



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΔΑΝΑΗ ΜΑΝΤΖΙΟΥ-ΤΡΑΓΑΚΗ

Η ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΣΤΙΣ
ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ: Η
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ ΤΟΥ Ν. ΡΟΔΟΠΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





ΔΑΝΑΗ ΜΑΝΤΖΙΟΥ-ΤΡΑΓΑΚΗ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5380

Η ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΣΤΙΣ ΑΛΛΑΓΕΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ ΤΟΥ Ν.
ΡΟΔΟΠΗΣ

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

Επιβλέπουσα

Δρ. Κουκουσιούρα Όλγα, ΕΔΙΠ

© Δανάη Μάντζιου-Τραγάκη, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Η ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΣΤΙΣ ΑΛΛΑΓΕΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ Ν. ΡΟΔΟΠΗΣ
Διπλωματική Εργασία

© Danai Mantziou-Tragaki, School of Geology, Dept. of Geology, 2020
All rights reserved.

BENTHIC FORAMINIFERA RESPONSE TO THE ENVIRONMENTAL
VARIABLES: CASE STUDY THE COASTS OF THE RHODOPE DISTRICT–
Bachelor Thesis



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: Elphidium crispum (φωτ. Βάσω Δήμου, edited by Δανάη Ιωαννίδου)



Πρόλογος

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών μου σπουδών, στο Τμήμα Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών του Α.Π.Θ. Σκοπός της είναι η απόκριση κι η κατανομή των βενθονικών τρηματοφόρων, σε διαφορετικές περιβαλλοντικές μεταβλητές.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα μου Δρ. Κουκουσιούρα Όλγα, Ε.ΔΙ.Π. του Τμήματος Γεωλογίας, για την υπομονή της και την καθοδήγησή της σε αυτό το εγχείρημα, καθώς και για τις γνώσεις που μου μετέδωσε πάνω στο αντικείμενο. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Βασιλική-Γρηγορία Δήμου για τις υποδείξεις της κατά τη διάρκεια της εργαστηριακής επεξεργασίας, αλλά και για τη βοήθειά της με τη λήψη φωτογραφιών των δειγμάτων, από το στερεοσκόπιο. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την καλή μου φίλη και γραφίστρια, Δανάη Ιωαννίδου η οποία με βοήθησε με την επεξεργασία των εικόνων και μου κέρδισε χρόνο και μου πρόσφερε μέσα που δε διαθέτω. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο τον κοντινό μου περίγυρο για την κατανόηση, την ανοχή και την υπομονή που έδειξε κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας.



Περιεχόμενα

Περίληψη.....	7
Abstract.....	8
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	9
Κεφάλαιο 2: Αντικείμενο Μελέτης.....	10
Κεφάλαιο 3: Περιοχή Μελέτης.....	14
Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία.....	17
4.1 Δειγματοληψία.....	17
4.2 Εργαστηριακή Επεξεργασία.....	20
4.3 Στατιστική Επεξεργασία.....	21
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα.....	23
Κεφάλαιο 6: Συζήτηση.....	29
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα.....	32
Βιβλιογραφία.....	33



Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο μελέτης, την απόκριση των βενθονικών τρηματοφόρων σε σχέση με τις περιβαλλοντικές μεταβλητές, στην περιοχή των ακτών του Ν. Ροδόπης. Η παρούσα περιοχή είναι ένα καλό παράδειγμα για να εξεταστούν διαφορετικές συνθήκες διαβίωσης για τα τρηματοφόρα, γιατί εκτός από τη θάλασσα του Θρακικού πελάγους, περιλαμβάνει και μια σειρά από λιμνοθάλασσες που επικοινωνούν με αυτήν. Άρα σε πολύ κοντινές θέσεις υπάρχει μεγάλη ποικιλομορφία στα περιβάλλοντα, συνεπώς και στις αντίστοιχες βιοκοινωνίες. Στην ευρύτερη περιοχή επίσης, εκπονούνται έρευνες σε Ολοκαινικά ιζήματα για την αναπαράσταση του Παλαιοπεριβάλλοντος και την αλλαγή της ακτογραμμής βάσει των βιοδεικτών. Η παρούσα εργασία θα μπορούσε να συμβάλει στην έρευνα για τη γεωλογική εξέλιξη της περιοχής.

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε τον Αύγουστο του 2014 από πέντε σταθμούς. Τρεις που βρίσκονται στη λιμνοθάλασσα του Έλους και δύο που βρίσκονται στην παραλία της Χρυσοφόρας. Σε κάθε σταθμό για κάθε δειγματοληψία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των περιβαλλοντικών μεταβλητών (θερμοκρασία, pH, αλατότητα και πυκνότητα). Αφού έγινε επεξεργασία και προετοιμασία των δειγμάτων, με τη βοήθεια στερεοσκοπίου συλλέχθηκαν, καταμετρήθηκαν και προσδιορίστηκαν οι σχετικές αφθονίες των συναθροίσεων των βενθονικών τρηματοφόρων. Έγινε στατιστική επεξεργασία και κατασκευάστηκαν διαγράμματα με τους δείκτες ποικιλότητας αλλά και δείκτες βασισμένους σε τρηματοφόρα.

Η μικροπανίδα των βενθονικών τρηματοφόρων στη λιμνοθάλασσα, ήταν τυπική μικροπανίδα έντονης περιβαλλοντικής πίεσης και προσομοίαζε αρκετές μικροπανίδες ανά τον κόσμο σε υφάλμυρα ύδατα. Αντίθετα η μικροπανίδα της θάλασσας ήταν αρκετά διαφορετική, αν και με λιγότερα είδη σε σύγκριση με άλλες περιοχές του Β. Αιγαίου, αλλά αρκετά πιο πλούσια σε σχέση με την μικροπανίδα της λιμνοθάλασσας. Τέλος, φάνηκε πως η μικροπανίδα της λιμνοθάλασσας μοιάζει αρκετά με αυτή Ολοκαινικών ιζημάτων της ευρύτερης περιοχής.



Abstract

The current thesis has as a main goal the response of benthic foraminifera, in relation to the environmental variables in the coastal area of Rhodope. This area is an excellent study case in order to examine different living conditions for the foraminifera, because it consists of both the Thracian Sea and various semi-closed lagoons. As a result, there is a huge variety in environmental conditions, thus and to the microfauna. Also, in the broader area of Rhodope, a lot of researches are conducted based on bioindicators in the Holocene sediments, in order to understand the changes of the coastline through time. This research could possibly contribute to the understanding of geological evolution of the area.

The sampling had been conducted, in August of 2014. The samples were collected from five stations, of which three were in the Elos lagoon and two were in the Chrysofora beach. The environmental parameters (temperature, pH, salinity and density) were measured, in every station. After the processing and the preparation of the samples, the foraminifera were collected, counted and identified with the help of the stereoscope. The relative abundances of the foraminifera were calculated, and a statistical analysis was held, in order to create diagrams with the diversity indices and some indices, which are special for foraminifera.

In the lagoon, the microfauna of benthic foraminifera was a typical of an environment with high stressful conditions, thus, it resembled a lot of other microfaunas through the world, with low salinity waters. In contrast with the microfauna of the lagoon, the microfauna of the sea was remarkably different, being much more diversified, despite containing less species than the typical average microfauna of N. Aegean Sea. Finally, the microfauna of the lagoon resemble the corresponding microfaunas of Holocene sediments in the broader area.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες οι θαλάσσιοι μικροοργανισμοί και ιδιαίτερα τα βενθονικά τρηματοφόρα έχουν καθιερωθεί ως περιβαλλοντικοί δείκτες. Σε μια στρωματογραφική έρευνα, η μελέτη των τρηματοφόρων αποτελεί καίριο κομμάτι του προσδιορισμού των συνθηκών του παλαιοπεριβάλλοντος απόθεσης, καθώς και του παλαιοκλίματος. Πολλά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν, μόνο από τις συναθροίσεις των ειδών που θα βρεθούν σε μια περιοχή, από το βάθος μιας θέσης απόθεσης, μέχρι και τη θερμοκρασία του νερού, την αλατότητα, το pH ή την ποσότητα του οξυγόνου σε αυτό (Scott and Medioli, 1986; Boltovskoy et al., 1991; Kuroyanagi et al., 2009; Saraswat et al., 2011). Όμως για να καταλάβουμε το παρελθόν, αναπόσπαστο κομμάτι της έρευνας μας, πρέπει να είναι και το παρόν. Μόνο μελετώντας τις σύγχρονες βιοκοινωνίες, μπορούμε να τις αναγάγουμε στις συνθήκες του παρελθόντος για να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα. Συγκρίνοντας το παρόν με το παρελθόν επίσης, μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για τυχόν μεταβολές που συνέβησαν.

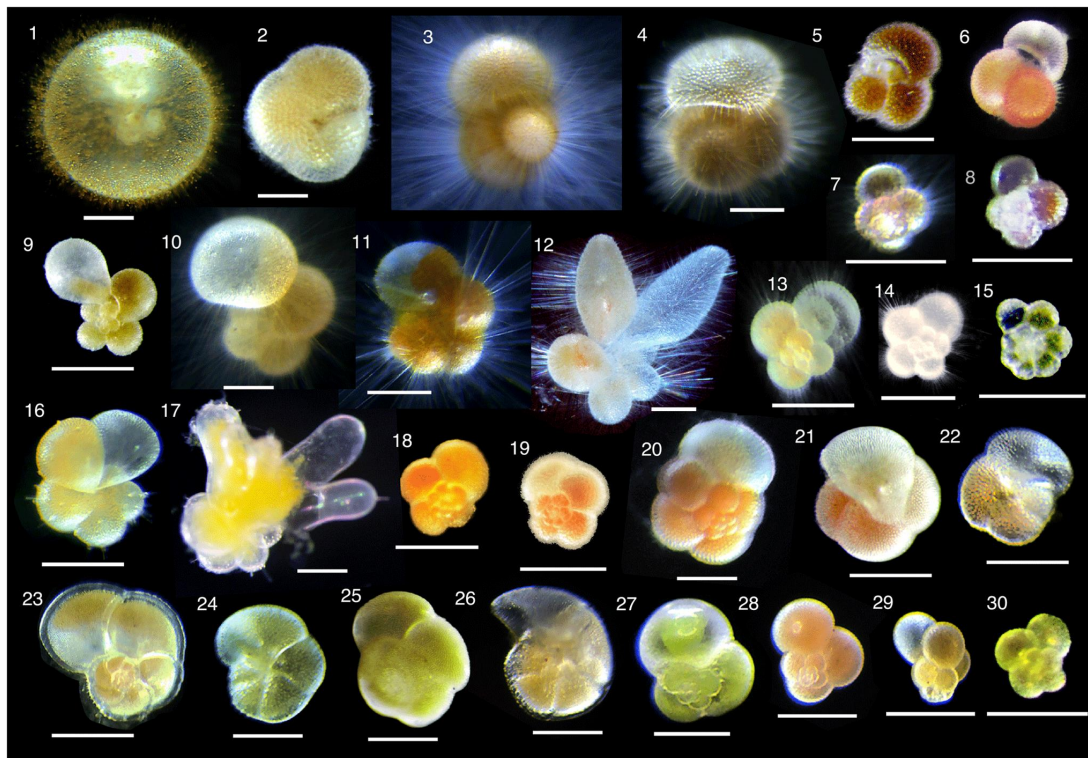
Μελετώντας δύο παράκτια περιβάλλοντα όπως αυτά της θάλασσας και της λιμνοθάλασσας και μελετώντας τους πληθυσμούς των τρηματοφόρων που υπάρχουν σε αυτά, η παρούσα εργασία, έχει ως στόχο τη σύγκριση της μικροπανίδας, σε περιβάλλοντα όπου επικρατούν τελείως διαφορετικές φυσικοχημικές συνθήκες. Παρόλο που είναι τόσο κοντά οι θέσεις ζωής των τρηματοφόρων και συνδέονται μεταξύ τους, ενδέχεται να έχουν πολύ σημαντικές διαφορές. Και δεν είναι μόνο οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο θαλάσσιος κυματισμός μεταφέρει και είδη από πιο μεγάλα βάθη στην παράκτια ζώνη, άρα μελετώντας αυτές τις θέσεις μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για τη γενικότερη πανίδα του Θρακικού Πελάγους που αποτελεί ένα βασικό τμήμα του Β. Αιγαίου.

