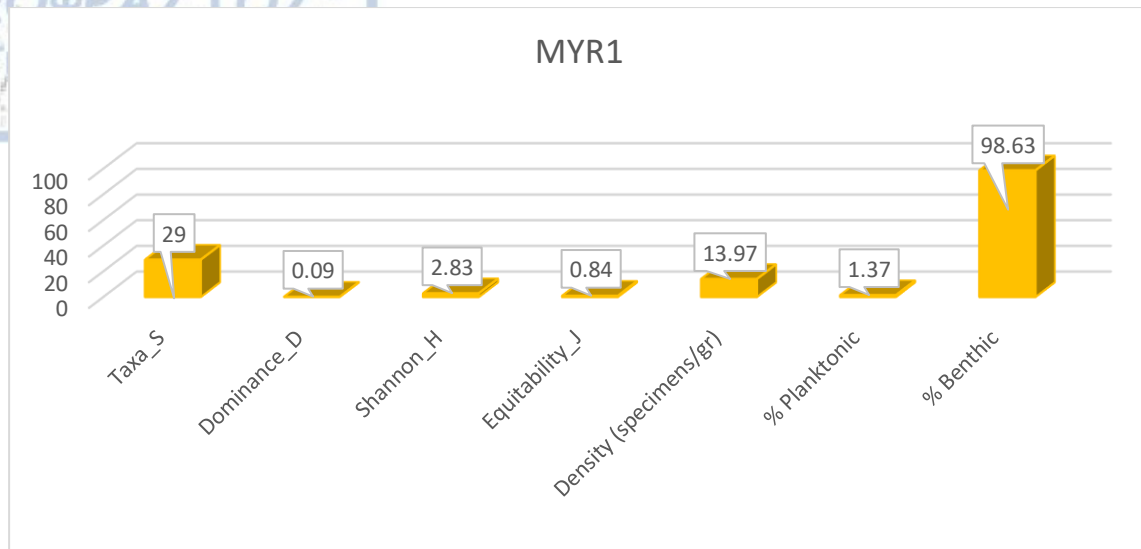
williamsoni (max 3,47%, MYR3). Μεγάλη συμμετοχή στη μικροπανίδα κατέχουν και τα bolivinids/buliminids με κύριους αντιπροσώπους τα είδη *Bolivina spathulata* (max 20,14%, MYR3) *B. dilatata* (max 12,77, MYR6). Με μικρότερη συμμετοχή εμφανίζονται τα συμφυρματοπαγή και τα πορσελανώδη τρηματοφόρα (<1,5%).

Συγκεκριμένα στο ανώτερο δείγμα MYR1 προσδιορίστηκαν 29 είδη, με ποσοστό 98,63% βενθονικών και 1,37% πλαγκτονικών τρηματοφόρων. Το υψηλότερο ποσοστό της πανίδας, κατέχουν τα bolivinids/buliminids με ποσοστό 41,77%, και κυρίαρχους αντιπροσώπους τα είδη *B. spathulata* (12,33%), *B. gibba* (7,53%) και *B. elongata* (6,85%), ενώ ακολουθούν τα rotaliids με ποσοστό 39,73% και κυριότερα είδη τα *A. beccarii* (20,55%) και *Ammonia tepida* (9,59%). Το γένος *Elphidium* εμφανίζει σχετική αφθονία που ξεπερνά το 10%, ενώ κύριοι αντιπρόσωποι αποτέλεσαν τα είδη *E. advenum* και *E. crispum* με ποσοστό > 3% (Εικ. 23).

Επίσης υπολογίστηκε η πανιδική πυκνότητα που ανέρχεται σε 13,97 άτομα/gr, και οι δείκτες ποικιλότητας (Εικ. 24).



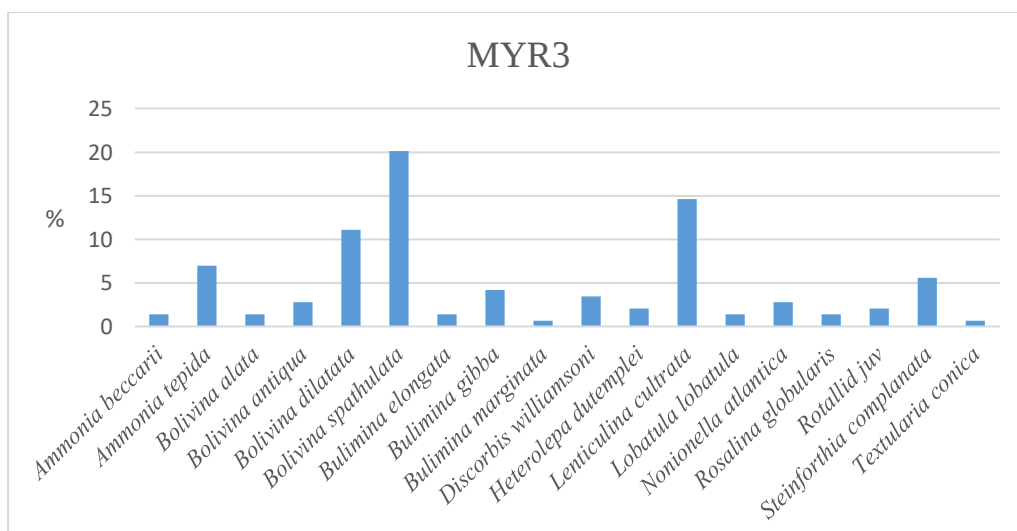
Εικόνα 23. Σχετικές αφθονίες των κύριων ειδών βενθονικών τρηματοφόρων του δείγματος MYR1.



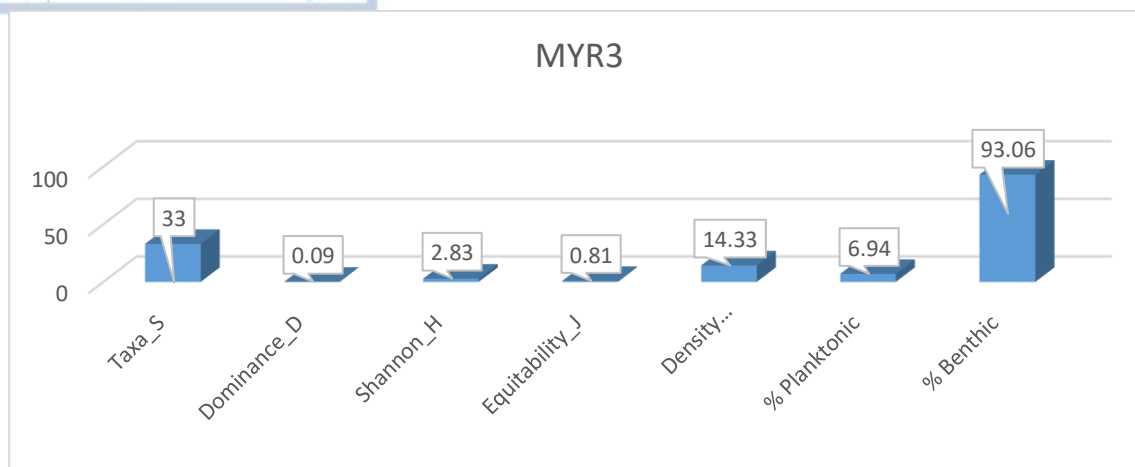
Εικόνα 24. Δείκτες ποικιλότητας, πυκνότητα (αριθμός ατόμων/gr), σχετική αφθονία πλαγκτονικών και βενθονικών τρηματοφόρων (%) του δείγματος MYR1.

Στο επόμενο δείγμα MYR3 προσδιορίστηκαν 33 είδη, με σχετική αφθονία 93,05% βενθονικών και 6,95% πλαγκτονικών τρηματοφόρων. Το υψηλότερο ποσοστό της πανίδας, κατέχουν τα bolivinids/buliminids με ποσοστό 44,44%, και κυρίαρχους αντιπροσώπους τα είδη *B. spathulata* (20,14%), *B. dilatata* (11,11%) και *B. gibba* (4,16%) ενώ ακολουθούν τα rotaliids με ποσοστό 37,5% και κυριότερα είδη τα *L. cultrata* (14,58%), *A. tepida* (6,94%) και *Steintforthia complanata* (5,55%). Επίσης σημαντικό ποσοστό στο δείγμα MYR3 κατέχει το *D. williamsoni* (3,47%), ενώ με σχετική αφθονία <3% τα *Nonionella atlantica* και *H. dutemplei* (Εικ. 25).

Η πανιδική πυκνότητα είναι υψηλότερη από το ανώτερο δείγμα (28,66 άτομα/gr) (Εικ. 26).

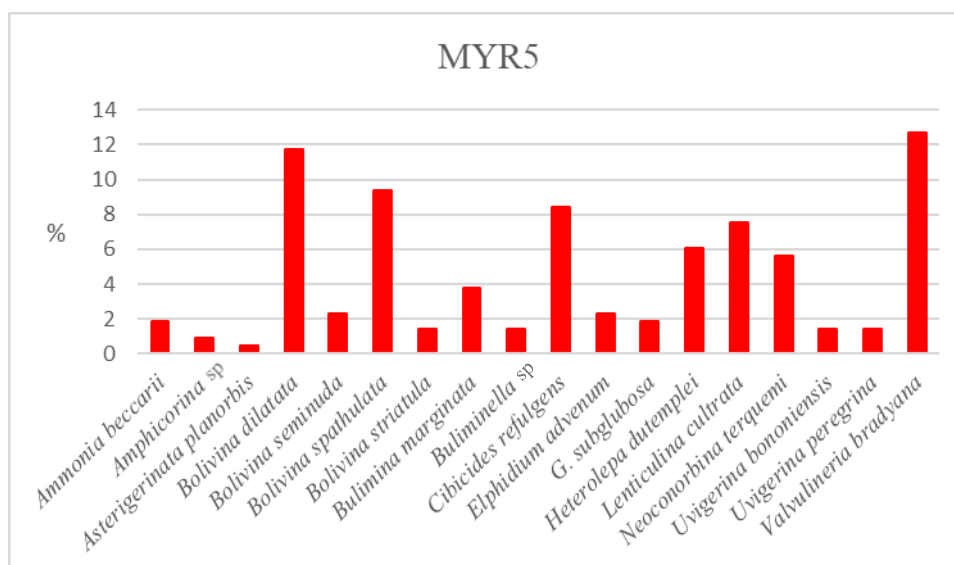


Εικόνα 25. Σχετικές αφθονίες των κύριων ειδών βενθονικών τρηματοφόρων του δείγματος MYR3.

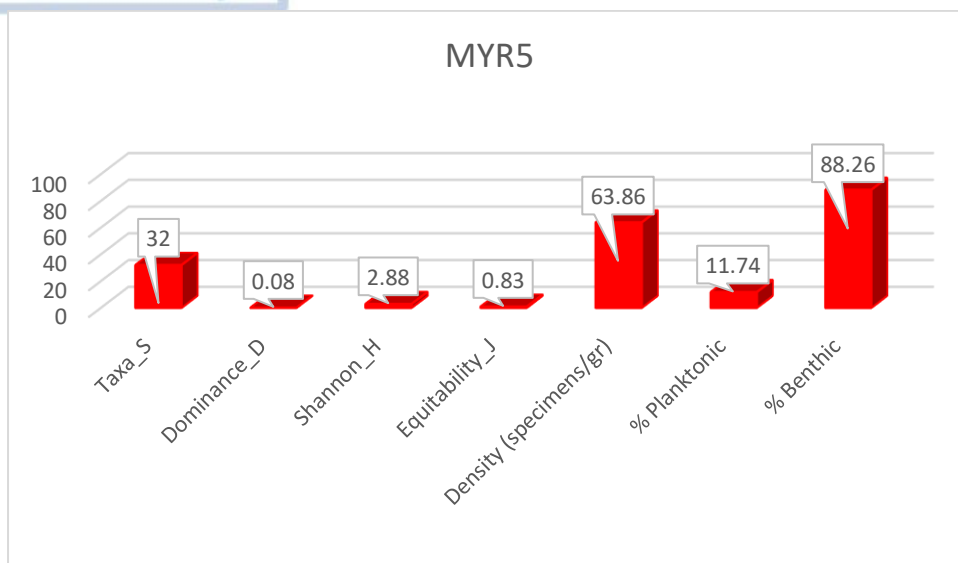


Εικόνα 24. Δείκτες ποικιλότητας, πυκνότητα (αριθμός ατόμων/gr), σχετική αφθονία πλαγκτονικών και βενθονικών τρηματοφόρων (%) του δείγματος MYR3.