Τέλος η συγκεκριμένη περιοχή των ακτών του νομού Ροδόπης, έχει υποστεί πολλές αλλαγές κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου, από την ανύψωσή λόγω τεκτονικής, αλλά και την συνεχή άνοδο της στάθμης της θάλασσας μετά το λιώσιμο των παγετώνων. Η παρούσα εργασία που μελετά τους σύγχρονους πληθυσμούς των τρηματοφόρων, μπορεί να αξιοποιηθεί ως κομμάτι για την ευρύτερη μελέτη της περιοχής και να αποτελέσει αναφορά και σύγκριση με παλαιότερες αποθέσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ

Τα τρηματοφόρα (Εικ. 1.1), σύμφωνα με τις Τριανταφύλλου και Δημίτζα (2012), είναι μονοκύτταροι οργανισμοί που ανήκουν στο βασίλειο των πρωτόζωων και αποτελούν τη συνομοταξία Foraminifera (Eichwald 1830). Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι το δίκτυο ψευδοποδίων που διαθέτουν και αποτελεί προέκταση του πρωτοπλάσματός τους, το οποίο περιβάλλεται από κέλυφος. Υπάρχει ευρεία ποικιλία ως προς το μέγεθος των κελυφών τα οποία έχουν συνήθως διάμετρο μικρότερη του χιλιοστού, που κυμαίνεται στα 100-500 μm, όμως σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να φτάνει μέχρι και μεγαλύτερη των 20 cm.



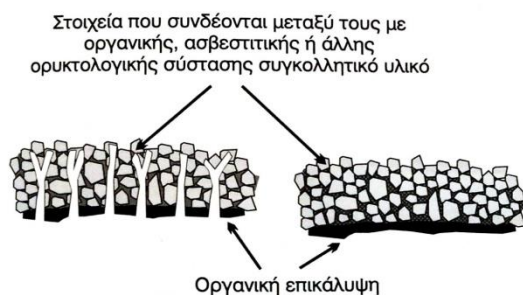
Εικόνα 1.1. Ζωντανά πλαγκτονικά τρηματοφόρα (Takagi et al., 2019).

Έχουν την ικανότητα να ζουν σε όλα τα θαλάσσια περιβάλλοντα, στα οποία βρίσκονται είτε στην επιφάνεια του πυθμένα, ελεύθερα ή προσκολλημένα (βενθονικά), είτε βρίσκονται ελεύθερα στην υδάτινη στήλη (πλαγκτονικά), αλλά και σε υφάλμυρα περιβάλλοντα, αρκεί να υπάρχει επάρκεια τροφής. Η τροφή τους αποτελείται είτε από άλλους μικροοργανισμούς, είτε από προϊόντα φωτοσύνθεσης τα οποία παράγουν ενδοσυμβιωτικοί οργανισμοί (π.χ., Leutenegger, 1984; Lee, 1998, 2006; Anderson and

Lee, 1991; Hallock, 2000). Γενικά αποτελούν σημαντικό κομμάτι των σύγχρονων μικροπανίδων, αλλά και των παλαιότερων, αριθμώντας 20.000 απολιθωμένα είδη και 5.000 ζωντανά, από τα οποία η συντριπτική πλειοψηφία είναι βενθονικά με μόνο 40-50 είδη να είναι πλαγκτονικά.

Το κέλυφος των τρηματοφόρων είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ταξινόμηση τους, η οποία στηρίζεται στην αρχιτεκτονική του. Ο Hottinger (2006), κατηγοριοποίησε ιεραρχικά τα βασικά διαγνωστικά χαρακτηριστικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής του κελύφους σε επίπεδα, ανάλογα με το αν επηρεάζουν το σχήμα του πρωτοπλάσματος ή όχι και την εσωτερική του κατασκευή. Παρακάτω περιγράφονται οι κατηγορίες του πρώτου επιπέδου, στο οποίο τα χαρακτηριστικά δεν επηρεάζουν ούτε το σχήμα του πρωτοπλάσματος ούτε την εσωτερική του κατασκευή. Η πρώτη βασίζεται στη σύσταση του τοιχώματος του κελύφους, η οποία μπορεί να είναι οργανική, πυριτική, αραγωνιτική, συμφυρματοπαγής και ασβεστολιθική. Τα πυριτικά και αραγωνιτικά κελύφη δε συναντώνται συχνά. Τα οργανικά κελύφη, σύμφωνα με τον Haynes (1981), αποτελούνται από μια οργανική μεμβράνη από τεκτίνη που σχηματίζει μια λεπτή ταινία γύρω από το σώμα (Hedley, 1963). Τα κελύφη αυτά είναι ιδιαίτερα εύκαμπτα και αλλάζουν εύκολα σχήμα ανάλογα με τις συνθήκες. Τα τρηματοφόρα που φέρουν αυτό το κέλυφος ζουν μέσα σε κελύφη άλλων νεκρών τρηματοφόρων ή σε σωλήνες από σκώληκες. Αυτά τα κελύφη σπάνια απολιθώνονται.

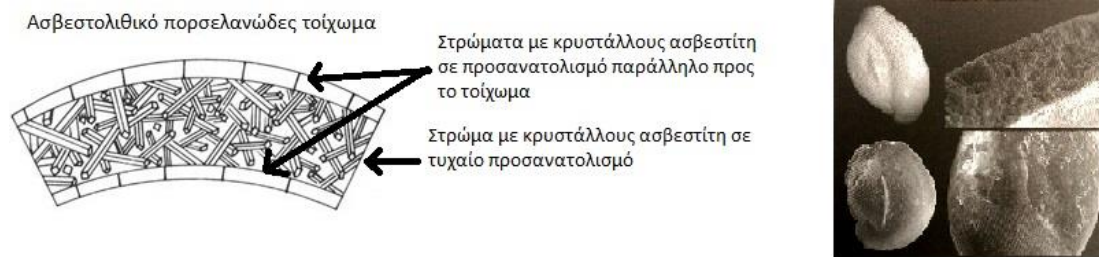
Τα συμφυρματοπαγή κελύφη (Εικ. 1.2) έχουν την ίδια οργανική μεμβράνη η οποία όμως, αποτελεί βάση για συμφύσματα που κολλάνε πάνω της και δημιουργούν ένα τοίχος (Banner and Williams, 1973). Τα συμφύσματα είναι τεμάχια που βρίσκονται στον πυθμένα της θάλασσας, και η προέλευσή τους έχει ευρεία γκάμα, που μπορεί να περιλαμβάνει κόκκους άμμου, βελόνες σπόγγων, κοκκολιθοφόρα και διάτομα. Κάποια είδη τρηματοφόρων δεν είναι επιλεκτικά ως προς την προέλευση ή το μέγεθος των συμφυρμάτων, ενώ άλλα είναι. Στο κέλυφος των συμφυρματοπαγών τρηματοφόρων παρατηρούνται οξειδία του σιδήρου, ασβεστίτης, οργανικό υλικό ή άλλης ορυκτολογικής σύστασης υλικό, το οποίο δρα ως συγκολλητής μεταξύ των συμφυρμάτων.



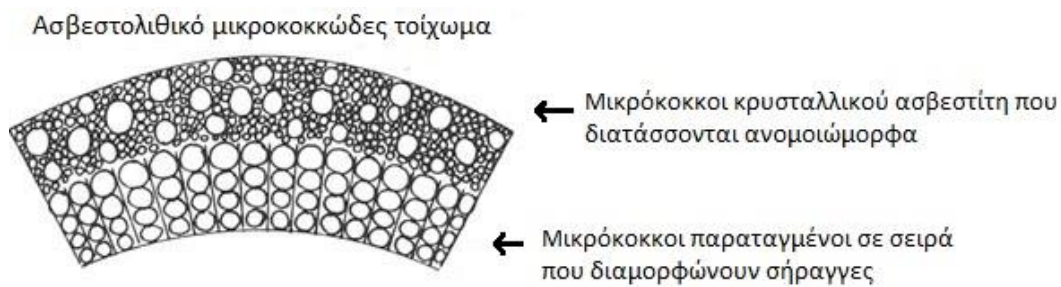
Εικόνα 1.2. Δομή συμφυρματοπαγούς κελύφους τρηματοφόρων (Τριανταφύλλου και Δημίτζα, 2012).

Στα ασβεστολιθικά κελύφη, η οργανική μεμβράνη είναι η επένδυση του ασβεστολιθικού κελύφους (Banner and Williams, 1973). Όσον αφορά την ταξινόμηση, με βάση τη δεύτερη κατηγορία του πρώτου επιπέδου, που έχει να κάνει με τη δομή του τοιχώματος και τον εξωτερικό στολισμό, χωρίζονται σε άλλες τρεις κατηγορίες. Η πρώτη είναι τα πορσελανώδη (Εικ. 1.3) που το κέλυφός τους είναι αδιαφανές και δίχως πόρους (αδιάτρητο) και το τοίχωμά τους αποτελείται από τρία στρώματα ασβεστιτικής σύστασης: ένα μεσαίο με κρυσταλλικές πλάκες που τοποθετούνται σε τυχαίο προσανατολισμό, ένα εσωτερικό και ένα εξωτερικό που οι πλάκες ακολουθούν ενιαία κατεύθυνση, παράλληλα προς το τοίχωμα. Όσο πιο πολύ η κατεύθυνση των πλακών του μεσαίου στρώματος συμπίπτει με αυτή του εξωτερικού, τόσο πιο λείο και γυαλιστερό φαίνεται το κέλυφος. Το τοίχωμα αυτό, κάτω από το φως, εμφανίζεται λευκό και πορσελανώδες, όμως μερικές φορές μπορεί να εμφανίζει ένα έντονο καφέ χρώμα, το οποίο οφείλεται σε οργανικό υλικό που βρίσκεται μέσα στο κέλυφος, το οργανικό «moulage» του Arnold. Η δεύτερη είναι τα μικροκοκκώδη (Εικ. 1.4) που έζησαν στο Άνω Παλαιοζωικό. Το τοίχωμά τους έχει δύο στρώματα. Το εξωτερικό στρώμα, που αποτελείται από ισομεγέθεις, ημισφαιρικούς κόκκους διατεταγμένους ανομοιόμορφα, αλλά όχι ενωμένους από κάποια συγκολλητική ουσία και το εσωτερικό στρώμα, που οι κόκκοι είναι παραταγμένοι σε σειρές, διαμορφώνοντας σήραγγες, κάθετα από αυτούς της εξωτερικής. Εξαιτίας αυτών των σειρών τα κελύφη παρουσιάζουν μια ινώδη όψη με εναλλαγές ανοιχτού και σκούρου χρώματος στις ίνες. Η τρίτη κατηγορία είναι τα υαλώδη (Εικ. 1.5) που κάτω από το φως, φαίνονται διάφανα με όψη σαν γυαλί. Το τοίχωμά τους αποτελείται από ρομβοεδρικούς ασβεστιτικούς κρυστάλλους μεγέθους συνήθως γύρω στο 1 μm κλεισμένους σε οργανικό υλικό, συραμμένους μεταξύ τους. Ο τρόπος συρραφής, το πλήθος των στρωμάτων και το μέγεθος των κρυστάλλων ποικίλλουν από είδος σε είδος. Τέλος, το κέλυφος των

υαλώδων τρηματοφόρων, σε αντίθεση με τα πορσελανώδη είναι διάτρητα, δηλαδή φέρουν πόρους.