Στο δείγμα MYR5 προσδιορίστηκαν 32 είδη τρηματοφόρων, με ποσοστό 88,26% βενθονικών και 11,74% πλαγκτονικών. Το υψηλότερο ποσοστό της πανίδας, κατέχουν τα rotaliids με ποσοστό 45,07%, και κυρίαρχους αντιπροσώπους τα είδη *Valvulineria bradyana* (12,68%), *Cibicides repandus* (8,45%), *L. cultrata* (7,51%) και *H. dutemplei* (6,10%). Ακολουθούν τα bolivinids/buliminids με ποσοστό 35,21% και αφθονότερα είδη τα *B. dilatata* (11,73 %), *B. spathulata* (9,39 %), και *B. marginata* (3,76%). Επίσης με αρκετά σημαντικό ποσοστό σχετικής αφθονίας βρίσκεται το πλαγκτονικό τρηματοφόρο *Globigerina* sp. (11,27%) (Εικ. 27). Στο δείγμα MYR5 η πανιδική πυκνότητα αυξάνεται απότομα σε 63,86 άτομα/gr και υπολογίστηκαν οι δείκτες ποικιλότητας.

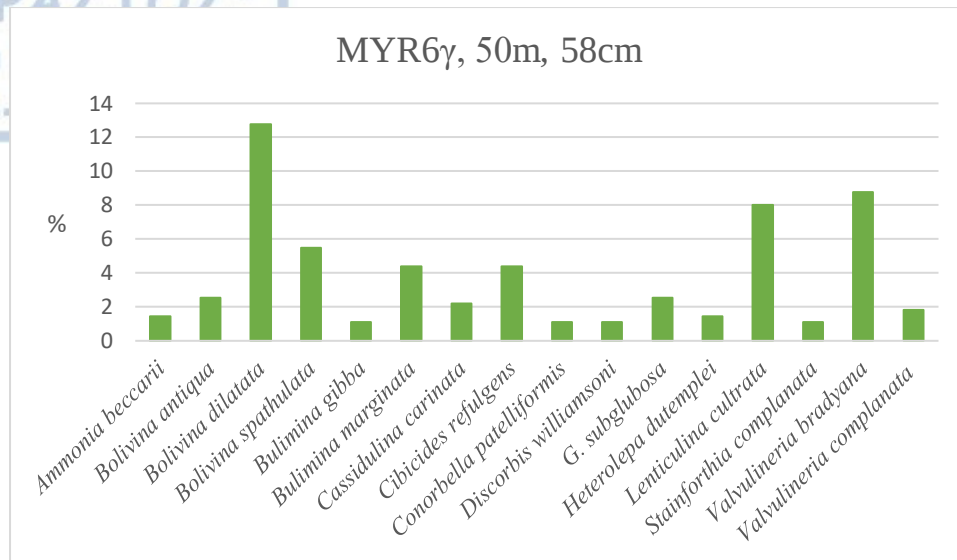


Εικόνα 27. Σχετικές αφθονίες των κύριων ειδών βενθονικών τρηματοφόρων του δείγματος MYR5.

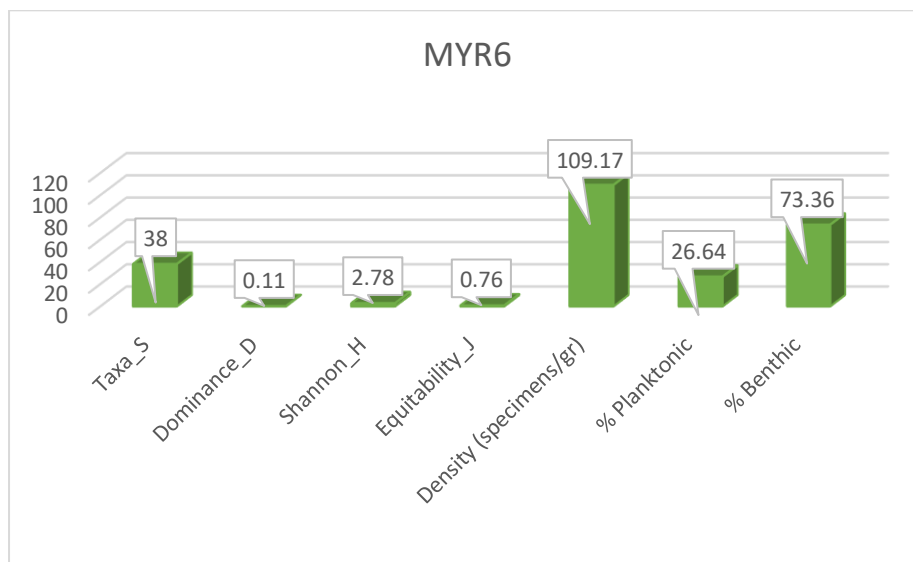


Εικόνα 28. Δείκτες ποικιλότητας, πυκνότητα (αριθμός ατόμων/gr), σχετική αφθονία πλαγκτονικών και βενθονικών τρηματοφόρων (%) του δείγματος MYR3.

Στο τελευταίο δείγμα MYR6 προσδιορίστηκαν 35 είδη τρηματοφόρων, με ποσοστό 73,36% βενθονικών και 26,64% πλαγκτονικών. Παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό τα rotaliids με ποσοστό 37,59%, και αφθονότερα είδη τα *V. bradyana* (8,76%), *L. cultrata* (8,03%) και *Cibicides refulgens* (4,38%). Η επόμενη ομάδα με τη μεγαλύτερη αφθονία είναι bolivinids/buliminids με ποσοστό 28,83% και τα είδη με μεγαλύτερη ποσοστό τα *B. dilatata* (12,77%), *B. spathulata* (5,47%) και *B. marginata* (4,38%). Μεγάλο ποσοστό και στο δείγμα MYR6 κατέχουν τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα με το είδος *Globigerina* sp. να ξεπερνά το 26% (Εικ. 29). Η πανιδική πυκνότητα φτάνει έως 63,86 άτομα/gr στο δείγμα MYR6 (Εικ. 30).

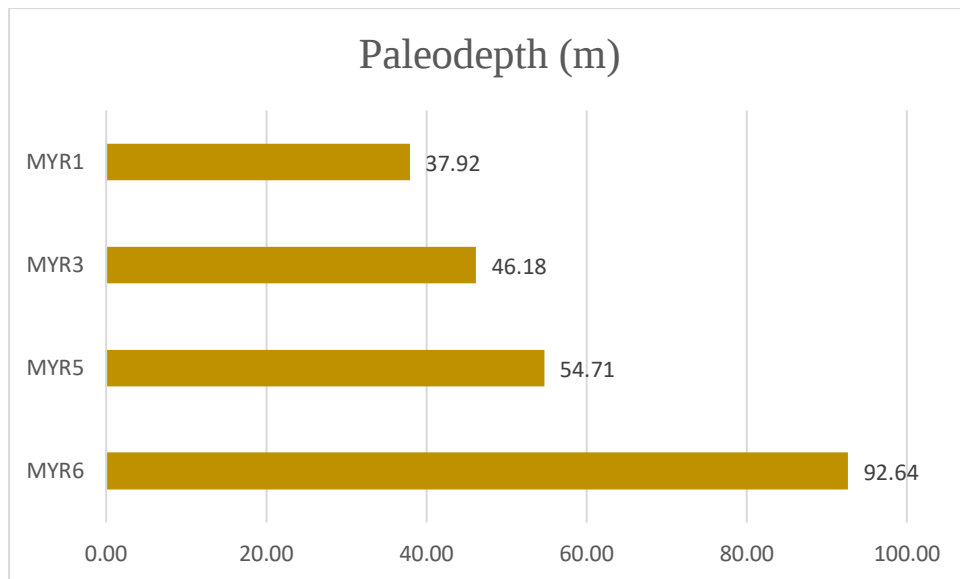


Εικόνα 29. Σχετικές αφθονίες των κύριων ειδών βενθονικών τρηματοφόρων του δείγματος MYR6.



Εικόνα 30. Δείκτες ποικιλότητας, πυκνότητα (αριθμός ατόμων/gr), σχετική αφθονία πλαγκτονικών και βενθονικών τρηματοφόρων (%) του δείγματος MYR6.

Στη συνέχεια σύμφωνα με τον αλγόριθμο των Van der Zwaan et al. (1990), $Depth (m) = e^{3.58718 + (0.03534 * \%P)}$, όπου $\%P = 100 * P / (P + B)$, υπολογίστηκε για κάθε δείγμα ξεχωριστά το παλαιοβάθος του θαλάσσιου πυθμένα (Εικ. 31).



Εικόνα 31. Το παλαιοβάθος των δειγμάτων της Τομής MYR.

6. Συζήτηση

Τα τρηματοφόρα αποτελούν τους καταλληλότερους δείκτες για τη λεπτομερή ανασύσταση των παλαιοπεριβαλλοντικών συνθηκών. Τα τρηματοφόρα αποκρίνονται άμεσα στις περιβαλλοντικές αλλαγές (Goldstein, 1999), καθώς οι μικροί τους αναπαραγωγικοί κύκλοι τα καθιστούν ευαίσθητα στις διαφοροποιήσεις των περιβαλλοντικών παραμέτρων (Murray, 2006). Πολλοί παράγοντες λαμβάνονται υπόψη προκειμένου να εξηγηθεί ο βιότοπος των τρηματοφόρων, όπως η διαθεσιμότητα τροφής, και οξυγόνου, η σταθερότητα του οικοσυστήματος, η βιοαναμόχλευση και ο ανταγωνισμός μεταξύ των ατόμων της μικροπανίδας (Jorissen et al., 1995). Ως εκ τούτου οι διαφοροποιήσεις στις συναθροίσεις των τρηματοφόρων και στην ποικιλότητα των ειδών παρέχουν στοιχεία για τις περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς επίσης συγκεκριμένα είδη μπορούν να αντανakλούν την κατάσταση του οικοσυστήματος (π.χ., Boltovskoy et al., 1991; Geslin et al., 1998; Yanko et al., 1999; Debenay et al., 2001).

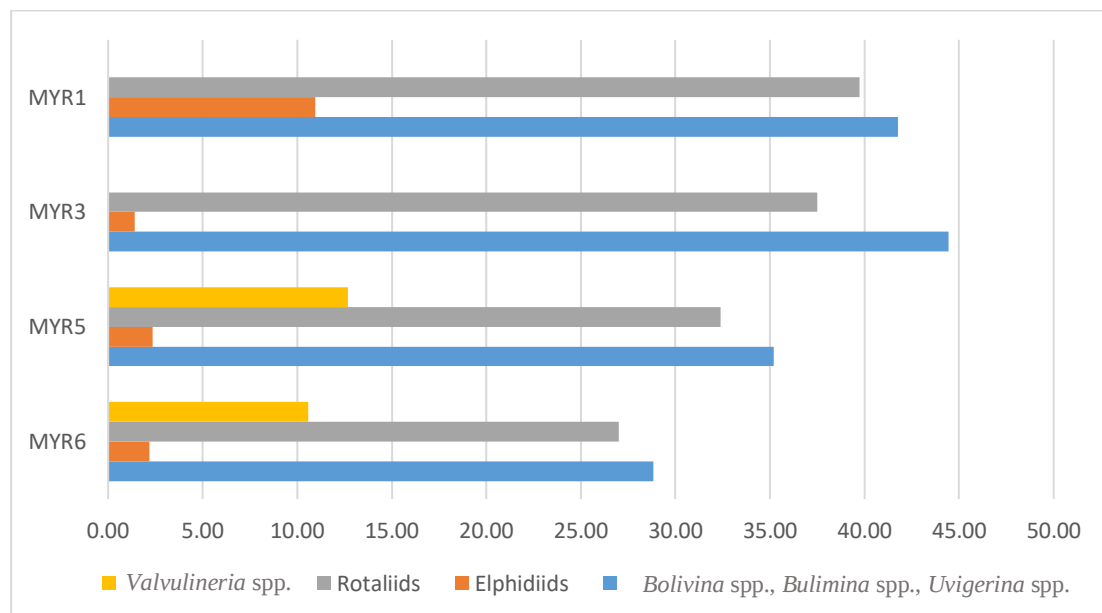
Σε διάφορες μελέτες έχουν βρεθεί ενδοπανιδικά είδη που έχουν χαρακτηριστεί ως ομορτουριστικά (r-selected species), και έχουν συσχετιστεί με τις συνθήκες οξυγόνωσης του περιβάλλοντος (Alve and Bernhard, 1995; Koutsoukos et al., 1990; Jorissen et al., 1998). Συγκεκριμένα είναι γνωστά ως δείκτες περιβαλλοντικής πίεσης (stress markers), και τα αποτελούν κυρίως τα είδη των *Bolivina* spp., *Bulimina* spp., *Uvigerina* spp., *Valvulineria* spp., *Cancris* spp., *Stainforthia* spp. (Rogerson et al., 2006). Υπάρχουν όμως και τα επιπανιδικά είδη, όπως τα μικρά επιφυτικά rotaliids που παρουσιάζουν μεγάλη εξάπλωση στη Μεσόγειο και χαρακτηρίζουν ρηχά, θαλάσσια περιβάλλοντα με καλή οξυγόνωση, βλάστηση και αμμώδεις πυθμένες (Jorissen, 1987; Langer, 1988; Barras et al., 2014; Sgarella and Moncharmont Zei, 1993; Dimiza et al., 2016).