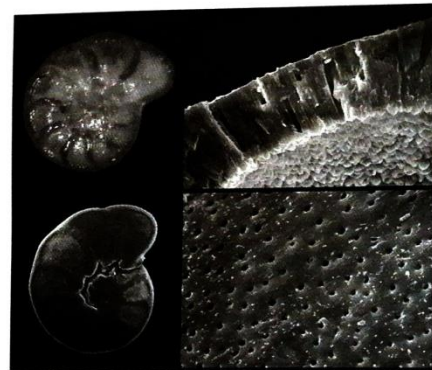
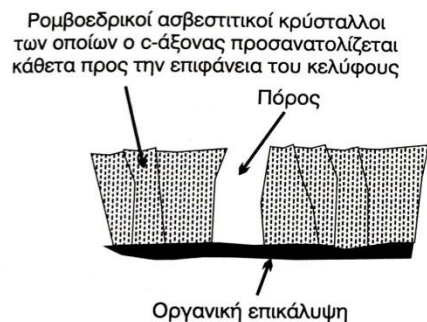


Εικόνα 1.3. Δομή ασβεστολιθικού πορσελανώδους τοιχώματος (Haynes, 1981) και φωτογραφία (τροποποιημένο από Τριανταφύλλου και Δημίτζα, 2012).



Εικόνα 1.4. Δομή ασβεστολιθικού μικροκοκκώδους τοιχώματος (τροποποιημένο από Haynes, 1981).

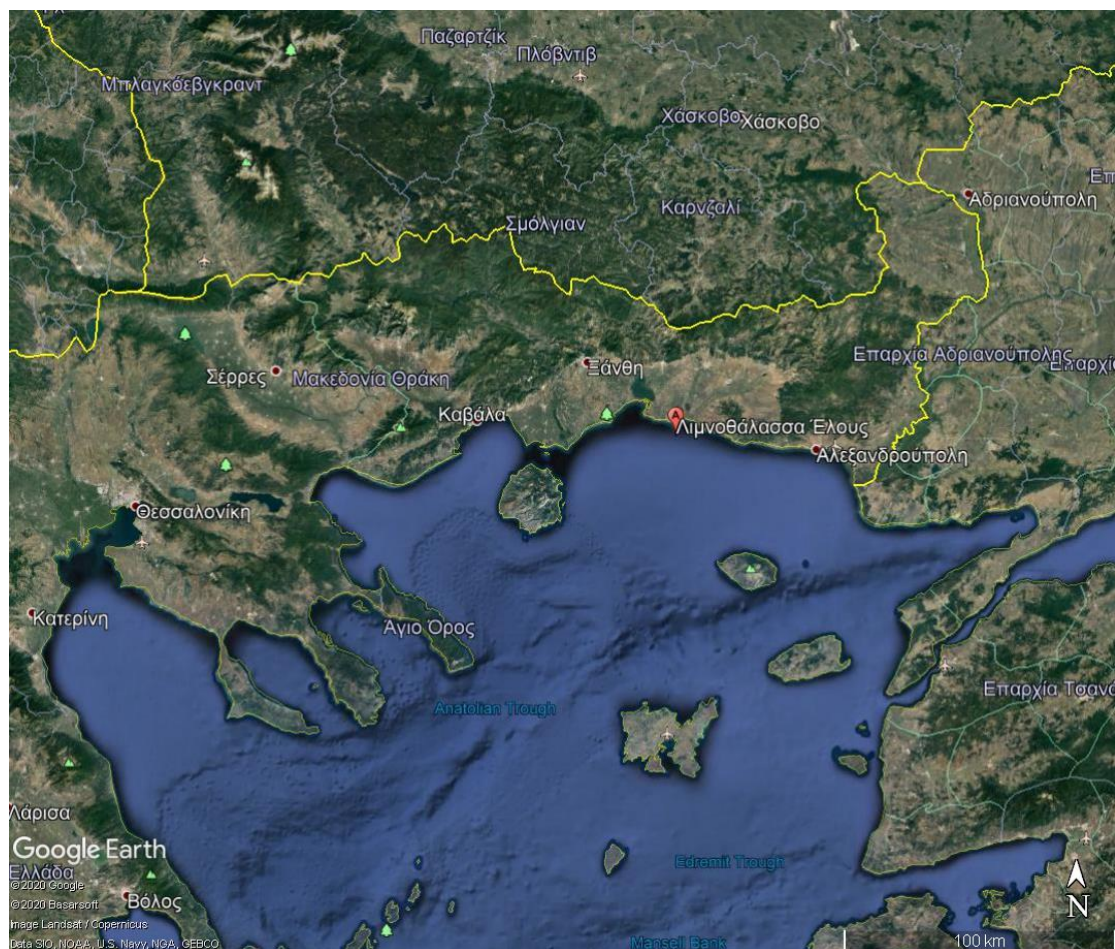
Ασβεστολιθικό υαλώδες τοίχωμα



Εικόνα 1.5. Δομή ασβεστολιθικού υαλώδους τοιχώματος (Τριανταφύλλου και Δημίτζα, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

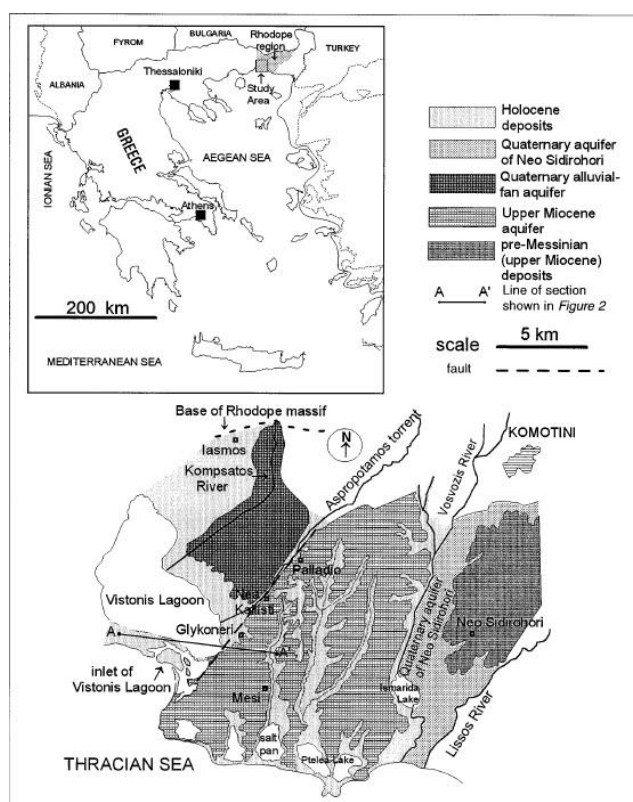
Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην παράκτια ζώνη της Βόρειας Ελλάδας, στο νομό Ροδόπης (Εικ. 3.1). Αποτελείται από τη φυσική λιμνοθάλασσα του Έλους και το κομμάτι της θάλασσας που βρίσκεται στο Θρακικό πέλαγος (βόρειο Αιγαίο πέλαγος), στο δυτικό άκρο του όρμου του Αναδούλι και βρίσκεται Νότια της παραλίας Χρυσοφόρας, στη χερσόνησο της Μολυβωτής. Η ευρύτερη παράκτια περιοχή μαζί με τις λίμνες και τις υπόλοιπες λιμνοθάλασσες υπάγεται σε καθεστώς NATURA, με κωδικό GR1130009.



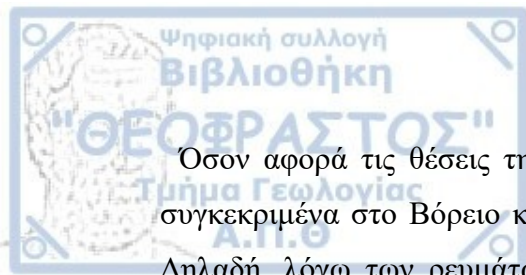
Εικόνα 3.1. Αποψη της θέσης μελέτης στην Ευρύτερη περιοχή του Β. Αιγαίου (retrieved from Google Earth, 2020).

Το υπόβαθρο της περιοχής ανήκει στο κρυσταλλοσχιστώδες της μάζας Ροδόπης. Συγκεκριμένα, σε περιοχές ανατολικότερα προς την Ξάνθη, εμφανίζονται πετρώματα της ενότητας Κίμης (Mroskos and Krohe, 2000). Το σύστημα λιμνοθαλασσών του οποίου κομμάτι αποτελεί κι η λιμνοθάλασσα του Έλους βρίσκεται στην τεκτονική

λεκάνη Ξάνθης-Κομοτηνής που δημιουργήθηκε κατά το Τεταρτογενές. Στο Άνω Μειόκαινο έλαβαν χώρα συμπιεστικά φαινόμενα που ανύψωσαν την περιοχή. Τα στρώματα που αποτέθηκαν κατά το Άνω Μειόκαινο αποτελούνται από ένα στρώμα βάσης με ασβεστιτική άργιλο που υπόκειται αλλουβιακών αποθέσεων ενός ποτάμιου συστήματος. Οι αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούνται από ενστρώσεις μάργας, αργίλων, ιλύως, ψαμμίτη και κροκαλοπαγούς (Petalas and Diamantis, 1999). Στη βάση αυτού του ποτάμιου συστήματος σε μερικές θέσεις συναντώνται και λεπτές στρώσεις εβαποριτικών ιζημάτων μικρής έκτασης (Petalas and Diamantis, 1993) καθώς και σε άλλες τοπικές θέσεις ενστρώσεις άνθρακα από 1 cm-1 m πάχος (Petalas, 1997). Στο Άνω Πλειστόκαινο, ξεκίνησε η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, με διάφορα διαλλείματα, μέχρι περίπου το Μέσο Ολόκαινο που έφτασε περίπου στο σημερινό ύψος (Perissoratis and Mitropoulos, 1989). Στα 2000 χρόνια πριν απομονώθηκαν από τη θάλασσα και σχηματίστηκαν οι κλειστές λίμνες της περιοχής, όπως η Ισμαρίδα (Koukousioura et al., 2020). Οι Ολοκαινικές αποθέσεις (Εικ. 3.2), τοποθετούνται πάνω από τα στρώματα του Άνω Μειοκαίνου και εντοπίζονται και γύρω από τη λιμνοθάλασσα (Petalas and Diamantis, 1999).



Εικόνα 3.2. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Petalas and Diamantis, 1999).



Όσον αφορά τις θέσεις της θάλασσας, αφού βρίσκονται στο Αιγαίο πέλαγος και συγκεκριμένα στο Βόρειο κομμάτι του, ισχύουν κι εκεί οι ιδιαίτερες συνθήκες του. Δηλαδή, λόγω των ρευμάτων από τη Μαύρη Θάλασσα, που είναι πιο ψυχρή και χαμηλότερης αλατότητας από το Αιγαίο, αλλά και την αποφόρτιση μεγάλων ποταμών στην περιοχή, όπως του Στρυμόνα του Νέστου και του Έβρου, το Βόρειο Αιγαίο τείνει να είναι ψυχρότερο και με χαμηλότερες τιμές αλατότητας από το Νότιο Αιγαίο. Οι τιμές της αλατότητας και της επιφανειακής θερμοκρασίας, μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή και τα ρεύματα που επικρατούν. Γενικά, τα ρεύματα κυκλοφορίας του Β. Αιγαίου είναι αρκετά σύνθετα γιατί δεν επηρεάζονται μόνο από τη διείσδυση των υδάτων της Μαύρης Θάλασσας και των ποταμών, αλλά επηρεάζονται και από τις διάφορες τοπικές συνθήκες, όπως οι έντονοι τοπικοί άνεμοι που αναπτύσσονται σε πολλές περιοχές (Poulos et al., 1997).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε τον Αύγουστο του 2014, στις θέσεις της λιμνοθάλασσας του Έλους και της θάλασσας, έτσι ώστε να επιτευχθεί η σύγκριση της μικροπανίδας στις δύο περιοχές όπου επικρατούν διαφορετικές περιβαλλοντικές μεταβλητές. Από τη λιμνοθάλασσα συλλέχθηκαν δείγματα από τρεις σταθμούς (σταθμός 100, 300 και 500) και από τη θάλασσα από δύο σταθμούς (σταθμός 800 και 900) όπως φαίνονται στην Εικόνα 4.1. Συνολικά από τα δείγματα που συλλέχθηκαν μελετήθηκαν 7 (Πιν. 4.1). Ο λόγος που επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένες θέσεις για μελέτη από την περιοχή είναι για να υπάρχει μια γενική εικόνα της λιμνοθάλασσας, εφόσον τα σημεία ισαπέχουν και καλύπτουν και τους δύο κολπίσκους. Στα δείγματα της θάλασσας σκοπός ήταν να καταγραφούν τυχόν διαφορές με βάση το βάθος, οπότε συλλέχθηκαν τόσο ρηχότερα όσο και βαθύτερα δείγματα. Στη λιμνοθάλασσα δεν κρίθηκε απαραίτητη η μελέτη βαθύτερων δειγμάτων εξαιτίας της απουσίας κυματισμού και του μικρού της βάθους.

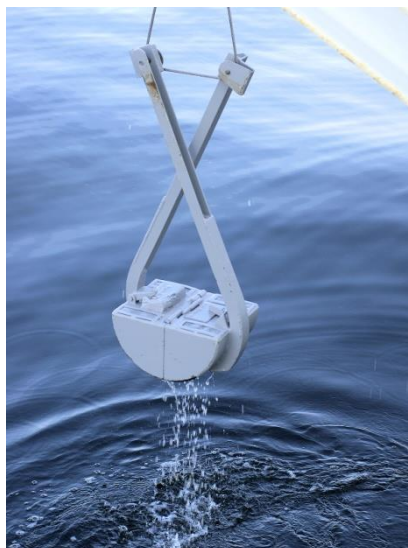
Πίνακας 4.1. Σταθμοί δειγματοληψίας και περιβαλλοντικές μεταβλητές.

Σταθμός	Δείγμα	Βάθος (cm)	Θερμοκρασία (°C)	pH	Αλατότητα (psu)
100	101	20	28,4	8,2	67,9
300	301	20	28,2	8,07	66,9
500	501	20	28,5	8,4	38,5
800	801	50	27,6	8,05	43,9
	803	90	27,6	8,05	43,9
900	901	50	27,5	8,13	44,1
	903	90	27,5	8,13	44,1



Εικόνα 4.1. Περιοχή έρευνας και σταθμοί δειγματοληψίας (retrieved from Google Earth, 2020).

Τα δείγματα συλλέχθηκαν από επιφανειακά ιζήματα πυθμένα (τα ανώτερα 2 cm) με δειγματολήπτη τύπου Van Veen (Εικ. 4.2). Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικά δοχεία στα οποία προστέθηκε ερυθρό της Βεγγάλης (Rose Bengal) και αιθυλική αλκοόλη (2 gr Rose Bengal/1 lt alcohol), έτσι ώστε να ξεχωρίσουν τα ζωντανά από τα νεκρά άτομα, σύμφωνα με το πρωτόκολλο του FOBIMO (Schönfeld et al., 2012).



Εικόνα 4.2. Δειγματολήπτης τύπου Van Veen (Hillewaert, 2007).

Όπως αναφέρει η Bernhard (2000), υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για να ξεχωρίσουν ποια είναι τα ζωντανά και ποια τα νεκρά τρηματοφόρα κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: σε αυτές που είναι βλαπτικές για τους οργανισμούς και σε αυτές που είναι μη βλαπτικές και γίνεται χωρίς να χρειαστεί οι οργανισμοί να πεθάνουν. Το Rose Bengal που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, είναι μία χρωστική που βάφει με έντονο ρόδινο χρώμα τις πρωτεΐνες που βρίσκονται στο κυτταρόπλασμα των τρηματοφόρων (Walton, 1952). Ως μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι είναι γρήγορη, οικονομική και τα δείγματα μπορούν να χρωματιστούν και αργότερα κι όχι μόνο κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, εφόσον διατηρηθούν σε αιθανόλη. Τα μειονεκτήματα της είναι, ότι μπορεί να βάνει τα οργανικά υπολείμματα που παραμένουν σε ένα άδειο κέλυφος (Walker et al., 1974), νεκρά τρηματοφόρα (Bernhard, 1988), καθώς και συμβιωτές όπως βακτήρια που βρίσκονται μέσα στο κέλυφος (Martin and Steinker, 1973). Επίσης, έχει αποδειχτεί πως δε βάφει πάντα τα τρηματοφόρα (Martin and Steinker, 1973) κι ειδικά αυτά που δεν έχουν επάρκεια τροφής (Lutze and Altenbach, 1991). Τέλος, στα πορσελανώδη κελύφη, είναι μερικές φορές δύσκολο να εντοπιστεί.

Άλλη χρωστική είναι το Μέλαν του Σουδάν (Sudan Black B) που βάφει τα λιπίδια από τα τρηματοφόρα (Walker et al., 1974), και είναι λιγότερο πιθανό να βάνει νεκρά τρηματοφόρα γιατί τα λιπίδια διαλύονται πιο γρήγορα μετά το θάνατο του τρηματοφόρου. Από την άλλη πλευρά το μαύρο χρώμα, δύσκολα εντοπίζεται, είναι πιο κοστοβόρα και χρονοβόρα η διαδικασία που απαιτείται για τη χρώση των δειγμάτων και βάφει βακτήρια συμβιωτές. Άλλη μέθοδος είναι η ιχνηλάτηση της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) που είναι ένα μακρομόριο, που βρίσκεται στο κύτταρο ως «ενεργειακό νόμισμα». Αντιδρά με ένα ένζυμο τη λουσιφεράση και εκπέμπεται φως, το οποίο μετρίεται και ανιχνεύεται με λουμινόμετρο. Επειδή οι φωσφορικοί δεσμοί αλλοιώνονται με το θάνατο ενός οργανισμού (Karl, 1980), συνεπώς το ATP δεν αντιδρά με τη λουσιφεράση, είναι πιο αξιόπιστη μέθοδος από το Rose Bengal για να ξεχωρίσουν τα νεκρά από τα ζωντανά άτομα. Όμως είναι πιο δαπανηρή, χρονοβόρα, χρειάζεται φωτομετρία στα υγρά δείγματα για να προσδιοριστεί σωστά η ποσότητά τους και πρέπει να εφαρμοστεί σε σύντομο χρονικό διάστημα από τη δειγματοληψία κι όχι πολύ αργότερα, γιατί οι οργανισμοί πεθαίνουν γρήγορα. Στις καταστροφικές μεθόδους ανήκουν οι υπερδομικές μελέτες που αξιοποιούν ηλεκτρονικά μικροσκόπια για τη μελέτη των οργανιδίων του οργανισμού, όπως π.χ. τα μιτοχόνδρια, των οποίων

οι δομές τροποποιούνται κατά το θάνατο. Είναι ιδιαίτερα ακριβής σαν μέθοδος για να εντοπίσει τα σίγουρα ζωντανά τρηματοφόρα κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας κι επί πλέον μας δίνει στοιχεία για την κατάσταση της υγείας τους. Όμως τροποποιήσεις στις δομές των οργανισμών μπορεί να συμβούν και αν υπάρχει μεγάλη απόκλιση των συνθηκών συλλογής με το περιβάλλον, όπως μεγάλα βάθη. Τέτοιες αλλαγές μπορεί να εμφανιστούν και σε μη υγιείς οργανισμούς. Επιπλέον, σε σχέση με το Rose Bengal, είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα μέθοδος, ακατάλληλη για μεγάλα δείγματα, απαιτεί μεγάλη εξειδίκευση και ακριβό εξοπλισμό.

Στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκε ως χρωστική το Rose Bengal σύμφωνα με το πρωτόκολλο του FOBIMO. Τέλος, ως ζωντανοί, θεωρήθηκαν οι οργανισμοί που ήταν χρώματισμένοι με έντονο ερυθρό χρώμα.

Ταυτόχρονα με τη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των περιβαλλοντικών μεταβλητών με αισθητήρα τύπου CRISON, CM 35 για τη θερμοκρασία των υδάτων, την αλατότητα, το pH και τα αιωρούμενα σωματίδια (Πιν. 4.2).