Συγκεκριμένα στο ανώτερο δείγμα MYR1 τα είδη του *Ammonia* spp. που αποτελούν ευρύαλα είδη που κυριαρχούν σε παρακτια και ρηχά θαλάσσια περιβάλλοντα (Jorissen, 1988; Almogi-Labin et al., 1992; Coccioni, 2000; Koukousioura et al., 2012), κυριαρχούν με υψηλές τιμές (30,13%), ενώ μειώνονται δραματικά και σχεδόν εξαφανίζονται στα κατώτερα στρώματα (Εικ. 32). Αντίστοιχη κατανομή παρουσιάζουν τα είδη του *Elphidium* spp., με υψηλές τιμές που φθίνουν προς τα κατώτερα δείγματα. Τα είδη του *Elphidium* spp. μπορεί να είναι επιπανιδικά ή ενδοπανιδικά και συναντώνται στην επιπαλρροιακή έως υποπαλρροιακή ζώνη, σε εκβολές ποταμών, λιμνοθάλασσες και στην ηπειρωτική κρηπίδα, σε ιζήματα με μεγάλη διαφοροποίηση των ποσοστών άμμου

και ύλος/αργίλου (Alve and Murray, 1999; Murray, 2006). Παρόμοια κατανομή παρουσιάζουν τα rotaliids, με τις τιμές τους να ελαττώνονται στα κατώτερα στρώματα.

Αντίθετα το είδος *Valvulineria* spp. εμφανίζεται με υψηλά ποσοστά στα κατώτερα στρώματα ενώ στα ανώτερα απουσιάζει (Εικ. 31). Συγκεκριμένα το είδος *Valvulineria complanata* που βρέθηκε στα δείγματα που μελετήθηκαν, υποδηλώνει περιβάλλοντα με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη που κυρίως μεταφέρεται από τη δράση ποταμών και οδηγεί σε χαμηλής οξυγόνωσης θαλάσσιους πυθμένες (Van der Zwaan and Jorissen, 1990).

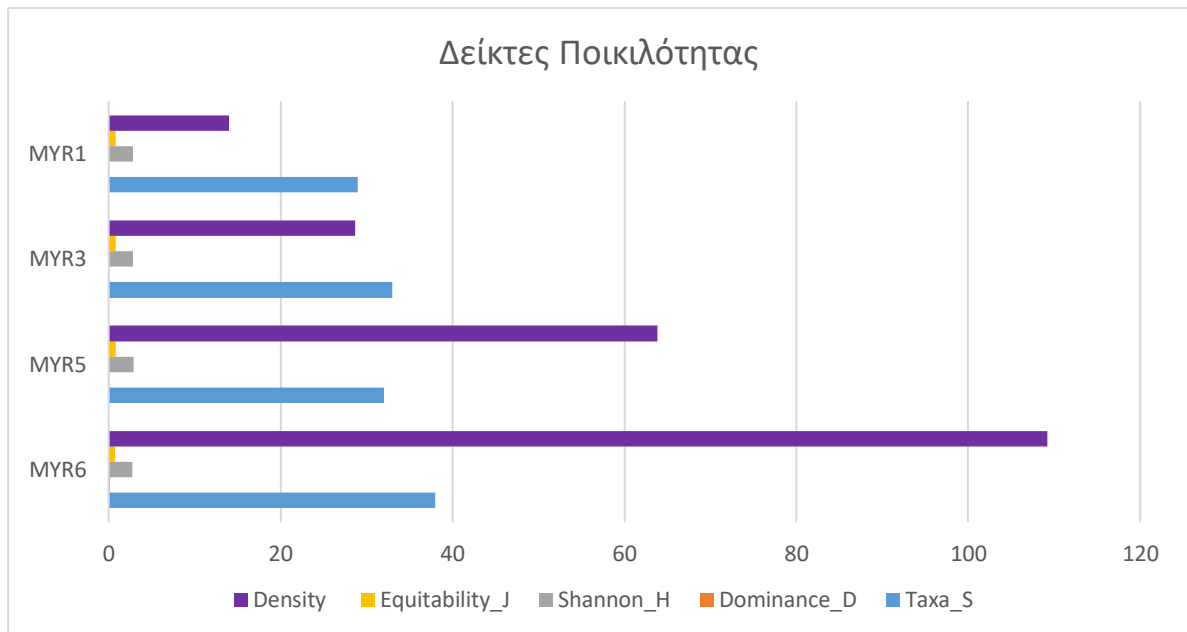
Τα είδη *Bolivina* spp., *Bulimina* spp., *Uvigerina* spp., που υποδηλώνουν υψηλή παραγωγικότητα/χαμηλή οξυγόνωση στο περιβάλλον, διατηρούν υψηλές τιμές σε όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν (Εικ. 32).