1.1 Εργαστηριακή επεξεργασία

Τα δείγματα μετά τη συλλογή τους μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ. Από κάθε δείγμα διαχωρίστηκαν 50 ml τα οποία πλύθηκαν, με νερό βρύσης, σε κόσκινο με οπές διαμέτρου 63 μm . Μετά την ξήρανση των δειγμάτων αυτά χωρίστηκαν σε ίσα μέρη, ώσπου το κάθε τμήμα να περιλαμβάνει 150-300 άτομα βανθονικών τρηματοφόρων (Murray, 1973; Hallock et al., 2003), δηλαδή ένα ικανό πλήθος για στατιστική μελέτη. Τα άτομα συλλέχθηκαν με πινέλο No 000 και τοποθετήθηκαν σε πινακίδια με υδατοδιαλυτή ρητίνη το κόμμι τραγάκανθου (Gomme Adraganth). Κάθε δείγμα εξετάστηκε κάτω από στερεοσκόπιο. Τα άτομα τους, συλλέχθηκαν σε πλακίδια και διαχωρίστηκαν αρχικά σε σπασμένα/επανεπεξεργασμένα, και υγιή κελύφη, και στη συνέχεια σε ζωντανά και νεκρά και τέλος προσδιορίστηκαν σε επίπεδο είδους. Αυτοί οι διαχωρισμοί ήταν απαραίτητοι καθώς τα σπασμένα/επεξεργασμένα άτομα, φανερώνουν επίσης μηχανικές ιδιότητες του μέσου (Geslin et al., 2002) ενώ τα ζωντανά, τα αυτόχθονα είδη σε μια θέση.

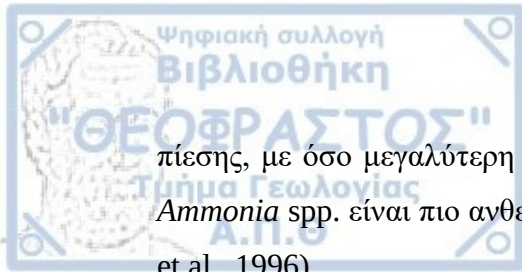
1.2 Στατιστική επεξεργασία

Τα είδη ανά δείγμα, καταγράφηκαν σε πίνακες με τη βοήθεια του Microsoft Excel, ενώ κάποια ομαδοποιήθηκαν σε κατηγορίες και υπολογίστηκε η σχετική αφθονία των ειδών ανά δείγμα. Ακόμη, υπολογίστηκε το ποσοστό των βαμμένων κελυφών που όπως αναφέρθηκε, προσδιορίζει τον ζωντανό πληθυσμό τη στιγμή της δειγματοληψίας.

Επίσης, υπολογίστηκαν οι βιοδείκτες ποικιλότητας που αναλύουν τη βιοκοινωνία της πανίδας των τρηματοφόρων. Υπολογίστηκε η πυκνότητα του κάθε δείγματος για όγκο 50 ml (άτομα/50 ml).

Ακόμη για τον υπολογισμό των δεικτών ποικιλότητας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα PAST (ver 2.17c) (Hammer et al., 2001). Υπολογίστηκε ο δείκτης Επικράτησης (D, Dominance), που εκφράζει την επικράτηση των ειδών. Ο τύπος του είναι $D = \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N}\right)^2$, όπου S: είναι ο αριθμός των ειδών, n: ο αριθμός των ατόμων ενός είδους και N: ο συνολικός αριθμός των ειδών. Επίσης υπολογίστηκε κι ο δείκτης Shannon-Wiener (H'). Ο τύπος του είναι $H = \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{n}\right) * \ln \left(\frac{n_i}{n}\right)$ όπου S: ο αριθμός των ειδών. Σαν δείκτης λαμβάνει υπόψη και τις αναλογίες των μη διαδεδομένων ειδών και όσο μεγαλύτερος είναι, τόσο μεγαλύτερη κι η ποικιλία των ειδών. Τέλος υπολογίστηκε ο δείκτης Ομοιομορφίας (J, Equitability), δηλαδή η ομοιομορφία που εκφράζει την ισοκατανομή των ειδών. Ο τύπος της είναι $J = \frac{H}{\ln S}$ όπου H: η τιμή του δείκτη Shannon-Wiener και S η αφθονία των ειδών. Οι τιμές που παίρνει είναι από 0-1 με το μέγιστο να είναι αν δυνητικά τα άτομα ήταν πλήρως ισοκατανεμημένα σε όλα τα είδη.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε το ποσοστό σπασμένων/επανεπεξεργασμένων ατόμων ως προς τα συνολικά άτομα (B-R%) που όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως είναι ενδεικτικό των μηχανικών ιδιοτήτων του μέσου (Geslin et al., 2002). Υπολογίστηκαν και κάποιοι δείκτες οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί για τρηματοφόρα. Ο δείκτης A που υπολογίζεται με το διαχωρισμό των ατόμων του γένους *Ammonia* σε μεγάλα (L) (μέγιστη διάμετρο >0,5 mm) και μικρά (S) (μέγιστη διάμετρο <0,5 mm) άτομα από τον εξής τύπο: $A = L / (S + L) * 100$. Συνδέεται με την αλατότητα των υδάτων και έχει την τάση να είναι μεγαλύτερος όσο μεγαλύτερη είναι η αλατότητα (Koukousioura et al., 2012). Επιπλέον υπολογίστηκε και ο δείκτης AEI (*Ammonia-Elphidium* index) από τον τύπο $AEI = Na / (Na + Ne) * 100$ όπου Na: το πλήθος των ατόμων του γένους *Ammonia* και Ne: το πλήθος των ατόμων του γένους *Elphidium*. Εκφράζει τις συνθήκες περιβαλλοντικής



πίεσης, με όσο μεγαλύτερη να είναι η τιμή του, τόσο πιο έντονη η πίεση, καθώς το *Ammonia* spp. είναι πιο ανθεκτικό σε συνθήκες χαμηλότερης οξυγόνωσης (Sen Gupta et al., 1996).

Τέλος, δημιουργήθηκαν με τη χρήση του Microsoft Excel, διαγράμματα για καλύτερη απεικόνιση και σύγκριση των αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι συνθήκες στα δύο περιβάλλοντα, με εξαίρεση το pH που είναι ελαφρώς βασικό και διατηρεί μια σχετικά σταθερή τιμή ~8-8,5 σε όλες τις θέσεις, μεταβάλλονται και αποκλίνουν από το ένα στο άλλο. Η θερμοκρασία της λιμνοθάλασσας ήταν υψηλότερη από της θάλασσας, με τιμές ελαφρώς μεγαλύτερες από 28°C και ~27,5°C αντίστοιχα. Η αλατότητα στη λιμνοθάλασσα, με εξαίρεση τη θέση 501 (38,5 psu), παρουσιάζεται υψηλότερη από ότι στη θάλασσα, με τιμές στα ~67-68 psu και ~44 psu αντίστοιχα.

Το ποσοστό των ζωντανών τρηματοφόρων σε κάθε δείγμα είναι μικρό και κυμαίνεται από 0-9,35% (Εικ. 5.1). Μικρότερα ποσοστά παρατηρήθηκαν στα δείγματα της θάλασσας (<5%) από ότι στης λιμνοθάλασσας (>5%) με εξαίρεση το δείγμα 501 της λιμνοθάλασσας στο οποίο δεν βρέθηκαν καθόλου ζωντανά άτομα. Στον σταθμό 800 της θάλασσας έχουν μεγαλύτερο ποσοστό κατά μέσο όρο, από στον σταθμό 900.



Εικόνα 5.1. Ποσοστά ζωντανών τρηματοφόρων %.

Στα δείγματα βρέθηκαν 15 είδη (Εικ. 5.2) τρηματοφόρων που ανήκουν σε 9 γένη, τα οποία ομαδοποιήθηκαν για λόγους ευκολίας απεικόνισής τους. Οι σχετικές τους αφθονίες παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.3. Τα είδη που βρέθηκαν σε κάθε δείγμα ήταν σχετικά λίγα και κυμαίνονται από 4-8 με πιο πλούσια θέση την 803 (8 taxa). Παρατηρήθηκε διαφοροποίηση στα είδη των *Ammonia* και *Elphidium* μεταξύ θάλασσας και λιμνοθάλασσας. Συγκεκριμένα, στη λιμνοθάλασσα εντοπίστηκαν 2 είδη του γένους *Ammonia*, τα *Ammonia tepida* (Εικ. 5.2) και *Ammonia parkinsoniana*, με

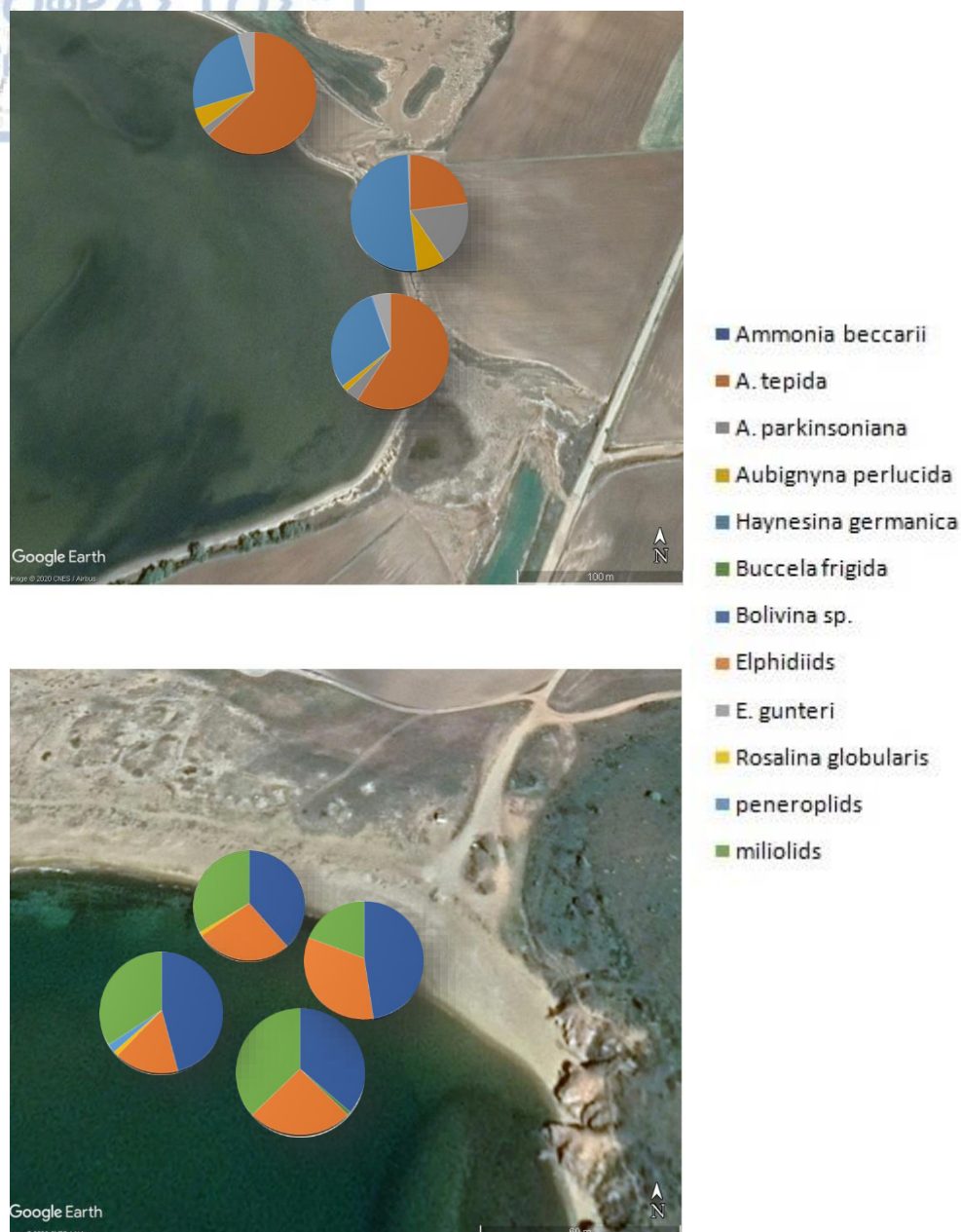
κυρίαρχο το *A. tepida*, με ποσοστά από ~20-60% και το *Elphidium gunteri* σε χαμηλά ποσοστά, από ~0,5-5%, ενώ στη θάλασσα, το *Ammonia beccari* (Εικ. 5.2, 5.3), με ποσοστά ~35-45% και τα *Elphidium crispum* και *Elphidium aculeatum*, με κυρίαρχο το *Elphidium crispum*, με ποσοστά ~15-35%, αντίστοιχα. Διαφορά παρατηρείται και στα είδη που επικρατούν (ποσοστά στο δείγμα $\geq 20\%$), με αυτά της λιμνοθάλασσας να είναι η *Ammonia tepida* και η *Haynesina germanica* και στη θάλασσα η *Ammonia beccari* και το *Elphidium crispum*. Σημαντική εμφάνιση στα θαλάσσια δείγματα παρουσιάζει και η τάξη των *Milliolidae* με ποσοστά από ~20-35%.



Εικόνα 5.2. Ορισμένα είδη τρηματοφόρων, από αριστερά προς δεξιά: *A. tepida*, *A. parkinsoniana*, *A. perlucida*, *H. germanica*, *A. beccari*, *E. crispum*, *P. planatus*, *P. pertusus*, *Quinqueloculina* sp.1 (φωτ από Β. Δήμου, 2020; Επεξεργασμένη από Δ. Ιωαννίδου).

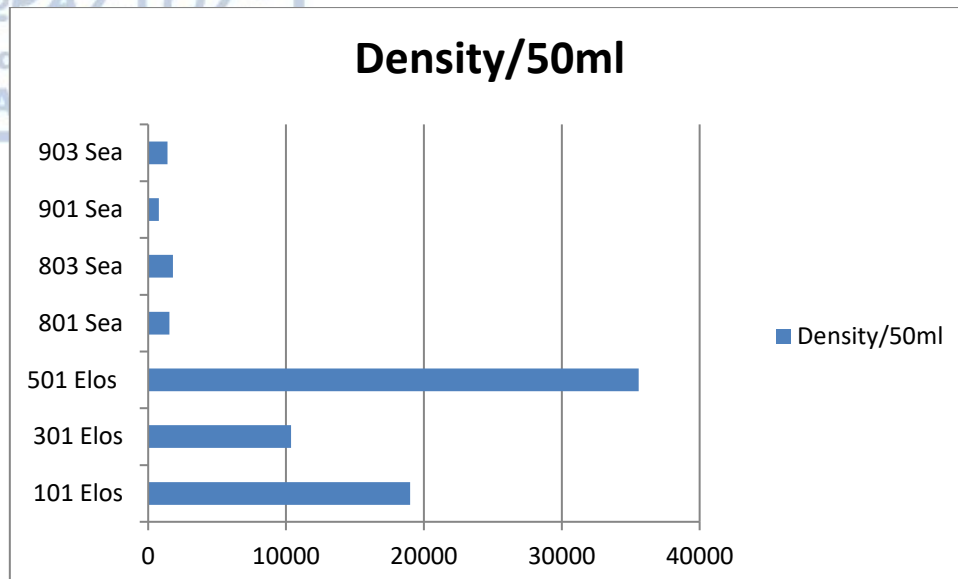


Εικόνα 5.3. *Ammonia beccari* από τη θέση 903 (αριστερά) και *A. terida* από θέση 101 (δεξιά). Φαίνεται η διαφορά στο μέγεθος και στο πάχος του κελύφους (φωτ. από Β. Δήμου, 2020; επεξεργασμένη από Δ. Ιωαννίδου).

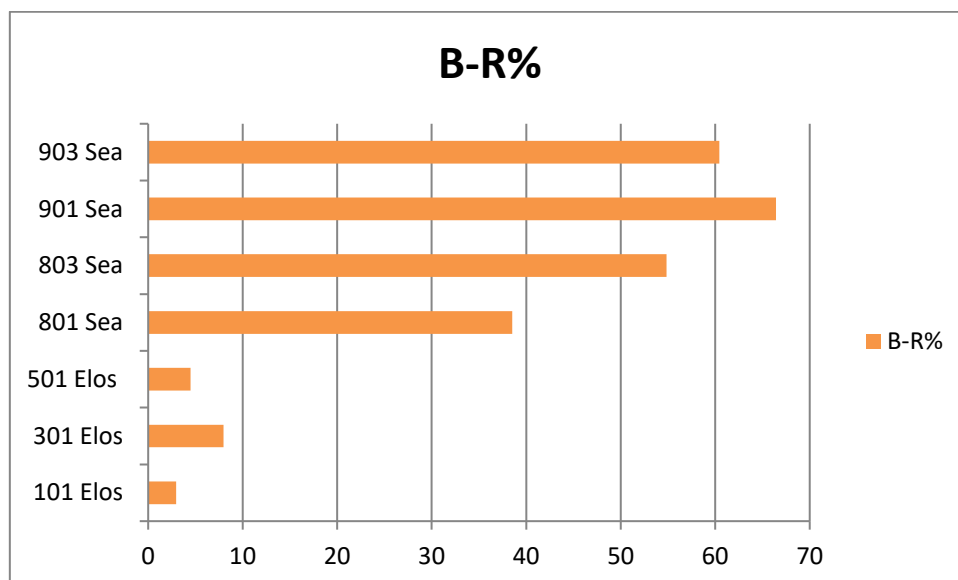


Εικόνα 5.4. Σχετική αφθονία των συναθροίσεων της λιμνοθάλασσας (επάνω) και της θάλασσας (κάτω) (retrieved from Google Earth, 2020, edited).

Η Πυκνότητα στη λιμνοθάλασσα φτάνει από ~10.000-35.000/50 ml, ενώ στη θάλασσα δεν ξεπερνά τα ~1700/50 ml με την τάση για κάθε θέση να αυξάνεται με το βάθος (Εικ. 5.4 και 5.5). Αντίστοιχα τα ποσοστά σπασμένων/επανεπεξεργασμένων ατόμων στη λιμνοθάλασσα είναι ιδιαίτερα χαμηλά, από ~3-8%, ενώ στη θάλασσα εκτοξεύονται στο ~40-66%.



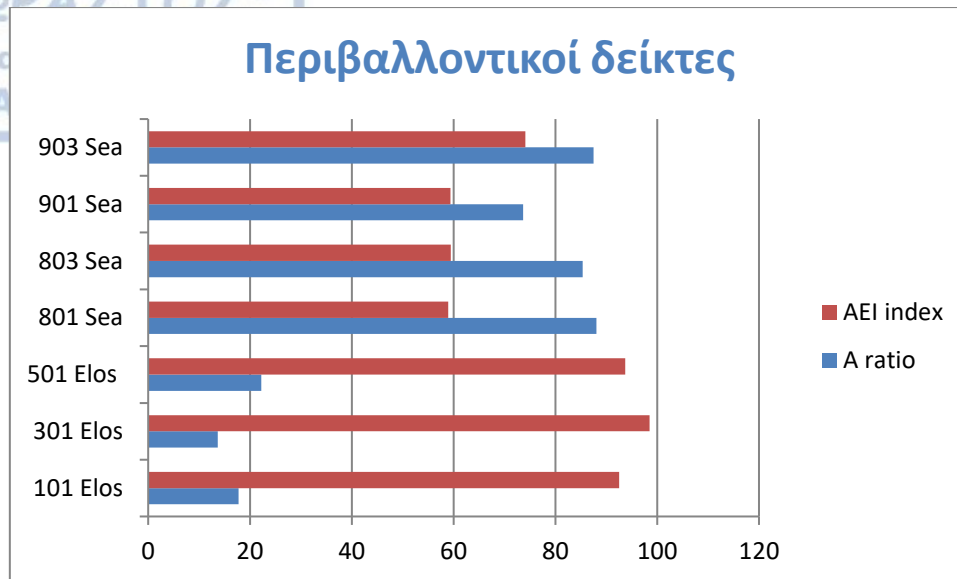
Εικόνα 5.4. Πυκνότητα ατόμων τρηματοφόρων/50 ml δείγματος.



Εικόνα 5.5. Ποσοστό επί τοις εκατό των σπασμένων/επανεπεξεργασμένων τρηματοφόρων ανά δείγμα.

Ο δείκτης Shannon έχει μικρές τιμές που κυμαίνονται από ~1-1,5 πράγμα που δείχνει μια μικρή ποικιλία ειδών και στα δύο περιβάλλοντα. Από την άλλη πλευρά οι δείκτες Επικράτησης και Ομοιομορφίας έχουν μια μικρή διαφοροποίηση, με τον δείκτη Επικράτησης στη λιμνοθάλασσα να κυμαίνεται από ~0,35-0,45 ενώ στη θάλασσα από ~0,25-0,35 και την Ομοιομορφία από ~0,6-0,75 στη λιμνοθάλασσα και ~0,7-0,85 στη θάλασσα.

Ο δείκτης A στη λιμνοθάλασσα παίρνει μικρές τιμές, από ~15-20% ενώ στη θάλασσα από ~75-90% (Εικ. 5.6). Ο δείκτης AEI παίρνει υψηλότερες τιμές στη λιμνοθάλασσα >90% και χαμηλότερες, αλλά και πάλι υψηλές, στη θάλασσα από ~60-75%.



Εικόνα 5.6. Τιμές περιβαλλοντικών δεικτών (*A* και AEI indices).

Τέλος, τα δείγματα ήταν δύσσομα, αποτελούνταν κυρίως από άμμο και ήταν πιο αδρόκοκκα στις θέσεις της θάλασσας. Επίσης, περιείχαν και άλλους οργανισμούς όπως οστρακώδη, γαστερόποδα, δίθυρα, βελόνες αχινών κι ασβεστοφύκη. Ακόμη στο δείγμα 903 βρέθηκαν χαρόφυτα. Τέλος στο δείγμα 903 (και σε άλλα δείγματα αλλά όχι τόσο έντονα), ορισμένα τρηματοφόρα έφεραν μαύρο χρώμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι μετρήσεις για τις περιβαλλοντικές μεταβλητές της περιοχής παρουσιάζουν μια ιδιαιτερότητα. Ενώ η θερμοκρασία της θάλασσας φαίνεται παρόμοια με τη μέση θερμοκρασία που επικρατεί στο Β. Αιγαίο τον Αύγουστο, δηλαδή $\sim 27^{\circ}\text{C}$ (Velaoras et al., 2013; Poulos et al., 1997), η αλατότητα φαίνεται να έχει μεγάλη απόκλιση, με τις συνήθεις τιμές να μην ξεπερνάνε τα ~ 39 psu (Velaoras et al., 2013). Επίσης, στη λιμνοθάλασσα η αλατότητα φαίνεται στους περισσότερους σταθμούς μεγαλύτερη από της θάλασσας πράγμα παράδοξο, που εξηγείται από την εξάτμισή των υδάτων της κατά το τέλος του καλοκαιριού. Ο δείκτης *A* είναι μικρότερος στη λιμνοθάλασσα, με τιμές $\sim 15\text{-}25\%$ από ότι στη θάλασσα ($75\text{-}90\%$), γεγονός που δείχνει ότι η λιμνοθάλασσα έχει αρκετά χαμηλότερη αλατότητα, παρόλο που τα άλατα που έχουν αποθεθεί λόγω εξάτμισης διαστρεβλώνουν την εικόνα.