Εικόνα 33. Οι κυριότερες ομάδες βενθονικών τρηματοφόρων της τομής MYR.

Η πυκνότητα των ατόμων τρηματοφόρων αυξάνεται σταθερά προς τα κατώτερα στρώματα, όπως και ο αριθμός των ειδών. Οι δείκτες ποικιλότητας Shannon H και ομοιομορφίας (Equitability) παρουσιάζουν σταθερά υψηλές τιμές με μικρές διαφοροποιήσεις ενώ η επικράτηση (Dominance) λαμβάνει πολύ μικρές τιμές σε όλα τα δείγματα (Εικ. 33). Σύμφωνα με τα παραπάνω φαίνεται ότι υπάρχει η σταδιακή μετάβαση από συνθήκες που υποδηλώνουν σταθερότητα προς τα ανώτερα στρώματα, πιθανά υψηλότερης ενέργειας.

Στα δείγματα προσδιορίστηκε το παλαιοβάθος που μειώνεται από τα κατώτερα δείγματα προς τα ανώτερα. Οι τιμές του παλαιοβάθους κυμαίνονται από τα περίπου 93 m και μειώνονται μέχρι τα 38 m (Εικ. 31). Σύμφωνα με τον Murray (1976) σχετικά με τον διαχωρισμό των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και τις υπολογισμένες τιμές του % P για τα μελετηθέντα δείγματα, το κατώτερο δείγμα ανήκει στη μέση ηπειρωτική κρηπίδα (20-50%P, middle shelf) ενώ τα υπόλοιπα ανώτερα δείγματα ανήκουν στην εσωτερική ηπειρωτική κρηπίδα (<20%P, inner shelf).



Εικόνα 34. Η πυκνότητα και οι δείκτες ποικιλότητας στην τομή MYR.

Στην τομή της περιοχή της Μυρρίνης, τα ανώτερα δείγματα παρουσίασαν μεγάλη συγκέντρωση σε επιπανιδικά είδη κυρίως *Ammonia* spp. και *Elphidium* spp. που διαβιούν κυρίως σε ρηχά θαλάσσια αμμώδη περιβάλλοντα όσο και ενδοπανιδικά *Bolivina* spp., *Bulimina* spp., *Uvigerina* spp. που διαβιούν κυρίως σε ιλυώδους σύστασης πυθμένες. Τα ρηχά ύδατα διαβίωσης επιβεβαιώθηκαν και από τον προσδιορισμό του παλαιοβάθους που δείχνουν ένα περιβάλλον εσωτερικής κρηπίδας (inner shelf), από περίπου 35 m έως 55 m βάθος. Πρόκειται για ένα ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον υψηλής ενέργειας, καλής οξυγόνωσης με αμμώδη πυθμένα και βλάστηση όπως μαρτυρούν τα επιφυτικά είδη.

Στα κατώτερα στρώματα της τομής ξεχωρίζει η εμφάνιση του είδους *Valvulineria complanata* και τα σταθερά υψηλά ποσοστά των *Bolivina* spp., *Bulimina* spp. και *Uvigerina* spp., είδη που διαβιούν σε περιβάλλοντα χαμηλής οξυγόνωσης και πλούσια σε

7. Συμπεράσματα

Μέσω της μελέτης των βενθονικών τρηματοφόρων στην περιοχή της Μυρρίνης προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Προσδιορίστηκαν 64 είδη βενθονικών τρηματοφόρων που ανήκουν σε 39 γένη, καθώς και 3 γένη πλαγκτονικών τρηματοφόρων με 3 είδη.
- Προσδιορίστηκε επίσης η πανιδική πυκνότητα των τρηματοφόρων, και οι δείκτες ποικιλότητας, καθώς και η σχετική αφθονία και κατανομή τους στην τομή MYR.
- Ο αριθμός των επιπανιδικών ειδών τρηματοφόρων *Ammonia* spp. και *Elphidium* spp. είναι υψηλός στα ανώτερα δείγματα και έπειτα φθίνει σταδιακά. Τα ενδοπανιδικά είδη *Bolivina* spp., *Bulimina* spp., *Uvigerina* spp. παρουσιάζουν μεγάλη σχετική αφθονία σε όλα τα δείγματα ενώ τα πλαγκτονικά είδη *Globigerina* sp., *Orbulina* sp., *Globigerinoides* sp. εμφανίζονται με μεγάλη σχετική αφθονία μόνο στα κατώτερα δείγματα. Το είδος του *Valvulineria* spp., που χαρακτηρίζεται ως stress tolerant, συγκεντρώνει υψηλές τιμές στα κατώτερα δείγματα.
- Στα Πλειοκαινικά ιζήματα που μελετήθηκαν στην περιοχή της Μυρρίνης φαίνεται ότι η περιοχή από τα ανώτερα δείγματα προς τα κατώτερα παρουσιάζει μια μείωση της ενέργειας του περιβάλλοντος, την μετάπτωση από ρηχά καλής οξυγόνωσης και βλάστησης θαλάσσια ύδατα σε βαθύτερα ύδατα, πλούσια σε οργανικό υλικό και πιθανά μειωμένο οξυγόνο. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη σταδιακή αύξηση στη συγκέντρωση ιλύος και αργίλου στα κατώτερα δείγματα (>90 m βάθος, 20-50%P, μέση ηπειρωτική κρηπίδα, middle shelf) σε σχέση με την αμμώδη σύσταση των ανώτερων δειγμάτων (~35-55 m βάθος, <20%P, εσωτερική ηπειρωτική κρηπίδα, inner shelf).
- Τα Μειοκαινικά μελετηθέντα δείγματα δεν περιείχαν ίχνος μικροπανίδας, αλλά μόνο θραύσματα μαλακίων οπότε δεν ήταν δυνατό να προσδιοριστεί με ακρίβεια το όριο Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου στην περιοχή. Πιθανά ανήκει σε στρώμα της Παρατηθούς θάλασσας ή σε ένα μεταβατικό στρώμα από τα υφάλμυρα ιζήματα της Παρατηθούς στα Πλειοκαινικά θαλάσσια ιζήματα.
- Τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας συμβάλλουν στην ευρύτερη μελέτη της περιοχής του Στρυμόνα και συγκεκριμένα την περιοχής της Μυρρίνης και στην κατανόηση των περιβαλλοντικών συνθηκών κατά την γεωλογική περίοδο του Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου.

- Almogi-Labin, A., Perelis-Grossovicz, L. and Raab, M., 1992. Living *Ammonia* from a hypersaline inland pool, Dead Sea area, Israel. *Journal of Foraminiferal Research*, 22, 257-266.
- Alve, E. and Bernhard, J. M., 1995. Vertical migratory response of benthic foraminifera to controlled oxygen concentrations in an experimental mesocosm, *Marine Ecology Progress Series*, 11 (6), 137-151.
- Alve, E. and Murray, J. W., 1999. Marginal marine environments of the Skagerrak and Kattegat: a baseline study of living (stained) benthic foraminiferal ecology. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 146, 171-193.
- Barras, C., Jorissen, F. J., Labruno, C., Andral, B. and Boissery, P., 2014. Live benthic foraminiferal faunas from the French mediterranean coast: towards a new biotic index of environmental quality. *Ecol. Ind.*, 36, 719-743.
- Boltovskoy, E., Sott, D. B. and Mediolli, E. S., 1991. Morphological variations of benthic foraminiferal tests in response to changes in ecological parameters: a review: *Journal of Paleontology*, 65, 175-185.
- Burke, J. E. and Hull, P. M., 2017. Effect of gross morphology on modern planktonic foraminiferal test strength under compression. *Journal of Micropalaeontology*, 36(2), 174-182.
- Cimerman, F. and Langer, M. R., 1991, Mediterranean Foraminifera, Slovenska Akademija Znanosti, Ljubljana, pp. 118.
- Coccioni, R., 2000. Benthic foraminifera as bioindicators of heavy metal pollution –a case study from the Goro Lagoon (Italy). In: Martin, R.E. (Ed.), *Environmental Micropaleontology: The Application of Microfossils to Environmental Geology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 71–103
- Debenay, J. P., Tsakirides, E., Soulard, R. and Grossel, H., 2001. Factors determining the distribution of foraminiferal assemblages in Port Joinville Harbor (Ile d' Yeu, France): the influence of pollution. *Marine Micropaleontology*, 43, 75-118.
- Dimiza, M. D., Koukousioura, O., Triantaphyllou, M. V. and Dermitzakis, M. D., 2016. Live and dead benthic foraminiferal assemblages from coastal environments of the Aegean Sea (Greece): Distribution and diversity. *Revue de Micropaléontologie*, 59, 19-32.
- Geslin, E., Debenay, J. P. and Lesourd, M., 1998. Abnormal wall textures and test deformation in *Ammonia beccarii* (hyaline foraminifer): *Journal of Foraminiferal Research*, 28, 148-156.
- Goldstein S., 1999, Foraminifera: A Biological Overview. In: Sen Gupta BK, editor. *Modern Foraminifera*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishing, 37-56.
- Gramann, F. and Kockel, F., 1969. Das Neogen im Strimonbecken (Griechisch-Ostmazedonien). Teil I: Lithologie, Stratigraphie und Paläogeographie. *Geologisches Jahrbuch*, 87, 445-484.
- Hammer, O., Harper, D. A. T. and Ryan, P.D., 2001. Past Paleontological statistics software. Package for education and data analysis, *Paleontologia Electronica*.
- Hottinger, L., Halicz, E. and Reiss, Z., 1993. Recent Foraminiferida from the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Slovenska Akademija Znanosti, Ljubljana*, 32, 176-230.

- Jorissen, F. J., 1987. The distribution of benthic foraminifera in the Adriatic Sea. *Marine Micropaleontology*, 12, 21-48.
- Jorissen, F. J., 1988. Benthic foraminifera from the Adriatic Sea: principles of phenotypic variation. *Utrecht Micropaleontological Bulletin*, 37, 1-174.
- Jorissen, F. J., de Stigter, H. C. and Widmark, J. G. V., 1995. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats, *Marine Micropaleontology*, 26, 3-15.
- Jorissen, F. J., Wittling, I., Peypouquet, J. P., Rabouille, C. and Relexans, J. C., 1998. Live benthic foraminiferal faunas off Cap Blanc, NW-Africa: community structure and microhabitats. *Deep-Sea Research I*, 45, 2157-2188.
- Kaminski M. A., Waśkowska, A., Chan, S., 2016. *Haplophragmoides arcticus* n.sp.—a new species from the Pleistocene of the Central Arctic Ocean. *Micropaleontology*, 62(6), 509–513.
- Karakitsios, V., Cornée, J. J., Tsourou, Th., Moissette, P., Kontakiotis, G., Agiadi, K., Manoutsoglou, E., Triantaphyllou, M., Koskeridou, E., Drinia, H. and Roussos, D., 2017. Messinian salinity crisis record under strong freshwater input in marginal, intermediate, and deep environments: The case of the North Aegean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 485(1), 316-335.
- Kilias, A., Falalakis, G. and Mountrakis, D., 1999. Cretaceous-Tertiary structures and kinematics of the Serbomacedonian metamorphic rocks and their relation to the exhumation of the Hellenic hinterland (Macedonia, Greece). *International Journal of Earth Sciences*, 88, 513-531.
- Koukousioura, O., Triantaphyllou, M. V., Dimiza, M. D., Pavlopoulos, K., Syrides, G. and Vouvalidis, K., 2012. Benthic foraminiferal evidence and Paleoenvironmental evolution of Holocene coastal plains in the Aegean Sea (Greece). *Quaternary International*, 261, 105-117.
- Koutsoukos, E. A. M., Leary, P. N., Hart and M. B., 1990. Latest Cenomanian - earliest Turonian low oxygen tolerant benthonic foraminifera: a case-study from the Sergipe basin (N.E. Brazil) and the western Anglo-Paris basin, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 77, 145-177.
- Kricher, J. C., 1972. Bird species diversity: The effect of species richness and equitability on the diversity index. *Ecology*, 53(2), 278-282.
- Langer, M. R., 1988. Recent epiphytic foraminifera from Vulcano (Mediterranean Sea). *Revue de Paleobiologie*, 2 (Special Volume), 827-832.
- Loeblich, A. R. and Tappan, H., 1987. Foraminiferal Genera and Their Classification. vol. 2, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Meriç, E., Yokes, M. B., Avsar, N., Kiyak, N. G., Oner, E., Nazik, A., Demirtash, E., Dinçer, F. and Oztürk, M. Z., 2015. Did *Amphistegina lobifera* Larsen reach the Mediterranean via the Suez Canal?. *Quaternary International*, 401, 91-98.
- Murray, J. W. 1976. Comparative studies of living and dead benthic foraminiferal distributions. In: Hedley R.H., Adams C.G. (Eds.), Foraminifera. Academic Press.
- Valchev, B. 2003. On the potential of Small Benthic Foraminifera as Palaeoecological Indicators: Recent Advances. Annual of University of Mining and Geology, 46, *Geology and Geophysics*, 189-194.
- Murray, J., 2006 Ecology and Applications of Benthic Foraminifera, *Cambridge University Press*, New York.

- Murray, J. W., 1991. Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. 397 pp. Longman Harlow.
- Popov, S. V., Shcherba I.G., Ilyina, L. B., Nevesskaya, L. A., Paramonova N. P., Khondkarian, S. O. and Magyard, I., 2006. Late Miocene to Pliocene palaeogeography of the Paratethys and its relation to the Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 238, 91-106.
- Rasmussen, T. L., 2005. Systematic paleontology and ecology of benthic foraminifera from the Plio-Pleistocene Kallithea Bay section, Rhodes, Greece. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication* 39, 53-157.
- Rogerson, M., Kouwenhoven, T. J., Van Der Zwaan, G. J., O'Neill, B. J., Van Der Zwan, C. J., Postma, G., Kleverlaan, K. and Tijbosch, H., 2006. Benthic foraminifera of a Miocene canyon and fan, *Marine Micropalaeontology*, 60, 295-318.
- Rupp, C., 1986. Paläoökologie der Foraminiferen in der Sandschalerzone (Badenien, Miozän) des Wiener, Wien, *Beiträge zur Paläontologie Österreich*, 12, 1-180.
- Sgarrella, F. and Moncharmont Zei, M., 1993. Benthic foraminifera in the Gulf of Naples (Italy): systematics and autoecology. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 32, 145-264.
- Shannon, C. E., Weaver, W., 1963. The mathematical theory of communication, University of Illinois Press, Urbana, Illinois.
- Snel, E., Mărunțeanu, M. and Meulenkamp, J. E., 2006. Calcareous nannofossil biostratigraphy and magnetostratigraphy of the Upper Miocene and Lower Pliocene of the Northern Aegean (Orphanic Gulf-Strimon Basin areas), Greece. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 238, 125-150.
- Syrides, G., 1998. Paratethyan Mollusc faunas from the Neogene of Macedonia and Thrace, Northern Greece. *Romanian Journal of Stratigraphy*, 78, 171-180.
- Syrides, G., 2000. Neogene marine cycles in Strymon basin, Macedonia, Greece, *Geological Survey of Greece, Special. Publications*, 9, 217-225.
- Triantaphyllou, M. V., Gogou, A., Dimiza, M. D., Kostopoulou, S., Parinos, C., Roussakis, G., Geraga, M., et al., 2016. Holocene Climatic Optimum centennial-scale paleoceanography in the NE Aegean (Mediterranean Sea). *Geo - Mar. Lett.* 36, 51-66.
- Triantaphyllou, M. V., Kouli, K., Tsourou, T., Koukousioura, O., Pavlopoulos, K., Dermitzakis, M. D., 2010a. Paleoenvironmental changes since 3000 BC in the coastal marsh of Vravron. *Quaternary International* 216, 14-22.
- Van der Zwaan, G. J., Jorissen, F. J. and De Stigter, H. C., 1990. The depth dependency of planktonic/benthonic foraminiferal ratios: constraints and applications. *Marine Geology*, 95, 1-16.
- Vasiliev, J., Mezger, E. M., Lugli, S., Reichert, G., Manzi, V. and Roveri, M., 2017. How dry was the Mediterranean during the Messinian salinity crisis?, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 471, 120-133.
- Weinkauf, M. F. G., Kunze, J. G., Waniek, J. J. and Kučera, M., 2016. Seasonal Variation in Shell Calcification of Planktonic Foraminifera in the NE Atlantic Reveals Species-Specific Response to Temperature, Productivity and Optimum Growth Conditions. *PLoS ONE*, 11(2).
- Yanko, V., Arnold, A. J. and Parker, W. C., 1999. Effects of marine pollution on benthic foraminifera. In: *Modern Foraminifera*, B.K. Sen Gupta, Boston, MA, Kluwer Academic Publishers, 217-235.



Ελληνική βιβλιογραφία

- Ι.Γ.Μ.Ε., 1970. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Κλίμακα: 1:50.000, Φύλλο Ροδολίβος, Ξύδας Σ., Αθήνα.
- Κουκουσιούρα, Ο., 2012. Τα Βενθονικά τρηματοφόρα ως δείκτες περιβαλλοντικής υγείας των ολοκαινικών παράκτιων οικοσυστημάτων: οι περιπτώσεις του Ευβοϊκού, Θερμαϊκού κόλπου και των ακτών της Ξάνθης, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), σελ. 265.
- Μουντράκης, Δ. Μ., 2010. Γεωλογία και Γεωτεκτονική της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη, *University Studio Press*, σελ. 373.
- Παυλίδης, Σ. Β., 2016. Εισαγωγή στη Νεοτεκτονική, Μορφοτεκτονική Παλαιοσεισμολογία και Αρχαιοσεισμολογία, Θεσσαλονίκη, *University Studio Press*, σελ. 473.
- Τριανταφύλλου, Μ. Β. και Δήμιζα, Μ. Δ., 2012. Μικροπαλαιοντολογία και Γεωπεριβάλλον, Αθήνα, *Εκδοτικός Όμιλος Ίων*, σελ. 168.