Τα δείγματα αν και αρκετά διαφορετικά μεταξύ τους, έχουν ως κοινό στοιχείο τους τις χαμηλές τιμές των δεικτών ποικιλότητας. Οι συνηθισμένες τιμές του δείκτη Shannon-Wiener είναι $1,5\text{-}3,5$ (Magurran, 2013), ενώ στην παρούσα εργασία παίρνουν τιμές $<1,5$. Άρα, τα δείγματα θα χαρακτηρίζονταν μονότονα με λίγα πολυπληθή είδη, τα *A. tepida* και *H. germanica* στη λιμνοθάλασσα και *A. beccari*, *E. crispum* και το γένος *Quinqueloculina* spp. στη θάλασσα, που κυριαρχούν έναντι άλλων ειδών, όπως ένα είδος του γένους *Bolivina* στη λιμνοθάλασσα ή τα είδη *B. frigida*, *E. aculeatum*, *R. globularis*, *P. planatus* και *P. pertusus* στη θάλασσα, που εμφανίζονται σπάνια και σε μικρά ποσοστά. Ο δείκτης AEI που χαρακτηρίζει συνθήκες περιβαλλοντικής πίεσης, δεδομένου ότι έχει σχετικά υψηλές τιμές στη θάλασσα ($60\text{-}75\%$) και ακόμα υψηλότερες στη λιμνοθάλασσα ($>90\%$), δείχνει πως είναι σχετικά δύσκολες οι συνθήκες διαβίωσης των οργανισμών σε αυτά τα περιβάλλοντα και ειδικά στη λιμνοθάλασσα. Αυτό εξηγεί την έλλειψη των πολλών ειδών.

Η κατανομή των τρηματοφόρων διαφέρει ανάλογα με τις περιβαλλοντικές μεταβλητές (pH, αλατότητα, θερμοκρασία, κ.α.). Υπάρχουν κάποια είδη πιο ανθεκτικά σε συνθήκες περιβαλλοντικής πίεσης, όπως χαμηλή αλατότητα, περιβάλλοντα μολυσμένα με βαριά μέταλλα ή ανοξικές συνθήκες, που εμφανίζονται σε μεγαλύτερη συχνότητα σε τέτοιες περιοχές. Τα είδη *Ammonia tepida* και *Haynesina germanica* που βρέθηκαν στην παρούσα εργασία, είναι μερικά από αυτά και εμφανίζονται σε πολλές

θέσεις σε υψηλές συγκεντρώσεις ανά τον κόσμο. Ενδεικτικά αναφέρονται κάποιες, όπως το Lagoa da Conceição (Debenay and Guillou, 2002) μια λαγκούνα στη Βραζιλία με έντονες ανοξικές συνθήκες, ή τις εκβολές του ποταμού Λίγηρα, σε ορισμένες θέσεις, στην εσωπαλιρροιακή ζώνη, κοντά στο Paimbœuf, με έντονη την επίδραση του ποταμού (Mojtahid et al., 2016), ή ακόμα και στο Ria de Aveira στην Πορτογαλία, σε ορισμένες θέσεις που υπάρχει έντονη επίδραση από βαρέα μέταλλα (Martins et al., 2013). Η ύπαρξη αυτών των τρηματοφόρων αν συνδυαστεί μάλιστα και με τον υψηλό δείκτη AEI και τους χαμηλούς δείκτες A και Shannon-Wiener, θα μπορούσε να θεωρηθεί μια παρόμοια πανίδα με παρόμοιες συνθήκες με αυτή της λιμνοθάλασσας της Λαφρούδας (Koukousioura et al., 2012), η οποία είναι και αυτή μια κλειστή λιμνοθάλασσα πολύ κοντά στην περιοχή. Επίσης, το σύνολο των ειδών που συναντώνται σε όλες τις θέσεις της λιμνοθάλασσας (*A. tepida*, *A. parkinsoniana*, *Aubignyna perlucida*, *Haynesina germanica*, *Elphidium gunteri*), είναι κοινό με το σύνολο των ειδών που συναντώνται στις λιμνοθάλασσες της Ιταλίας Marano και Γκράντο (Melis and Covelli, 2013). Σε αρκετές από αυτές τις θέσεις η περιβαλλοντική πίεση προέρχεται από ρύπανση, κατά που δεν ισχύει στην παρούσα εργασία.

Μία άλλη ενδιαφέρουσα σύγκριση της πανίδας της λιμνοθάλασσας που θα μπορούσε να γίνει, είναι με αυτή που βρέθηκε σε ιζήματα 3000-2000 ετών στην περιοχή της λίμνης Ισμαρίδας (Koukousioura et al., 2020), που βρίσκεται 6,2 km στα ΒΑ της περιοχής μελέτης. Έχουν κι οι δύο υψηλά ποσοστά του είδους *A. tepida*, με όλα τα είδη του γένους *Ammonia* να έχουν σχετικά μικρά κελύφη, υψηλά ποσοστά του είδους *H. germanica* και αν και στην παρούσα εργασία είναι σε μικρότερα ποσοστά, υπάρχουν τα είδη *A. perlucida* και *E. gunteri*. Άρα, επιβεβαιώνονται τα αποτελέσματα της έρευνας προηγούμενων (Koukousioura et al., 2020), ότι στην περιοχή της Ισμαρίδας πριν από 3000-2000 χρόνια επικρατούσαν συνθήκες λιμνοθάλασσας, όπως του Έλους.

Όσον αφορά την πανίδα της θάλασσας όπου επικρατούν τα *A. beccari*, *Elphidium* spp. και τα *Milliolidae*, σε συνδυασμό με την απουσία ξενικών ειδών, θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι η τυπική μικροπανίδα του Β. Αιγαίου και εμφανίζεται και σε άλλες θέσεις όπως οι ακτές του Κίτρου και των Αβδήρων (Koukousioura, 2012; Koukousioura et al., 2012, 2020). Το είδος *A. beccari*, θεωρείται τυπικό είδος παράκτιου περιβάλλοντος (Jorissen, 1988) και θεωρητικά συναντάται σε όλον τον κόσμο. Πρόσφατες έρευνες, όμως, έχουν δείξει πως μάλλον συναντάται μόνο στη Μεσόγειο και δε συσχετίζεται γενετικά με τα υπόλοιπα είδη (Hayward et al., 2004). Το

χαρακτηριστικότερο μέρος όπου βρίσκεται είναι η Αδριατική στην περιοχή Ρίμινι όπου προσδιορίστηκε πρώτη φορά και οι συγκεντρώσεις του συνδέονται με το αμμώδες υπόβαθρο της περιοχής (Cushman, 1928). Τα Miliolidae είναι χαρακτηριστικά τρηματοφόρα αμμώδους καλά οξυγονωμένου περιβάλλοντος και δεν είναι ανθεκτικά σε συνθήκες περιβαλλοντικής πίεσης (Dimiza et al., 2016). Εμφανίζονται σε μια σειρά περιοχών με αυτές συνθήκες. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές θέσεις μη ρυπασμένες στις εκβολές του ποταμού Pearl στην Κίνα (Li et al., 2014) ή στην περιοχή Collioure στη Γαλλία (Barras et al., 2014). Συνεπώς αν και ο δείκτης AEI είναι μέτριος (~60-75%), δε φαίνεται να υπάρχει ιδιαίτερη περιβαλλοντική πίεση.

Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το δείγμα 903 της θάλασσας, που ο δείκτης AEI αυξάνεται σε σχέση με τις άλλες θέσεις της θάλασσας, σε συνδυασμό με την ύπαρξη χαρόφυτων που είναι τυπική χλωρίδα γλυκών νερών (Kaštovský et al., 2019), άρα μεταφερμένα στη θέση αυτή. Είναι πολύ πιθανή η επίδραση κάποιου ποταμού ή κάποιας άλλης πηγής ανάμειξης υδάτων στην περιοχή, πράγμα το οποίο μπορεί να εξηγήσει και τον ελαφρώς μεγαλύτερο δείκτη Shannon-Wiennner, και το ελαφρώς μικρότερο ποσοστό ζωντανών τρηματοφόρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη των τρηματοφόρων που διεξήχθη στην περιοχή της λιμνοθάλασσας του Έλους και της παραλίας της Χρυσοφόρας έδωσε τα εξής αποτελέσματα.

- Εντοπίστηκαν 15 είδη βενθονικών τρηματοφόρων
- Τα ποσοστά των ζωντανών τρηματοφόρων είναι πολύ μικρά (<10%)
- Όλα τα περιβάλλοντα μελέτης είναι σχετικά φτωχά με χαμηλό δείκτη Shannon-Wiener (<1,5)
- Στο περιβάλλον της λιμνοθάλασσας, υπάρχει χαμηλή αλατότητα, συνεπώς εντοπίζονται τρηματοφόρα ανθεκτικά σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, ο δείκτης A είναι μικρός και ο δείκτης AEI μεγάλος. Δεν υπάρχουν στοιχεία ρύπανσης των υδάτων
- Στο περιβάλλον της θάλασσας υπάρχει υψηλότερη αλατότητα, πανίδα τυπική καλά οξυγονωμένου υγιούς θαλάσσιου περιβάλλοντος, συνεπώς ο δείκτης A είναι μεγάλος και ο δείκτης AEI μικρότερος από ότι στη λιμνοθάλασσα
- Σε μια θέση στη θάλασσα υπάρχει διείσδυση γλυκών υδάτων, που φανερώνεται με την ύπαρξη αλλόχθονων φυκών, το μικρότερο ποσοστό ζωντανών τρηματοφόρων, το μεγαλύτερο δείκτη Shannon-Wiener και το μεγαλύτερο δείκτη AEI
- Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας επιβεβαιώνουν τα στοιχεία που είναι ήδη γνωστά για την πανίδα του Βορείου Αιγαίου. Η πανίδα του Έλους εμφανίζει ομοιότητα με αυτή της κλειστής Λιμνοθάλασσας της Λαφρούδας κι αυτή της θάλασσας εμφανίζει ομοιότητα με αυτή του κόλπου των Αβδήρων
- Επιβεβαιώνεται για ακόμα μια φορά η χρήση του δείκτη A για τον προσδιορισμό της αλατότητας σε σύγχρονα περιβάλλοντα απόθεσης



Βιβλιογραφία

- Anderson, O.R. and Lee, J. J., 1991. Symbiosis in Foraminifera. In Lee J. J., Anderson O. R., Eds., *Biology of Foraminifera*, 157-220 pp., Academic Press, London, U.K.
- Banner, F. T. and Williams, E., 1973. Test structure, organic skeleton and extrathalamous cytoplasm of *Ammonia* Brunnich. *Journal of Foraminiferal Research*, 3, 1-10.
- Barras, C., Jorissen, F. J., Labrune, C., Andral, B. and Boissery, P., 2014. Live benthic foraminiferal faunas from the French Mediterranean Coast: Towards a new biotic index of environmental quality. *Ecological Indicators*, 36, 719-743.
- Bernhard, J. M., 1988. Postmortem vital staining in benthic foraminifera: Duration and importance in population and distributional studies. *Journal of Foraminiferal Research*, 18, 143-6.
- Bernhard, J. M., 2000. Distinguishing Live from Dead Foraminifera: Methods Review and Proper Applications. *Micropaleontology*, 46, 38-46.
- Boltovskoy, E., Scott, D. B. and Medioli, F. S., 1991. Morphological Variations of Benthic Foraminiferal Tests in Response to Changes in Ecological Parameters: A Review. *Journal of Paleontology*, 65(2), 175-185. JSTOR.
- Cushman, J. A., 1928. On *Rotalia beccarii* (Linneé). *Contribution of Cushman Laboratory for Foraminiferal Research*, 4, 103-107.
- Debenay, J.-P. and Guillou, J.-J., 2002. Ecological transitions indicated by foraminiferal assemblages in paralic environments. *Estuaries*, 25(6), 1107-1120. <https://doi.org/10.1007/BF02692208>
- Dimiza, M. D., Triantaphyllou, M. V., Koukousioura, O., Hallock, P., Simboura, N., Karageorgis, A. P. and Papathanasiou, E., 2016. The Foram Stress Index: A new tool for environmental assessment of soft-bottom environments using benthic foraminifera. A case study from the Saronikos Gulf, Greece, Eastern

Mediterranean. *Ecological Indicators*, 60, 611-621.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.030>

EU Natura 2000 database. (2020, December 6).

<https://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=GR1130009&release=10>

Geographical names- Anadouli Bay: Greece. (2020, October 9). Geographic.Org.

https://geographic.org/geographic_names/name.php?uni=-1192080&fid=&c=greece

Geslin, E., Debenay, J.-P., Duleba, W. and Bonetti, C., 2002. Morphological abnormalities of foraminiferal tests in Brazilian environments: Comparison between polluted and non-polluted areas. *Marine Micropaleontology*, 45(2), 151-168. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(01\)00042-1](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(01)00042-1)

Hallock, P., 2000. Symbiont-bearing foraminifera. In: Sen Gupta, B.K., (Ed.), *Modern Foraminifera*, Kluwer Academic Publishers, Great Britain, pp. 123-139.

Hallock, P., Lidz, B. H., Cockey-Burkhard, E. M. and Donnelly, K. B., 2003. Foraminifera as bioindicators in coral reef assessment and monitoring: the FORAM INDEX. *Environmental Monitoring and Assessment*, 81(1/3), 221-238. <https://doi.org/10.1023/A:1021337310386>

Hammer, O., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D., 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4(1), 9 pp.

Haynes, J. R., 1981. Test Morphology and Composition. In: Haynes J. R., *Foraminifera* (pp. 40-59). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1007/978-1-349-05397-1_4

Hayward, B. W., Holzmann, M., Grenfell, H. R., Pawlowski, J. and Triggs, C. M., 2004. Morphological distinction of molecular types in *Ammonia* -towards a taxonomic revision of the world's most commonly misidentified foraminifera. *Marine*



Micropaleontology, 50(3-4), 237-271. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(03\)00074-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(03)00074-4)

Hedley, R. H., 1963. Cement and iron in the arenaceous Foraminifera.

Micropaléontologie, 9(4), 433-441.

Hillewaert, H., 2007. Van Veen grab employed on the R. V. Belgica (online image).

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4b/Van_Veen_grab.jpg

Hottinger, L., 2006. Illustrated glossary of terms used in foraminiferal research. *Carnets de Géologie/Notebooks on Geology*, Memoir 2006/02 (CG2006_MO2), 126 p.

Jorissen, F. J., 1988. Benthic foraminifera from the Adriatic Sea: Principles of phenotypic variation. *Utrecht micropaleontological bulletins*, 37, 7-139.

Karl, D. M., 1980. Cellular nucleotide measurements and applications in microbial ecology. *Microbiological Reviews*, 44, 739-796.

Kaštovský, J., Fučíková, K., Veselá, J., Brewer Carías, C. and Vegas-Vilarrúbia, T., 2019. Algae. In: *Biodiversity of Pantepui*, pp. 95-120, Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815591-2.00005-7>

Koukousioura, O., Kouli, K., Vouvalidis, K., Aidona, E., Karadimou, G. and Syrides, G., 2020. A multi-proxy approach for reconstructing environmental dynamics since the mid Holocene in Lake Ismarida (Thrace, N. Greece). *Revue de Micropaléontologie*, 68, 100443. <https://doi.org/10.1016/j.revmic.2020.100443>

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. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.07.004>

Kuroyanagi, A., Kawahata, H., Suzuki, A., Fujita, K. and Irie, T., 2009. Impacts of ocean acidification on large benthic foraminifers: Results from laboratory experiments. *Marine Micropaleontology*, 73(3-4), 190-195.

Lee, J. J., 1998. Living sands: Larger foraminifera and their endosymbiotic algae. *Symbiosis*, 25, 71-100.

- Lee, J. J., 2006. Algal symbiosis in larger foraminifera. *Symbiosis*, 42, 63-75.
- Leutenegger, S., 1984. Symbiosis in benthic Foraminifera specificity and host adaptations. *Journal of Foraminiferal Research*, 54, 11-16.
- Li, T., Xiang, R. and Li, T., 2014. Influence of trace metals in recent benthic foraminifera distribution in the Pearl River Estuary. *Marine Micropaleontology*, 108, 13-27. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2014.02.003>
- Lutze, G. F. and Altenbach, A., 1991. Technik und Signifikanz der Lebendfärbung benthischer Foraminiferen mit Bengalrot. *Geologisches Jahrbuch*, A128, 251-265.
- Magurran, A. E., 2013. Measuring Biological Diversity. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-2014122012826>
- Martin, R. E. and Steinker, D. C., 1973. Evaluation of techniques for recognition of living foraminifera. *Compass*, 50, 26-30.
- Martins, V. A., Frontalini, F., Tramonte, K. M., Figueira, R. C. L., Miranda, P., Sequeira, C., Fernández-Fernández, S., Dias, J. A., Yamashita, C., Renó, R., Laut, L. L. M., Silva, F. S., Rodrigues, M. A. da C., Bernardes, C., Nagai, R., Sousa, S. H. M., Mahiques, M., Rubio, B., Bernabeu, A., Rey, D. and Rocha, F., 2013. Assessment of the health quality of Ria de Aveiro (Portugal): Heavy metals and benthic foraminifera. *Marine Pollution Bulletin*, 70(1-2), 18-33. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.02.003>
- Melis, R. and Covelli, S., 2013. Distribution and morphological abnormalities of recent foraminifera in the Marano and Grado Lagoon (North Adriatic Sea, Italy). *Mediterranean Marine Science*, 14(2), 432. <https://doi.org/10.12681/mms.351>
- Mojtahid, M., Geslin, E., Coynel, A., Gorse, L., Vella, C., Davranche, A., Zozzolo, L., Blanchet, L., Bénéteau, E. and Maillet, G., 2016. Spatial distribution of living (Rose Bengal stained) benthic foraminifera in the Loire estuary (western France). *Journal of Sea Research*, 118, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2016.02.003>

- Mposkos, E. and Krohe, A., 2000. Petrological and structural evolution of continental high pressure (HP) metamorphic rocks in the Alpine Rhodope Domain (N. Greece). *Proceedings of the 3rd International Conf. on the Geology of the Eastern Mediterranean (Nicosia, Cyprus)*. Geol. Survey, Nicosia, Cyprus, 221-232.
- Murray, J. W., 1973. Distribution and ecology of living benthic foraminiferids. Crane Russak & Co., New York.
- Perissoratis, C. and Mitropoulos, D., 1989. Late Quaternary Evolution of the Northern Aegean Shelf. *Quaternary Research*, 32(1), 36-50. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(89\)90030-6](https://doi.org/10.1016/0033-5894(89)90030-6)
- Petalas, C. P. and Diamantis, I. B., 1999. Origin and distribution of saline groundwaters in the upper Miocene aquifer system, coastal Rhodope area, northeastern Greece. *Hydrogeology Journal*, 7(3), 305-316. <https://doi.org/10.1007/s100400050204>
- Poulos, S. E., Drakopoulos, P. G. and Collins, M. B., 1997. Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean): An overview. *Journal of Marine Systems*, 13(1-4), 225-244. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(96\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(96)00113-3)
- Saraswat, R., Kouthanker, M., Kurtarkar, S., Nigam, R. and Linshy, V. N., 2011. Effect of salinity induced pH changes on benthic foraminifera: A laboratory culture experiment. *Biogeosciences Discussions*, 8(4), 8423-8450. <https://doi.org/10.5194/bgd-8-8423-2011>
- Schönfeld, J., Alve, E., Geslin, E., Jorissen, F., Korsun, S. and Spezzaferri, S., 2012. The FOBIMO (FORaminiferal BIO-MONitoring) initiative-Towards a standardized protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology* 94-95, 1-13.
- Scott, D. B. and Medioli, F. S., 1986. Foraminifera as sea-level indicators. In O. van de Plassche (Ed.), *Sea-Level Research* (pp. 435-456). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-4215-8_15

Sen Gupta, B. K., Eugene Turner, R. and Rabalais, N. N., 1996. Seasonal oxygen depletion in continental-shelf waters of Louisiana: Historical record of benthic foraminifers. *Geology*, 24(3), 227-230.

Takagi, H., Kimoto, K., Fujiki, T., Saito, H., Schmidt, C., Kucera, M. and Moriya, K., 2019. Characterizing photosymbiosis in modern planktonic foraminifera. *Biogeosciences*, 16(17), 3377-3396. <https://doi.org/10.5194/bg-16-3377-2019>

Velaoras, D., Kassis, D., Perivoliotis, L., Pagonis, P., Hondronasios, A. and Nittis, K., 2013. Temperature and salinity variability in the Greek Seas based on POSEIDON stations time series: Preliminary results. *Mediterranean Marine Science*, 14(3), 5. <https://doi.org/10.12681/mms.446>

Walker, D. A., Linton, A. E. and Schafer, C. T., 1974. Sudan Black B: A superior stain to Rose Bengal for distinguishing living from nonliving foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 4, 205-215.

Walton, W.R., 1952. Techniques for recognition of living foraminifera. *Contribution of Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, 3, 56-60.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Κουκουσιούρα, Ό., 2012. Τα Βενθονικά τρηματοφόρα ως δείκτες περιβαλλοντικής υγείας των Ολοκαινικών παράκτιων οικοσυστημάτων. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), σελ. 265.

Πεταλάς, Χ. Π., 1997. Ανάλυση συστημάτων υδροφορέων στην ετερογενή παράκτια πεδιάδα της περιοχής της Ροδόπης. Διδακτορική Διατριβή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ξάνθη.

Τριανταφύλλου, Μ. Β., και Δημίτζα, Μαργαρίτα Δ., 2012. Μικροπαλαιοντολογία και Γεωπεριβάλλον. Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ.