



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Τομέας Ιστορικής Γεωλογίας και
Παλαιοντολογίας



ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ
ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ



Διπλωματική Εργασία

Μαρία Βασσάλου

A.M.: 1114201200010

Επιβλέπουσες:

- ❖ ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΔΗΜΙΖΑ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ
- ❖ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

Αθήνα 2021

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την κυρία Μαργαρίτα Δήμιζα, Επίκουρη Καθηγήτρια του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την ανάθεση αυτής της πτυχιακής εργασίας, την εμπιστοσύνη που τόσο απλόχερα μου έδειξε και την καθοδήγηση της, που ήταν καθοριστική για την εκπλήρωση αυτής της μελέτης. Αποτέλεσε ένα κομβικό σημείο, για την ένταξη μου σε ένα ενδιαφέρον επιστημονικό αντικείμενο, αυτό της Μικροπαλαιοντολογίας και συγκεκριμένα των βενθονικών τρηματοφόρων. Ανέκαθεν τη θεωρούσα πηγή έμπνευσης για το επιστημονικό της έργο, αλλά καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας, εκτίμησα ακόμα περισσότερο το ζήλο και τη θέληση της, να προσφέρει πολύτιμη βοήθεια και στήριξη. Κάθε μου βήμα γινόταν υπό το φως της ελευθερίας της σκέψης και κάθε κόμπιασμα πλαισιωνόταν από ένα κύμα συμπαράστασης, μια χρήσιμη συμβουλή, που μου έδινε ώθηση να συνεχίσω. Θεωρώ ότι είναι ο πιο καίριος παράγων για τη διεκπεραίωση της εργασίας και της είμαι πολύ ευγνώμων για αυτό.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω και στην Καθηγήτρια του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, κυρία Μαρία Τριανταφύλλου για το ενδιαφέρον που μου έδειξε και την πολύτιμη συνεισφορά της.

Ταυτόχρονα, οφείλω να ευχαριστήσω την κυρία Κατερίνα Κούλη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την αρωγή της με την πραγματοποίηση ηλεκτρονικών φωτογραφήσεων που συνετέλεσαν στην ακριβή απεικόνιση των ειδών που μελετήθηκαν.

Τέλος, αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις μεγαλύτερες ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου και τις φίλες μου, για την εμπύχωση που μου προσφέρουν καθημερινά και τη σημαντική ηθική τους συμπαράσταση, που μου δίνει τη δύναμη να συνεχίσω την επιστημονική μου πορεία, αλλά και την πορεία μου ως άνθρωπος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ D’ ORBIGNY, 1826	7
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	7
1.1.1 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ.....	8
1.1.2 ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ.....	14
1.2 ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ.....	16
1.3 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	19
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	24
2.1 ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ	24
2.2 ΑΙΓΑΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ.....	28
2.3 ΚΟΛΠΟΣ ΤΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ.....	34
2.4 ΑΡΓΟΛΙΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ	37
3. ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	39
3.1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	39
3.2 ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	40
3.3 ΒΙΟΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	41
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	45
4.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ, ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ	45
4.2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ	52
4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ	60

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	64
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τη διερεύνηση της σύνθεσης και της κατανομής των βενθονικών τρηματοφόρων, καθώς και την χρήση τους ως βιοδείκτες για την αξιολόγηση της οικολογικής ποιότητας των σύγχρονων παράκτιων οικοσυστημάτων στον κόλπο του Αργοσαρωνικού και στο Νότιο Αιγαίο. Εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος προπτυχιακών σπουδών του τμήματος Γεωλογίας και συμπεριλαμβάνεται στις ερευνητικές δραστηριότητες τις οποίες πραγματεύεται ο Τομέας Ιστορικής Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών κατά την περίοδο 2020-2021. Οι διαδικασίες πραγματοποίησης της εργασίας έλαβαν χώρα στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του Τομέα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αφορά στη μελέτη της σύνθεσης και της κατανομής των βενθονικών τρηματοφόρων σε επιφανειακά ιζήματα του πυθμένα στις περιοχές του Νοτίου Αιγαίου (Αντίπαρος, Ανάφη) και του Αργοσαρωνικού (Κοιλιάδα Αργολίδας, Γεφυράκι Πόρου και Αγκίστρι). Πραγματοποιήθηκε μικροπαλαιοντολογική εργαστηριακή επεξεργασία, την οποία ακολούθησε αναγνώριση, συστηματική ταξινόμηση των τρηματοφόρων, σε επίπεδο γένους και είδους, και καταμέτρηση. Συνολικά, εντοπίστηκαν εννέα αντιπρόσωποι των βενθονικών τρηματοφόρων (*Amphistegina lobifera*, *Peneroplis planatus*, *Peneroplis pertusus*, *Ammonia beccarii*, *Elphidium crispum*, *Textularia agglutinans*, *Triloculina* spp., *Quinqueloculina* spp. και *Sorites orbiculus*). Στις συναθροίσεις, επικρατούν τα γένη *Amphistegina* και *Peneroplis*, αν και στις περιοχές της Αντιπάρου και του Πόρου, τα ποσοστά των ετεροτροφικών miliolids είναι υψηλότερα, με αποτέλεσμα η ποικιλομορφία να είναι λίγο μεγαλύτερη. Επιπλέον, διεξήχθη η εφαρμογή βιοτικών δεικτών, συγκεκριμένα των FI, FSI και AEI, που αποσκοπούσε στην επαρκή ερμηνεία των συνθηκών που επικρατούν στα οικοσυστήματα αυτά. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, υποδηλώνουν την παρουσία oligοτροφικών περιβαλλόντων με καλά επίπεδα οξυγόνωσης και αποδεκτές συγκεντρώσεις οργανικού υλικού στον πυθμένα και οι θέσεις μελέτης κατατάσσονται στο επίπεδο άριστης/καλής οικολογικής ποιότητας.

Λέξεις κλειδιά: Μικροπαλαιοντολογία, βενθονικά τρηματοφόρα, Αιγαίο Πέλαγος, κόλπος του Σαρωνικού, Αργολικός κόλπος, βιοτικοί δείκτες

ABSTRACT

The present study examines the species composition and distribution data of benthic foraminifera in bottom sediments of the South Aegean (Antiparos, Anafi) and the Argosaronikos Gulf (Argolis Valley, Poros and Agistri). A micropaleontological laboratory processing was performed, followed by identification, systematic classification of foraminifera, by genus and species, and counting. Overall, nine taxa of benthic foraminifera (*Amphistegina lobifera*, *Peneroplis planatus*, *Peneroplis pertusus*, *Ammonia beccarii*, *Elphidium crispum*, *Textularia agglutinans*, *Triloculina* spp., *Quinqueloculina* spp. and *Sorites orbiculus*) were identified. The foraminiferal assemblages are prevailed by *Amphistegina* and *Peneroplis*, although, in the regions of Antiparos and Poros, the percentages of heterotrophic miliolids are higher, resulting in a slightly greater diversity. Furthermore, the implementation of bio-indices, namely FI, FSI and AEI, was carried out, with the aim of adequately interpreting the conditions prevailing in these ecosystems. Last but not least, the results demonstrate the presence of oligotrophic environments with good levels of oxygenation and acceptable concentrations of organic matter and the study sites are classified as of high/good ecological status.

Key Words: Micropaleontology, benthic foraminifera, Aegean Sea, Saronikos Gulf, Argolikos Gulf, bio-indices

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η καταγραφή των αρτίγωνων βενθονικών τρηματοφόρων σε παράκτιες περιοχές του Αργοσαρωνικού και του Νοτίου Αιγαίου, καθώς και η εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών του θαλάσσιου οικοσυστήματος με βάση την ανάλυση τους. Δεδομένου ότι η έρευνα επικεντρώνεται αποκλειστικά στα βενθονικά τρηματοφόρα, μελετάται η συστηματική τους ταξινόμηση και επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός περιβαλλοντικών δεικτών για μια ικανοποιητική προσέγγιση των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τις περιοχές.

Τα περισσότερα ερευνητικά προγράμματα, που έχουν πραγματοποιηθεί για την αξιολόγηση της κατάστασης των παράκτιων οικοσυστημάτων, είναι βασισμένα στην παρακολούθηση της μακροπανίδας της περιοχής, σε αντίθεση με τα σημαντικά λιγότερα που σχετίζονται με την αφθονότερη μειοπανίδα. Τις τελευταίες δεκαετίες, έγινε μια πληθώρα ερευνών που υπέδειξαν ότι οι εφαρμογές της μελέτης της τελευταίας είναι πολλαπλές και καίριες.

Η μειοπανίδα, που στη βιβλιογραφία αναφέρεται και ως *μειοβένθος*, είναι η ομάδα βενθονικών ασπόνδυλων οργανισμών, οι οποίοι είναι μεγαλύτεροι σε μέγεθος από την μικροπανίδα και μικρότεροι από τη μακροπανίδα. Ο όρος αυτός χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Mare (1942). Τα βενθονικά τρηματοφόρα είναι ένα σημαντικό στοιχείο του μειοβένθους και οι κοινότητες που σχηματίζουν έχουν άφθονη παρουσία σε όλα τα πιθανά θαλάσσια περιβάλλοντα, από ρηχά νερά έως παλιρροϊκές περιοχές (Goody et al., 1992).

Εξαιτίας της ευαισθησίας τους στις διακυμάνσεις των φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του μικροενδιαίτηματος, όπως η αλατότητα του νερού, το διαλυμένο οξυγόνο, η θερμοκρασία, το βάθος, η αλκαλικότητα, ο τύπος του υποστρώματος, η διαθεσιμότητα τροφής, κ.λπ. (Hulings & Gray, 1971; Thiel, 1983; Culver et al., 1996; Sen Gupta, 1999), αλλά και της γρήγορης προσαρμογής τους σε διαφοροποιημένες κλιματικές συνθήκες, χρησιμοποιούνται ως βιοδείκτες από το 1960 (Resig, 1960). Η απόκρισή τους στις αλλαγές εντυπώνεται στα κελύφη τους, τα οποία παρουσιάζουν υψηλή δυνατότητα διατήρησης στο γεωλογικό χρόνο, αφού απαντούν απολιθωμένα στα διάφορα ιζήματα, γεγονός το οποίο τα καθιστά πολύτιμα μέσα για παλαιοοικολογικές και παλαιοπεριβαλλοντικές αναπαραστάσεις καθώς και την εξήγηση των παλαιοοκεανογραφικών και παλαιοκλιματικών προβλημάτων (Boltonovskoy, 1965; Hallock, 2005; Almeida et al., 2013). Μέχρι προσφάτως, άλλωστε, ήταν γνωστά περισσότερο από τις απολιθωμένες εμφανίσεις τους και όχι τόσο από την βιοποικιλότητα των ζωντανών αντιπροσώπων τους στις συναθροίσεις τους στα θαλάσσια περιβάλλοντα. Επίσης, οι αλληλεπιδράσεις τους με τη μακροπανίδα και ο ρόλος τους στην τροφική αλυσίδα, εφόσον αποτελούν τροφή για μια μεγάλη ομάδα μεταζωικών οργανισμών (Lipps, 1983), είναι βασικοί λόγοι που συνετέλεσαν ώστε τα βενθονικά τρηματοφόρα να είναι από τα πρώτα μικροαπολιθώματα που μελετήθηκαν και συνεχίζουν να αποτελούν αντικείμενο ενδιαφέροντος, ιδιαίτερα στους τομείς της Μικροπαλαιοντολογίας αλλά και (Παλαιο)οκεανογραφίας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ D' ORBIGNY, 1826

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα τρηματοφόρα είναι μονοκύτταροι ευκαρυωτικοί οργανισμοί που η αφθονία των ειδών τους και η πληθώρα των εμφανίσεων τους μέσα σε ιζήματα σε παγκόσμιο επίπεδο τα καθιστούν σημαντικά για την ανασύσταση του περιβάλλοντος, την ερμηνεία του κλίματος και τον προσδιορισμό της σχετικής ηλικίας των στρωμάτων μέσα στα οποία συναντώνται. Αποτελούν τη συνομοταξία Foraminifera, των οποίων οι αντιπρόσωποι περιβάλλονται εξωτερικά από κέλυφος (von Siebold, 1845), τα οποία με τη σειρά τους ανήκουν στο ανθυποβασιλείο των Rhizaria του υποβασιλείου των Harosa του βασιλείου των Chromista (WoRMS, 2020). Είναι, κυρίως, θαλάσσιοι οργανισμοί με μόνο μερικά από τα είδη τους να συναντώνται σε υφάλμυρα νερά και μια οικογένειά τους (Allogromiidae) να συναντάται σε γλυκά.

Τα τρηματοφόρα μπορούν να χαρακτηριστούν ως *βενθονικά* ή *πλαγκτονικά*. Εάν η διαβίωση τους λαμβάνει χώρα σε υποστρώματα των θαλάσσιων πυθμένων ή σε επιφανειακά ιζηματογενή στρώματα στις ακτές και είναι είτε προσκολλημένα σε φύκη, κοράλλια ή άλλους οργανισμούς είτε κινούνται ελεύθερα στο περιβάλλον τους, αποτελούν τα βενθονικά τρηματοφόρα ή το βένθος, όπως συχνά αναφέρεται στη βιβλιογραφία. Ένα μεγάλο ποσοστό, που ξεπερνά το 90% του συνόλου των τρηματοφόρων, παρουσιάζει βενθικό τρόπο διαβίωσης (Sen Gupta, 2000). Αντιθέτως, εάν η διαβίωση τους είναι υπό αιώρηση σε μια υδάτινη στήλη και η κίνηση τους είναι ελεύθερη, τότε αποτελούν τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα ή το πλαγκτόν. Παρόλο που αφθονούν σε ανοιχτά θαλάσσια περιβάλλοντα και έχουν μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση, μετακινούμενα παθητικά από τα θαλάσσια ρεύματα, τα είδη αυτής της κατηγορίας δεν ξεπερνούν τα 50 (Sen Gupta, 2000). Η στρωματογραφική εξάπλωση των βενθονικών είναι από το Κάμβριο έως και σήμερα, ενώ των πλαγκτονικών είναι από το Ιουρασικό μέχρι σήμερα. Το μέγεθος των τρηματοφόρων γενικά κυμαίνεται από 100μm έως 1000μm με τους μεγαλύτερους αντιπροσώπους τους να φτάνουν σε μέγεθος τα 2mm (Murray, 1991).

Τώρα, όσον αφορά τον τρόπο διαβίωσης των βενθονικών τρηματοφόρων, κατηγοριοποιούνται σε:

- *ενδοπανίδα* (infauna). Αυτοί οι οργανισμοί διαβιούν μέσα στο ίζημα του πυθμένα και συγκεκριμένα μέχρι και 60 cm κάτω από την επιφάνεια του (Goldstein et al., 1995). Τα ευτροφικά περιβάλλοντα ευνοούν την ύπαρξη της λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας τροφής που προσφέρεται και το βάθος διείσδυσης της προσδιορίζεται από το υπάρχον οξυγόνο.
- *επιπανίδα* (epifauna). Αυτοί οι οργανισμοί μπορούν να διαβιούν επί ενός μαλακού υποστρώματος (άργιλοι και άμμοι), επί ενός σταθερού υποστρώματος προσκολλημένοι μόνιμα ή παροδικά – στην περίπτωση των τρηματοφόρων επί του πυθμένα – ή επί ενός οργανισμού. Στην περίπτωση που οι οργανισμοί είναι θαλάσσια φύκη, τα τρηματοφόρα θεωρούνται επιφυτικά (Sturrock and Marrey, 1981).

1.1.1 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

Το κέλυφος των τρηματοφόρων είναι ένας ενδοσκελετικός σχηματισμός, τον οποίο δημιουργεί το ίδιο το τρηματοφόρο ή το κατασκευάζει από υλικά που συγκεντρώνει και συνενώνει με τη βοήθεια του συνδετικού υλικού που εκκρίνει. Αποτελείται από ένα ή περισσότερους *θαλάμους*, μεταξύ των οποίων υπάρχουν τα *διαφράγματα* που τα ίχνη τους εμφανίζονται στην εξωτερική επιφάνεια γραμμικά και ονομάζονται *γραμμές ραφών*. Τα τρηματοφόρα επικοινωνούν με το εξωτερικό περιβάλλον μέσω ενός ανοίγματος στον τελευταίο θάλαμο του κελύφους, γνωστό ως *στοματικό άνοιγμα*.

Η ισχύουσα ταξινόμηση των τρηματοφόρων βασίζεται στο σύστημα ταξινόμησης που αναπτύχθηκε από τους Loeblich & Tappan (1964, 1987, 1992) και στηρίζεται στη σύσταση και στη δομή του τοιχώματος, όπως και στη μορφολογία του κελύφους τους. Με βάση, λοιπόν, τα κριτήρια αυτά, περιγράφονται περίπου 5.000 σύγχρονα και 40.000 απολιθωμένα είδη (Sen Gupta, 1999) με πρόσφατες μελέτες να δείχνουν υψηλή ποικιλομορφία λόγω πολλών ειδών κρυφής μορφολογικής διαφοροποίησης (Pawlowski et al., 2014). Ο διαχωρισμός των τρηματοφόρων, σύμφωνα με τους Loeblich and Tappan (1964), έγινε, αρχικά, σε 5 υποτάξεις, θεωρώντας τα Foraminifera ως τάξη. Στη συνέχεια, οι ίδιοι ερευνητές θεώρησαν τα Foraminifera ως κλάση και τις 12 υποτάξεις, τάξεις, ενώ ο Sen Gupta το 1999 βασιζόμενος στη δημοσίευση των Loeblich & Tappan του 1992, δημιούργησε 16 τάξεις, που αναφέρονται παρακάτω. Παράλληλα, σε μια διαφορετική προσέγγιση ως προς την ισχύουσα ταξινόμηση των τρηματοφόρων, όπου το τοίχωμα του κελύφους θεωρείται υποδεέστερο της μορφολογίας, η Mikhalevich (2013) ανέπτυξε ένα σύστημα ταξινόμησης με πέντε κύριες τάξεις. Το σχήμα αυτό υποστηρίζεται σε μοριακές μελέτες σύμφωνα με τους Pawlowski et al. (2013).

Τα κελύφη (tests) είναι είτε μονοθάλαμα (ένας θάλαμος) και ανιχνεύονται σε περιορισμένους αντιπροσώπους είτε πολυθάλαμα (πολλαπλοί θάλαμοι) και συνδέονται μεταξύ τους με ένα ή περισσότερα ανοίγματα (Loeblich και Tappan, 1988). Οι θάλαμοι προστίθενται κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του οργανισμού, ενώ οι απλούστερες μορφές είναι ανοιχτοί σωλήνες ή κοίλες σφαίρες. Ανάλογα με τον τρόπο συναρμογής και τη διεύθυνση των θαλάμων, τα κελύφη διακρίνονται σε *ευθυτενή* και *περιελιγμένα*. Τα ευθυτενή με τη σειρά τους διακρίνονται σε μονόσειρα (όπου οι θάλαμοι προστίθενται γραμμικά), δίσειρα ή τρίσειρα (όπου οι θάλαμοι προστίθενται σε δύο ή τρεις παράλληλες σειρές αντίστοιχα), πολύσειρα (όπου πολλοί θάλαμοι προστίθενται σε περισσότερες από τρεις παράλληλες σειρές) και συνδυασμό των παραπάνω σταδίων. Τα περιελιγμένα εμφανίζουν τρεις συγκεκριμένες μορφές, την επιπεδοσπειροειδή (όπου γίνεται σε ένα επίπεδο γύρω από έναν άξονα), την τροχοσπειροειδή (όπου γίνεται σε πολλά παράλληλα επίπεδα γύρω από έναν άξονα) και την αγαθιστεγή (όπου γίνεται σε διάφορα επίπεδα ανά 2 θαλάμους γύρω από 2, 3 ή ακόμα και 5 άξονες). Στην περίπτωση της επιπεδοσπειροειδούς περιέλιξης, εάν οι εξωτερικές περιελίξεις περιβάλλουν τις εσωτερικές πλήρως κάνοντας το κέλυφος να εμφανίζει μόνο την εξωτερική περιέλιξη, τότε ονομάζεται *ενελιγμένη*, ενώ εάν οι εξωτερικές δεν περιβάλλουν τις εσωτερικές πλήρως, τότε ονομάζεται *ανελιγμένη*. Στην τροχοσπειροειδή περιέλιξη, στο κέλυφος παρουσιάζεται μια ανελιγμένη πλευρά που

περιγράφεται ως σπειροειδής πλευρά και μια ενελιγμένη που περιγράφεται ως ομφαλική.

Επιπλέον, ο τρόπος σύνδεσης των θαλάμων μπορεί να είναι πιο πολύπλοκος, σε ευθεία όταν βρίσκονται σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης και κατόπιν, η διάταξη τους αλλάζει σε ομόκεντρους κύκλους ή ανά δυο σπείρες (ισημερινοί θάλαμοι με ισημερινή τομή) ή γίνονται σχισμοειδείς σε επίπεδα εκατέρωθεν των ισημερινών θαλάμων (πλευρικοί θάλαμοι με αξονική τομή). Τέλος, στο γένος *Sorites*, παρατηρούνται οι δακτυλιοειδείς θάλαμοι, οι οποίοι τοποθετούνται σε ομόκεντρους κύκλους με δακτυλιοειδή τρόπο.

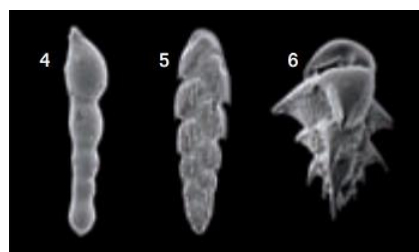
- Η τάξη Trochamminida και η Lituolida χαρακτηρίζονται από πολυθάλαμα κελύφη τροχοσπειροειδώς περιελιγμένα με αναπτυγμένα διαφράγματα,
- η Astrorhizida από μονοθάλαμα ή πολυθάλαμα κελύφη χωρίς κανονικά ανεπτυγμένα διαφράγματα,
- η Involutinida από δύο θαλάμους όπου ο αρχικός θάλαμος περικλείεται από τον περιελιγμένο, σωληνοειδή δεύτερο θάλαμο,
- η Lagenida από μονοθάλαμα ή πολυθάλαμα, επιπεδοσπειροειδώς περιελιγμένα ή ευθυτενή κελύφη,
- η Buliminida από πολυθάλαμα, τροχοσπειροειδώς περιελιγμένα ή ευθυτενή, (μονόσειρα, δίσειρα ή τρίσειρα),
- η Spirillinida από τροχοσπειροειδώς ή επιπεδοσπειροειδώς περιελιγμένα,
- η Robertinida από πολυθάλαμα,
- και η Miliolida από αγαθιστεγή κελύφη.



Εικόνα 1.1 Μονοθάλαμα κελύφη

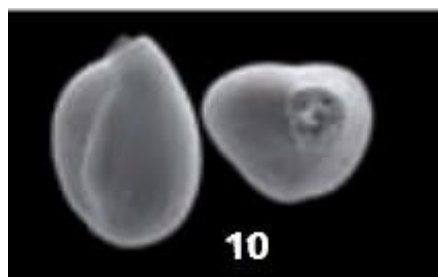
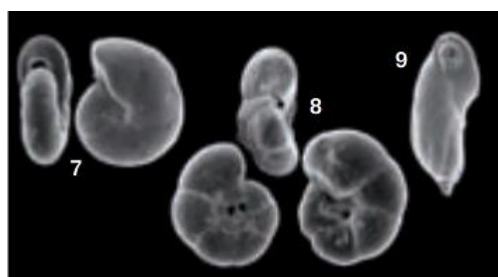
(1) Ο οργανισμός βρίσκεται σε ένα θάλαμο μεταβλητής μορφολογίας.

Ο μοναδικός θάλαμος είναι ένας σωλήνας που μπορεί να είναι ευθύς, σπειροειδώς περιελιγμένος (2) ή ακανόνιστα περιελιγμένος (3) (Debenay, 2012).



Εικόνα 1.2 Ευθυτενή

Οι θάλαμοι είναι διατεταγμένοι σε μια ευθεία σειρά (4), ή σε δυο παράλληλες σειρές (5), ή σε τρεις παράλληλες σειρές (6). Το στοματικό άνοιγμα είναι στον τελευταίο θάλαμο (Debenay, 2012).



Εικόνα 1.3 Περιελιγμένα

Οι θάλαμοι διατάσσονται επιπεδοσπειροειδώς (7), ή σε τρεις διαστάσεις τροχοσπειροειδώς (8) και (9) (Debenay, 2012).

Εικόνα 1.4 Αγαθιστεγές (10)

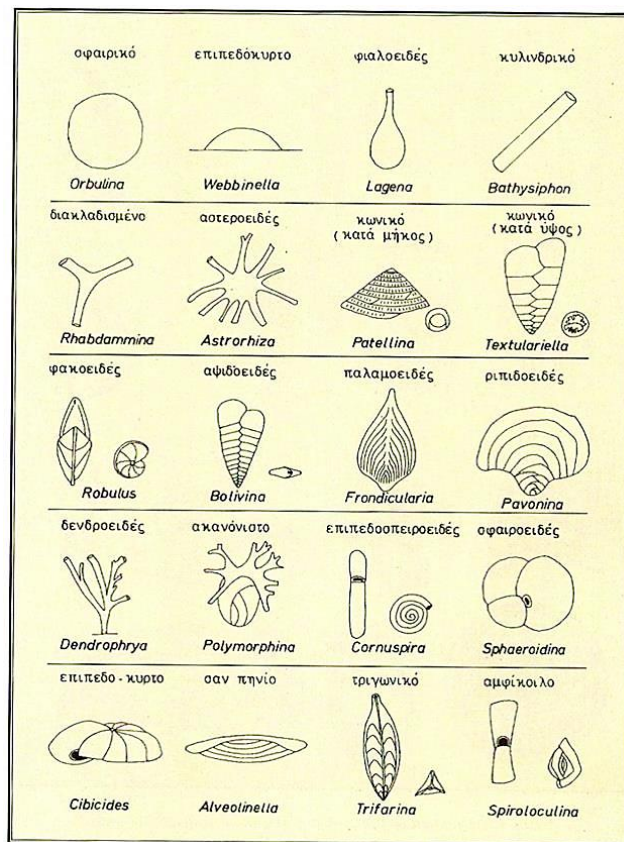
Έκαστος διαδοχικός θάλαμος τοποθετείται σε γωνία σε σχέση με τον προηγούμενό του, αφήνοντας ορατούς τους τρεις τελευταίους θαλάμους (Debenay, 2012).

(Source: Debenay Jean - Pierre, 2012. A Guide to 1000 Foraminifera, from Southwestern Pacific New Caledonia. IRD Editions, Publications Scientifiques Du Museum)

Η συναρμογή των θαλάμων είναι αρκετά περίπλοκη και οδηγεί σε μια ποικιλία σχημάτων του κελύφους, μερικά από τα οποία είναι:

- a. κυλινδρικό
- b. δισκοειδές
- c. περιελιγμένο
- d. σφαιρικό
- e. ακανόνιστο
- f. ριπιδοειδές
- g. κωνικό
- h. φακοειδές
- i. ατρακτοειδές
- j. κυκλικό
- k. δενδροειδές
- l. αστεροειδές

και μερικά ακόμα παρατίθενται στην Εικόνα 1.5 με σχήματα.



Εικόνα 1.5 Τα σχήματα που εμφανίζουν τα κελύφη των χαρακτηριστικών γενών των τρηματοφόρων (Boltovskoy and Wright, 1976; Δερμιτζάκης & Γεωργιάδου – Δικαιούλια, 1993).

(Source: Boltovskoy E., Wright R.C., 1976. Recent Foraminifera. Springer Netherlands, Springer Science, Business Media B.V.) –

(Site: Forum facts – An introduction to foraminifera
<https://ucmp.berkeley.edu/fosrec/Wetmore.html>)

Το τοίχωμα του κελύφους ανάλογα με τη σύσταση που έχει (Loeblich & Tappan, 1992; Sen Gupta, 1999) χωρίζεται σε:

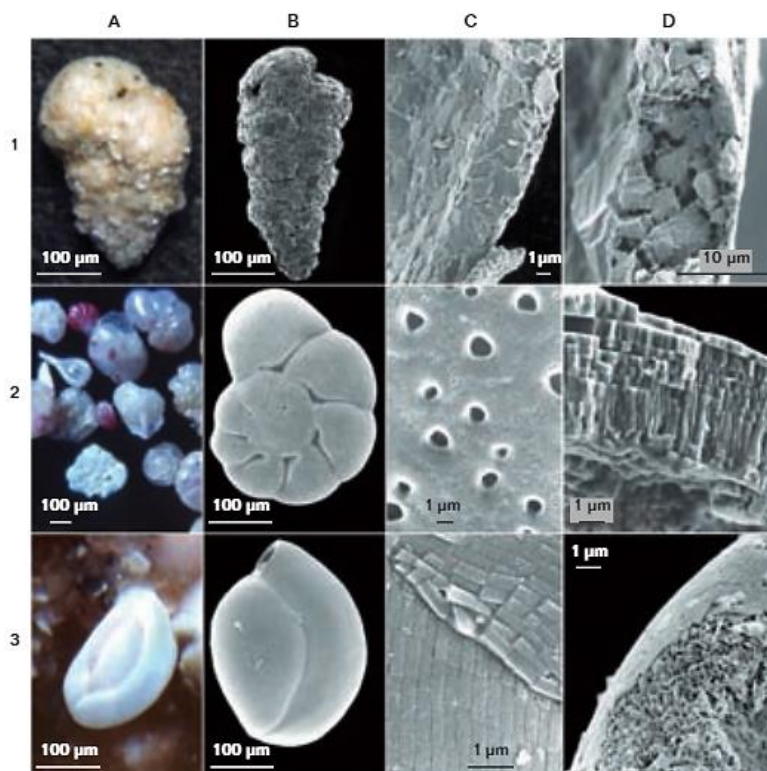
- ♦ οργανικό ⇒ τάξη Allogromiida (εξωτερική μεμβράνη από οργανικό υλικό)
- ♦ ασβεστολιθικό ή αραγωνιτικό ⇒ τάξεις Globigerinida, Rotalida, Spirillinida, Carterinida, Lagenida, Buliminida (ασβεστιτικό χαμηλής περιεκτικότητας σε Mg, υαλώδες), Involutinida, Robertinida (αραγωνιτικό υαλώδες), Fusulinida (ασβεστιτικής φύσεως, μικροκοκκώδες) και Miliolida (ασβεστιτικό υψηλής περιεκτικότητας σε Mg, πορσελανώδες).
- ♦ πυριτικό ⇒ τάξη Silicoloculinina (πορσελανώδες από οπάλιο)
- ♦ συμφυρματοπαγές ⇒ τάξεις Trochamminida, Astrorhizida, Lituolida (συναντώνται σωματίδια συγκολλημένα σε μια πρωτεϊνούχα κύρια μάζα και στις τρεις τάξεις) και Textulariida (συνδετικό υλικό χαμηλής περιεκτικότητας σε Mg-ασβεστίτη).

Αναλυτικότερα, το αρχαιότερο κέλυφος από το οποίο προέρχονται όλα τα υπόλοιπα είναι το χιτινώδες (οργανικής φύσεως), το οποίο σπάνια απολιθώνεται. Το οργανικό αυτό τοίχωμα είναι χαρακτηριστικό των τρηματοφόρων μαλακού κελύφους, αφού είναι λεπτό και αποτελείται είτε από πρωτεϊνούχο υλικό (ψευδοχιτίνη) είτε από μια στρώση οργανικής προέλευσης στο εσωτερικό στην οποία έχουν προσκολληθεί ασθενώς μικρά ξένα σωματίδια. Στην πλειοψηφία των τρηματοφόρων, συναντώνται είτε συμφυρματοπαγή είτε ασβεστολιθικά τοιχώματα στο κέλυφος, τα οποία και τα χαρακτηρίζουν ως τρηματοφόρα σκληρού κελύφους (Loeblich and Tappan, 1988; Gooday, 1986; Gooday, 1990). Αυτό συμβαίνει επειδή έχουν περισσότερη ποικιλομορφία και μεγαλύτερες δυνατότητες για συντήρηση. Στα συμφυρματοπαγή, παρατηρείται είτε σύνδεση κόκκων ιζήματος και άλλων ετερογενών στοιχείων, όπως παραδείγματος χάρη ορυκτών κόκκων (χαλαζία, ρουτίλιο), ηφαιστειακής τέφρας με τη βοήθεια συγκολλητικού υλικού που έχει συνήθως ασβεστιτική σύσταση είτε ιζήματα χαλαρά συνδεδεμένα σε μια οργανική μεμβράνη (Kuhnt et al., 2005). Τα ασβεστολιθικά αποτελούνται από μικρούς κόκκους κρυσταλλικού CaCO₃ (ασβεστίτης ή αραγωνίτης) με χαμηλή περιεκτικότητα σε μαγνήσιο. Οι κύριοι τύποι δομής του ασβεστολιθικού κελύφους είναι η πορσελανώδης (αδιάτρητη), η υαλώδης (διατρητή) και η μικροκοκκώδης (Loeblich and Tappan, 1988).

Στην περίπτωση που το κέλυφος έχει πορσελανώδες τοίχωμα, το χρώμα του είναι γαλακτώδες έως λευκό, φαίνεται ημιδιαφανές έως αδιαφανές σε προσπίπτον φως, αποτελείται από μικρού μεγέθους, επιμήκεις κρυστάλλους ασβεστίτη που έχουν τυχαίο προσανατολισμό και δεν έχει πόρους. Εάν το τοίχωμα είναι υαλώδες, εμφανίζεται διαφανές σε προσπίπτον φως, με γυαλιστερή επιφάνεια, αποτελείται από κρυστάλλους ασβεστίτη των οποίων οι άξονες είναι παράλληλοι μεταξύ τους και κάθετοι στην επιφάνεια του τοιχώματος και περιέχει μια πληθώρα πόρων (Murray, 1979). Τέλος, τα

κελύφη με *μικροκοκκώδες* τοίχωμα είναι σπάνια (οι εμφανίσεις τους περιορίζονται στον Παλαιοζωικό αιώνα) και λόγω του λεπτού συμπιεσμένου ασβεστολιθικού στρώματος εξωτερικά στο οποίο υπάρχει μια σειρά διαφραγμάτων που δημιουργούν μικρούς θαλάμους σε μορφή κυψελών, η επιφάνεια του φαίνεται ιριδίζουσα (Εικόνα 1.6).

Ένα χαρακτηριστικό του υαλώδους τοιχώματος που χρίζει ιδιαίτερης σημασίας είναι ότι εκτός από πόρους, μπορεί να εμφανίζει ελασματοειδή κατασκευή. Κατά τη δημιουργία ενός νέου θαλάμου, ένα ασβεστολιθικό έλασμα καλύπτει το αρχικό τοίχωμα του κελύφους και ως εκ τούτου, η επιφάνεια είναι παχύτερη στους παλαιότερους θαλάμους και λεπτότερη στους νεότερους. Αυτό έχει ως συνέπεια την κατασκευή ενός κελύφους με διαδοχικά ελάσματα που διακρίνεται σε δυο Ένα χαρακτηριστικό του υαλώδους τοιχώματος που χρίζει ιδιαίτερης σημασίας είναι ότι εκτός από πόρους, μπορεί να εμφανίζει ελασματοειδή κατασκευή. Κατά τη δημιουργία ενός νέου θαλάμου, ένα ασβεστολιθικό έλασμα καλύπτει το αρχικό τοίχωμα του κελύφους και ως εκ τούτου, η επιφάνεια είναι παχύτερη στους παλαιότερους θαλάμους και λεπτότερη στους νεότερους. Αυτό έχει ως συνέπεια την κατασκευή ενός κελύφους με διαδοχικά ελάσματα που διακρίνεται σε δυο κατηγορίες, το μονοελασματικό (προστίθεται ένα έλασμα στο νεότερο θάλαμο και στην εξωτερική πλευρά των παλιών θαλάμων) και το διελασματικό (προστίθενται δύο ελάσματα στο νεότερο θάλαμο, αλλά ένα έλασμα στην εξωτερική πλευρά των παλιών θαλάμων).

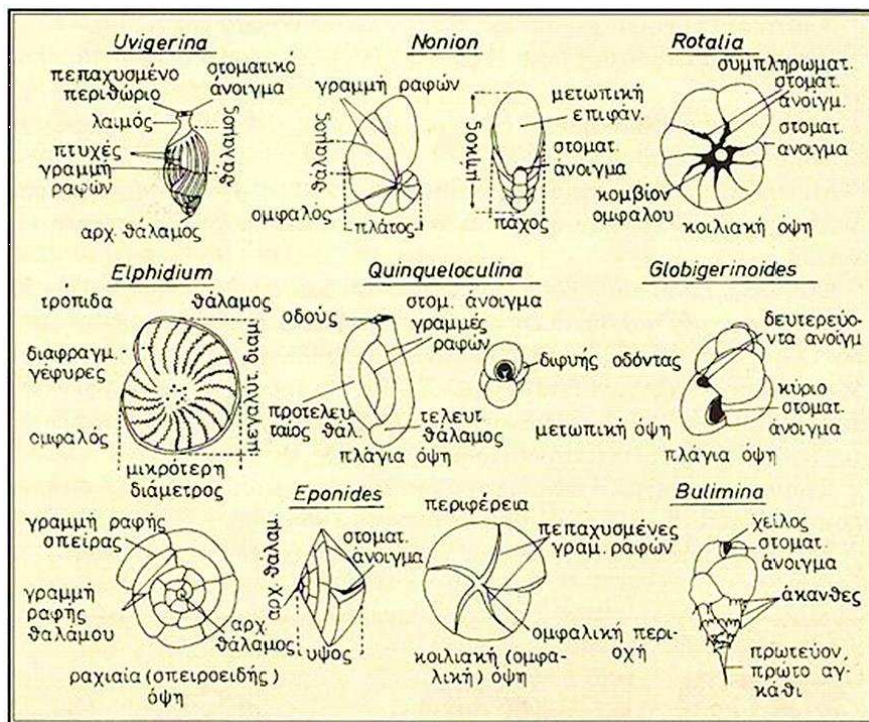


Εικόνα 1.6 Φυσικά χαρακτηριστικά και δομή των κελυφών των τρηματοφόρων. 1) Συμφυρματοπαγή, 2) υαλώδη ασβεστολιθικά, 3) πορσελανώδη ασβεστολιθικά – Α) οπτικό μικροσκόπιο, Β) SEM, Γ) λεπτομερής άποψη της επιφάνειας που δείχνει το συγκολλητικό υλικό μεταξύ των ξένων σωματιδίων

σε ένα συμφυρματοπαγές κέλυφος, τους πόρους σε ένα υαλώδες και τις ρομβοεδρικές κυψελίδες σε ένα πορσελανώδες, D) τμήματα που δείχνουν τα ξένα σωματίδια σε ένα συμφυρματοπαγές κέλυφος, τα ελάσματα σε ένα υαλώδες και τους ακανόνιστα διατεταγμένους βελονοειδείς ασβεστιτικούς κρυστάλλους που είναι καλυμμένοι με ρομβοεδρικές κυψελίδες σε ένα πορσελανώδες (Debenay, 2012).

(Source: Debenay Jean - Pierre, 2012. A Guide to 1000 Foraminifera, from Southwestern Pacific New Caledonia. IRD Editions, Publications Scientifiques Du Museum)

Όπως υποδεικνύεται παραπάνω, τα κελύφη χαρακτηρίζονται από τη μορφολογία τους και τη συναρμογή των θαλάμων, αλλά και από τα στοματικά τους ανοίγματα τα οποία επιτρέπουν στον οργανισμό την επικοινωνία του με το εξωτερικό περιβάλλον. Τα ανοίγματα αυτά εμφανίζουν μια ποικιλία θέσεων στην επιφάνεια του κελύφους. Μπορεί να είναι στην άκρη ή στην περιφέρεια του τελευταία διαμορφωμένου θαλάμου, στη γραμμή ραφής στην κοιλιακή πλευρά του τροχοσπειροειδώς περιελιγμένου κελύφους ή πάνω στον ομφαλό και να έχουν στρογγυλό ή ακτινωτό σχήμα ή ακόμα να είναι μια σχισμή. Το στοματικό άνοιγμα υπάρχει περίπτωση να συνίστανται από πόρους, να φέρει οδόντα ή και χείλος. Το σχήμα και η θέση του στοματικού ανοίγματος παραμένουν σταθερά κατά την οντογένεση και στους παλαιότερους θαλάμους παίρνουν την ονομασία *ανοίγματα* (Εικόνα 1.7).



Εικόνα 1.7 Κύρια χαρακτηριστικά της μορφής των κελυφών των τρηματοφόρων (Boltovskoy and Wright, 1976; Δερμιτζάκης & Γεωργιάδου – Δικαιούλια, 1993).

(Source: Boltovskoy E., Wright R.C., 1976. Recent Foraminifera. Springer Netherlands, Springer Science, Business Media B.V.)

1.1.2 ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ

Εσωτερικά των κελυφών, τα τρηματοφόρα έχουν οργανωμένο κυτταρόπλασμα που με τον κυτταρικό πυρήνα αποτελούν το πρωτόπλασμα το οποίο διακρίνεται σε εξώπλασμα και ενδόπλασμα. Ο πυρήνας, ο οποίος εμφανίζεται στρογγυλός περιέχει τα χρωμοσώματα, την πυρηνική μεμβράνη, τα σωματίδια που περιέχουν το RNA και τον πυρηνικό χυμό. Πέρα από αυτά, το κύτταρο αποτελείται από φυσαλίδες, ριβοσώματα, μιτοχόνδρια και σωματίδια Golgi.

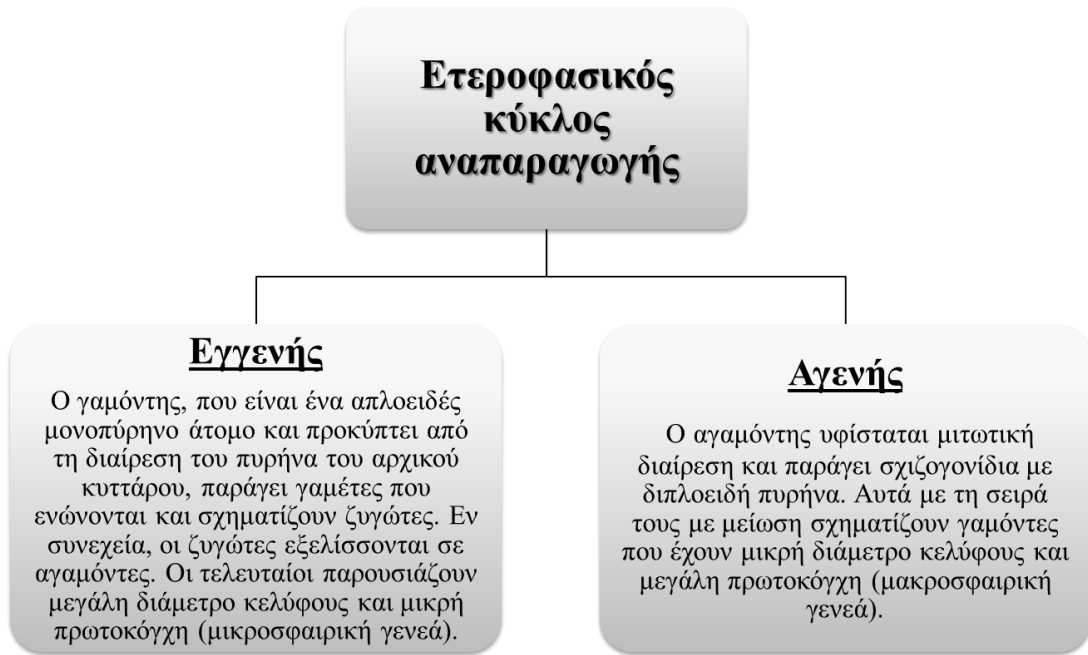
Σχετικά με το πρωτόπλασμα, από αυτό σχηματίζεται ένα δίκτυο ψευδοποδίων τα οποία κυρίως συμβάλλουν στη σύλληψη της τροφής τους, στην προσκόλληση τους καθώς και τα βοηθούν να κινούνται και να κατασκευάσουν το κέλυφός τους. Τα ψευδοπόδια (που ονομάζονται και *κοκκιοδικτυοπόδια /granular reticulopodia*) εκτείνονται από ένα ή περισσότερα ανοίγματα και οπές στο τοίχωμα του κελύφους και αποτελούν προεξοχές του κυτταροπλάσματος μαζί με ένα επιπλέον δίκτυο αναστομωμένων λεπτών, κοκκωδών ή ινωδών ριζοποδίων και φιλοποδίων (Murray, 1991; Travis & Browser, 1991). Βρίσκονται, κατά βάση, στην περιοχή όπου λαμβάνει χώρα η δημιουργία των νέων θαλάμων και εξερχόμενα από το κέλυφος, συλλαμβάνουν θραύσματα τα οποία με τη συγκολλητική ύλη που εκκρίνουν, τα ενώνουν και παράγουν ένα όλο και μεγαλύτερο σύμπλεγμα που καταλήγει να παίρνει τη μορφή νέου θαλάμου. Η ταχύτητα κινήσεώς των τρηματοφόρων εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα του κελύφους και την ηλικία του εκάστου αντιπροσώπου.

Ως συμπέρασμα από τα παραπάνω, το διαμερισματοποιημένο κυτταρόπλασμα μαζί με τα σύνθετα κέλυφη των τρηματοφόρων τα καθιστούν ως πιο εξελιγμένους οργανισμούς από την παλαιότερη φυλογενετική τους ταξινόμηση που τα είχε ορίσει ως πρωτόγονους (Sleigh, 1989; Anderson & Lee, 1991).

Αναφορικά με τη *διατροφή* τους, τα τρηματοφόρα είναι ετερότροφοι παμφάγοι οργανισμοί και εκθέτουν μια ποικιλία προτίμησης και μηχανισμών πρόσληψης τροφής, με τους κυριότερους να είναι:

- i. σαρκοφαγική οπορτουμιστική διατροφή, με κατανάλωση οργανικών υπολειμμάτων, μετάζωων (όπως κωπήποδα), πρώτιστων (συμπεριλαμβανομένων και άλλων τρηματοφόρων) και μονοκύτταρων φυκών (Haynes, 1981),
- ii. φυτοφαγική διατροφή, με κατανάλωση βακτηρίων και φυτών από την στήλη ύδατος με τη βοήθεια των ψευδοποδίων (ενεργά) ή σύλληψη αιωρούμενων στοιχείων (παθητικά) στην ευφωτική ζώνη (Lipps, 1983),
- iii. ιζηματοφαγική διατροφή, με απορρόφηση διαλυμένης οργανικής ύλης μέσω των ψευδοποδίων ή ακόμα και εκσκαφή του ιζήματος,
- iv. συμβιωτική και
- v. παρασιτική διατροφή, επί άλλων τρηματοφόρων (Pawlowski, 2012).

Σε ότι αφορά την αναπαραγωγή, τα τρηματοφόρα παρουσιάζουν ετεροφασικό κύκλο αναπαραγωγής, ο οποίος χωρίζεται στις παρακάτω κατηγορίες σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα (Εικόνα 1.8).



Εικόνα 1.8 Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας αναπαραγωγής και επεξήγηση του εγγενή και αγενή κύκλου αναπαραγωγής.

Μετά τη σύντηξη των γαμετών ή τη σχάση του μητρικού κυττάρου, οι ζυγώτες κατασκευάζουν ένα μικρό αρχικό θάλαμο, που είναι ασβεστοποιημένος γύρω από το πρωτόπλασμα. Κατά τη διάρκεια ανάπτυξης του κυττάρου, το μέγεθος του θαλάμου αυξάνεται στα μονοθάλαμα κελύφη και προστίθενται διαδοχικά νέοι θάλαμοι στα πολυθάλαμα κελύφη. Ενώ στην αρχή, σχεδόν κάθε μέρα κατασκευάζεται και από ένας θάλαμος, οι διαδικασίες που απαιτούνται είναι σύνθετες και διαφέρουν ανάλογα με τη φύση του κελύφους (Debenay, 2012).

Εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των ειδών των τρηματοφόρων και του υψηλού ρυθμού αναπαραγωγής, αναγνωρίζονται ως μια από τις σημαντικότερες τάξεις μικροαπολιθωμάτων (Murray 1991).

1.2 ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα βενθονικά τρηματοφόρα έχουν αναγνωριστεί από καιρό για τη σημασία τους στις διάφορες θαλάσσιες παλαιοπεριβαλλοντικές έρευνες ως ένας από τους πιο ευαίσθητους δείκτες (Gooday et al., 1992). Μελέτες νεκρών και ζωντανών αντιπροσώπων τους έχουν δείξει ότι η κατανομή και η σύνθεση τους ελέγχονται από τοπικές ιδιαιτερότητες του θαλάσσιου περιβάλλοντος, που διακρίνονται σε αβιοτικούς και βιοτικούς παράγοντες (Murray, 2006). Είναι γνωστό, άλλωστε, ότι οι ποικιλίες και τα κυρίαρχα είδη τους επηρεάζονται πολύ από την θερμοκρασία και την αλατότητα, με μερικές από τα τις πιο εντυπωσιακές αλλαγές στα μοτίβα κατανομής ειδών στον πυθμένα να σχετίζονται με την ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου, το φως και τη διαθεσιμότητα σε θρεπτικά συστατικά (Sen Gupta and Machain-Castillo, 1993).

ΑΒΙΟΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ



Αλατότητα

Η μορφολογία και η φύση του κελύφους, καθώς και η συναρμογή των θαλάμων είναι δείκτες των συνθηκών αλατότητας που επικρατούν σε ένα περιβάλλον. Η πλειοψηφία των τρηματοφόρων, που έχουν ναλωδές κέλυφος, είναι προσαρμοσμένα σε τιμές αλατότητας που προσεγγίζουν το 35%. Αντίστοιχα, σε τιμές αλατότητας > 40%, αφθονούν αυτά που εμφανίζουν πορσελανώδες κέλυφος (επιπεδοσπειροειδώς, τροχοσπειροειδώς περιελιγμένα και αγαθιστεγή) και σε τιμές < 32%, αυτά με το συμφυρματοπαγές κέλυφος. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι σε συνθήκες χαμηλής αλατότητας όπου η ποσότητα σε ανθρακικό ασβέστιο είναι περιορισμένη, ευδοκούν άτομα με πιο λεπτό τοίχωμα και σημαντικά μικρότερο μέγεθος κελύφους.



Οξυγόνωση των υδάτων

Ο γενικός ισχυρισμός είναι ότι το οξυγόνο και η διαθεσιμότητα τροφής είναι οι κύριοι παράγοντες που ελέγχουν τη χωρική κατανομή των βενθονικών τρηματοφόρων εντός και εκτός των ιζημάτων (Jorissen et al., 1995). Η διαλυτότητά του ποικίλλει ανάλογα με τις τιμές της αλατότητας (θετικά) και της θερμοκρασίας (αρνητικά) (Sen Gupta & Machain-Castillo, 1993). Τα επίπεδα οξυγόνου είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό στους πυθμένες των θαλασσών, το οποίο μετά από διάσπαση, αποτελεί πρωτεύουσα πηγή τροφής για τους οργανισμούς. Είδη τα οποία παρουσιάζουν μικρότερα, λεπτότερου τοιχώματος κελύφη, προτιμούν οξικά περιβάλλοντα, σε αντίθεση με αυτά που έχουν μεγαλύτερα, πορώδη κελύφη και προτιμούν περιοχές χαμηλής οξυγόνωσης. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από πλούσια εισροή οργανικής ύλης η οποία είναι αποτέλεσμα του αυξημένου πληθυσμού των τρηματοφόρων. Με περαιτέρω μείωση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο, είναι δυνατό να δημιουργηθούν ανοξικές συνθήκες και σε συνδυασμό με την αύξηση σε αέρια, όπως το μεθάνιο, να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση του πληθυσμού και της ποικιλότητας, έως ότου μέχρι και οι πιο ανθεκτικοί αντιπρόσωποι να εξαφανιστούν (Bernhard and Reimers, 1991).

Το οξυγόνο λαμβάνεται από τους οργανισμούς από το θαλασσινό νερό, μεταφέρεται με διάχυση μέσω του κυττάρου και χρησιμοποιείται στα μιτοχόνδρια για την παραγωγή ενέργειας από την οξείδωση των οργανικών μορίων της τροφής. Προφανώς, οι πόροι στην επιφάνεια, εάν υπάρχουν, διευκολύνουν την πρόσληψη οξυγόνου και την απελευθέρωση CO₂ (Hottinger and Dreher, 1974; Berthold, 1976; Leutenegger and Hansen, 1979).



Βάθος

Ένας τρίτος παράγοντας που επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται τα τρηματοφόρα είναι το βάθος. Ανάλογα με τη σύσταση των κελυφών, σε αβαθή νερά, στην περιοχή της υφαλοκρηπίδας, συναντώνται τρηματοφόρα με πορσελανώδη κελύφη, καθώς και μεγάλου μεγέθους τρηματοφόρα που φιλοξενούν συμβιωτικά είδη. Όσο αυξάνεται το βάθος, στην κατώφεια και τη βαθύαλη ζώνη, εμφανίζονται αυτά που φέρουν ευθυτενές κέλυφος, ενώ τα συμφυρματοπαγή τρηματοφόρα επικρατούν στα αβυσσικά περιβάλλοντα.



Αλκαλικότητα (pH)

Η αλκαλικότητα καθορίζεται από μία σειρά περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως η βιολογική δραστηριότητα, το βάθος και η θερμοκρασία. Όσο αυξάνεται το βάθος, παρατηρείται μείωση της αλκαλικότητας, δηλαδή πιο όξινο pH, που έχει ως συνέπεια το CaCO_3 των κελυφών των ασβεστολιθικών τρηματοφόρων να διαλύεται ευκολότερα. Αυτός είναι ο λόγος που οι οργανισμοί με συμφυρματοπαγή κελύφη αφθονούν σε μεγάλα βάθη.



CaCO_3

Η προσφορά σε ανθρακικό ασβέστιο καθορίζεται κυρίως από την αλμυρότητα, την θερμοκρασία και το βάθος. Συγκεκριμένα, η διαθεσιμότητα είναι μεγάλη σε υψηλές τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας, ωστόσο κάτω από το βάθος εξισορρόπησης CaCO_3 , διαλύεται το ανθρακικό ασβέστιο και εμφανίζονται μόνο τρηματοφόρα με συμφυρματοπαγή κελύφη. Όσον αφορά τα ασβεστολιθικά συστήματα σε μικρότερα βάθη, τα τρηματοφόρα με ναλώδη κελύφη αφθονούν σε κορεσμένα σε ανθρακικό ασβέστιο ύδατα και κάποιες φορές σε ελαφρώς υπέρκορα, ενώ αυτά με πορσελανώδες κέλυφος κυριαρχούν μόνο σε υπέρκορα.



Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία θεωρείται μια από τις κύριες παραμέτρους ανάπτυξης και ποικιλότητας των τρηματοφόρων και ελέγχει το μέγεθος και τους πόρους των κελυφών τους (Boitovskoy et al. 1991). Συγκεκριμένα, οι αυξημένες τιμές θερμοκρασίας οδηγούν σε αυξημένα μεγέθη κελυφών με μεγάλου πάχους τοιχώματα και περισσότερους πόρους (Frerichs, 1970), ενώ επίσης σε περιοχές που είναι σταθερά θερμές, παρατηρείται αφθονία συναθροίσεων με μεγάλη ποικιλότητα ειδών.



Είδος του πυθμένα

Η σύσταση των κελυφών των τρηματοφόρων δίνει πληροφορίες για τη σύσταση του πυθμένα με ενδοπανιδικά και επιπανιδικά, προσκολλημένα, επιμήκη είδη που φέρουν λεπτόκοκκη σύνθεση κελύφη με λεπτά τοιχώματα να υποδεικνύουν μαλακό υπόστρωμα και προσκολλημένα είδη με διακοσμημένα, τροχοσπειροειδώς περιελιγμένα κελύφη με λεπτά τοιχώματα να υποδεικνύουν σκληρό υπόστρωμα.



Θαλάσσια ρεύματα

Τα ωκεάνια ρεύματα παίζουν σημαντικό ρόλο με τη συμβολή τους στη μεταφορά και διασπορά θρεπτικών στοιχείων, οργανικής ύλης, οξυγόνου ακόμα και ιζημάτων, επηρεάζοντας αρνητικά τη διάγεια των υδάτων.



Ένταση φωτός

Ένας παράγοντας που δεν πρέπει να παραληφθεί είναι τα επίπεδα φωτός που δέχεται η υδάτινη στήλη όσο αυξάνεται το βάθος. Όσο πιο έντονο είναι το φως, τόσο μεγαλύτερη ανάπτυξη παρουσιάζουν τα τρηματοφόρα. Ειδικότερα, αυτά που έχουν μεγάλο μέγεθος και φιλοξενούν ενδοσυμβιωτικούς οργανισμούς, προτιμούν την ευφωτική ζώνη (ζώνη στους ωκεανούς με άφθονο φως, επαρκές για τις φωτοσυνθετικές διαδικασίες, που αγγίζει μεγάλα βάθη σε τροπικές περιοχές και ελέγχεται από τις κλιματικές μεταβολές). Ωστόσο, όσο αυξάνεται το βάθος, τόσο μειώνεται η ένταση του φωτός, η οποία είναι υψηλότερη στα ανοιχτά της θάλασσας σε σχέση με τις παράκτιες περιοχές.

ΒΙΟΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ



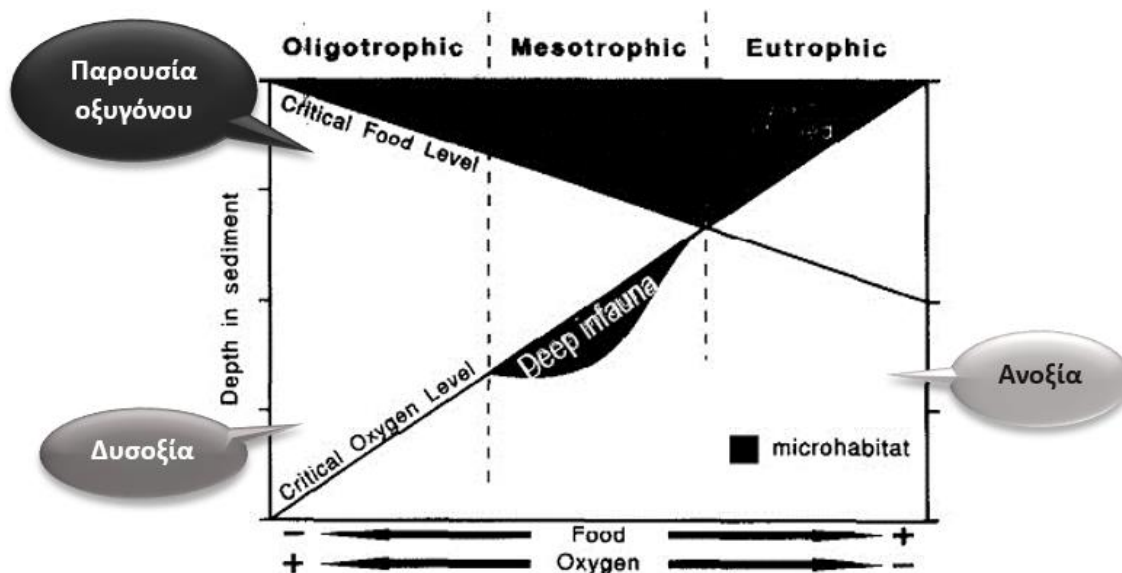
Διαθεσιμότητα τροφής

Η διάσπαση της νεκρής πανίδας και χλωρίδας που καθιζάνει στους πυθμένες των θαλασσών είναι η κύρια πηγή τροφής των τρηματοφόρων. Σε oligοτροφικές περιοχές, η ποσότητα οργανικής ύλης στην θάλασσα είναι χαμηλή και τα περισσότερα τρηματοφόρα ζουν πάνω ή κοντά στην επιφάνεια του ιζήματος όπου συγκεντρώνεται η τροφή. Σε ευτροφικά περιβάλλοντα, η υψηλή συγκέντρωση σε οργανικό υλικό μπορεί να προκαλέσει ταχεία εξάντληση του οξυγόνου στο ιζήμα, περιορίζοντας παράλληλα την πρόσβαση σε βαθύτερα στρώματα σε είδη που είναι ανεγτικά σε δυσοξικές – ανοξικές συνθήκες. Έτσι, επικρατούν μόνο τα ανθεκτικά ενδοπανιδικά είδη (Verhallen, 1990). Παρόλα αυτά, σε περίπτωση εποχιακής επαναοξυγόνωσης ανοξικών περιβαλλόντων, όπου το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής τρηματοφόρων θα συγκεντρωθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα, η πανίδα που θα προκύψει είναι πολύ πιθανόν να κυριαρχείται από οπορουνιστικά επιπανιδικά είδη (Barmawidjaja et al., 1992; Gooday, 1993).

Το βάθος διείσδυσης των βενθονικών τρηματοφόρων μπορεί να εξηγηθεί ως συνάρτηση της βασικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των επιπέδων οξυγόνου και της διαθεσιμότητας τροφής από το μοντέλο TROX (Jorissen et al., 1995).

Όπως αναφέρεται και παραπάνω, τα επιπανιδικά είδη αφθονούν σε καλά οξυγονωμένα oligοτροφικά περιβάλλοντα (αριστερή πλευρά του σχήματος στην Εικόνα 1.9) και η μεγαλύτερη ποσότητα τροφής καταναλώνεται στην επιφάνεια του ιζήματος. Κατά τη μετάβαση σε μεσοτροφικά περιβάλλοντα, (δεξιά στην Εικόνα 1.9) ο μεταβολισμός της οργανικής ύλης δεν περιορίζεται μόνο στην επιφάνεια πλέον αλλά γίνεται και μεταφορά του σε βαθύτερα στρώματα. Σε αυτά τα περιβάλλοντα, το βάθος διαβίωσης των τρηματοφόρων είναι μέγιστο και οι συναθροίσεις χαρακτηρίζονται από επιπανιδικά αλλά και ενδοπανιδικά είδη. Εν συνεχεία, σε πλήρη ευτροφικά περιβάλλοντα, παρατηρείται σημαντική μείωση του οξυγόνου λόγω εντονότερης κατανάλωσης και υπερβολική ποσότητα τροφής, ενώ καταγράφεται ένα κρίσιμο σημείο οξυγόνου, όπου κάτω από αυτό παρατηρείται παντελής έλλειψη οξυγόνου και είναι καθοριστικό του βάθους που μπορούν να επιβιώσουν οι οργανισμοί. Αυτές οι καταστάσεις θεωρούνται ακραίες και τα βαθύτερα αυτά στρώματα ιζημάτων

χαρακτηρίζονται ανοξικά. Σε αυτού του τύπου τα περιβάλλοντα η πανίδα των τρηματοφόρων χαρακτηρίζεται από τυπικά ενδοπανιδικά είδη, που αντέχουν σε δυσοξικές συνθήκες.



Εικόνα 1.9 Μοντέλο που απεικονίζει τη διαβίωση των βενθονικών τρηματοφόρων σε βάθος (σκούρου χρώματος περιοχή) από άποψη συγκέντρωσης οξυγόνου και διαθεσιμότητας τροφής.

1.3 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Τα τρηματοφόρα θεωρούνται μια από τις σημαντικότερες ομάδες μικροαπολιθωμάτων, παρουσιάζοντας πολλά πλεονεκτήματα έναντι άλλων οργανισμών. Δύο κύρια χαρακτηριστικά που τα ξεχωρίζουν είναι η ικανότητα διαβίωσης σε όλα τα θαλάσσια περιβάλλοντα και η αδιάκοπη παροχή απολιθωμάτων από το Κάμβριο έως σήμερα. Ο ταχύς ρυθμός με τον οποίον εξελίσσονται μορφολογικά, οι εμφανίσεις νέων ειδών και οι εξαφανίσεις παλιών παρέχουν πληροφορίες για τα στρώματα στα οποία βρέθηκαν και προσφέρουν τη δυνατότητα διευκρίνησης των τεκτονικών σχέσεων μεταξύ τους. Για αυτό το λόγο, είναι ένα σπουδαίο εφαρμοσμένο εργαλείο για παλαιοωκεανογραφικές, βιοστρωματογραφικές και παλαιοοικολογικές έρευνες, αξιολόγηση ιζημάτων, εντοπισμό περιβαλλοντικών αλλαγών σε μεγάλες χρονικές περιόδους και προσδιορισμό της ηλικίας διαφόρων στρωμάτων. Είναι απαραίτητα, επιπλέον, στη γεωλογική χαρτογράφηση αλλά και στις εξορύξεις υδρογονανθράκων.

Επίσης, βρίσκουν συχνή εφαρμογή ως βιοδείκτες για την περιγραφή και ανάλυση των διαφόρων σύγχρονων θαλάσσιων οικοσυστημάτων τις τελευταίες δεκαετίες (Watkins, 1961). Αυτό οφείλεται, κατά βάση, στην αφθονία και μεγάλη ποικιλία των αντιπροσώπων τους (Murray 2006), στις διακριτές οικολογικές απαιτήσεις των

διαφόρων γενών ή και ειδών και στην καλά τεκμηριωμένη τους θέση στο οικοσύστημα, στο μικρό τους μέγεθος, στην ευαισθησία που επιδεικνύουν στις διαταραχές του ενδιαίτημά τους καθώς και στις ιδιότητες των ασβεστολιθικών κελυφών τους. Η σημαντικότερη αυτών των ιδιοτήτων, είναι η ευκολία διατήρησης τους στο γεωλογικό χρόνο με την απόθεσή τους στα ιζήματα μετά τον θάνατο του οργανισμού. Βέβαια, παρόλο που τα ίδια τα απολιθωμένα είδη δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σαν παλαιοπεριβαλλοντικοί δείκτες, η ταξινόμηση τους, ο βαθμός διατήρησης τους, η μορφολογία τους και η ποικιλότητά τους είναι μερικά από τις παραμέτρους που μελετώνται και συντελούν στην απόδοση παλαιοπεριβαλλοντικών εκτιμήσεων.

Ακόμα, οι Alejo et al. (1999) υποστήριξαν ότι η κατανομή των τρηματοφόρων και η σύνθεσή τους μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς αβιοτικούς παράγοντες όπως η αλατότητα, η διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών και οργανικού υλικού, ο βαθμός οξυγόνωσης (που εκτιμάται από την αναλογία ενδοπανιδικών και επιπανιδικών ατόμων), το ενεργειακό καθεστώς, το βάθος του νερού, ο ρυθμός κυκλοφορίας του και το pH του, η θερμοκρασία, ο τύπος ιζήματος καθώς και οι κλιματικές αλλαγές. Η Alve (1991, 1995) προσέθεσε ότι σημαντικό ρόλο παίζουν και οι τοξικές ουσίες που υπάρχουν στο περιβάλλον αφού μορφολογικές ανωμαλίες στα κελύφη σχετίζονται με τη ρύπανση, οργανική και ανόργανη, για αυτό και θεωρούνται πολύτιμοι δείκτες ρυπασμένων περιβαλλόντων (Debenay, 2012). Μάλιστα, οι πιο ανθεκτικοί αντιπρόσωποι στη ρύπανση και σε πιέσεις του περιβάλλοντος μπορούν να βρεθούν συχνά μεταξύ των τελευταίων οργανισμών που εξαφανίστηκαν εντελώς εξαιτίας σοβαρής μόλυνσης των υδάτων (Yanko et al., 1994; Schafer, 2000), ενώ κάθε μεταβολή στους πληθυσμούς των σύγχρονων τρηματοφόρων διευκολύνει τον έλεγχο των αλλαγών που προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες.

1.4 ΛΕΣΣΕΨΙΑΝΗ ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΣΗ

Τα τελευταία χρόνια, μεγάλοι πληθυσμοί ειδών που δεν είναι ιθαγενή έχουν βρεθεί στη Μεσόγειο θάλασσα (Golani, 1998; Zenetos et al., 2005; Zenetos et al., 2009; Streftaris and Zenetos, 2006). Από αυτά, οι Λεσσεψιανοί μετανάστες θεωρούνται οι πιο σημαντικοί εισβολείς που έχουν βρεθεί έως σήμερα στην Ανατολική Μεσόγειο (POR, 1978; Golani, 1998).

Στη Λεσσεψιανή μετανάστευση, κυρίαρχο ρόλο έπαιξε η διώρυγα του Σουέζ που θεωρείται η μεγαλύτερη διώρυγα του κόσμου (Εικόνα 1.10 & 1.11). Η διώρυγα αυτή διατρέχει την πόλη της βορειοανατολικής Αιγύπτου, Πόρτ Σάιντ, τις λίμνες Timsah και Bitter Lakes και καταλήγει, περνώντας μέσα από την πόλη του Σουέζ, στον κόλπο του Σουέζ. Η ολοκλήρωση της κατασκευής της έγινε το 1869, με πλάτος 200–300 μέτρα περίπου και βάθος 10–15 μέτρα, ενώ το συνολικό της μήκος σε διεύθυνση Βορρά – Νότο είναι 162.5 χλμ.. Έχει μεγάλη σημασία επειδή ενώνει τη Μεσόγειο θάλασσα με την Ερυθρά, δύο πολύ διαφορετικά σώματα νερού. Η ουσιαστική τους διαφορά έγκειται στο ότι πολλά είδη, που προέρχονταν από τον Ινδικό και Ειρηνικό ωκεανό, έχουν εισχωρήσει και εγκατασταθεί στην Ερυθρά Θάλασσα ενώ στην Ανατολική Μεσόγειο έχουν εισέλθει είδη Ατλαντικής προέλευσης (POR, 1978; Golani, 1998;

Madl, 1999; Galil and Zenetos 2002). Μια άλλη διαφορά που πρέπει να σημειωθεί είναι η θερμοκρασιακή, αφού παρατηρούνται σταθερές τιμές στην τροπική Ερυθρά Θάλασσα και διακυμάνσεις στην υποτροπική Μεσόγειο (Golani, 1998).



Εικόνα 1.10 Τοποθεσία στον χάρτη \Rightarrow σημείο Ναδύρ: $31,5^\circ \text{ B}$, $30,6^\circ \text{ A}$, σημείο κέντρου φωτογραφίας: $29,9^\circ \text{ B}$, $32,6^\circ \text{ A}$, ναδύρ προς σημείο κέντρου φωτογραφίας: νοτιοανατολικά & υψόμετρο διαστημικού σκάφους: 332km.

(Site: <https://eol.jsc.nasa.gov/SearchPhotos/photo.pl?mission=ISS016&roll=E&frame=19375>)



Εικόνα 1.11 NASA Photo ID: ISS016-E-19375, 2007. Date taken, 12.30, Time taken, 12:53:29 GMT (540x405 pixels)

(Site: *Gateway To Astronaut Photography of Earth*)

Η διάνοιξη της διώρυγας είχε πολλές επιπτώσεις οικολογικού περιεχομένου με την πιο χαρακτηριστική να είναι η επιρροή του οικοσυστήματος της Ανατολικής Μεσογείου από την είσοδο οργανισμών της Ερυθράς Θάλασσας μέσω αυτής. Με αυτόν τον τρόπο, έγινε βαθμιαία εποίκιση της Μεσογείου με διάφορα είδη πανίδας και χλωρίδας. Συγκεκριμένα μετακινήθηκαν περισσότερα από 300 υδρόβια είδη από διάφορες ταξινομικές ομάδες, με ρυθμό 5-10 νέων ειδών κάθε χρόνο (Madl, 1999). Η μετανάστευση αυτή που προκλήθηκε από την Ερυθρά Θάλασσα προς τη Μεσόγειο, και σπάνια στην αντίθετη κατεύθυνση, καθώς η Ερυθρά έχει υψηλότερη αλατότητα και είναι φτωχότερη σε θρεπτικά συστατικά σε σχέση με τον Ατλαντικό, είναι γνωστή ως Λεσσεψιανή Μετανάστευση (Spanier and Galil, 1991; Golani, 1998; Ben-Eliyahu and Hoover, 1992). Ονομάστηκε έτσι προς τιμήν του Γάλλου μηχανικού Ferdinand Marie de Lesseps, ο οποίος σχεδίασε και επέβλεψε την κατασκευή της διώρυγας (Spanier and Galil, 1991; Azzurro and Andaloro, 2004; Golani and Darom, 1997; Golani, 1998; Por, 1978, 1989; Galil and Zenetos, 2002; Howaida, 2015).

Αρκετοί επιστήμονες (Langer and Hottinger, 2000; Hyams et al., 2002; Langer, 2008; Meriç et al., 2008; Triantaphyllou et al., 2009; Koukousioura et al., 2010; Zenetos et al., 2010; Çinar et al., 2011; Langer et al., 2012; Langer et al., 2013) υποστηρίζουν ότι χαρακτηριστικοί Λεσσεψιανοί μετανάστες είναι τα τρηματοφόρα. Έχει γνωστοποιηθεί ότι το άθροισμα των γενών είναι 34 και των ειδών 45 (Zenetos et al., 2008) και από αυτά 32 γένη θεωρείται ότι είναι Ινδο-Ειρηνικής προέλευσης και έχουν φτιάξει αποικίες από τη νότια Ανατολική Μεσόγειο μέχρι και το Αιγαίο Πέλαγος. Ένα είδος βενθονικών τρηματοφόρων που ξεχωρίζει ανάμεσά τους είναι το *Amphistegina lobifera* (Langer and Hottinger, 2000; Hyams et al., 2002; Yokeş et al., 2007; Langer, 2008; Hyams-Kaphzan et al., 2008; Meriç et al., 2008; Triantaphyllou et al., 2009; Koukousioura et al., 2010). Στη Μεσόγειο Θάλασσα, έχουν περιγραφεί μόνο δύο είδη του γένους *Amphistegina*, το προαναφερόμενο και το *A. lessonii* (Langer, 2008; Triantaphyllou et al., 2005; Zenetos et al., 2010), που είναι μικρότερο σε μέγεθος. Ανάμεσα τους, το *A. lobifera* συγκαταλέγεται μεταξύ των σημαντικότερων οργανισμών που παράγουν ανθρακικά άλατα σε υφάλους και ανθρακικές πλατφόρμες (Langer and Hottinger, 2000).

Παρόλο που μέχρι προσφάτως, θεωρούταν ότι η παρουσία του οφειλόταν εξ αρχής στη διάνοιξη της διώρυγας του Σουέζ (Yokeş et al., 2007; Triantaphyllou et al., 2009), υπό το πρίσμα νέων ευρημάτων, είναι προφανές ότι ήταν παρόν στην περιοχή της Μεσογείου πριν από την κατασκευή της διώρυγας, ενδέχεται και στην περίοδο του Πλειστοκαίνου (Meriç et al., 2016). Ανεξαρτήτως της εμφάνισής του, στις έρευνες των Triantaphyllou et al. (2009) και Koukousioura et al. (2010, 2011) υποδηλώνεται ότι είναι πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της πανίδας, λόγω της δημιουργίας υψηλών βιώσιμων πληθυσμών του είδους σε διάφορες περιοχές (ειδικά του Αιγαίου).

Η έντονη αυτή παρουσία, ειδικά του είδους *A. lobifera*, είναι πιθανό να οφείλεται και στην αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων της Μεσογείου τις τελευταίες τρεις δεκαετίες ως αποτέλεσμα της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Occhipinti-Ambrogì, 2007; Lejeusne et al., 2010), αφού η κατανομή μεγάλου μεγέθους τρηματοφόρων που

φέρουν ενδοσυμβιωτικούς οργανισμούς, περιορίζεται πολύ με τη μείωση της θερμοκρασίας (Langer & Hottinger, 2000).

Ένα δεύτερο είδος που ανήκει στους Λεσσεψιανούς μετανάστες είναι το *Sorites orbiculus*, με εμφανίσεις στο Κεντρικό και Νότιο Αιγαίο και ειδικότερα σε Νάξο, Κρήτη και Άνδρο (Blanc-Vernet, 1969; Hollaus & Hottinger, 1997; Triantaphyllou et al., 2005; Zenetos et al., 2008; Zenetos et al., 2009; Koukousioura et al., 2010). Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι ένα είδος αρκετά εδραιωμένο στα παράκτια οικοσυστήματα, περίπου όσο και το *A. lobifera*.

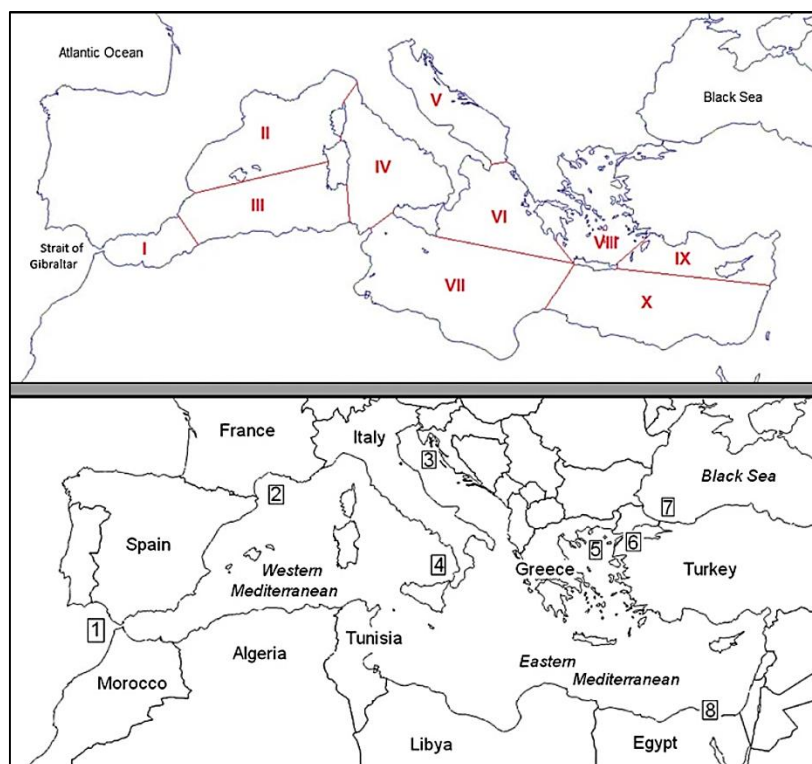
Η εντατική έρευνα στους θαλάσσιους βιότοπους και οι όλο και αυξανόμενες ανθρωπογενείς δραστηριότητες συμβάλλουν στην έξαρση του ρυθμού εισβολής των Λεσσεψιανών μεταναστών. Η επιταχυνόμενη αυτή τάση εγκατάστασης συνήθως συνεπάγεται επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και την ευπάθεια των οικοσυστημάτων, αν λαμβάνει χώρα συνεχής υποβάθμισή τους (Zenetos et al., 2009). Παρόλα τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από μικροπαλαιοντολογικές έρευνες μέχρι σήμερα, οι μελλοντικές μελέτες σε εποχιακή βάση θα μπορέσουν να εκτιμήσουν το ρόλο των παραπάνω ειδών των τρηματοφόρων στην εξέλιξη της βενθονικής πανίδας του Αιγαίου και γενικότερα της Ανατολικής Μεσογείου.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ

Η Μεσόγειος Θάλασσα είναι μια επιμήκης, ημίκλειστη λεκάνη με ένα αρκετά πολύπλοκο υδρογραφικό σύστημα που παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία σε γεωλογικές κλιματικές διακυμάνσεις. Ανταλλάσσει επιφανειακά και ενδιάμεσα ύδατα με τον Ατλαντικό Ωκεανό μέσω του Στενού του Γιβραλτάρ και επιφανειακά ύδατα με τη Μαύρη Θάλασσα μέσω του Στενού των Δαρδανελίων. Επίσης, επικοινωνεί με την Ερυθρά θάλασσα μέσω της τεχνητής Διώρυγας του Σουέζ. Συνορεύει με τη Βόρεια Αφρική στα νότια, με τη Νότια Ευρώπη στα βόρεια και την παράκτια Μέση Ανατολή στα νοτιοανατολικά. Η έκταση της είναι $25 \times 10^5 \text{ km}^2$, έχει μέσο βάθος 1500 m, μέγιστο βάθος 5,267 m, γεωγραφικό πλάτος (από $30^\circ 15'$ έως $45^\circ 50'$ Β) και γεωγραφικό μήκος (από $05^\circ 21'$ Δ μέχρι $36^\circ 10'$ Α), δηλαδή βρίσκεται στη βόρεια υποτροπική ζώνη. Επιπρόσθετα, το συνολικό μήκος της ακτογραμμής της υπολογίζεται στα 46000 km.

Χωρίζεται σε δέκα, κυρίως, περιοχές, την Θάλασσα του Αλμποράν, τη Βορειοδυτική Λεκάνη, τη Νοτιοδυτική Λεκάνη, την Τυρρηνική Θάλασσα, την Αδριατική Θάλασσα, το Ιόνιο Πέλαγος, την Κεντρική Λεκάνη, το Αιγαίο Πέλαγος και τη Θάλασσα του Λεβαντίνου (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 Α) Άνω χάρτης με τις κυριότερες υπολεκάνες της Μεσογείου. I) Θάλασσα του Αλμποράν, II) Βορειοδυτική λεκάνη, III) Νοτιοδυτική λεκάνη, IV) Τυρρηνική Θάλασσα, V) Αδριατική Θάλασσα, VI) Ιόνιο Πέλαγος, VII) Κεντρική λεκάνη, VIII) Αιγαίο Πέλαγος, IX) Βόρεια Θάλασσα του Λεβαντίνου, X) Νότια Θάλασσα του Λεβαντίνου. Πηγή: ΕΕΑ (1999).

B) Κάτω χάρτης με τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά της Μεσογείου. 1) Στενό του Γιβραλτάρ, 2) Κόλπος των Λεόντων, 3) Αδριατική Θάλασσα, 4) Τυρρηνική Θάλασσα, 5) Βόρειο Αιγαίο, 6) Στενά των Δαρδανελίων, 7) Στενά του Βοσπόρου και 8) Παρόχθια περιοχή του Νείλου.

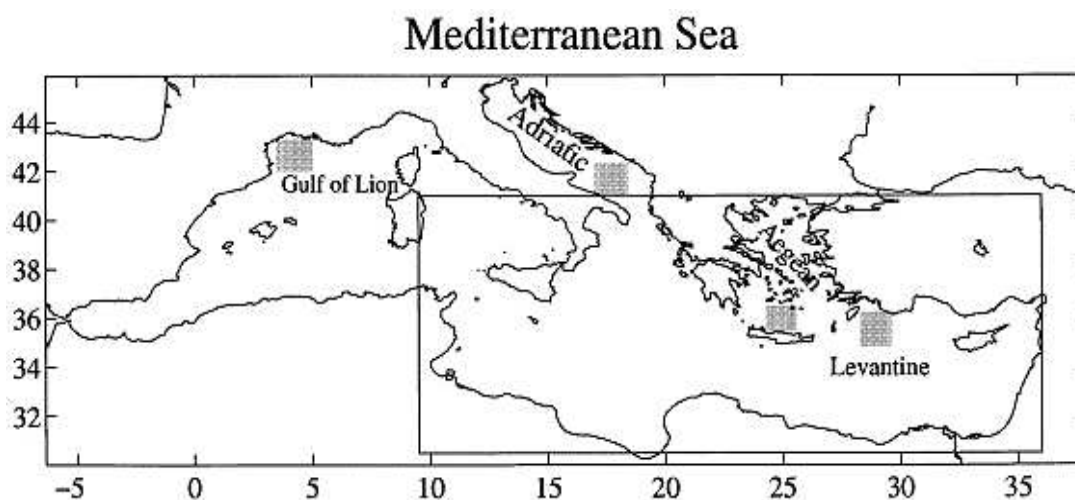
(Source: Karydis M, Kitsiou D., 2011. Eutrophication and Environmental Policy in Mediterranean: a review, Environ. Monit. Assess).

Ιστορικά, μέχρι και τις αρχές του Μειόκαινου, υπήρχε η Τηθύς, ένας υποτροπικός-τροπικός ωκεανός που επικοινωνούσε με τον Ατλαντικό και τον Ινδο-ειρηνικό ωκεανό (Reuter et al., 2009). Η κίνηση, όμως, της Αφρικανικής πλάκας προς την Ασία είχε ως αποτέλεσμα τη διακοπή της επικοινωνίας μεταξύ της Τηθύος και του Ινδο-ειρηνικού και τον σχηματισμό της Μεσογείου στο μέσο της πρώτης. Εν συνεχεία, στο Κάτω Μεσσήνιο, έγινε προσωρινή απομόνωση της Μεσογείου από τον Ατλαντικό Ωκεανό, το οποίο είχε ως συνέπεια την απότομη αύξηση της αλατότητας της και τον σχηματισμό εβαποριτών εξαιτίας της υπεροχής της εξάτμισης έναντι των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και της απορροής των ποταμών (Krijgsman et al., 1999; Rouchy and Caruso, 2006). Κατόπιν, στο Πλειόκαινο, έγινε μια προοδευτική αποκατάσταση της επικοινωνίας με τον Ατλαντικό, η οποία επέτρεψε στη Μεσόγειο να γυρίσει στις προηγούμενες περιβαλλοντικές της συνθήκες (Garcia-Castellanos et al., 2009). Είναι σημαντική η αναφορά της δράσης τεκτονικών διεργασιών εκείνη την περίοδο, που οδήγησε στη διατάραξη των στρωμάτων των εβαποριτών, οι οποίοι με τη σειρά τους συνετέλεσαν στην αύξηση της τιμής της αλατότητας των βαθύτερων υδάτινων μαζών και συνεπώς της πυκνότητάς τους και εν τέλει, στο διαχωρισμό τους από τις επιφανειακές. Οι συνθήκες που επικρατούσαν ήταν ανοξικές με απουσία φωτός, υψηλές θερμοκρασίες και περιεκτικότητες σε οργανική ύλη (Bregant et al., 1986; Camerlenghi and McCoy, 1990). Κατά τα τέλη του Πλειόκαινου, οι παγετώδεις περίοδοι, που εντάθηκαν στα μέσα του Πλειστόκαινου, οδήγησαν σε περαιτέρω αλλαγές και σε μετανάστευση διαφόρων τροπικών θαλάσσιων ειδών (Shackleton et al., 1984; Garilli, 2011).

Αναφορικά με το νερό που εισέρχεται από τον Ατλαντικό, είναι φτωχό σε θρεπτικά συστατικά (Bethoux et al., 1992), καταλαμβάνει τα ανώτερα 100-200 μέτρα της στήλης νερού και κατόπιν της αναμίξεώς του με τα νερά της Μεσογείου και λόγω της εξάτμισης που λαμβάνει χώρα στη Μεσογειακή λεκάνη, εξέρχεται πάλι από τα στενά του Γιβραλτάρ με 10% περισσότερη αλατότητα και σε μεγαλύτερο βάθος (Lacombe & Tchernia, 1972; Milliman et al. 1992). Κατά την είσοδό του, κοντά στις δυτικές ακτές της Σικελίας, διαιρείται σε δυο ρεύματα, εκ των οποίων το ένα κατευθύνεται προς τα νότια της Σικελίας στο Ιόνιο Πέλαγος (Robinson et al., 1999; Béranger et al., 2004) και το άλλο προς το Τυρρηνικό Πέλαγος, όπου και συνεχίζει κυκλικά προς τη λεκάνη. Το πρώτο ρεύμα διαχωρίζεται εκ νέου σε δύο μικρότερα όπου το ένα φτάνει τις Αφρικανικές ακτές και συνεχίζει να ρέει κατά μήκος αυτών στα ανατολικά και το άλλο παραμένει στο Ιόνιο και αναμιγνύεται με τα ύδατα του Πελάγους (Béranger et al., 2004). Έπειτα από την εξάπλωση των υδάτων του Ατλαντικού, στην Κρητική λεκάνη, στην Αδριατική Θάλασσα, στην Θάλασσα του Λεβαντίνου και στον Κόλπο των Λεόντων, σχηματίζονται νέες υδάτινες μάζες οι οποίες μετακινούνται σε μεγαλύτερα βάθη και συμβάλλουν, έτσι, στην ανάμειξη της στήλης του νερού με την ανταλλαγή φυσικοχημικών στοιχείων που γίνεται μεταξύ τους (Wüst, 1961). Το πυκνό νερό που

βυθίζεται σε βαθύτερα στρώματα, διατηρεί τα χαρακτηριστικά του, γεγονός το οποίο βοηθά τους ερευνητές να έχουν πρόσβαση σε παλαιότερες κλιματικές διακυμάνσεις (δεκαετίες έως αιώνες). Στην επιστροφή τους στον Ατλαντικό περίπου 80-100 χρόνια αργότερα, τα νερά έχουν φορά αντίθετη από αυτή του ρολογιού και είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά (Turley et al, 2000) (Εικόνα 2.2).

Γενικά, παρατηρείται μια αυξανόμενη μείωση σε θρεπτικά συστατικά από τα δυτικά προς τα ανατολικά λόγω του φυτοπλαγκτού, η οποία συνδυαστικά με την κυκλωνική κυκλοφορία του νερού (Dugdale & Wilkerson, 1988), τη χαμηλή συγκέντρωση θρεπτικών ουσιών λόγω περιορισμένης μεταφοράς ιζήματος από τη χέρσο, το ζεστό, ξηρό κλίμα το καλοκαίρι και το ψυχρό, υγρό κλίμα το χειμώνα συμβάλλουν στην επικράτηση ενός oligοτροφικού περιβάλλοντος (Turley et al., 2000). Η μέση θερμοκρασία της είναι 18°C, αν και παρατηρείται τελευταία μια αυξητική τάση λόγω της κλιματικής αλλαγής.



Εικόνα 2.2 Χάρτης της Μεσογείου, όπου οι σκιασμένες περιοχές σηματοδοτούν τις τοποθεσίες σχηματισμού ενδιάμεσων και βαθιών υδάτινων μαζών (Lascaratos et al., 1999).

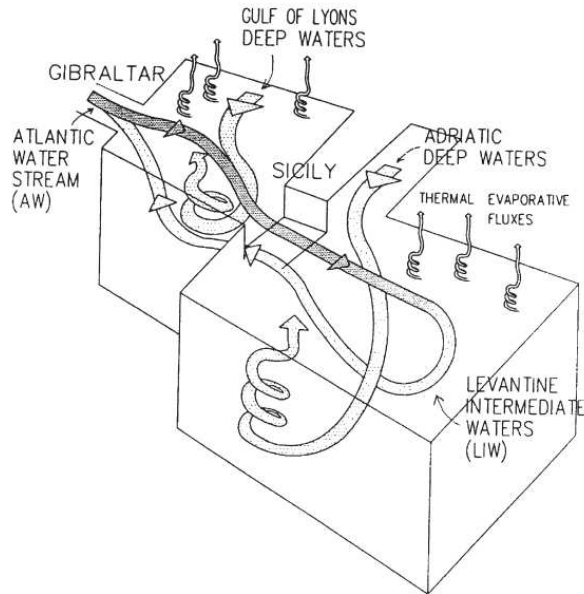
(Source: Lascaratos A., Roether W., Nittis K., Klein B., 1999. Recent changes in deep water formation and spreading in the eastern Mediterranean Sea: a review. Progress in Oceanography, 44, 1–3, p. 5-36).

Η Μεσόγειος Θάλασσα χωρίζεται σε δύο λεκάνες, σύμφωνα με τον Schmidt (1932), τη Δυτική και την Ανατολική, τις οποίες συνδέει η υποθαλάσσια ράχη μεταξύ της Τυνησίας και της Σικελίας (Por, 1989). Κατά τον τελευταίο μισό αιώνα, η Ανατολική Μεσόγειος είναι το επίκεντρο εντατικών παλαιοωκεανογραφικών και παλαιοκλιματικών μελετών και αναλύσεων, ενώ χαρακτηρίζεται από ακανόνιστη βαθυμετρία, μια πληθώρα νησιών και ακτογραμμών και από μια σύνθετη τοπογραφική δομή. Διαχωρίζεται σε επιμέρους λεκάνες, αυτές της Αδριατικής, του Αιγαίου, του Λεβαντίνου και του Ιονίου. Θεωρείται, επιπλέον, απομεινάρι του ωκεανού της Τηθύος (Dercourt et al., 1986) και σε κάποιες λεκάνες της, όπως στην Αδριατική και στο Βόρειο Αιγαίο, παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών και σχετικά υψηλή παραγωγικότητα. Αυτές οι συνθήκες εμφανίζονται και στον Κόλπο των Λεόντων στη Δυτική Μεσόγειο.

Αναφορικά με την κυκλοφορία των υδάτων, στον Κόλπο των Λεόντων, στη Δυτική Μεσόγειο, λαμβάνει χώρα σχηματισμός υδάτινων μαζών μεγάλης πυκνότητας κατά τη διάρκεια του χειμώνα εξαιτίας των εξαιρετικά χαμηλών θερμοκρασιών (ψύξη) και της εξάτμισης. Στον σχηματισμό συμβάλλουν και τα ενδιάμεσα νερά μεγαλύτερης αλατότητας από την Θάλασσα του Λεβαντίνου (MEDOC Group, 1970). Η τελευταία αποτελεί περίπου το 15% της επιφάνειας της Μεσογείου αλλά είναι πολύ περιορισμένη στην παραγωγικότητα (Azon, 1991) και αποτελείται από ύδατα ενδιάμεσου βάθους που επηρεάζονται από τον κυκλώνα της Ρόδου και σχηματίζονται στα βορειοδυτικά της (Ovchinnikov, 1984; Malanotte-Rizzoli and Hecht, 1988; Lascaratos, Williams & Tragou, 1993). Το κεντρικό υδάτινο σώμα στη λεκάνη είναι εξαιρετικά ολιγοτροφικό, καθώς και χαρακτηρίζεται από έντονη εξάτμιση με περιορισμένες εισροές γλυκού νερού (Bethoux et al., 1999, Kress et al., 2014). Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, τα επιφανειακά στρώματα καταλαμβάνονται από μια θερμή και μεγάλης αλατότητας υδάτινη μάζα, ενώ το χειμώνα οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνουν την πυκνότητα αυτής της μάζας, έτσι ώστε να βυθίζεται. Ωστόσο, διαδικασίες ανάμιξης που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή λόγω του κυκλώνα, επηρεάζουν την κατανομή των συστατικών, τα οποία και μεταφέρουν στην ευφωτική ζώνη (κοντά στην επιφάνεια) εμπλουτίζοντάς την (Salihoglu et al., 1990).

Στην Αδριατική Θάλασσα, στα νότια, παρατηρείται σχηματισμός βαθιών νερών της Ανατολικής Μεσογείου με τη συμμετοχή πυκνότερων υδάτινων μαζών από τα βόρεια ενώ στη βόρεια πλευρά της, παρατηρείται μια θαλάσσια υφαλοκρηπίδα με ρηγά ύδατα, όπου τα νερά γίνονται πυκνότερα τον χειμώνα λόγω της ψύξης και της εξάτμισης (Pollak, 1951). Αυτά τα νερά μετακινούνται προς τα νότια της Αδριατικής και αναμειγνύονται και αυτά με τα ενδιάμεσα νερά της Θάλασσας του Λεβαντίνου.

Εκτός από τον Pollak (1951), κι άλλοι ερευνητές, ανάμεσα τους ο Nielsen (1912) και ο Wüst (1961), θεωρούν το Αιγαίο Πέλαγος ως πηγή βαθιών υδάτινων μαζών. Επίσης, δεδομένα από έρευνες των Schlitzer et al. (1991) υποδεικνύουν ότι ύδατα που προέρχονται από τη λεκάνη αυτή, εμφανίζονται στα νότια της Κρήτης σαν υδάτινες μάζες ενδιάμεσου βάθους, σχηματίζοντας ένα υπόστρωμα κάτω από τα νερά που προέρχονται από την Θάλασσα του Λεβαντίνου. Με το πέρασμα των χρόνων, έγινε αντικατάσταση των βαθιών νερών από την Θάλασσα του Λεβαντίνου με νερά υψηλότερης αλατότητας του Αιγαίου (Schlitzer et al., 1991), σχηματίζοντας μια νέα υδάτινη μάζα, τα Κρητικά ενδιάμεσα ύδατα (Εικόνα 2.3).



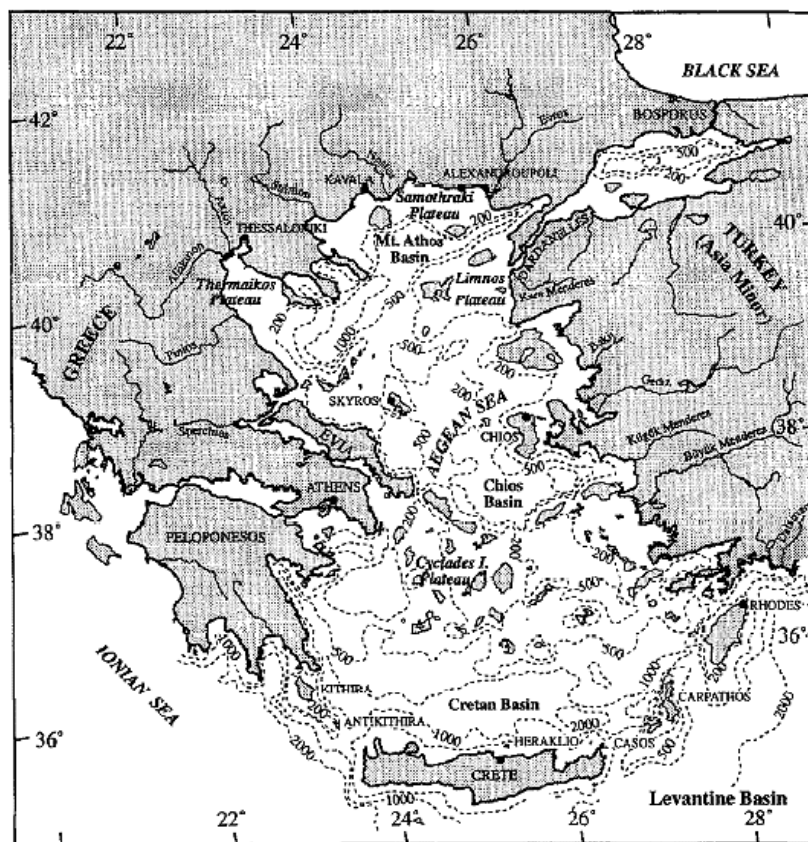
Εικόνα 2.3 Περιγραφή της κυκλοφορίας των υδάτων στη Μεσόγειο Θάλασσα και του σχηματισμού νέων υδάτινων μαζών από την ανάμιξη των επιφανειακών νερών του Ατλαντικού με τα ενδιάμεσα της Θάλασσας του Λεβαντίνου. Επίσης, απεικόνιση του σχηματισμού βαθύτερων υδάτινων μαζών από τα επιφανειακά και ενδιάμεσα νερά της Δυτικής και Ανατολικής Μεσογείου, των οποίων την επικοινωνία αποτρέπεται στο στενό της Σικελίας.

Κάποιες πρώιμες αναλύσεις έχουν δείξει πως καθώς εξελίσσεται η Ανατολική Μεσόγειος, θα αυξηθεί η αλατότητα στην Κρητική λεκάνη, γεγονός το οποίο θα οδηγήσει το νερό να υπερχειλίσει πέρα από τα στενά του Κρητικού τόξου. Αυτή η υπερχειλίση θα επιφέρει αλλαγές στα χαρακτηριστικά και στην ανοδική μετατόπιση των παλαιότερων υδάτων της Ανατολικής Μεσογείου, καθώς και θα μεταβάλλει οριστικά τον τρόπο κυκλοφορίας του θαλάσσιου νερού στην περιοχή αυτή (Roether et al., 1996; Theocharis et al., 1999; Tsimplis et al., 1997).

2.2 ΑΙΓΑΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ

Το ανατολικότερο τμήμα της Μεσογείου, όπως έχει αναφερθεί, καταλαμβάνεται κυρίως από την θάλασσα του Λεβαντίνου στα νότια και το Αιγαίο πέλαγος στα βόρεια. Το Αιγαίο με τη σειρά του διαιρείται στο *Νότιο Αιγαίο* με τις Κυκλάδες και τη βαθιά λεκάνη της Κρήτης και στο *Βόρειο Αιγαίο* που δέχεται τα νερά της Μαύρης Θάλασσας μέσω της Θάλασσας του Μαρμαρά και επικοινωνεί με την Θάλασσα του Λεβαντίνου μέσω των νοτιοανατολικών στενών του Κρητικού τόξου (στενά της Ρόδου, της Καρπάθου και της Κάσου) (Lykousis et al., 2002). Επίσης, επιτυγχάνεται ανταλλαγή υδάτων μεταξύ αυτού και του Ιόνιου Πελάγους μέσω των στενών της Ελαφονήσου, των Κυθήρων και των Αντικυθήρων. Η Θάλασσα του Μαρμαρά, που είναι μια κλειστή θάλασσα, συνδέεται μέσω των στενών των Δαρδανελίων με το Αιγαίο στα βορειοανατολικά και μέσω του στενού του Βοσπόρου με την Μαύρη Θάλασσα.

Σημαντικά χαρακτηριστικά του λόγω μακροχρόνιας γεωδυναμικής εξέλιξης και ενεργούς τεκτονικής, είναι οι βαθιές λεκάνες και τα ρηχά πλατώ με σημαντικότερο αυτό των Κυκλάδων, καθώς και οι τεκτονικές τάφροι. Επίσης, παρουσιάζει περίπλοκη μορφολογία του βυθού και πολλά νησιωτικά συμπλέγματα (περισσότερα από 2000 μικρά και μεγάλα νησιά), καθώς και ακανόνιστες ακτές, ιδιαίτερα στο βόρειο Αιγαίο (Stanley and Perissoratis, 1977; Lykousis et al., 2002). Οι τρεις βασικές λεκάνες που παρατηρούνται στην περιοχή είναι η λεκάνη της Κρήτης, η βαθύτερη τάφρος του Βορείου Αιγαίου και η λεκάνη της Χίου που συνδέεται με την προαναφερθείσα. Μέσα στη λεκάνη του Β. Αιγαίου, υπάρχει η μικρότερη λεκάνη του Αγίου Όρους, αυτή μεταξύ των λεκανών της Σαμοθράκης, της Λήμνου και των Βόρειων Σποράδων, καθώς και η ρηχή λεκάνη του Σάρου (Theocharis and Georgopoulos, 1992)(Εικόνα 2.4).



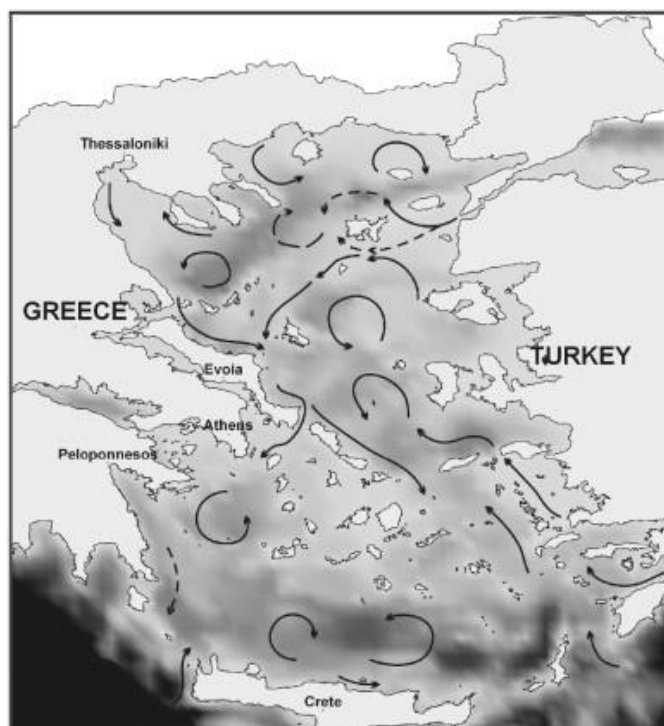
Εικόνα 2.4 Χάρτης του Αιγαίου Πελάγους με τη βαθυμετρία (m) και τις τοποθεσίες των κύριων υδρογραφικών λεκανών και οροπεδίων (Poulos et al., 1997).

Στο Νότιο Αιγαίο σημειώνεται, ακόμα, η ύπαρξη του ηφαιστειακού τόξου που περιλαμβάνει τα νησιά Νίσυρος, Σαντορίνη, Μήλος, Κίμωλος, Κως, την περιοχή των Μεθάνων και το Σουσάκι, όπου και παρατηρείται γεωθερμική δραστηριότητα στα βόρεια, ενώ στα νότια τα νησιά της Κρήτης, της Καρπάθου και της Ρόδου.

Το Αιγαίο έχει μήκος περίπου 644km, πλάτος 290km, 3800km. γεωγραφικό μήκος (από 5,5° Δ έως 36° Α) και πάνω από 1600km γεωγραφικό πλάτος (από 30,2 έως 45,7°

B) (Barale, 2008). Η έκταση του είναι περίπου 160.000 km^2 , ενώ η έκταση της λεκάνης του δεν ξεπερνά τα $1.8 \times 10^{11} \text{ m}^2$ με τη χωρητικότητα αυτής να εκτιμάται γύρω στα $7.4 \times 10^{13} \text{ m}^3$ (Hopkins, 1978; Poulos et al., 1997). Τέλος, αποτελείται από μια ακανόνιστη βαθυμετρία με το μέγιστο βάθος να φτάνει τα 2561m, όπου σχετικά βαθιά βυθίσματα καταγράφονται στο Βόρειο Αιγαίο, μια εκτεταμένη και ρηχή περιοχή στο Κεντρικό και μια σειρά μεμονωμένων τάφων στο Νότιο.

Η γενική κυκλοφορία των επιφανειακών υδάτων στο Αιγαίο είναι κυκλωνική, δηλαδή ακολουθεί δεξιόστροφη κατεύθυνση, και ελέγχεται από διαδοχικούς κυκλώνες και αντικυκλώνες, μόνιμους ή επαναλαμβανόμενους, καθώς και ανέμους που επικρατούν την κάθε εποχή (Poulos et al., 1997; Lykousis et al., 2002). Ο πιο χαρακτηριστικός στρόβιλος είναι αυτός που δημιουργείται από τα νερά της Θάλασσας του Λεβαντίνου που εισέρχονται στο Πέλαγος (Εικόνα 2.5). Το κλίμα που επικρατεί, είναι εύκρατο μεσογειακό και διακρίνεται σε δροσερό και βροχερό από τα τέλη του φθινοπώρου μέχρι τις αρχές της άνοιξης και ζεστό και ξηρό από τα τέλη άνοιξης έως τις αρχές του φθινοπώρου. Κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου και του Απριλίου, το κλίμα έχει μεταβατικό χαρακτήρα (Zabakas, 1981).



Εικόνα 2.5 Χάρτης του Αιγαίου Πελάγους που απεικονίζει ένα γενικευμένο πρότυπο της κυκλοφορίας των επιφανειακών υδάτων του Αιγαίου Πελάγους (Zervakis et al., 2005b; Lykousis et al., 2002; Poulos, 2009).

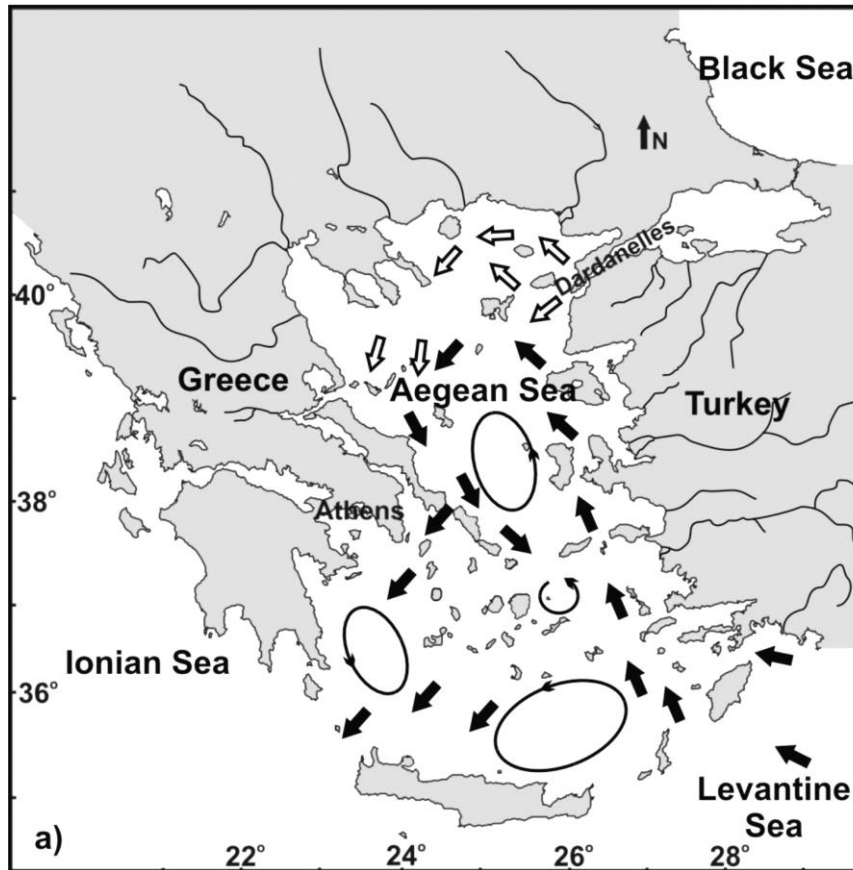
Ακόμα, το Αιγαίο, εκτός της σύνθετης γεωμορφολογικής του διαμόρφωσης, παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα στο αιολικό του καθεστώς. Οι άνεμοι φυσούν κυρίως από το βορρά, ενώ μερικοί νότιο-νοτιοδυτικοί παρουσιάζονται κατά την

άνοιξη. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ισχυροί ψυχροί και ξηροί βόρειοι άνεμοι πνέουν στο Αιγαίο με θερμοκρασία που κυμαίνεται γύρω στους 26.5°C και ευθύνονται για την ανοδική ροή ενδιάμεσου βάρους νερών προς την επιφάνεια. Το χειμώνα, η θερμοκρασία τους μπορεί να φτάσει τους 5°C, οδηγώντας παράλληλα το νερό να κινείται αριστερόστροφα (Poulos et al., 1996; Zervakis et al., 2005a).

Όπως έχει ειπωθεί, το Αιγαίο επηρεάζεται από την εκροή υδάτων από τη Μαύρη Θάλασσα και από την Θάλασσα του Λεβαντίνου. Μάλιστα, τα ύδατα από τη Μαύρη Θάλασσα διασχίζουν πρώτα τη Θάλασσα του Μαρμαρά και μετά εισέρχονται στο Πέλαγος. Ανάμεσα στο στενό των Δαρδανελίων και την Θάλασσα του Μαρμαρά, συναντώνται δύο υδάτινες μάζες (με προέλευση από το Αιγαίο και τη Μαύρη Θάλασσα αντίστοιχα) σε διαφορετικά επίπεδα βασισμένα στην πυκνότητα της καθεμίας με αντίθετες κυκλοφορίες ροής (Oguz and Sur, 1989 and Yuce, 1996).

- ◆ Η βόρεια πλευρά του Νότιου Αιγαίου παρουσιάζει αρκετή αλατότητα ($S > 38,8 ‰$) αφού επιφανειακά, θερμά (16 – 25 °C) και αλμυρά ύδατα ($S \sim 39,2 ‰$) από την Θάλασσα του Λεβαντίνου, που εισχωρούν κατά τη διάρκεια των θερμών μηνών, αναμιγνύονται με αυτά του Πελάγους και ταξιδεύουν, στη συνέχεια, με βόρεια κατεύθυνση (Theocharis et al., 1999; Zervakis et al., 2004). Φτάνοντας στην περιοχή κοντά στη Λήμνο, όπου έχουν εισέρθει τα νερά από τη Μαύρη Θάλασσα, υποβυθίζονται κάτω από αυτά. Παρασυρόμενα, όμως από το ρεύμα της Μικράς Ασίας, αλλάζουν πορεία προς τα δυτικά, με τη ροή να διακλαδίζεται σε τρία τμήματα. Το ένα τμήμα κατευθύνεται και τροφοδοτεί τον κυκλώνα στη λεκάνη της Χίου, το δεύτερο διασχίζει το στενό μεταξύ της ΝΑ Εύβοιας και της Άνδρου και τροφοδοτεί εν μέρει έναν κυκλώνα στο Μυρτώο Πέλαγος, ενώ το τρίτο συνεχίζει κανονικά και εξέρχεται μέσω του στενού που βρίσκεται ανάμεσα στην Κρήτη και στα Κύθηρα (Zervakis et al., 2005b).
- ◆ Μικρότερης αλατότητας ($S \sim 24 ‰$) ψυχρότερα (9 – 22 °C) ύδατα που είναι αναμειγμένα με νερά από τη Μαύρη Θάλασσα, κατευθυνόμενα από έναν αντικυκλώνα προς τα ανατολικά της Σαμοθράκης, ρέουν από το Βορειοανατολικό Αιγαίο προς τα νότια και λόγω της μεγάλης πυκνότητάς τους βυθίζονται και επηρεάζουν, εκτός από το ανώτερο στρώμα νερού της περιοχής αυτής, ενισχύοντας την παραγωγικότητα, τη δυτική λεκάνη της Κρήτης και το Μυρτώο Πέλαγος (Georgopoulos et al., 1989; Theocharis et al., 1993; Poulos et al., 1997; Theocharis et al., 1999; Georgopoulos et al., 2000; Lykousis et al., 2002). Ενώσω συνεχίζουν την πορεία τους προς την Ανατολική Μεσόγειο, με νοτιοδυτική κατεύθυνση (Tripsanas et al., 2016), αναμιγνύονται με νερά ενδιάμεσου βάρους από την Θάλασσα του Λεβαντίνου.
- ◆ Επιπλέον, το ανώτερο θαλάσσιο στρώμα καταλαμβάνεται και από νερά του Ατλαντικού που είναι μικρότερης αλατότητας και εισέρχονται από την Ιόνια λεκάνη.

Έτσι, παρατηρούνται τρεις υδάτινες μάζες κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας στο Νότιο Αιγαίο, τα ενδιάμεσου και μεγάλου βάρους τοπικά νερά στην Κρητική λεκάνη (λίγο μεγαλύτερης αλατότητας και θερμοκρασίας) καθώς και τα μεταβατικά νερά της Μεσογείου σε πολύ μεγάλα βάθη, τα οποία και εισέρχονται από τα δυτικά (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.6 Χάρτης του Αιγαίου Πελάγους με τις κύριες μορφές κυκλοφορίας των επιφανειακών υδάτων, το χειμώνα (άσπρα βέλη) και το καλοκαίρι (μαύρα βέλη). Τα ελλειπτικά σχήματα υποδηλώνουν την ύπαρξη κυκλώνων (βασισμένα σε δεδομένα από τους Lacombe & Tchernia, 1972; Theocharis & Georgopoulos, 1993; Poulos et al., 1997 και τροποποιημένα από Triantaphyllou et al., 2009).

(Source: Triantaphyllou M.V., Koukousioura O., Dimiza M.D., 2009. The presence of the IndoPacific symbiont-bearing foraminifer *Amphistegina lobifera* in Greek coastal ecosystems (Aegean Sea, Eastern Mediterranean). *Mediterranean Marine Science*. Vol.10, 2, p. 73-85).

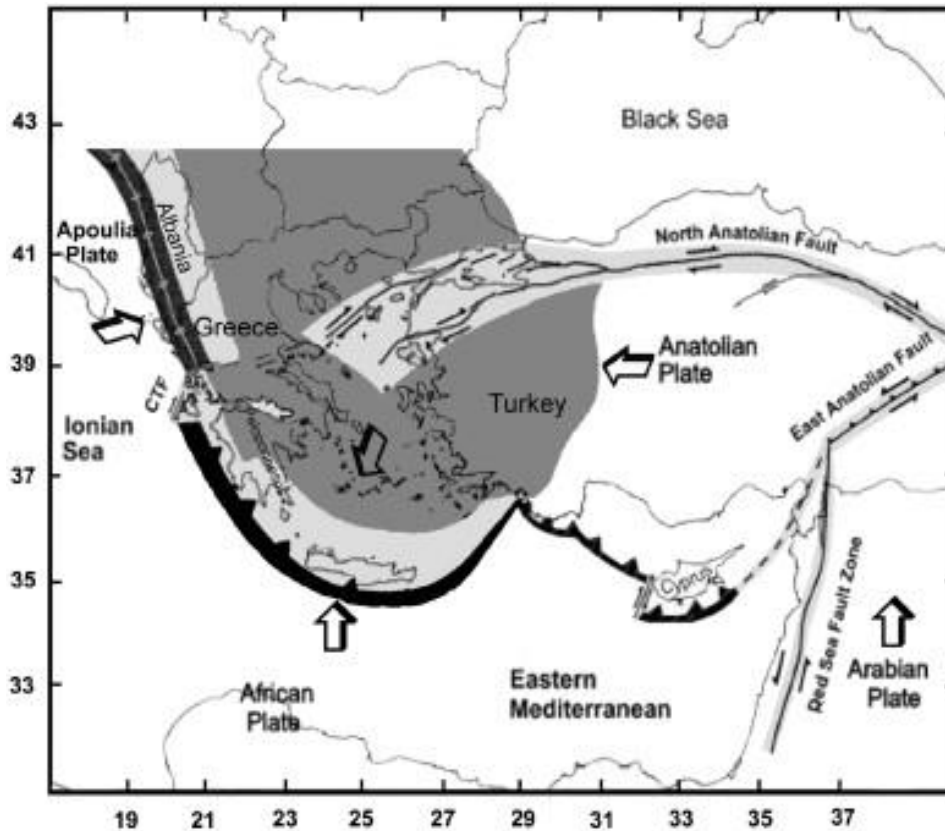
Ο σχηματισμός του Αιγαίου σχετίζεται με την επέκταση παράκτιων αλλουβιακών πεδιάδων του Τεταρτογενούς, όπου αρκετοί μεγάλοι ποταμοί εκβάλλουν, κυρίως από τα βόρεια αλλά και από την ανατολική ακτή της Τουρκίας, με τις εισροές τους σε συνδυασμό με τα ύδατα που προέρχονται από τη Μαύρη Θάλασσα να το τροφοδοτούν με γλυκό νερό, παρέχοντας το 75% της εισροής ιζημάτων στο βόρειο τμήμα του (Poulos et al., 1997; Roussakis et al., 2004; Poulos, 2009). Στα νοτιοανατολικά, παρατηρείται χαμηλότερη εισροή ποταμών, για αυτό και στη μεταφορά ιζημάτων σημαντικό ρόλο παίζουν οι αιολικές διεργασίες (Gogou et al., 1996; Gogou et al., 2000), όπως η σκόνη από τη Σαχάρα (Poulos, 2009) (Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7 Χάρτης με τη λεκάνη απορροής του Αιγαίου. Οι αριθμοί δείχνουν τις εκβολές των μεγάλων ποταμών (1: Σπερχειός; 2: Πηνειός; 3: Αλιάκμονας; 4: Αξιός, 5: Στρυμόνας; 6: Νέστος; 7: Έβρος; 8: Karamenderes; 9: Bakırçay, 10: Çediz, 11: Kujuk Menderes; 12: Büyük Menderes). (Poulos, 2009).

Αν και το περιβάλλον της Μεσογείου χαρακτηρίζεται ως oligotroφικό, το Αιγαίο Πέλαγος εμφανίζει σημαντικές διαφορές στα διάφορα τμήματά του. Οι συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών και πλαγκτόν έχουν βρεθεί υψηλότερες στο Βορειοδυτικό Αιγαίο από ότι στο Νότιο-Νοτιοανατολικό (Stergiou et al., 1997; Lykousis et al., 2002), διότι το τελευταίο επηρεάζεται από το εποχιακό θερμοκλίνας. Γενικά, στο Βόρειο Αιγαίο, εμφανίζονται ακανόνιστα επιφανειακά ιζήματα προερχόμενα από χερσαία περιβάλλοντα, σε αντίθεση με το Νότιο, που κυριαρχεί το βιογενές υλικό, παρόλο που είναι λιγότερο oligotroφικό. Το Κεντρικό Αιγαίο θεωρείται μεταβατικό (Poulos, 2009). Σχετικά με τα Ολοκαινικά αυτά ιζήματα, έχουν αναφερθεί σε έρευνες, όπως των Lykousis et al. (1981), Poulos et al. (1996), Zervakis et al. (2005a), Zervakis et al. (2005b), Ehrmann et al. (2007b), και αποτελούνται κυρίως από ένα μείγμα κλαστικών υλικών (μεγέθους άμμου, ιλύος και αργίλου με όλες τις διαβαθμίσεις τους), βιογενών υπολειμμάτων (πλαγκτονικά και βενθονικά τρηματοφόρα, πτερόποδα και κοκκόλιθοι) και ανθρακικών (μεγέθους χαλικιού έως αργίλου). Επιπλέον, η μεταφερόμενη με τον άνεμο ηφαιστειακή τέφρα και η αιολική σκόνη από την έρημο της Σαχάρας (Rye, 1992; Rutten et al., 2000) είναι επίσης παρόντα, ιδίως στο κεντρικό και νότιο μέρος των ιζημάτων στις βαθύτερες λεκάνες του Αιγαίου.

Τέλος, οι κύριες τεκτονικές δυνάμεις που επικρατούν στην περιοχή του Αιγαίου σχετίζονται με το τελικό στάδιο της αλπικής ορογένεσης. Σε αυτό το στάδιο, πραγματοποιείται υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική (συγκεκριμένα κάτω από τη μικροπλάκα του Αιγαίου) και η σύγκρουση της Αραβικής μικροπλάκας με αυτήν της Ανατολίας, που αναγκάζει τη δεύτερη να κινηθεί κατά μήκος του βόρειου ρήγματος της. Η Αραβική μικροπλάκα έχει μεγαλύτερη ταχύτητα από την Αφρικανική, ενώ και οι δυο έχουν κατεύθυνση προς τον βορρά (Sakellariou et al., 2005) (Εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8 Χάρτης με τα σημαντικότερα γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά του Αιγαίου, όπου τα βέλη υποδεικνύουν την κίνηση της πλάκας (Papazachos et al., 1998; Poulos, 2009).

2.3 ΚΟΛΠΟΣ ΤΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ

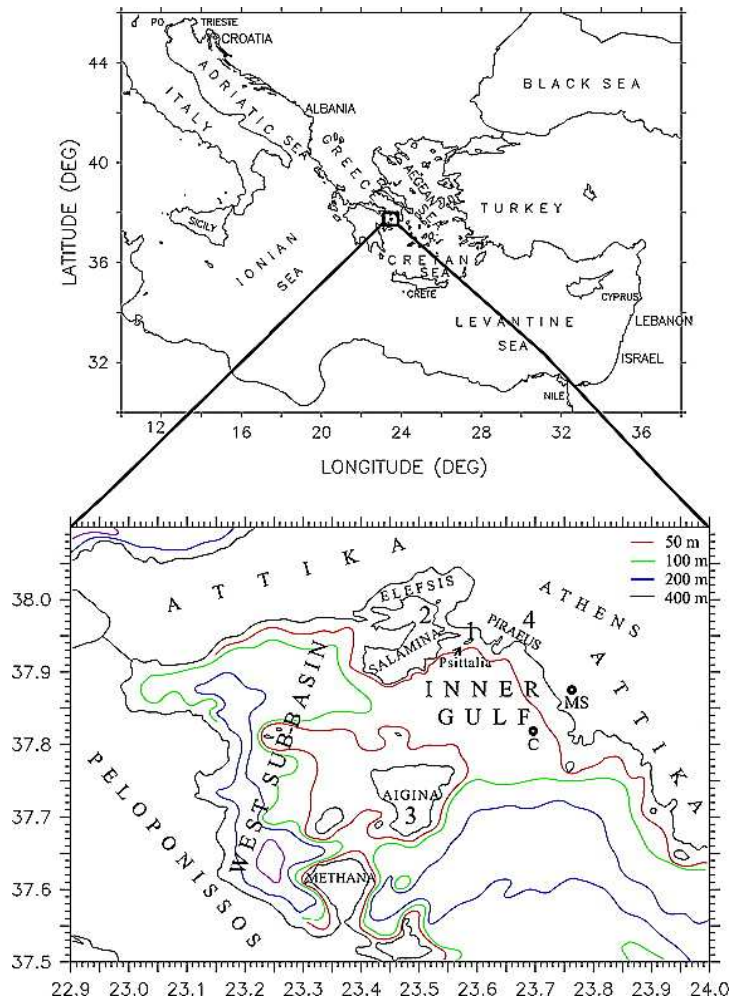
Ο κόλπος του Σαρωνικού είναι μια ημίκλειστη περιοχή στη δυτική πλευρά του Κεντρικού Αιγαίου, ανάμεσα στις βορειοδυτικές ακτές της Πελοποννήσου και τις βορειοανατολικές ακτές του νομού Αττικής. Φιλοξενεί το βορειοδυτικό άκρο του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του Νότιου Αιγαίου (περιλαμβάνοντας τα ηφαιστειακά κέντρα Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας, Μέθανα, Πόρο, Σουσάκι και Αίγινα) (Fytikas et al., 1976; Dietrich et al., 1988; Pe-Piper and Piper, 2005; Pe-Piper and Piper, 2013),

καλύπτει μια έκταση 3000 km² και το βορειοδυτικό του άκρο ενώνεται με τον Κορινθιακό κόλπο μέσω του Ισθμού της Κορίνθου (Εικόνα 2.9). Οι ακτές του έχουν έντονο οριζόντιο και κατακόρυφο διαμελισμό με τις δυτικές να παρουσιάζονται απότομες και τις βορειοανατολικές ομαλές. Αίτια της ομαλότητας τους είναι οι δύο πολύ σημαντικές ποτάμιες εκροές που καταγράφονται από τον Ιλισό και τον Κηφισό, με τα ύδατα, όμως, να μην επηρεάζονται σημαντικά από την απορροή γλυκού νερού. Αναφορικά με τα νησιά που περιλαμβάνει ο Σαρωνικός, τα μεγαλύτερα είναι η Αίγινα, η Σαλαμίνα, το Αγκίστρι και ο Πόρος, ενώ επίσης, οι κυριότερες χερσόνησοι του είναι του Πειραιά και των Μεθάνων και τα κυριότερα ακρωτήρια, το Σούνιο και το Σκύλλαιο Τροιζήνας.

Διαιρείται από μια ρηχή πλατφόρμα σε μια βαθύτερη δυτική υπολεκάνη, που βρίσκεται δυτικά από τα νησιά Αίγινα, Σαλαμίνα και Αγκίστρι, και ένα ανατολικό τμήμα, που χαρακτηρίζεται από πιο ήπιο ανάγλυφο. Η ανατολική υπολεκάνη χαρακτηρίζεται από μη τεκτονικά καταπονημένο πυθμένα και η δυτική φιλοξενεί τις θαλάσσιες λεκάνες των Μεγάρων και της Επιδαύρου (Papanikolaou et al. 1988). Το βόρειο τμήμα του ανατολικού τμήματος ονομάζεται Εσωτερικός κόλπος του Σαρωνικού και το νότιο Εξωτερικός και ανάμεσα τους βρίσκεται μια ρηχή, προσανατολισμένη προς τα νοτιοδυτικά ζώνη που ονομάζεται πλατώ Αίγινας-Φλεβών (Friligos, 1984; Papanikolaou et al., 1988). Στα βόρεια, βρίσκεται ο κόλπος της Ελευσίνας ο οποίος λόγω του ότι είναι κοντά στις ακτές της Αττικής και στην περιοχή του Πειραιά, είναι αρκετά επηρεασμένος από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή στο λιμάνι του Πειραιά λαμβάνει χώρα πλήθος βιομηχανικών και ακτοπολικών δραστηριοτήτων και κατά συνέπεια συμβάλλει καθοριστικά στην υποβάθμιση της περιβαλλοντικής ποιότητας του Σαρωνικού με τις πολυάριθμες ρίψεις λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων.

Ο Σαρωνικός παρουσιάζει άφθονες αποδείξεις για την ύπαρξη θαλάσσιας καθίζησης στο τέλος του Άνω Μειόκαινου με τα ποσοστά να διαφέρουν σε ολόκληρο τον κόλπο. Γενικά, είναι αρκετά χαμηλά στην κεντρική λεκάνη και υψηλά κοντά στις παράκτιες περιοχές (Lykousis and Anagnostou, 1992; Hatzianestis et al., 2004; Eleftheriou et al., 2018). Επίσης, τα βάθη που παρατηρούνται είναι μικρότερα από 70 m με την βαθύτερες περιοχές να εμφανίζονται μεταξύ των νησιών Μέθανα, Αγκίστρι και Αίγινα και μεταξύ της Σαλαμίνας και των Λαγουσών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο κόλπος υπόκειται σε ανέμους, κυρίαρχοι των οποίων είναι οι βόρειοι (μελτέμια), που η θερμοκρασία τους κυμαίνεται από 0 °C έως 40 °C, ενώ η θερμοκρασία του νερού δείχνει τυπικές διακυμάνσεις ανάλογα με την εποχή και κυμαίνεται από 15 °C έως 24 °C. Επιπρόσθετα, στα βαθύτερα στρώματα της λεκάνης η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου είναι πολύ χαμηλή με αποτέλεσμα οι συνθήκες στην περιοχή να γίνονται σχεδόν ανοξικές.



Εικόνα 2.9 Χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου. Η περιοχή του κόλπου του Σαρωνικού βρίσκεται μέσα στο ορθογώνιο και κάτω παρουσιάζεται διευρυμένη με τις περιοχές 1. Ψυττάλεια, 2. Σαλαμίνα, 3. Αίγινα, 4. Πειραιάς (Kontoyiannis, 2010).

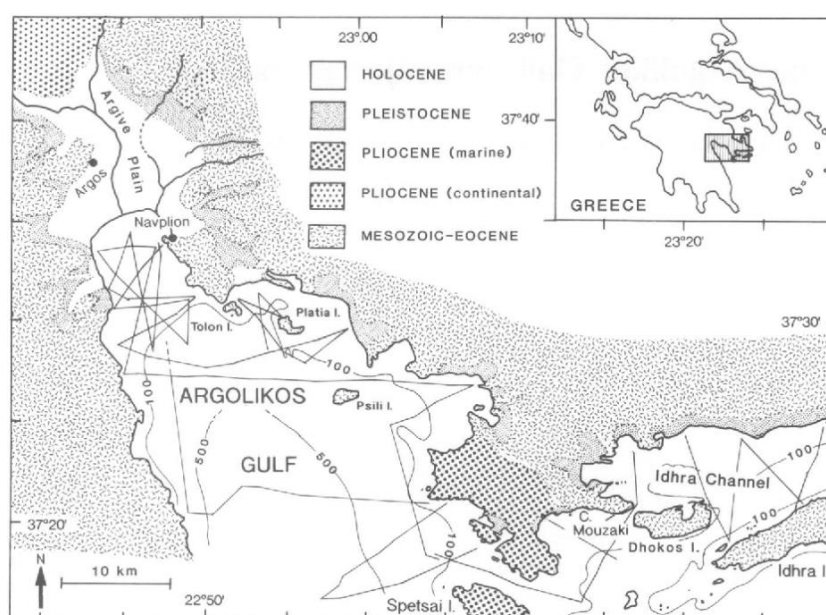
(Source: Kontoyiannis H., 2010. Observations on the circulation of the Saronikos gulf: a Mediterranean embayment sea border of Athens, Greece. *J Geophys Res Ocean*, 115, p. 1–23).

Ο Κοντογιάννης (2010), μετά από εκτεταμένη έρευνα, υποστηρίζει ότι η πιο σημαντική συμβολή στην αλατότητα του Σαρωνικού κόλπου, η οποία είναι περίπου 38-39 ‰, είναι οι μάζες ύδατος που έρχονται από το Αιγαίο, με τους ανέμους να σπρώχνουν το επιφανειακό στρώμα προς τα νότια. Τα νερά με υψηλότερη αλατότητα από το Αιγαίο αντλούνται προς τα κάτω στρώματα λόγω της αντίθεσης πυκνότητας και ρέουν προς τον Εσωτερικό κόλπο, ενώ ευνοείται η ανάπτυξη επαναλαμβανόμενων δομών μεταξύ των γενικών ροών, με εξαίρεση, από τις αρχές φθινοπώρου έως τους πρώτους μήνες του χειμώνα, τις νέες εισερχόμενες υδάτινες μάζες που προέρχονται από τη Μαύρη Θάλασσα. Το νερό της Μαύρης Θάλασσας χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες τιμές αλατότητας σε σχέση με τα περιβαλλοντικά νερά του Αιγαίου (Zodiatis, 1993). Παράλληλα, οι βορειοδυτικοί, δυτικοί και νότιοι άνεμοι είναι η κινητήρια δύναμη των εποχιακών ροών με βόρεια κατεύθυνση στον Εσωτερικό κόλπο, αναστέλλοντας τη δημιουργία επαναλαμβανόμενων δομών (Kontoyiannis, 2010).

Γενικά, η κυκλοφορία των υδάτων εμφανίζει μια δομή δύο στρωμάτων από τα τέλη της άνοιξης μέχρι και τα φθινοπώρου, ενώ στα τέλη άνοιξης με αρχές καλοκαιριού, ο Κοντογιάννης (2010) σημειώνει ότι αναπτύσσονται στην περιοχή κυκλώνες και αντικυκλώνες.

2.4 ΑΡΓΟΛΙΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ

Ο Αργολικός κόλπος βρίσκεται ανάμεσα στα παράλια της Αρκαδίας και την Αργολική χερσόνησο στα ανατολικά και θεωρείται ένας από τους μεγαλύτερους κόλπους που έχουν σχηματισθεί στη Νότια Πελοπόννησο με την γειτονική οροσειρά, που βρίσκεται κατά μήκος των δυτικών ακτών του και είναι καλυμμένη από αλλουβιακές αποθέσεις, να κλίνει απότομα σε μεγάλο βάθος. Ορίζεται από το νότιο άκρο της νησίδας Σπετσοπούλα και το ακρωτήριο Τουρκοβίγλια στην ακτή της Κυνουρίας και είναι αρκετά επιμήκης. Σε συνδυασμό με τα νότια παράλια της Αργολίδας και τον Σαρωνικό κόλπο που βρίσκεται βορειότερα, αποτελεί την περιοχή του *Αργοσαρωνικού* (Εικόνα 2.10).

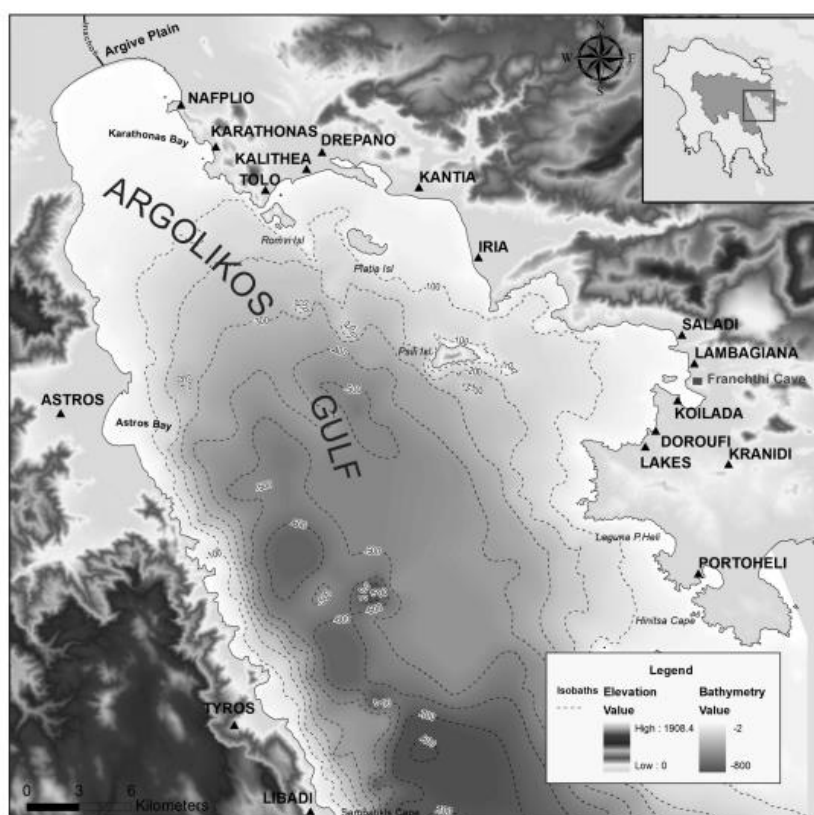


Εικόνα 2.10 Χάρτης του Αργολικού κόλπου με ισοβαθείς (σε m), γεωλογία εδάφους και θαλάσσιες διαδρομές έρευνας (van Andel et al., 1993).

Η διάνοιξη του έχει κατεύθυνση ΒΔ-ΝΑ με μήκος 75km και πλάτος 30km και το βάθος του φθάνει περίπου τα 700m στο σημείο που συναντά το Νοτιοανατολικό Αιγαίο. Μια υφαλοκρηπίδα καταλαμβάνει τη βόρεια πλευρά του κόλπου που καταλήγει στα 95m περίπου σε κατώφλεια και στη συνέχεια στα 150m συναντά τον ήπιο σχετικά πυθμένα (van Andel et al., 1990). Είναι αρκετά ευρεία λόγω της ανάπτυξης των δέλτα των

ποταμών της περιοχής πιο μακριά στη θάλασσα με την πάροδο του χρόνου με τις συνεχείς εκφορτίσεις τους. Στο χερσαίο τμήμα σε εκείνη την πλευρά συναντάται η Αργολική πεδιάδα, που είναι μια λεκάνη που χωρίζει την Αργολική χερσόνησο από την υπόλοιπη Πελοπόννησο και κατά τη διάρκεια του Πλειόκαινου έως και τις αρχές του Πλειστόκαινου, σχημάτισε προς τα ΒΔ ένα κανάλι που συνέδεε το Νότιο Αιγαίο με τον Κορινθιακό κόλπο (Papanikolaou et al., 1988). Η πεδιάδα αυτή σχηματίστηκε από την αποστράγγιση ποταμών που είχαν τις πηγές τους στα Αρκαδικά βουνά.

Η παράκτια γεωμορφολογία του Αργολικού δεν οφείλεται μόνο σε τεκτονικούς παράγοντες αλλά και στην φύση των πετρωμάτων, την ένταση των διαδικασιών διάβρωσης των θαλάσσιων κυμάτων και την παροχή ιζημάτων κατά τα τελευταία 5.000 χρόνια μετά τη σταθεροποίηση της αύξησης της στάθμης της θάλασσας (Karymbalis & Seni, 2005; Roulos et al., 2009). Παρόλο που οι δυτικές ακτές συνίστανται από ασβεστόλιθους και απότομες πλαγιές, στα ανατολικά, παρουσιάζονται εκτεταμένες αμμώδεις παραλίες, ενώ στον κόλπο εμφανίζονται κάποια νησιά, όπως ο Ντόκος και η Ύδρα, τα οποία αποτελούνται από Μεσοζωικά πετρώματα (van Andel & Vitaliano, 1987; Gaki - Papanastassiou et al., 2005). Το πιο χαμηλό τμήμα του κόλπου είναι το βόρειο, όπου βρίσκεται η πεδιάδα και εμφανίζονται ρηχά θαλάσσια και παραποτάμια Πλειοκαινικά ιζήματα σε αντίθεση με τα δυτικά, όπου υπάρχουν χερσαία ιζήματα, και τέλος, ο κόλπος γέμισε προοδευτικά με νερά κατά τη διάρκεια του Πλειόκαινου μέχρι και τις αρχές του Τεταρτογενούς (Εικόνα 2.11).

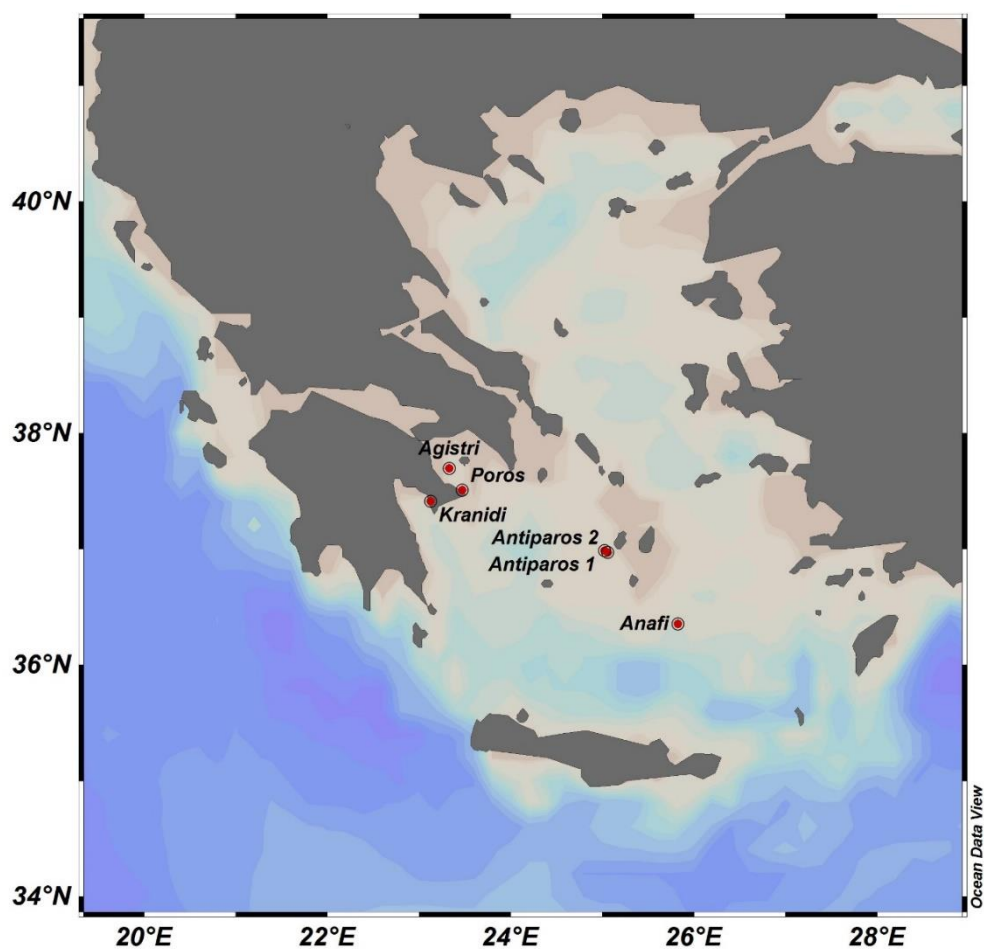


Εικόνα 2.11 Χάρτης του Αργολικού κόλπου με τα υδρογραφικά χαρακτηριστικά του (Gaki-Papanastassiou et al., 2010)

3. ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

3.1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Από τις θέσεις όπου έγινε συλλογή των δειγμάτων, οι δύο βρίσκονται στον Σαρωνικό κόλπο στα νησιά Αγκίστρι και Πόρος, μια παράκτια του Αργολικού κόλπου στην περιοχή Κοιλιάδα Αργολίδας και οι δύο τελευταίες στο Νότιο Αιγαίο στα νησιά Αντίπαρος και Ανάφη. Συνολικά συλλέχθηκαν 6 δείγματα βενθονικής μειοπανίδας, ένα από τους σταθμούς Αγκίστρι και Κοιλιάδα και δύο από τους υπόλοιπους την χρονική περίοδο μεταξύ Μαρτίου και Σεπτεμβρίου το 2012. Οι σταθμοί αυτοί επιλέχθηκαν έτσι ώστε να επιτευχθεί πληρέστερη κάλυψη όσο το δυνατόν περισσότερων περιοχών του οικοσυστήματος των βενθονικών τρηματοφόρων (Πίνακας 3.1). Για τη δημιουργία του χάρτη της περιοχής έρευνας όπου έλαβε χώρα η απεικόνιση των θέσεων των σταθμών δειγματοληψίας, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Ocean Data View 4 (ODV) (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1 Χάρτης της περιοχής έρευνας με απεικόνιση των ενδεικτικών θέσεων των σταθμών δειγματοληψίας στις περιοχές του Νοτίου Αιγαίου και του Αργοσαρωνικού (μέσω του προγράμματος Ocean Data View 4).

Πίνακας 3.1 Απεικόνιση των γεωγραφικών συντεταγμένων των διαφόρων σημείων έρευνας και του βάθους δειγματοληψίας.

Σταθμοί δειγματοληψίας	Συντεταγμένες Χ/Ψ (ΕΓΣΑ '87)		Βάθος (m)
ΑΝΑΦΗ	N 36 ⁰ 21' 13.2''	E 25 ⁰ 49' 36.48''	0.3
ΠΟΡΟΣ	N 37 ⁰ 30' 23.76''	E 23 ⁰ 28' 18.84''	0.3
ΑΓΚΙΣΤΡΙ	N 37 ⁰ 41' 49.2''	E 23 ⁰ 19' 54.12''	0.3
ΚΟΙΛΑΔΑ	N 37 ⁰ 24' 42.12''	E 23 ⁰ 7' 42.6''	0.3
ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1	N 36 ⁰ 59' 7.8''	E 25 ⁰ 1' 30''	0.3
ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2	N 36 ⁰ 58' 14.52''	E 25 ⁰ 35' 34.8''	0.3

3.2 ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η συλλογή ιζήματος από τις παραπάνω περιοχές έγινε από τον πυθμένα σε βάθος 0.3m και η μέση θερμοκρασία των υδάτων, εκείνη την περίοδο, ήταν περίπου 15 °C. Στο εργαστήριο, μικρή ποσότητα ξηρού ιζήματος από κάθε δείγμα υπέστη υγρό κοσκίνισμα με φυσικό νερό σε κόσκινο με διάμετρο οπών 125 μm και ακολούθησε ξήρανση στους 60 °C. Στη συνέχεια, το κλάσμα >120 μm χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των τρηματοφόρων.

Ενώ οι πρώτες παρατηρήσεις των τρηματοφόρων, συνήθως, γίνονται με φακό ή με γυμνό μάτι απευθείας στον τόπο συλλογής τους στο ύπαιθρο, πιο διεξοδικά μελετώνται με διοφθάλμιο ή οπτικό μικροσκόπιο ή αν αποσκοπεί κανείς σε μεγαλύτερη ανάλυση, χρησιμοποιείται το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, για την απομόνωση και στη συνέχεια, την καταμέτρηση και τον προσδιορισμό των βενθονικών τρηματοφόρων χρησιμοποιήθηκε στερεοσκόπιο τύπου Leica S4E σε μεγέθυνση 80x (Εικόνα 3.2). Το όργανο αυτό εφαρμόζεται όταν είναι απαραίτητη η παρατήρηση σε μεγέθυνση της εξωτερικής μορφολογίας ενός αντικείμενου με τη χρήση προσπίπτοντος φωτός από λαμπτήρα αλογόνου. Η εστίαση του αντικειμενικού φακού που επιλέχθηκε ήταν μεγεθυντικής ισχύος 2,5x. Επιπλέον, η συλλογή των ατόμων από τα δείγματα έγινε με λεπτό πινέλο No 000 Winsor & Newton University Series, το οποίο ήταν βρεγμένο με νερό.



Εικόνα 3.2 Απεικόνιση του στερεοσκοπίου τύπου Leica S4E που χρησιμοποιήθηκε (φωτογραφία από προσωπικό αρχείο).

Στην παρούσα μελέτη αναλύθηκε το σύνολο του πληθυσμού των βενθονικών τρηματοφόρων (νεκρά και ζωντανά άτομα). Η σύνθεση της συνολικής πανίδας, καθώς συμπεριλαμβάνει και τα νεκρά εκτός από τα ζωντανά άτομα, παρέχει πληροφορίες για τις γενικές περιβαλλοντικές συνθήκες στο εξεταζόμενο μικροενδιαίτημα και όχι μόνο για τη χρονική στιγμή της δειγματοληψίας (Debenay et al., 2001; Murray, 2006). Κατόπιν της συλλογής και απομόνωσης ενός αντιπροσωπευτικού αριθμού ατόμων τρηματοφόρων από το κάθε δείγμα, έγινε η τοποθέτηση ενός μέρους κάθε δείγματος σε μικροπαλαιοντολογικά πινακίδια τα οποία, εν συνεχεία, χωρίς κάποια ιδιαίτερη προετοιμασία μεταφέρθηκαν ένα προς ένα στο οπτικό πεδίο του μικροσκοπίου για μελέτη. Με αυτόν τον τρόπο, επετεύχθη η μελέτη και η ταξινόμηση ανάλογα με το επίπεδο είδους στο οποίο υπάγονται, εκτός μερικών εξαιρέσεων που δεν ήταν δυνατό να συνεχιστεί η ταξινόμηση πέραν του γένους. Η ταξινόμηση ακολούθησε το σχήμα συστηματικής ταξινόμησης των Loeblich & Tappan (1988, 1994) και της βάσης δεδομένων WoRMS (<http://www.marinespecies.org/>).

Ταυτόχρονα με την αναγνώριση και ταξινόμηση των ειδών έγινε και η καταμέτρηση των ατόμων. Εάν ο αριθμός των ατόμων, που υπόκειται σε εξέταση, είναι περίπου 150 – 200, τότε η συλλογή θεωρείται επαρκής. Εάν βρεθούν λιγότερα άτομα στο τμήμα του δείγματος που επιλέχθηκε, τότε ένα δεύτερο τμήμα αφαιρείται από το δείγμα για να μελετηθεί μέχρι να επιτευχθεί η απόκτηση 150 – 200 ατόμων ή έως ότου υποβληθεί σε επεξεργασία ολόκληρο το δείγμα. Σε αυτήν την περίπτωση, για την ποσοτική ανάλυση εξετάστηκε αντιπροσωπευτικός αριθμός ατόμων βενθονικών τρηματοφόρων (70-262 άτομα), και υπολογίστηκε η σχετική συχνότητα επί τοις εκατό (%) των ειδών σε κάθε δείγμα παρατήρησης. Η ανάλυση των στοιχείων βασίστηκε σε διαγράμματα που πραγματοποιήθηκαν στο στατιστικό πρόγραμμα Excel. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων και ο χαρακτηρισμός των εξεταζόμενων περιοχών βασίστηκε στις οικολογικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις των ειδών που προσδιορίστηκαν.

3.3 ΒΙΟΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Για την ανάλυση και εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας των υδάτων με βάση τις συγκεντρώσεις των βενθονικών τρηματοφόρων επιλέχθηκαν και εξετάστηκαν τρεις βιοτικοί δείκτες (**F**oraminifera in **R**ef Assessment and **M**onitoring – FoRAM– FI, **F**oram Stress Index – FSI και **A**mmonia-**E**lphidium Index – AEI).

Όπως έγινε αναφορά και παραπάνω, τα βενθονικά τρηματοφόρα έχουν εξαιρετική χρησιμότητα ως βιοδείκτες παράκτιας μόλυνσης και επικρατούντων συνθηκών στα περιβάλλοντα που επιβιώνουν λόγω της σύντομης διάρκειας ζωής τους (6 έως 12 μήνες ζωής) και της γρήγορης ανταπόκρισής τους σε διάφορες αλλαγές στο περιβάλλον διαβίωσής τους. Έχει παρατηρηθεί ότι ο εμπλουτισμός σε θρεπτικά συστατικά και επομένως σε οργανική ύλη παίζει σημαντικό ρόλο στην αφθονία κάποιων ειδών εις βάρος κάποιων άλλων. Έτσι, οι Hallock et al (2003) ανέπτυξαν το δείκτη FoRAM. Με αυτόν τον τρόπο, αξιολογείται εύκολα η ποιότητα των παράκτιων υδάτων και γίνεται αντιληπτό εάν μπορεί να υποστηριχθεί η ύπαρξη μεγάλων συμβιωτικών οργανισμών τα οποία προτιμούν περιβάλλοντα με επάρκεια φωτός, όπως το είδος *Amphistegina lobifera* ή εάν είναι δυνατή η ανάκαμψη των υφάλων. Ο δείκτης έχει εφαρμοστεί με επιτυχία για τον έλεγχο της ποιότητας των υδάτων σε συγκεντρώσεις τρηματοφόρων

της Μεσογείου (Koukousioura et al., 2011). Το προτεινόμενο φάσμα τιμών που μπορεί να πάρει το βάθος είναι 3-15m, επειδή οι ρηχότερες περιοχές θεωρούνται εκτεθειμένες στη δράση των κυματισμών και οι βαθύτερες έχουν την τάση να συγκεντρώνουν περισσότερο λεπτόκοκκο ίζημα που εμπεριέχει μικρότερα ετεροτροφικά τρηματοφόρα (Hallock, 2012).

Τα βενθονικά τρηματοφόρα εμφανίζουν μεγάλη γκάμα περιβαλλόντων στα οποία μπορούν να ευδοκιμήσουν, τα οποία ποικίλουν, από καθαρά ύδατα που είναι φτωχά σε θρεπτικά συστατικά έως ακραίες συνθήκες μεγάλων διακυμάνσεων pH, αλατότητας και συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων που μπορεί να είναι τοξικά (Alve, 1995). Σε αυτό το πλαίσιο, μπορεί να γίνει ο υπολογισμός του δείκτη FoRAM Index – FI με τη βοήθεια του τύπου $FI=(10 \times Ps)+(Po)+(2 \times Ph)$ για την εύρεση της ποιότητας των υφάλων και του FoRAM Stress Index.

όπου, N: η αριθμητική τιμή των ατόμων κάθε γένους μιας ομάδας,

T: το σύνολο των ατόμων των τρηματοφόρων,

Ps (το ποσοστό συμμετοχής των ατόμων των συμβιωτικών – symbiotic ειδών στο σύνολο των βενθονικών τρηματοφόρων),

Po (το ποσοστό συμμετοχής των ατόμων των ομορτοπιστικών –opportunistic ειδών στο σύνολο των βενθονικών τρηματοφόρων),

Ph (το ποσοστό συμμετοχής των ατόμων των ετεροτροφικών – heterotrophic ειδών στο σύνολο των βενθονικών τρηματοφόρων).

Τα παρακάτω σχήματα (Εικόνα 3.3) δείχνουν τη σχέση του δείκτη FI με την κατάσταση δημιουργίας υφάλων.



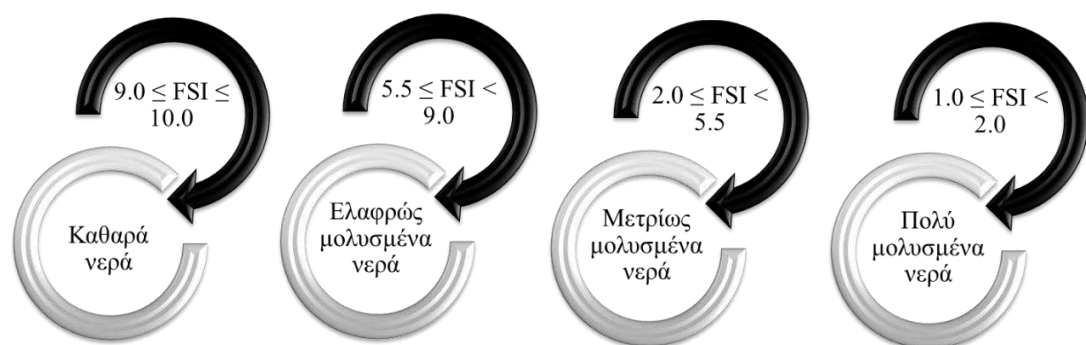
Εικόνα 3.3 Σχηματική απεικόνιση της ταξινόμησης των συνθηκών που μπορούν να επιβιώσουν τα βενθονικά τρηματοφόρα με βάση τον δείκτη FI (Hallock et al., 2003).

Ο δεύτερος βιοτικός δείκτης που εξετάστηκε στην παρούσα εργασία είναι ο FSI, ο οποίος αναπτύχθηκε από τους Dimiza et al. (2016) ως εργαλείο αξιολόγησης της ποιότητας του υποστρώματος των βενθονικών τρηματοφόρων, είναι ανάλογος με τον FI και υπολογίζεται από τον τύπο $FSI=(10 \times Sen)+(Str)$

όπου, Sen: αριθμητική τιμή των ατόμων των «ευαίσθητων» γενών σε αντίξοες συνθήκες προς το συνολικό αριθμό ατόμων,

Str: αριθμητική τιμή των ατόμων των «ανθεκτικών» γενών σε αντίξοες συνθήκες προς το συνολικό αριθμό ατόμων.

Το FSI συμβάλλει στην αναγνώριση ενός φάσματος περιβαλλόντων με σημαντικές διαφορές στις ποσότητες τροφής που μπορούν να προσφέρουν και δεν εξαρτάται από το βάθος και από τα θρεπτικά συστατικά για την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας των υδάτων. Κατά συνέπεια, χρησιμοποιούνται δυο ομάδες ειδών, η ανθεκτική στις καταπονήσεις (stress tolerant – Str) και η ευαίσθητη (sensitive – Sen) από τα τρηματοφόρα. Τα πρώτα έχουν τη δυνατότητα να εμφανιστούν κάτω από αμετάβλητες συνθήκες, όμως επειδή είναι ανθεκτικά στις αλλαγές, μπορούν να δράσουν οπορτουμιστικά και να πληθύνουν σε περιπτώσεις υψηλού οργανικού εμπλουτισμού (Alve, 1995). Τα δεύτερα είναι πιο ευαίσθητα στον εμπλουτισμό των υδάτων με οργανικό υλικό και μπορούν να εμφανιστούν σε περιβάλλοντα που είναι ελάχιστα ή καθόλου μολυσμένα. Τα παρακάτω σχήματα (Εικόνα 3.4) δείχνουν τη σχέση του δείκτη FSI με την κατάσταση ρύπανσης των περιβαλλόντων (σε περίπτωση που ο δείκτης παίρνει μηδενική τιμή, παρατηρούνται αζωικές συνθήκες).



Εικόνα 3.4 Σχηματική απεικόνιση της ταξινόμησης των ενδιαιτημάτων των βενθονικών τρηματοφόρων με βάση τον δείκτη FSI (Dimiza et al., 2016).

Ο τρίτος σημαντικός βιοτικός δείκτης, ο AEI αναπτύχθηκε από τους Sen Gupta et al. (2006) και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των επιπέδων οξυγόνου στις περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη ποσότητα οργανικού υλικού (Sen Gupta et al., 1996). Το γένος *Ammonia* είναι πιο ανθεκτικό από το γένος *Elphidium* σε συνθήκες χαμηλής οξυγόνωσης για αυτό και ο μαθηματικός τύπος που χρησιμοποιείται είναι $AEI = [N_A / (N_A + N_E)] \times 100$

όπου, N_A : ο αριθμός των ατόμων του γένους *Ammonia* και N_E : ο αριθμός των ατόμων του γένους *Elphidium*.

Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του δείκτη, τόσο μικρότερα επίπεδα οξυγόνωσης παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης. Σε περίπτωση που σημειώνεται απουσία των γενών, ο δείκτης παίρνει μηδενική τιμή και δεν μπορεί να εφαρμοστεί (Carnahan et al. 2009).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ, ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ

Μετά από μελέτη των βενθονικών τρηματοφόρων στο οπτικό μικροσκόπιο, προσδιορίστηκαν σε επίπεδο είδους 9 και σε επίπεδο γένους 8 βενθονικά τρηματοφόρα. Η ταξινόμηση ακολούθησε το σχήμα συστηματικής ταξινόμησης των Loeblich & Tappan (1988, 1994) και τις πλέον πρόσφατες διορθώσεις σύμφωνα με τη διαδικτυακή βάση δεδομένων WoRMS (2020). Στον Πίνακα 4.1, δίνονται τα στοιχεία της ταξινόμησης, η περιγραφή και τα οικολογικά χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 4.1 Συστηματική ταξινόμηση, μορφολογικά και οικολογικά χαρακτηριστικά των τρηματοφόρων που προσδιορίστηκαν στα δείγματα που μελετήθηκαν.

ΕΙΔΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
<p>☞ <i>Amphistegina lobifera</i> (Larsen, 1976)</p>	<p>Το είδος αυτό ανήκει στην τάξη Rotalida Delage & Hérouard, 1896, στην υπεροικογένεια Asterigerinoidea d'Orbigny, 1839, στην οικογένεια Amphisteginidae Cushman, 1927 και στο γένος <i>Amphistegina</i> d'Orbigny, 1826.</p> <p>Το κέλυφος των αντιπροσώπων του είδους <i>A. lobifera</i> είναι φακοειδές, άνισα αμφίκυρτο, πολυθάλαμο και τροχοσπειροειδώς περιελγμένο με τους θαλάμους να φέρουν περοειδείς προεξοχές. Το τοίχωμα του κελύφους είναι ασβεστολιθικό, διάτρητο και υαλώδες, παχύ και ελασματικό, ενώ οι γραμμές ραφής είναι, στην κοιλιακή όψη, σαν δευτερογενείς λοβοί σε μορφή άστρου και στη ραχιαία, απλές, κυματοειδείς και σε ακτινωτή διάταξη.</p> <p>Το γένος <i>Amphistegina</i> περιλαμβάνει μεγάλους αντιπροσώπους (κελύφη μεγάλου μεγέθους) που εμφανίστηκαν στο Ηώκαινο και έχουν επιβιώσει μέχρι σήμερα (Loeblich and Tappan, 1988). Μπορούν να βρεθούν σε θερμές ζώνες κοραλλιογενών υφάλων (τόσο σε μαλακά όσο και σε σκληρά υποστρώματα) καθώς και σε αβαθή νερά τροπικών περιοχών, όπου υπάρχει συχνή ανανέωση νερού (Hohenegger et al., 1999; Langer and Hottinger, 2000). Πολύ συχνά φιλοξενούν ενδοσυμβιωτικά διάτομα που είναι αυτότροφοι οργανισμοί (Leutenegger, 1984).</p>
<p>☞ <i>Peneroplis planatus</i> (Fichtel & Moll, 1798)</p>	<p>Το είδος αυτό ανήκει στην τάξη Miliolida Delage & Hérouard, 1896, στην υπεροικογένεια Soritoidea Ehrenberg, 1839, στην οικογένεια Peneroplidae Schultze, 1854 και στο γένος <i>Peneroplis</i> de Montfort, 1808.</p>

	<p>Το κέλυφος των αντιπροσώπων του είδους <i>P. planatus</i> είναι ελεύθερο, επίπεδο, με ιδιαίτερα πεπιεσμένο σχήμα, και το τοίχωμα του είναι ασβεστολιθικής σύστασης, αδιάτρητο και πορσελανώδες. Επίσης, έχει απλούς θαλάμους, οι οποίοι ενώ στην αρχή είναι επιπεδοσπειροειδώς περιελιγμένοι, στη συνέχεια, σταματούν να περιελίσσονται, δίνοντας του ένα τελικό, κυκλικό σχήμα. Εξωτερικά, οι γραμμές ραφής είναι διακριτές, όπως και οι κάθετες σε αυτές γραμμώσεις. Όσον αφορά το στοματικό άνοιγμα, είναι τελικό αποτελούμενο από οπές στη μετωπική επιφάνεια του τελευταίου θαλάμου.</p> <p>Το γένος <i>Peneroplis</i> είναι επιπανιδικό, εμφανίστηκε στο Μειόκαινο και έχει επιβιώσει μέχρι σήμερα. Μπορεί να βρεθεί σε αβαθή, θερμά ή εύκρατα ύδατα και σε φυτικά υποστρώματα (Venec-Peyre and Le Calvez, 1988). Πολύ συχνά, είναι συμβιωτικό με ροδοφύκη (<i>Porphyridium</i>) (Leutenegger, 1977; Lee and Hallock, 1987; Lee, 1990; Murray 2006).</p>
<p>☞ <i>Peneroplis pertusus</i> (Forsskål in Niebuhr, 1775)</p>	<p>Όπως και το <i>P. planatus</i>, το είδος <i>P. pertusus</i> ανήκει στην τάξη Miliolida Delage & Hérouard, 1896, στην υπεροικογένεια Soritoidea Ehrenberg, 1839, στην οικογένεια Peneroplidae Schultze, 1854 και στο γένος <i>Peneroplis</i> de Montfort, 1808.</p> <p>Το τοίχωμα του είδους <i>P. pertusus</i> είναι ασβεστολιθικής σύστασης, αδιάτρητο και πορσελανώδες, και η επιφάνειά του διακοσμείται με παράλληλες αυλακώσεις. Οι θάλαμοί του αναπτύσσονται επιπεδοσπειροειδώς, και σταδιακά αυξάνουν σε μέγεθος, το κέλυφος έχει υποκυκλική περιφέρεια, οι γραμμές ραφής είναι διακριτές και πεπιεσμένες και το στοματικό του άνοιγμα αποτελείται από ακανόνιστα ανοίγματα που οριοθετούνται από ακραίο χείλος.</p> <p>Το είδος αυτό μπορεί να βρεθεί σε μικτά υποστρώματα, ή ακόμα και σε τροπικά, υποτροπικά ή και εύκρατα αβαθή νερά, λόγω της έντονης μετακίνησης του (Bernhard and Bowser, 1999; Murray, 2006). Οι αντιπρόσωποι του είδους αυτού φιλοξενούν στο κέλυφός τους συμβιωτικά ροδοφύκη (Leutenegger, 1984).</p>
<p>☞ <i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus, 1758)</p>	<p>Το συγκεκριμένο είδος ανήκει στην τάξη Rotaliida Delage & Hérouard, 1896, στην υπεροικογένεια Rotalioidea Ehrenberg, 1839, στην οικογένεια Rotaliidae Ehrenberg, 1839 και στο γένος <i>Ammonia</i> Bruennich, 1772.</p> <p>Το είδος <i>A. beccarii</i> χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα από το μεγάλο του μέγεθος. Το κέλυφος των αντιπροσώπων του είναι ελεύθερο, αμφίκυρτο, τροχοσπειροειδές, με 3-4 περιελίξεις και το τοίχωμα του είναι ασβεστολιθικής σύστασης. Επίσης, η κοιλιακή πλευρά</p>

	<p>είναι ενεηλιγμένη, ενώ η ραχιαία πλευρά είναι ενεηλιγμένη. Εξωτερικά, οι γραμμές ραφής είναι πεπιεσμένες καμπύλες ελαφρά κεκαμμένες και ακτινωτές στην κοιλιακή όψη, ενώ είναι λεπτές, ακτινωτές και καμπύλες στη ραχιαία όψη. Όσον αφορά το στοματικό άνοιγμα και τον ομφαλό, το πρώτο είναι μια απλή σχισμή στη βάση του τελευταίου θαλάμου και ο δεύτερος εμφανίζει σχισμές και σχηματισμούς, σαν μικρά κομβία. Τέλος, τα διαφράγματά του φέρουν διπλό τοίχωμα.</p> <p>Το γένος <i>Ammonia</i> εμφανίζει ποικιλότροπο τρόπο διαβίωσης αφού απαντάται τόσο ως επιπανιδικό, όσο και ενδοπανιδικό. Εμφανίστηκε στο Μειόκαινο και έχει επιβιώσει μέχρι σήμερα. Μπορεί να βρεθεί στο εσωτερικό περιθώριο ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας (Murray, 2006), ή σε αβαθή, τροπικά ή εύκρατα ύδατα παράκτιας και νηριτικής ζώνης. Η κατανομή των ειδών του γένους δεν σχετίζεται με την παραλλαγή μεγέθους κόκκων ιζημάτων, αλλά με την εισαγωγή γλυκού νερού και το εμπλουτισμό σε ανθρωπογενή θρεπτικά συστατικά. Όντας φυτοφάγο και βακτηριοφάγο, βρίσκεται όπου υπάρχει αφθονία τροφής (Debenay, et al. 2001).</p>
<p>∞ <i>Elphidium crispum</i> (Linnaeus, 1758)</p>	<p>Το συγκεκριμένο είδος ανήκει στην τάξη Rotaliida Delage & Hérouard, 1896, στην υπερκογένεια Rotalioidea Ehrenberg, 1839, στην οικογένεια Elphidiidae Galloway, 1933 και στο γένος <i>Elphidium</i> de Montfort, 1808.</p> <p>Το κέλυφος των αντιπροσώπων του είδους <i>E. crispum</i> είναι αμφιπλευροσυμμετρικό, επιπεδοσπειροειδές, με φακοειδές σχήμα στην περιφερειακή όψη και το τοίχωμα του είναι ασβεστολιθικής σύστασης, διάτρητο και υαλώδες. Επίσης, έχει πολλούς θαλάμους και γωνιώδες περιθώριο με τρόπιδα. Εξωτερικά, οι γραμμές ραφής είναι πεπιεσμένες, ευδιάκριτες ή ανυψωμένες. Όσον αφορά το στοματικό άνοιγμα, αποτελείται από μια σειρά μικρών στοματικών ανοιγμάτων που τα οριοθετεί το χείλος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στο κέντρο φέρει μια πλάκα αδιάτρητη που γύρω της τα διαφράγματα σχηματίζουν μια ομφαλική αύλακα. Τέλος, τα διαφράγματά του ενώ στην αρχή, είναι κανονικά, στη συνέχεια, σχηματίζεται ένας δευτερεύων επιμήκης καμπύλος θαλαμίσκος, σαν αγωγός κατά μήκος τους και προεκτεινόμενες επιφάνειες πάνω στους θαλάμους, οι οποίες λειτουργούν σα γέφυρες μεταξύ του θαλαμίσκου και του διαφράγματος.</p> <p>Το γένος <i>Elphidium</i> εμφανίστηκε στο κατώτερο Ηώκαινο και έχει επιβιώσει μέχρι σήμερα. Μπορεί να βρεθεί συνήθως σε αβαθή θαλάσσια ύδατα μαζί με φύκη ή και σπάνια σε λιμναία ή υφάλμυρα ύδατα,</p>

	καθώς και σε περιβάλλοντα με λίγο διαλυμένο οξυγόνο (Bernhard and Sen Gupta, 1999).
<p>☞ <i>Textularia agglutinans</i> (d'Orbigny, 1839)</p>	<p>Το είδος αυτό ανήκει στην τάξη Textulariida Ehrenberg, 1838, στην υπεριοικογένεια Textularioidea Ehrenberg, 1838, στην οικογένεια Textulariidae Ehrenberg, 1838 και στο γένος <i>Textularia</i> Defrance, 1824.</p> <p>Το κέλυφος των αντιπροσώπων του είδους <i>T. agglutinans</i> είναι πεπιεσμένο κατά το δίσειρο επίπεδο, με ιδιαίτερα επίμηκες σχήμα, και το τοίχωμα του είναι συμφυρματοπαγές με συνδετικό μικρούς κόκκους ασβεσίτη. Επίσης, έχει απλούς θαλάμους, οι οποίοι ενώ στην αρχή είναι σπειροειδώς περιελγμένοι, στη συνέχεια, σταματούν να περιελίσσονται, δίνοντας του ένα τελικό, υποστρογγυλεμένο σχήμα. Εξωτερικά, οι γραμμές ραφής είναι πεπιεσμένες. Όσον αφορά το στοματικό άνοιγμα, έχει μια τοξοειδή σχισμή στην βάση του τελευταίου θαλάμου.</p> <p>Το γένος <i>Textularia</i> είναι επιπανιδικό, εμφανίστηκε στο Παλαιόκαινο και έχει επιβιώσει μέχρι σήμερα. Μπορεί να βρεθεί σε ιζήματα και σε σκληρά υποστρώματα (Murray 2006).</p>
<p>☞ <i>Quinqueloculina</i> spp.</p>	<p>Το γένος <i>Quinqueloculina</i> d'Orbigny, 1826 ανήκει στην τάξη Miliolida, στην υπεριοικογένεια Milioloidea Ehrenber, 1839, στην οικογένεια Hauerinidae Schwager, 1876.</p> <p>Το κέλυφος τους εμφανίζει αγαθιστεγή περιέλιξη, και οι θάλαμοι αναπτύσσονται σε πέντε επίπεδα. Κάθε καινούργιος θάλαμος που προστίθεται, τοποθετείται σε επίπεδο που σχηματίζουν γωνία 144° με τον προηγούμενο του και εξωτερικά όπως καλύπτονται, είναι ορατοί μόνο πέντε. Όσον αφορά το στοματικό άνοιγμα, είναι κυκλικό ενώ εμφανίζει και οδόντα.</p> <p>Το γένος <i>Quinqueloculina</i> εμφανίστηκε στο Κρητιδικό και έχει επιβιώσει μέχρι σήμερα.</p>
<p>☞ <i>Triloculina</i> spp.</p>	<p>Το γένος <i>Triloculina</i> d'Orbigny, 1826 ανήκει στην τάξη Miliolida Delage & Hérouard, 1896, στην υπεριοικογένεια Milioloidea Ehrenber, 1839, και στην οικογένεια Hauerinidae Schwager, 1876.</p> <p>Το κέλυφος τους είναι επίμηκες, σχεδόν ωοειδές με αγαθιστεγή περιέλιξη και το τοίχωμα του είναι ασβεστολιθικής σύστασης, αδιάτρητο και πορσελανώδες. Στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης των μικροσφαιρικών μορφών, οι θάλαμοι του είναι διατεταγμένοι σε φόρμα «quinqueloculine», ενώ στη συνέχεια, αναπτύσσονται σε τρία επίπεδα καθώς προστίθεντο. Με αυτόν τον τρόπο, εξωτερικά φαίνονται μόνο τρεις θάλαμοι. Όσον αφορά το</p>

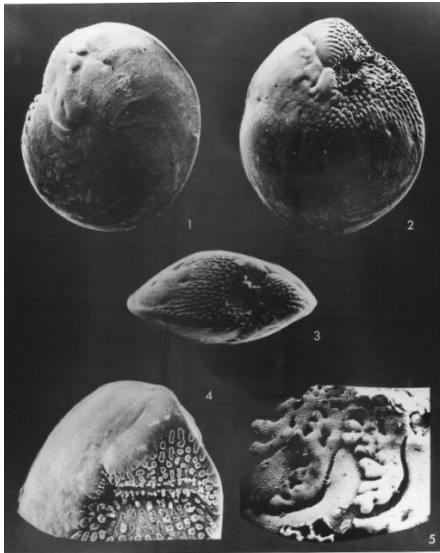
	<p>στοματικό άνοιγμα, είναι τελικό, απλό και μεγάλο ενώ εμφανίζει και οδόντα.</p> <p>Το γένος <i>Triloculina</i> εμφανίστηκε στο Ηώκαινο και έχει επιβιώσει μέχρι σήμερα.</p>
<p>☞ <i>Sorites orbiculus</i> (Forsskål in Niebuhr, 1775)</p>	<p>Το είδος αυτό ανήκει στην τάξη Miliolida Delage & Hérouard, 1896, στην υπεριοικογένεια Soritoidea Ehrenberg, 1839, στην οικογένεια Soritidae Ehrenberg, 1839 και στο γένος <i>Sorites</i> Ehrenberg, 1839.</p> <p>Το κέλυφος του είδους <i>S. orbiculus</i> εμφανίζεται επίπεδο ή αμφίκυκλο, δισκοειδές. Στην αρχή, είναι ορατά επιπεδοσπειροειδώς περιελιγμένο γιατί έχει έναν κύριο θάλαμο, γύρω από τον οποίο έχει περιελιχθεί ένας δεύτερος θάλαμος και στη συνέχεια, και άλλοι μεταγενέστεροι με τη σειρά, ενώ αργότερα παρατηρούνται πολλοί θάλαμοι σε δακτυλιοειδείς σειρές σε ένα επίπεδο. Οι τελευταίοι χωρίζονται σε θαλαμίσκους που επικοινωνούν με ανοίγματα. Συνολικά, εμφανίζει 3-7 επίπεδους θαλάμους, 5-8 πλακοειδείς, ακολουθούμενοι από περίπου 40 κυκλικούς θαλάμους. Οι θαλαμίσκοι σε κάθε κυκλικό θάλαμο είναι εξαγωνικοί, γεγονός το οποίο κάνει τις πλευρές του κελύφους να φαίνονται οδοντωτές (Renema, 2003).</p> <p>Εμφανίστηκε στο Μειόκαινο και έχει επιβιώσει μέχρι σήμερα. Το γένος <i>Sorites</i> είναι επιφυτικό και σπάνια ζει σε φύκη.</p>

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.2), η πρώτη κατηγορία των λειτουργικών ομάδων περιλαμβάνει τα μεγάλα συμβιωτικά τρηματοφόρα, η δεύτερη τα ομορτουμιστικά που αντέχουν στη ρύπανση και σε περιβάλλοντα που δέχονται πιέσεις και στην τρίτη εντάσσονται τα υπόλοιπα μικρού μεγέθους ετερότροφα τρηματοφόρα (Hallock et al., 2003).

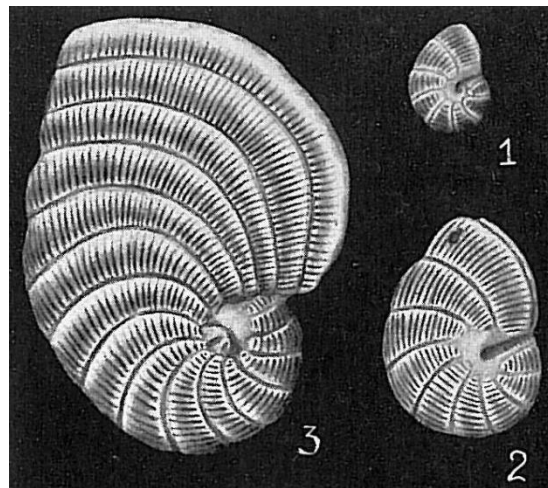
Πίνακας 4.2 Κατάταξη των τρηματοφόρων που προσδιορίστηκαν στα δείγματα που μελετήθηκαν σε λειτουργικές ομάδες.

Λειτουργική ομάδα	Τάξη	Οικογένεια	Γένος	Εξάπλωση
Συμβιωτικά	Rotalliida	Amphisteginidae	<i>Amphistegina</i>	Περιτροπικό
	Miliolida	Peneroplidae	<i>Peneroplis</i>	Περιτροπικό
		Soritidae	<i>Sorites</i>	Περιτροπικό
Ομορτουμιστικά	Rotalliida	Rotaliidae	<i>Ammonia</i>	Κοσμοπολίτικο
		Elphidiidae	<i>Elphidium</i>	Κοσμοπολίτικο

Ετερότροφα	Miliolida	Miliolidae	<i>Triloculina</i>	Κοσμοπολίτικο
			<i>Quinqueloculina</i>	Κοσμοπολίτικο
	Textulariida	Textulariidae	<i>Textularia</i>	Κοσμοπολίτικο

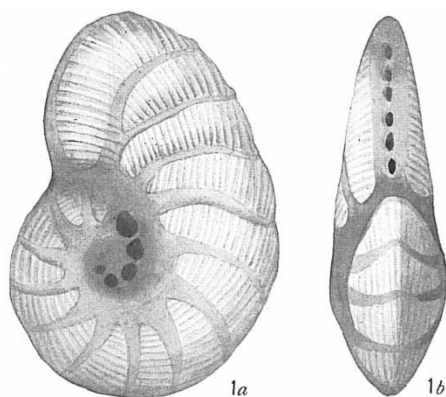


Εικόνα 4.1 *Amphistegina lobifera* Larsen, 1976
Larsen, A. R. (1976). Studies of Recent
Amphistegina, Taxonomy and some Ecological
Aspects. Israel Journal of Earth-Sciences. 25:
1-26. p. 4 pl. 3 fig. 1-5



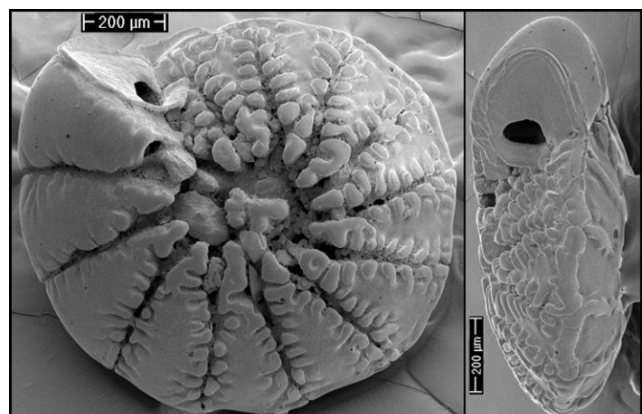
Εικόνα 4.2 *Peneroplis planatus* (Fichtel & Moll, 1798)
Cushman, J.A. 1933. The Foraminifera of the
the Tropical Pacific Collections of the "Albatross".
Part 2. Lagenidae to Alveolinellidae. Bull. U.S.
Nation. Mus 161: vi+79 pp.+19 pls.

(Sites: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=image&tid=490083&pic=138337>
<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=image&tid=112817&pic=45761>)

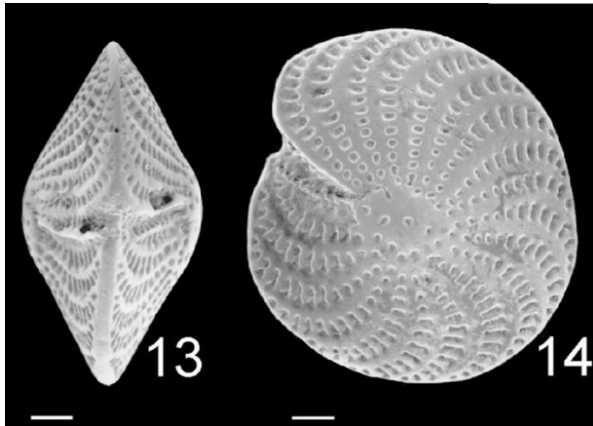


Εικόνα 4.3 *Peneroplis pertusus* 1a.1b. πλευρική
& πλάγια όψη. Cushman, J.A. 1917. A Monograph
of the Foraminifera of the North Pacific Ocean.
Part VI. Miliolidae. Bull. U.S. Nation.
Mus 71: vii+108 pp.+39 pls.

(Sites: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=image&tid=112815&pic=45483>
<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=image&tid=112849&pic=76429>)

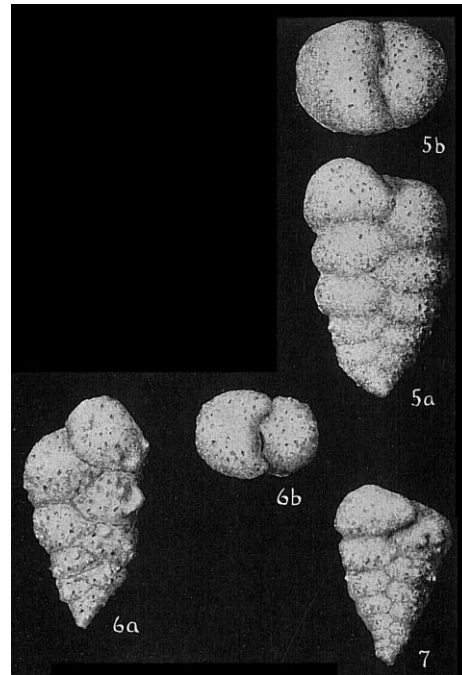


Εικόνα 4.4 *Ammonia beccarii* Italy, Chioggia, Recent
(close to type locality, Rimini)
Author Hayward, Bruce W.

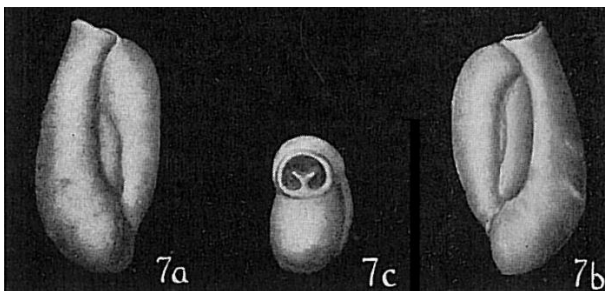


Εικόνα 4.5 *Elphidium crispum* TOPOTYPE
Italy, Adriatic, Rimini Beach
Author Hayward, Bruce W.

(sites: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=image&tid=113262&pic=72225>
<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=image&tid=114264&pic=45641>)



Εικόνα 4.6 *Textularia agglutinans* Cushman, J.A. 1932
The Foraminifera of the Tropical Pacific Collections of
the "Albatross". Part I. Astrorhizidae to Trochamminidae
Bull. U.S. Nation. Mus 161: vi+88 pp.+17 pls.

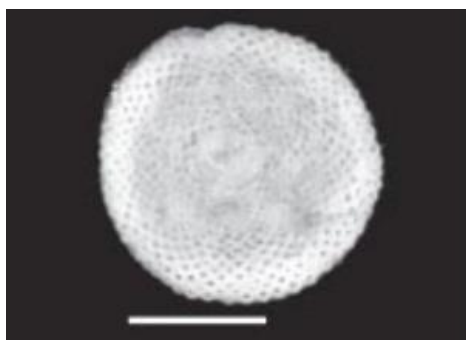


Εικόνα 4.7 *Triloculina* sp. Cushman, J.A. 1932. The Foraminifera
of the Tropical Pacific Collections of the "Albatross". Part I.
Astrorhizidae to Trochamminidae. Bull. U.S. Nation.
Mus 161: vi+88 pp.+17 pls.

(sites: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=image&tid=112047&pic=45664>
<http://www.foraminifera.eu/single.php?no=1004894&aktion=suche>)



Εικόνα 4.8 *Quinqueloculina* sp. found in the Bracki
Channel, Mediterranean Sea, Croatia from area with
coarse sand from 27,5-28,2m depth at the dive site
Vruja. Holocene. Provided by Jan Steger.



Εικόνα 4.9 *Sorites orbiculus* (Forskål, 1775). Bal 32-30 scale bar represents 0.5 mm.
Renema Willem, 2003. Larger foraminifera on reefs around Bali (Indonesia). Zool. Verh. Lieden 345.

4.2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ

Κατά τη μελέτη της μειοπανίδας, έγινε καταγραφή μόνο 7 ειδών τρηματοφόρων, ενώ τα άτομα με ασβεστολιθικό αδιάτρητο-πορσελανώδες κέλυφος και αγαθιστεγή περιέλιξη καταμετρήθηκαν συνολικά και παρακάτω αναφέρονται ως miliolids. Η κατανομή των ειδών όπως και οι σχετικές συχνότητες αυτών στα δείγματα των υπό μελέτη περιοχών συνοψίζονται στους Πίνακες 4.3, 4.4 και στους Πίνακες 4.5, 4.6 αντίστοιχα.

Πίνακας 4.3 & 4.4: Αποτελέσματα διαλογής των ειδών των βενθονικών τρηματοφόρων στις περιοχές δειγματοληψίας.

ΕΙΔΗ	ΔΕΙΓΜΑΤΑ				
	ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (I)	ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (II)	ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (I)	ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (II)	ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΙΛΑΔΑΣ
<i>Amphistegina lobifera</i>	17	9	20	11	79
<i>Peneroplis planatus</i>	0	10	12	6	99
<i>Peneroplis pertusus</i>	108	122	116	35	65
<i>Ammonia beccarii</i>	19	23	27	11	0
<i>Elphidium crispum</i>	1	2	3	1	1
<i>Textularia agglutinans</i>	3	0	2	0	2
miliolids*	8	23	20	6	11
<i>Sorites orbiculus</i>	0	0	0	0	5
ΣΥΝΟΛΟ	156	189	200	70	262
*miliolids					
<i>Triloculina</i> spp.	7	14	14	3	5
<i>Quinqueloculina</i> spp.	1	9	6	3	6

ΕΙΔΗ	ΔΕΙΓΜΑΤΑ				
	ΑΝΑΦΗ (I)	ΑΝΑΦΗ (II)	ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (I)	ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (II)	ΑΓΚΙΣΤΡΙ
<i>Amphistegina lobifera</i>	102	88	104	48	109
<i>Peneroplis planatus</i>	5	0	13	5	5
<i>Peneroplis pertusus</i>	2	1	36	15	64
<i>Ammonia beccarii</i>	0	0	4	7	3
<i>Elphidium crispum</i>	0	0	4	3	3
<i>Textularia agglutinans</i>	0	0	0	0	0
miliolids*	1	1	15	11	13
<i>Sorites orbiculus</i>	0	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ	110	90	176	89	197
*miliolids					
<i>Triloculina</i> spp.	0	1	2	9	10
<i>Quinqueloculina</i> spp.	1	0	13	2	3

Πίνακας 4.5 & 4.6: Σχετικές συχνότητες των ειδών των βενθονικών τρηματοφόρων στις περιοχές δειγματοληψίας ως ποσοστό επί τοις εκατό (%).

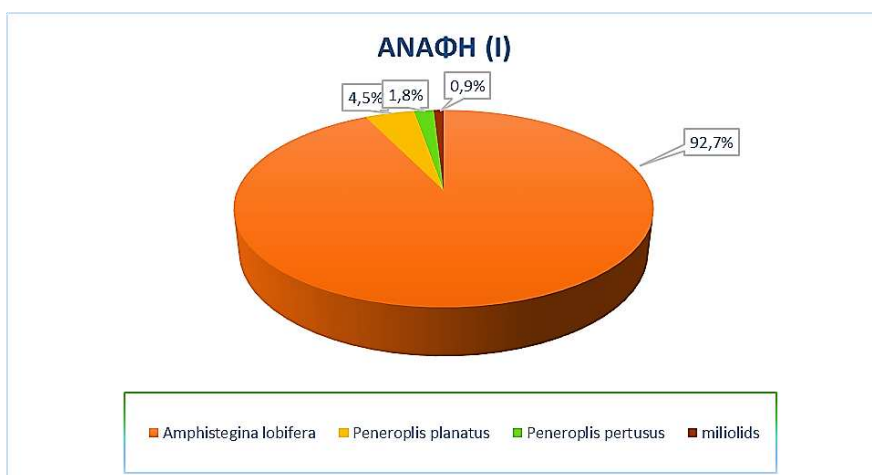
ΕΙΔΗ	ΔΕΙΓΜΑΤΑ				
	ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (I)	ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (II)	ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (I)	ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (II)	ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΙΛΑΔΑΣ
<i>Amphistegina lobifera</i>	10,9	4,8	10,0	15,7	30,2
<i>Peneroplis planatus</i>	0,0	5,3	6,0	8,6	37,8
<i>Peneroplis pertusus</i>	69,2	64,6	58,0	50,0	24,8
<i>Ammonia beccarii</i>	12,2	12,2	13,5	15,7	0,0
<i>Elphidium crispum</i>	0,6	1,1	1,5	1,4	0,4
<i>Textularia agglutinans</i>	1,9	0,0	1,0	0,0	0,8
miliolids	5,1	12,2	10,0	8,6	4,2
<i>Sorites orbiculus</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9

ΕΙΔΗ	ΔΕΙΓΜΑΤΑ				
	ΑΝΑΦΗ (I)	ΑΝΑΦΗ (II)	ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (I)	ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (II)	ΑΓΚΙΣΤΡΙ
<i>Amphistegina lobifera</i>	92,7	97,8	59,1	53,9	55,3
<i>Peneroplis planatus</i>	4,5	0,0	7,4	5,6	2,5
<i>Peneroplis pertusus</i>	1,8	1,1	20,5	16,9	32,5
<i>Ammonia beccarii</i>	0,0	0,0	2,3	7,9	1,5
<i>Elphidium crispum</i>	0,0	0,0	2,3	3,4	1,5
<i>Textularia agglutinans</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
miliolids	0,9	1,1	8,5	12,4	6,6
<i>Sorites orbiculus</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

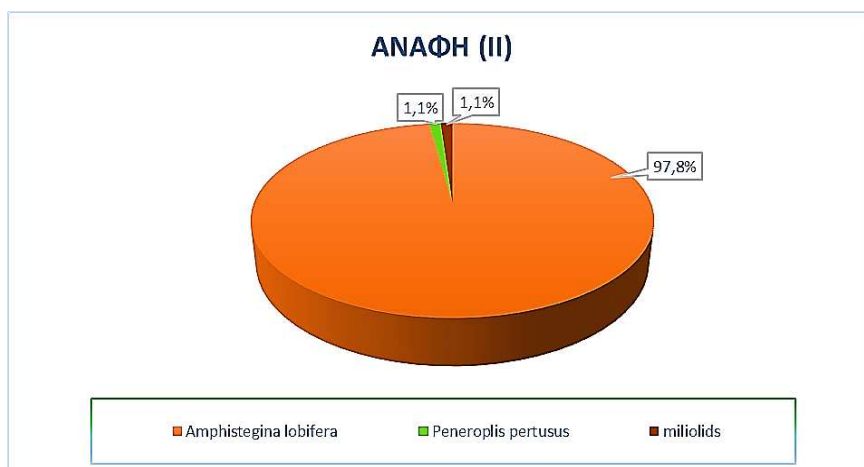
Κατανομή συνάθροισης των τρηματοφόρων ανά περιοχή δειγματοληψίας

ΑΝΑΦΗ

Στην Ανάφη, καταμετρήθηκαν 110 άτομα τρηματοφόρων στο δείγμα ΑΝΑΦΗ (I) και 90 άτομα στο δείγμα ΑΝΑΦΗ (II). Στις συγκεντρώσεις των βενθονικών τρηματοφόρων κυριαρχούν τα άτομα του είδους *Amphistegina lobifera* (Εικόνες 4.10, 4.11) με ποσοστό συμμετοχής έως και 97,8% [δείγμα ΑΝΑΦΗ (II)]. Από τους αντιπροσώπους του γένους *Peneroplis*, χαρακτηριστική είναι η συμμετοχή του είδους *Peneroplis planatus* με σχετική συχνότητα 4,5% στο δείγμα ΑΝΑΦΗ (I), ενώ το είδος *P. pertusus* αναγνωρίστηκε και καταμετρήθηκε και στα δύο συλλεχθέντα δείγματα με ποσοστά, ωστόσο, μικρότερα του 2%. Ανάλογες τιμές καταγράφηκαν και για τους αντιπρόσωπους των miliolids που παρουσιάζουν μέγιστο ποσοστό συμμετοχής, μόλις, 1,10% στο δείγμα ΑΝΑΦΗ (II).



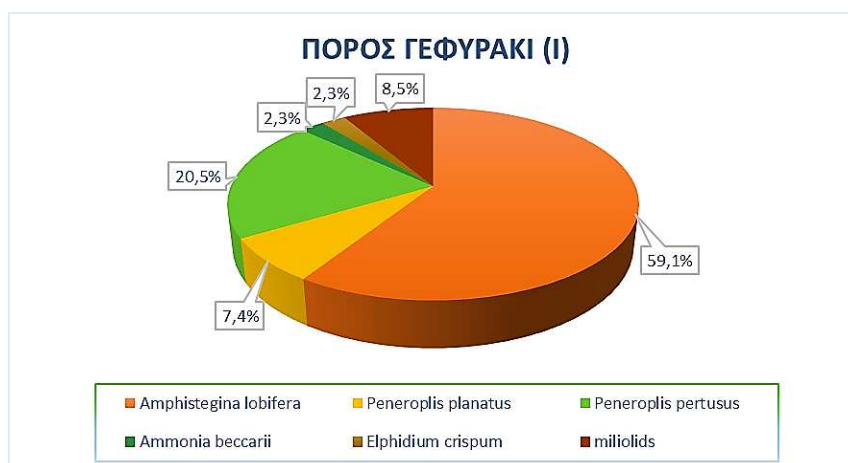
Εικόνα 4.10 Γράφημα πίτας που εμφανίζει την ποσοστιαία κατανομή (%) των βενθονικών τρηματοφόρων στο περισυλλεγμένο δείγμα ΑΝΑΦΗ (I) από την περιοχή της Ανάφης.



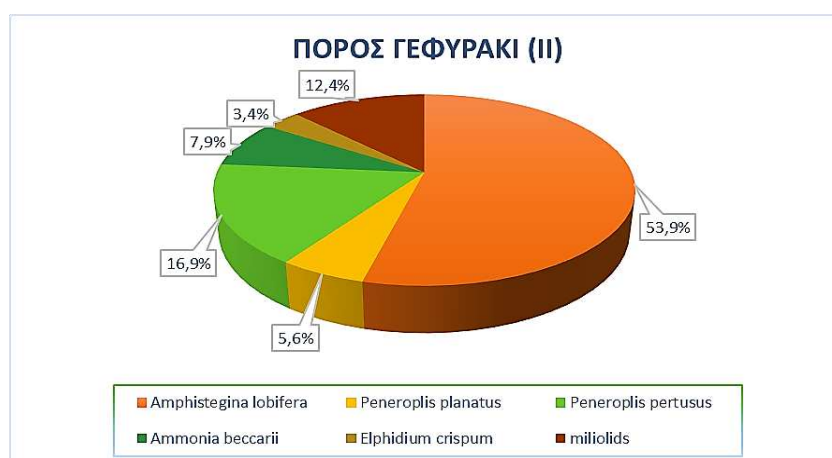
Εικόνα 4.11 Γράφημα πίτας που εμφανίζει την ποσοστιαία κατανομή (%) των βενθονικών τρηματοφόρων στο περισυλλεγμένο δείγμα ΑΝΑΦΗ (II) από την περιοχή της Ανάφης.

ΓΕΦΥΡΑΚΙ ΣΤΟΝ ΠΟΡΟ

Στο Γεφυράκι στον Πόρο, καταμετρήθηκαν 176 άτομα τρηματοφόρων στο δείγμα ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (I) και 89 άτομα στο δείγμα ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (II). Οι συγκεντρώσεις των βενθονικών τρηματοφόρων χαρακτηρίζονται από σημαντική παρουσία των τρηματοφόρων *Amphistegina lobifera* (από 59,1% έως 53,9%) και *Peneroplis* spp. με συνολικά ποσοστά συμμετοχής να κυμαίνονται γύρω στο 20,5-27,9% (Εικόνες 4.12, 4.13). Στο γένος *Peneroplis* υπερέχουν άτομα του είδους *P. pertusus*, ενώ έπονται άτομα του είδους *P. planatus*. Σχετικά υψηλά ποσοστά στις συναθροίσεις παρουσιάζουν και οι αντιπρόσωποι της ομάδας των miliolids καταγράφοντας ποσοστά 8,5% [δείγμα ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (I)] και 12,4% [δείγμα ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (II)]. Το ποσοστό συμμετοχής του είδους *Ammonia beccarii* κυμαίνεται από 2,3% [δείγμα ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (I)] έως 7,9% [δείγμα ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (II)], ενώ το είδος *Elphidium crispum* συμμετέχει στη σύνθεση της πανίδας με σχετικές συχνότητες που δεν υπερβαίνουν το 5%.



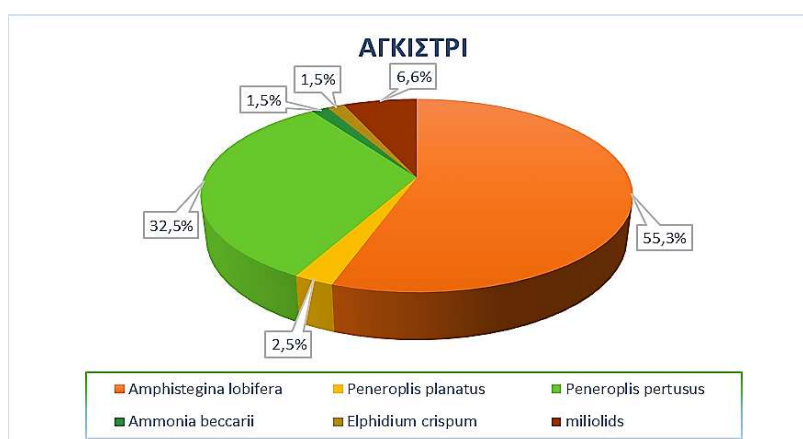
Εικόνα 4.12 Γράφημα πίτας που εμφανίζει την ποσοστιαία κατανομή (%) των βενθονικών τρηματοφόρων στο περισυλλεγμένο δείγμα ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (I) από την περιοχή του Γεφυρακίου στον Πόρο.



Εικόνα 4.13 Γράφημα πίτας που εμφανίζει την ποσοστιαία κατανομή (%) των βενθονικών τρηματοφόρων στο περισυλλεγμένο δείγμα ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (II) από την περιοχή του Γεφυρακίου στον Πόρο.

ΑΓΚΙΣΤΡΙ

Στο Αγκίστρι, καταμετρήθηκαν 197 άτομα τρηματοφόρων. Οι συγκεντρώσεις χαρακτηρίζονται από σημαντική παρουσία των τρηματοφόρων *Amphistegina lobifera* (55,3%) και *Peneroplis* spp. (που αντιπροσωπεύονται από τα είδη *P. pertusus* και *P. planatus*) με ποσοστά συμμετοχής 35,0% (Εικόνα 4.14). Οι αντιπρόσωποι της ομάδας των miliolids (*Triloculina* spp. και *Quinqueloculina* spp.) εμφανίζονται με ποσοστό συμμετοχής 6,6%, ενώ τα είδη *Ammonia beccarii* και *Elphidium crispum* με ποσοστά, μικρότερα του 2%.



Εικόνα 4.14 Γράφημα πίτας που εμφανίζει την ποσοστιαία κατανομή (%) των βενθονικών τρηματοφόρων στο περισυλλεγμένο δείγμα ΑΓΚΙΣΤΡΙ από την περιοχή του Αγκιστρίου.

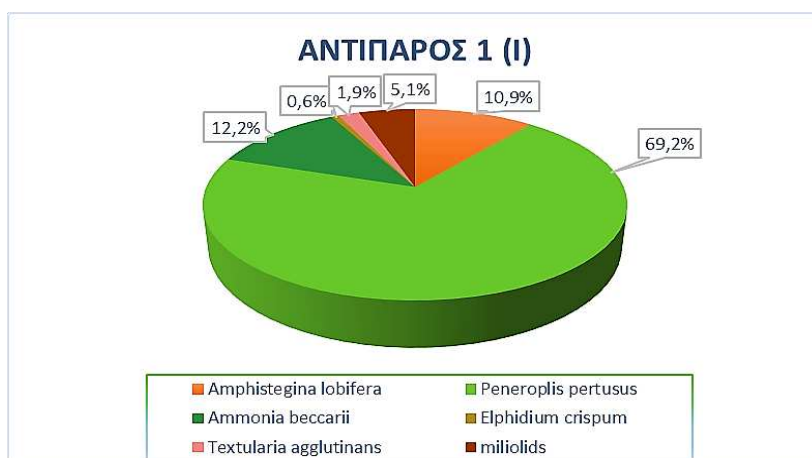
ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ

Στην Αντίπαρο, έγιναν μετρήσεις σε δείγματα από δύο περιοχές.

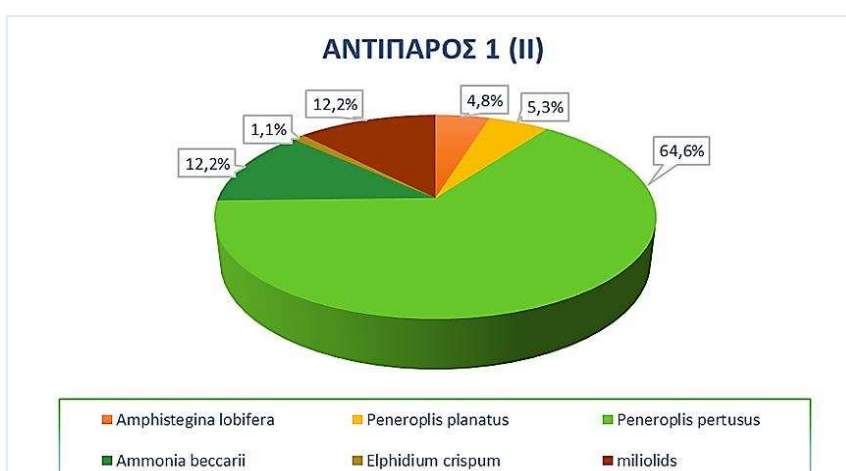
Στην *πρώτη* περιοχή, καταμετρήθηκαν 156 άτομα τρηματοφόρων στο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (I) και 189 άτομα στο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (II). Στις συγκεντρώσεις των βενθονικών τρηματοφόρων κυριαρχούν τα άτομα του είδους *Peneroplis pertusus* με ποσοστό συμμετοχής που υπερβαίνει, σε κάθε περίπτωση, το 60% (Εικόνες 4.15, 4.16). Από το ίδιο γένος χαρακτηριστική είναι η συμμετοχή του είδους *P. planatus* με σχετική συχνότητα 5,3% στο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (II). Σχετικά υψηλό ποσοστό (12,2%) στις συναθροίσεις παρουσιάζει και το είδος *Ammonia beccarii*. Το ποσοστό συμμετοχής των αντιπροσώπων των miliolids κυμαίνεται μεταξύ 5,1%-12,2%, ενώ του είδους *Amphistegina lobifera* μεταξύ 4,8% και 10,9%. Μικρές συχνότητες κατέγραψε το είδος *Elphidium crispum* (κάτω από το 2%), όπως και το είδος με συμφυρματοπαγές κέλυφος *Textularia agglutinans* το οποίο προσδιορίστηκε μόνο στο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (I) με ποσοστό κοντά στο 2%.

Στη *δεύτερη* περιοχή, καταμετρήθηκαν 200 άτομα τρηματοφόρων στο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (I) και 70 άτομα στο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (II). Όπως και στην πρώτη περιοχή, στις συγκεντρώσεις των βενθονικών τρηματοφόρων κυριαρχούν τα άτομα του

είδους *Peneroplis pertusus* με ποσοστά συμμετοχής που κυμαίνονται μεταξύ 50,0 και 58,0% (Εικόνες 4.17, 4.18), ενώ το είδος *Peneroplis planatus* καταγράφει ποσοστά 6,0%-8,6% στο σύνολο της πανίδας. Το είδος *Ammonia beccarii* συμμετέχει στη σύνθεση της πανίδας με σχετικές συχνότητες 13,0-15,7%. Ανάλογες τιμές καταγράφονται και για το είδος *Amphistegina lobifera* (10,0%-15,7%), ενώ το ποσοστό συμμετοχής των αντιπροσώπων της ομάδας miliolids κυμαίνεται από 8,6% στο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (II) έως 10,0% στο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (I). Μικρές συχνότητες κατέγραψε το είδος *Elphidium crispum* (έως και 2%), όπως και το είδος με συμφυρματοπαγές κέλυφος *Textularia agglutinans* (ποσοστό 1%) το οποίο προσδιορίστηκε μόνο στο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (I).



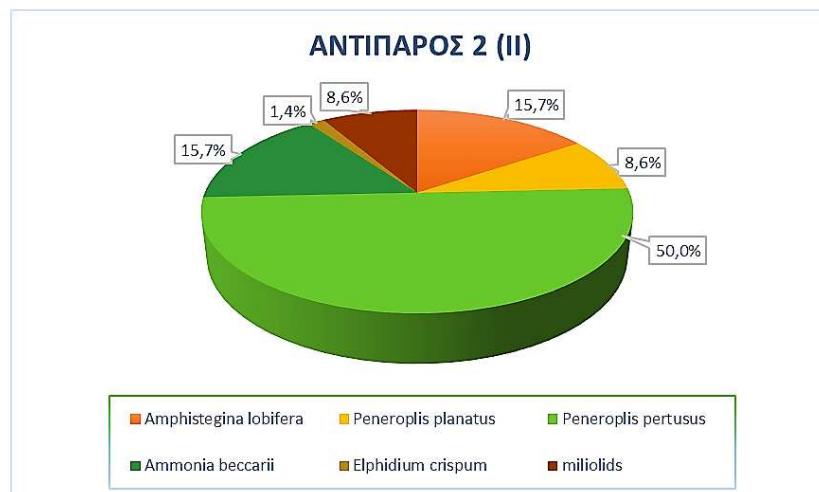
Εικόνα 4.15 Γράφημα πίτας που εμφανίζει την ποσοστιαία κατανομή (%) των βενθονικών τρηματοφόρων στο περισυλλεγμένο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (I) από την πρώτη περιοχή της Αντιπάρου.



Εικόνα 4.16 Γράφημα πίτας που εμφανίζει την ποσοστιαία κατανομή (%) των βενθονικών τρηματοφόρων στο περισυλλεγμένο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (II) από την πρώτη περιοχή της Αντιπάρου.



Εικόνα 4.17 Γράφημα πίτας που εμφανίζει την ποσοστιαία κατανομή (%) των βενθονικών τρηματοφόρων στο περισυλλεγμένο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (I) από την δεύτερη περιοχή της Αντιπάρου.



Εικόνα 4.18 Γράφημα πίτας που εμφανίζει την ποσοστιαία κατανομή (%) των βενθονικών τρηματοφόρων στο περισυλλεγμένο δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (II) από την δεύτερη περιοχή της Αντιπάρου.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΣΤΗΝ ΑΡΓΟΛΙΔΑ

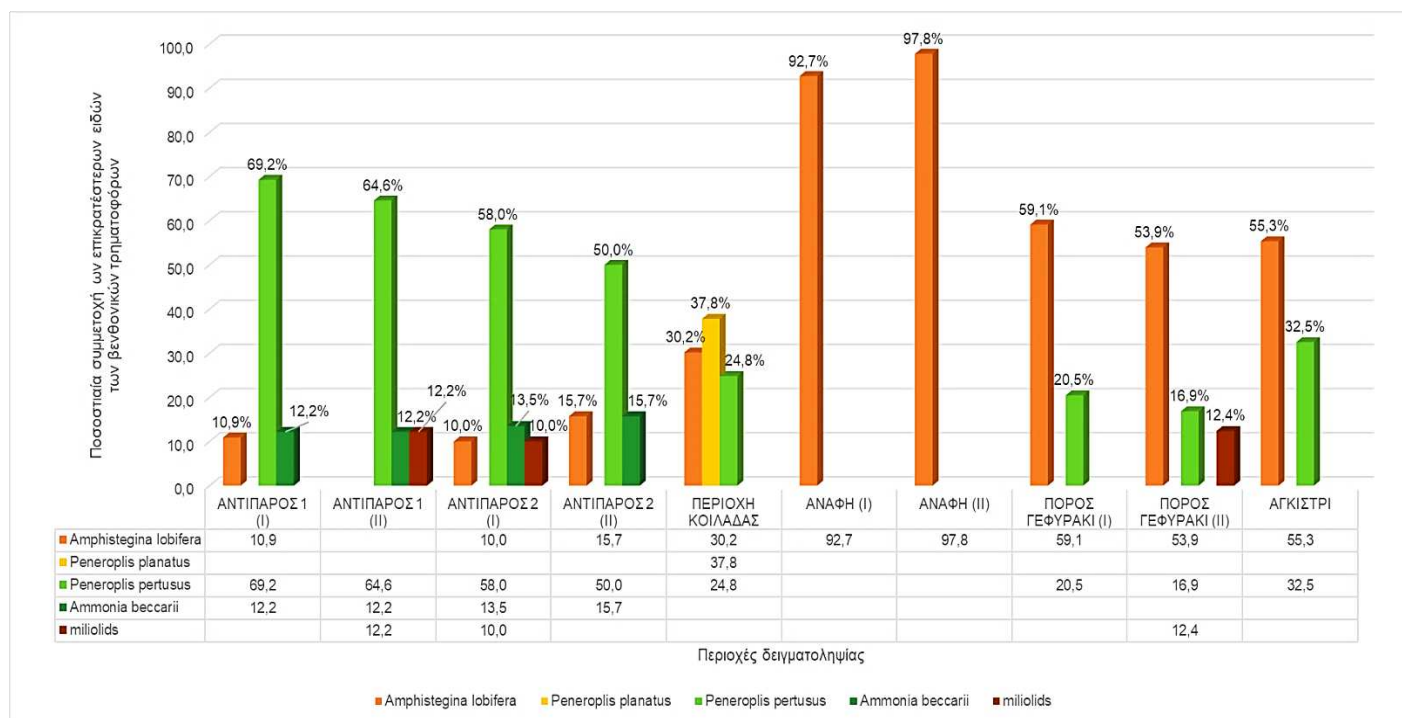
Στην περιοχή Κοιλιάδας στην Αργολίδα, καταμετρήθηκαν 262 άτομα τρηματοφόρων. Οι συγκεντρώσεις χαρακτηρίζονται από σημαντική παρουσία των ειδών *Peneroplis planatus* (37,8%), *Peneroplis pertusus* (24,8%) και *Amphistegina lobifera* (30,2%) (Εικόνα 4.19). Οι αντιπρόσωποι της ομάδας των miliolids, όπως και των ειδών

Elphidium crispum, *Textularia agglutinans* και *Sorites orbiculus* συμμετέχουν στη σύνθεση της πανίδας των βενθονικών τρηματοφόρων με σχετικές συχνότητες που δεν υπερβαίνουν το 5%.



Εικόνα 4.19 Γράφημα πίτας που εμφανίζει την ποσοστιαία κατανομή (%) των βενθονικών τρηματοφόρων στο περισυλλεγμένο δείγμα ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΙΛΑΔΑΣ από την περιοχή της Κοιλιάδας στην Αργολίδα.

Εν γένει, στην περιοχή έρευνας, τα πιο σταθερά είδη που προσδιορίστηκαν ήταν το είδος *Amphistegina lobifera* που εμφανίζει συχνότητα μεγαλύτερη του 50% στην Ανάφη, στο Γεφυράκι του Πόρου και στο Αγκίστρι και το είδος *Peneperolis pertusus* με συχνότητα μεγαλύτερη του 50% στην Αντίπαρο. Τα δυο αυτά είδη σημειώνονται στην πλειοψηφία των περιοχών δειγματοληψίας. Τα πιο κοινά είδη με συχνότητα εμφάνισης 10 – 50% είναι το *Peneperolis planatus* στην περιοχή της Κοιλιάδας, το *Ammonia beccarii* στην Αντίπαρο και τα miliolids στην Αντίπαρο και στο Γεφυράκι του Πόρου. Τέλος, τα πιο σπάνια είδη είναι τα *Elphidium crispum*, *Textularia agglutinans* και *Sorites orbiculus* με τη μικρότερη συχνότητα εμφάνισης, λιγότερη από 10%. Οι εμφανίσεις τους, επίσης, ήταν περιορισμένες με το είδος *Textularia agglutinans* να εμφανίζεται στην Αντίπαρο και στην περιοχή της Κοιλιάδας και *Sorites orbiculus* μόνο στην περιοχή της Κοιλιάδας. Παρακάτω παρατίθεται γράφημα (Εικόνα 4.20) με τα επικρατέστερα είδη και την εμφάνιση τους με ποσοστιαία μορφή στους σταθμούς που έγινε η δειγματοληψία.



Εικόνα 4.20 Διάγραμμα που απεικονίζει την ποσοστιαία συμμετοχή των επικρατέστερων ειδών στους σταθμούς δειγματοληψίας.

4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Για την εφαρμογή του βιοτικού δείκτη FI τα βενθονικά τρηματοφόρα που προσδιορίστηκαν στο υλικό μελέτης κατατάχθηκαν σε τρεις λειτουργικές ομάδες, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Η πρώτη κατηγορία των λειτουργικών ομάδων περιλαμβάνει τα μεγάλα συμβιωτικά τρηματοφόρα, η δεύτερη τα οπορτουμιστικά που αντέχουν στη ρύπανση και σε περιβάλλοντα που δέχονται πιέσεις και στην τρίτη εντάσσονται τα υπόλοιπα μικρού μεγέθους ετερότροφα τρηματοφόρα (Hallock et al., 2003) (Πίνακας 4.7).

Πίνακας 4.7 Κατάταξη των τρηματοφόρων που προσδιορίστηκαν στα δείγματα που μελετήθηκαν σε λειτουργικές ομάδες.

Λειτουργική ομάδα	Τάξη	Οικογένεια	Γένος	Εξάπλωση
Συμβιωτικά	Rotalliida	Amphisteginidae	<i>Amphistegina</i>	Περιτροπικό
	Miliolida	Peneroplidae	<i>Peneroplis</i>	Περιτροπικό
		Soritidae	<i>Sorites</i>	Περιτροπικό
Οπορτουμιστικά	Rotalliida	Rotaliidae	<i>Ammonia</i>	Κοσμοπολίτικο

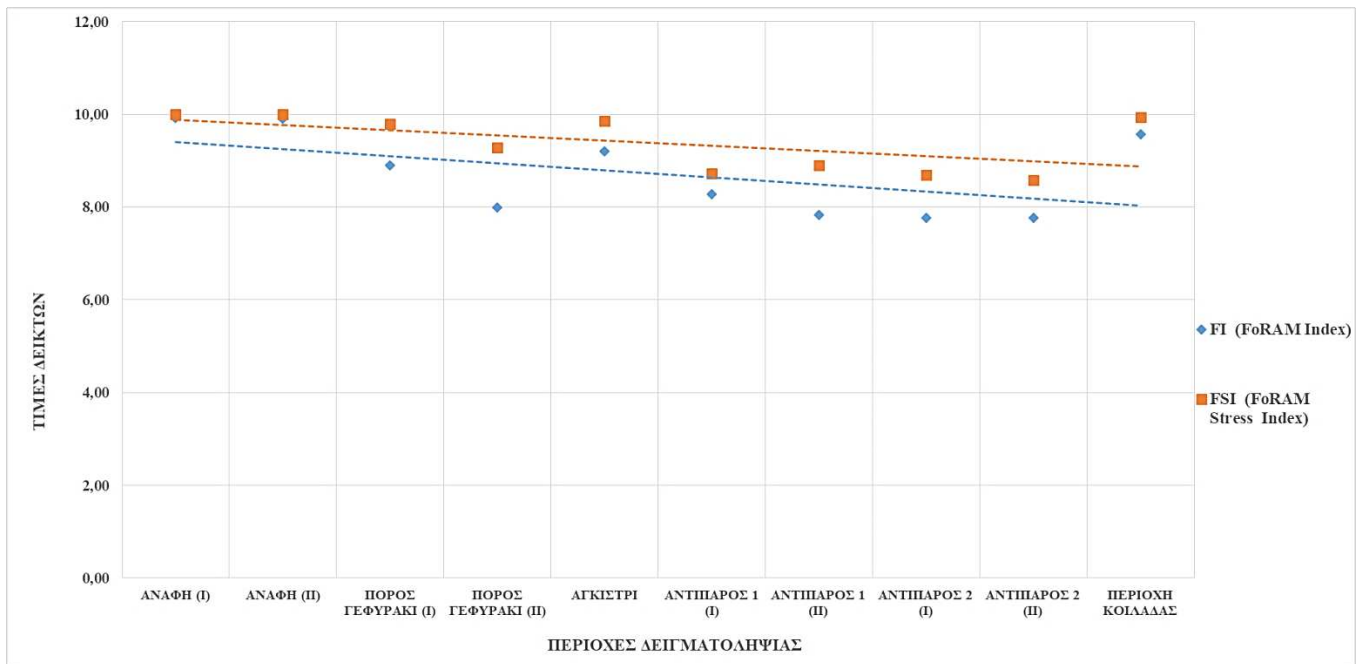
		Elphidiidae	<i>Elphidium</i>	Κοσμοπολίτικο
Ετερότροφα	Miliolida	Miliolidae	<i>Triloculina</i>	Κοσμοπολίτικο
			<i>Quinqueloculina</i>	Κοσμοπολίτικο
	Textulariida	Textulariidae	<i>Textularia</i>	Κοσμοπολίτικο

Επίσης, για την εφαρμογή του βιοτικού δείκτη FSI, τα βενθονικά τρηματοφόρα που προσδιορίστηκαν στο υλικό μελέτης κατατάχθηκαν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα ανθεκτικά τρηματοφόρα στην περιβαλλοντική πίεση, όπως το γένος *Textularia* που αντέχει σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου και με εμπλουτισμό σε οργανικό υλικό (Barmawidjaja et al., 1995; Naeher et al., 2012) και το γένος *Ammonia* που αντέχει τις υψηλές περιεκτικότητες σε οργανικά υλικά και μέταλλα στα ρηγά θαλάσσια ιζήματα (Cimerman and Langer, 1991; Murray, 2006; Nikulina et al., 2008). Στη δεύτερη κατηγορία εντάσσονται ευαίσθητα τρηματοφόρα στην περιβαλλοντική πίεση, όπως τα γένη *Peneroplis*, *Sorites*, *Amphistegina* και *Elphidium* που προτιμούν για τη διαβίωσή τους ρηγά, θαλάσσια ύδατα, που περιέχουν χαμηλές αναλογίες οργανικής ύλης και είναι καλά οξυγονωμένα στην περίπτωση του τελευταίου γένους (Blanc-Vernet, 1969; Langer, 1988; Cimerman and Langer, 1991; Langer, 1993; Murray, 2006, Koukousioura et al., 2011). Επιπλέον, συμπεριλαμβάνονται τα miliolids, τα οποία εμφανίζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στην αυξημένη συγκέντρωση οργανικής ύλης και μπορούν να βρεθούν σε καλά οξυγονωμένα περιβάλλοντα (Bizon and Bizon, 1984; Jorissen, 1988; Schmiedl et al., 2003).

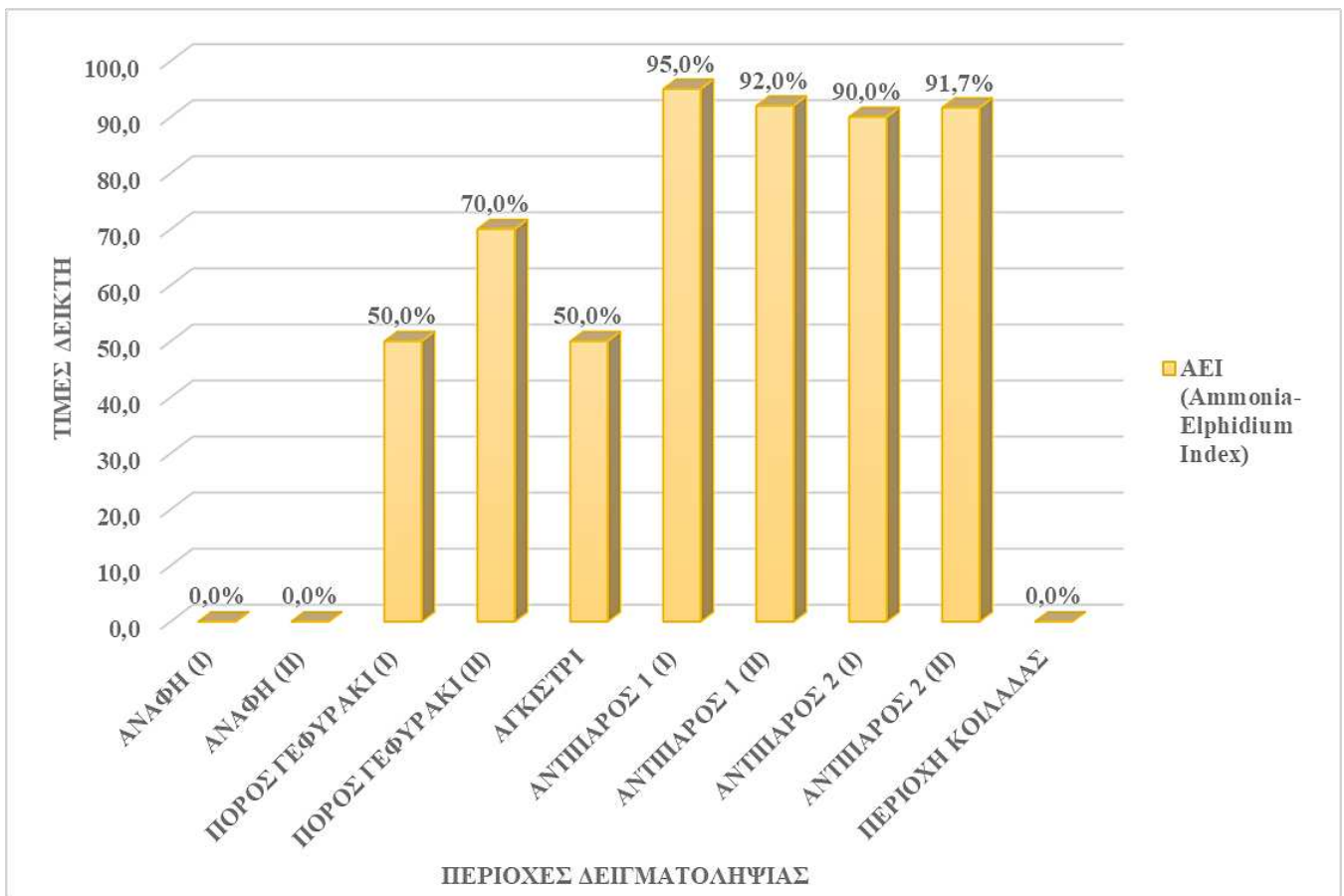
Εφαρμόζοντας, τώρα, τους δείκτες FI και FSI σε κάθε δείγμα (Πίνακας 4.8), σημειώνονται υψηλές τιμές, γεγονός που υποδικνύει περιβαλλοντική σταθερότητα και καλές περιβαλλοντικές συνθήκες. Με τον δείκτη AEI καταγράφεται ένα εύρος τιμών από 0–95 % με τις μεγαλύτερες τιμές από 90–95 % να παρατηρούνται στην Αντίπαρο και τις μηδενικές στην Ανάφη και στην περιοχή της Κοιλιάδας.

Πίνακας 4.8 Εφαρμογή των δεικτών FSI, FI και AEI για να επιτευχθεί η εκτίμηση της υγείας του περιβάλλοντος στο οποίο ζουν τα τρηματοφόρα που βρέθηκαν στα δείγματα.

Περιοχές Δειγματοληψίας	Ps	Po	Ph	FI (FoRAM Index)	Str	Sen	FSI (FoRAM Stress Index)	AEI (Ammonia-Elphidium Index)
ΑΝΑΦΗ (I)	0,99	0,00	0,01	9,93	0,00	1,00	10,00	0,0
ΑΝΑΦΗ (II)	0,99	0,00	0,01	9,91	0,00	1,00	10,00	0,0
ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (I)	0,87	0,05	0,09	8,91	0,02	0,98	9,80	50,0
ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (II)	0,76	0,11	0,12	8,00	0,08	0,92	9,29	70,0
ΑΓΚΙΣΤΡΙ	0,90	0,03	0,07	9,20	0,02	0,98	9,86	50,0
ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (I)	0,80	0,13	0,07	8,28	0,14	0,86	8,73	95,0
ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (II)	0,75	0,13	0,12	7,84	0,12	0,88	8,90	92,0
ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (I)	0,74	0,15	0,11	7,77	0,15	0,86	8,70	90,0
ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (II)	0,74	0,17	0,09	7,77	0,16	0,84	8,59	91,7
ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΙΛΑΔΑΣ	0,95	0,00	0,05	9,57	0,01	0,99	9,93	0,0



Εικόνα 4.21 Διάγραμμα που απεικονίζει τις μεταβολές των τιμών των δεικτών FI και FSI στα συλλεχθέντα δείγματα με τις αντίστοιχες γραμμές τάσης.



Εικόνα 4.22 Διάγραμμα που απεικονίζει τις τιμές του δείκτη AEI στα συλλεχθέντα δείγματα.

Πιο αναλυτικά, η βάση για τον δείκτη FI είναι ότι σε ένα δείγμα με 100% μικρού μεγέθους ετερότροφα τρηματοφόρα του αποδίδεται η τιμή 2. Οποιαδήποτε προσθήκη συμβιωτικών τρηματοφόρων μπορεί να αυξήσει την τιμή, οποιαδήποτε προσθήκη ανθεκτικών τρηματοφόρων σε αντίξοες συνθήκες μπορεί να τη μειώσει σε σχέση με την παραπάνω τιμή αναφοράς. Μετά από παρατήρηση του δείκτη FI συνολικά, η τιμή του διαμορφώνεται καθοριστικά από την παρουσία των μεγάλων συμβιωτικών ειδών με τιμές που κυμαίνονται $FI > 4$, μέγιστη τιμή 9.93 και ελάχιστη 7.77. Σύμφωνα με τα προτεινόμενα όρια, σημειώνονται ιδανικές περιβαλλοντικές συνθήκες για την ανάπτυξη μειζότροφων οργανισμών, τα οποία έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και βραδύτερη ανάπτυξη από τους αυτότροφους και ετερότροφους ανταγωνιστές τους, ενώ είναι πιο ευαίσθητα σε μεταβολές της ποσότητας του οξυγόνου. Επίσης, το περιβάλλον παρουσιάζεται φτωχό σε θρεπτικά συστατικά λόγω της επικράτησης τους (Hallock et al., 2003).

Αναφορικά με τον δείκτη FSI, οι τιμές του κυμαίνονται από 8.59 – 10. Στις περιοχές της Αντιπάρου, οι τιμές του δείκτη FSI είναι οι χαμηλότερες και κυμαίνονται από 8.59 – 8.90 ($5.5 \leq FSI < 9.0$), επομένως τα νερά είναι ελαφρώς μολυσμένα, μεταβατικά, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές καταγράφονται τιμές από 9.29 – 10 ($9.0 \leq FSI \leq 10.0$) με τα νερά να είναι διαυγή, καθαρά από πιέσεις και ρύπανση.

Τέλος, τα ύδατα στην Αντίπαρο, λόγω των υψηλότερων τιμών του δείκτη AEI, έχουν μειωμένα ποσοστά περιεκτικότητας σε οξυγόνο σε αντίθεση με αυτά στην Ανάφη και στην περιοχή της Κοιλιάδας, στα οποία λόγω της απουσίας των *Ammonia* και *Elphidium*, δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί ο συγκεκριμένος δείκτης. Προκειμένου να καταστεί δυνατή μια πιο ακριβής ανάλυση των περιοχών μελέτης, απαιτούνται μεγαλύτεροι όγκοι ιζημάτων, καθώς η πυκνότητα των βενθονικών τρηματοφόρων ήταν αρκετά χαμηλή. Θα πρέπει, επίσης, να ληφθούν υπόψη και οι αναλύσεις άλλων ρύπων, όπως βαρέα μέταλλα, για συγκριτικά αποτελέσματα.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τη μελέτη της σύνθεσης και της κατανομής των βενθονικών τρηματοφόρων στο εξεταζόμενο υλικό, καθώς και την εφαρμογή των βιοτικών δεικτών FI, FSI και AEI, επιβεβαιώθηκαν σε γενικές γραμμές μικρές διαφορές στην κατανομή των ειδών και επομένως επικράτηση παρόμοιων περιβαλλοντικών συνθηκών στις περιοχές μελέτης. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της πανίδας των βενθονικών τρηματοφόρων στο σύνολο των σταθμών που πρέπει να σημειωθεί, είναι η κυριαρχία των ειδών με ασβεστολιθικής σύστασης κελύφη, πορσελανώδη και υαλώδη.

Στα περισσότερα από τα δείγματα που μελετήθηκαν, το είδος *Amphistegina lobifera* δείχνει υψηλά ποσοστά στις συναθροίσεις αφού τα δείγματα συλλέχθηκαν σε βάθη νερού μικρότερα από 10 m και όπως είναι γνωστό, αφθονεί σε ρηγά νερά λόγω των πυκνών τοιχωμάτων του κελύφους του που του επιτρέπει να ζει σε περιβάλλοντα υψηλής ενέργειας (Hallock, 1981). Όπως φαίνεται, έχει καταγραφεί ως κυρίαρχο αλλόχθονο είδος στο Κεντρικό αλλά και στο Νότιο Αιγαίο (περισσότερο από το 50% του συνόλου) με την κατανομή του είδους να οριοθετείται από τη χειμερινή ισόθερμη των 14°C (Κουκουσιούρα Ο., 2012). Ειδικά στο Νότιο Αιγαίο, κυριαρχεί στις κοινότητες με το *Peneroplis* και το *Quinqueloculina* (Triantaphyllou et al. 2009), γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, καθώς στις περιοχές της Ανάφης που είναι το νοτιότερο νησί της έρευνας, καταγράφει ποσοστό συμμετοχής στις συναθροίσεις των βενθονικών τρηματοφόρων μεγαλύτερο του 90%. Τα υψηλά αυτά ποσοστά που καταγράφηκαν, επιβεβαιώνουν την επιτυχημένη εισβολή και προσαρμογή του συγκεκριμένου είδους στα οικοσυστήματα του Αιγαίου (Triantaphyllou et al., 2009; Koukousioura et al., 2010; Koukousioura et al., 2011). Επίσης, θεωρείται δείκτης ποιότητας υδάτων και παράκτιας υγείας όταν δεν παρατηρούνται διακυμάνσεις αλατότητας και περιεκτικότητας σε οξυγόνο (Triantaphyllou et al., 2005), γεγονός που τονίζει την καλή ποιότητα του οικοσυστήματος, ειδικότερα στις περιοχές της Ανάφης, του Πόρου και του Αγκιστρίου. Ακόμα, οι Hallock (1981) και Langer & Hottinger (2000) υπογραμμίζουν το ρόλο του είδους στην σταθερότητα του υποστρώματος που εντοπίζεται και στην ανάπτυξη των δομών του υφάλου που το φιλοξενεί, ενώ θεωρείται και βιοδείκτης επιβλαβών εντάσεων από φωτο-οξειδωτικό στρες που είναι δυνατό να προηγείται ραγδαίας αύξησης θερμοκρασίας (Hallock et al., 2006).

Αναφορικά με το γένος *Peneroplis*, το οποίο συμπεριλαμβάνεται στα μεγάλου μεγέθους συμβιωτικά τρηματοφόρα με φύκη, τα οποία δείχνουν μεγάλη ευαισθησία σε περιβαλλοντικές πιέσεις και προτιμούν τα καθαρά ύδατα (Hallock et al., 2003). Μάλιστα, η υψηλή του αφθονία συλλογικά με το *Amphistegina*, συνεισφέρει ουσιαστικά σε τοπικό επίπεδο στη συνολική παραγωγή ανθρακικού ασβεστίου (Langer et al., 2012). Στην παρούσα έρευνα, εκπροσωπούταν κυρίως από δύο είδη, τα *P. planatus* και *P. pertusus*. Ο Murray (2006) υποστηρίζει ότι αρτίγονοι αντιπρόσωποι του είδους *P. planatus* απαντούν σε ρηγά ύδατα μέχρι και τα 10m βάθος. Επίσης, το είδος έχει ένα ευρύ φάσμα ανοχής αλατότητας (3,7-5,3%) και ανοχής θερμοκρασίας (18-27 °C) (Murray, 1973; Reiss and Hottinger, 1985) με τους πληθυσμούς να φτάνουν στο ζενίθ τους την άνοιξη και το καλοκαίρι (Murray, 1973; Hallock, 1984). Σε αυτήν την περίπτωση, έχει μια μέση εμφάνιση, γύρω στο 30%, στην Κοιλιάδα, ενώ βρίσκεται

σε μικρές συγκεντρώσεις στον Πόρο και στη δεύτερη περιοχή της Αντιπάρου. Ένα σημαντικό στοιχείο της μελέτης, πάλι, ήταν το άλλο είδος, το *P. pertusus*, δεδομένου ότι σημειώνει μια εντυπωσιακή αύξηση του πληθυσμού του σε όλες τις περιοχές της Αντιπάρου, με τη μέγιστη συχνότητα να αγγίζει το 70%. Είναι, επίσης, σημαντικό στοιχείο της πανίδας στον Πόρο, το Αγκίστρι και την Κοιλιάδα, στην τελευταία περιοχή μάλιστα καταλαμβάνει ένα ποσοστό πάνω από 50% αθροιστικά με το *P. planatus*. Κατά τους Blanc-Vernet (1969) και Murray (2006), η διαβίωσή του είναι ευνοϊκότερη σε θερμά, υψηλής αλατότητας ύδατα, γεγονός που υποστηρίζει την παρουσία του στους συγκεκριμένους σταθμούς.

Το τρίτο αφθονότερο γένος, μετά το *Amphistegina* και το *Peneroplis*, είναι το οπορτουνιστικό *Ammonia* με χαρακτηριστικό αντιπρόσωπο, το είδος *A. beccarii*. Το είδος αυτό είναι ευρύαλο (Moodley and Hess, 1992) και θεωρείται ένας καθιερωμένος και σταθερός δείκτης χαμηλής αλατότητας και περιορισμένης οξυγόνωσης. Παράλληλα, χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της θαλάσσιας ρύπανσης (Debenay et al., 2001; Minhat et al., 2012) διότι αντέχει τις υψηλές περιεκτικότητες σε οργανικά υλικά και έχει υψηλή προσαρμοστικότητα (Buzas et al., 2003). Συνήθως κυριαρχεί σε περιβάλλοντα όπου οι τιμές αλατότητας κυμαίνονται από 16.7 μέχρι 22.2‰. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, το είδος *A. beccarii* συμμετέχει στις βενθονικές συναθροίσεις κυρίως στην Αντίπαρο, ενώ μικρότερη συμμετοχή παρουσιάζει στις συναθροίσεις του Πόρου.

Στην Αντίπαρο, τον Πόρο και το Αγκίστρι, εκτιμήθηκαν, ακόμα, πολύ χαμηλά ποσοστά εμφάνισης του είδους *Elphidium crispum*, σε αντίθεση με την Ανάφη και την Κοιλιάδα, όπου σημειώθηκαν σχεδόν μηδενικά ποσοστά του είδους. Αν και το *E. crispum* είναι ανεκτικό ως προς τις χαμηλές τιμές αλατότητας, η απουσία του στην κοινότητα θα μπορούσε να αποδοθεί σε υποξικές συνθήκες (Sen Gupta and Platon, 2006). Πέραν αυτού, η ανάλυση της κοινότητας των βενθονικών τρηματοφόρων στα επιφανειακά ιζήματα του παράκτιου περιβάλλοντος αποκαλύπτει, επίσης, ότι το είδος που εμφανίζει συμφουρματοπαγές κέλυφος, δηλαδή το *Textularia agglutinans*, έχει σπάνιες εμφανίσεις, μόνο στην Αντίπαρο και την Κοιλιάδα, με ποσοστά που κυμαίνονταν γύρω στο 1–2% στην πρώτη και κάτω από 1% στη δεύτερη περιοχή. Αυτό είναι αναμενόμενο εφόσον το είδος είναι ανθεκτικό σε ύδατα όπου επικρατεί έλλειψη οξυγόνου και οργανικά πλούσιο ιζήμα (Murray et al., 2003).

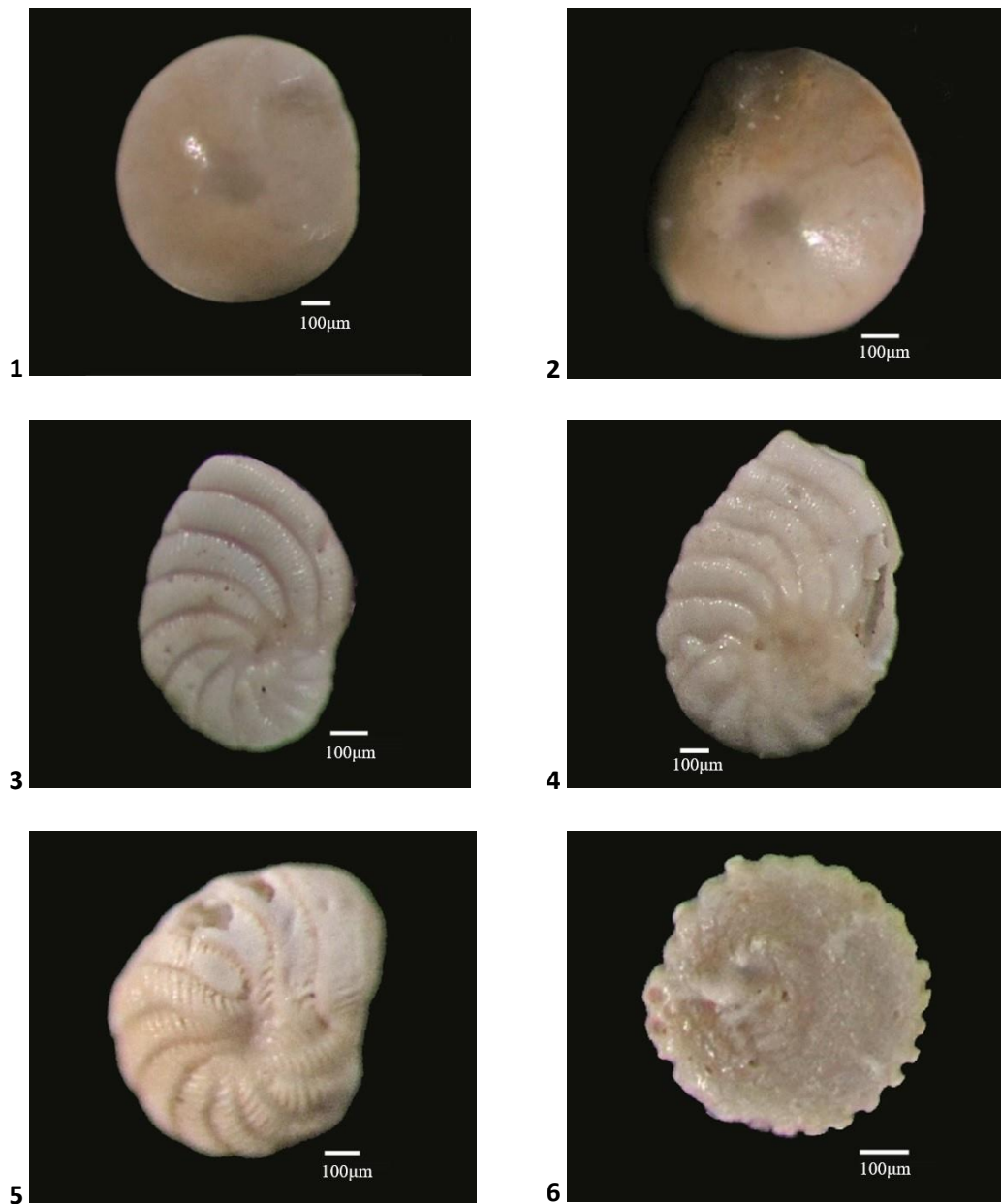
Όπως έγινε γνωστό και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ομάδα των miliolids ευδοκimei εντυπωσιακά στα αμμώδη υποστρώματα και ουσιαστικά δεν επηρεάζεται από τις εμφανιζόμενες μολυσμένες συνθήκες (Dimiza et al., 2019). Επιπλέον, παρουσιάζει ευαισθησία σε εξάρσεις της ποσότητας της οργανικής ύλης, καθώς και σε διαφοροποιήσεις στην αλατότητα, με την ελάχιστη τιμή που απαιτείται για την επιβίωσή της να είναι 32‰ (Murray, 1991). Επιπρόσθετα, δείχνει ιδιαίτερη προτίμηση σε περιβάλλοντα ανοιχτής θαλάσσης (Debenay et al., 2005). Τα γένη *Quinqueloculina* και *Triloculina*, που την εκπροσωπούν, σχετίζονται με το *A. beccarii* και το *E. crispum*, αφού μπορούν να βρεθούν γενικά σε περιβάλλοντα υψηλής αλατότητας (υπεράλμυρες λιμνοθάλασσες με τιμές γύρω στο 37-70 ‰) (Murray, 1991). Στα δείγματα που συλλέχθηκαν, οι μεγαλύτερες ποσότητες βρέθηκαν στην Αντίπαρο και τον Πόρο και οι μικρότερες στην Κοιλιάδα και το Αγκίστρι.

Με μικρά ποσοστά και αποκλειστικά στην περιοχή της Κοιλιάδας πιστοποιήθηκε η παρουσία του είδους *Sorites orbiculus*, το οποίο συμπεριλαμβάνεται στα ξενικά ειδή θερμών υδάτων για τα οικοσυστήματα του Αιγαίου.

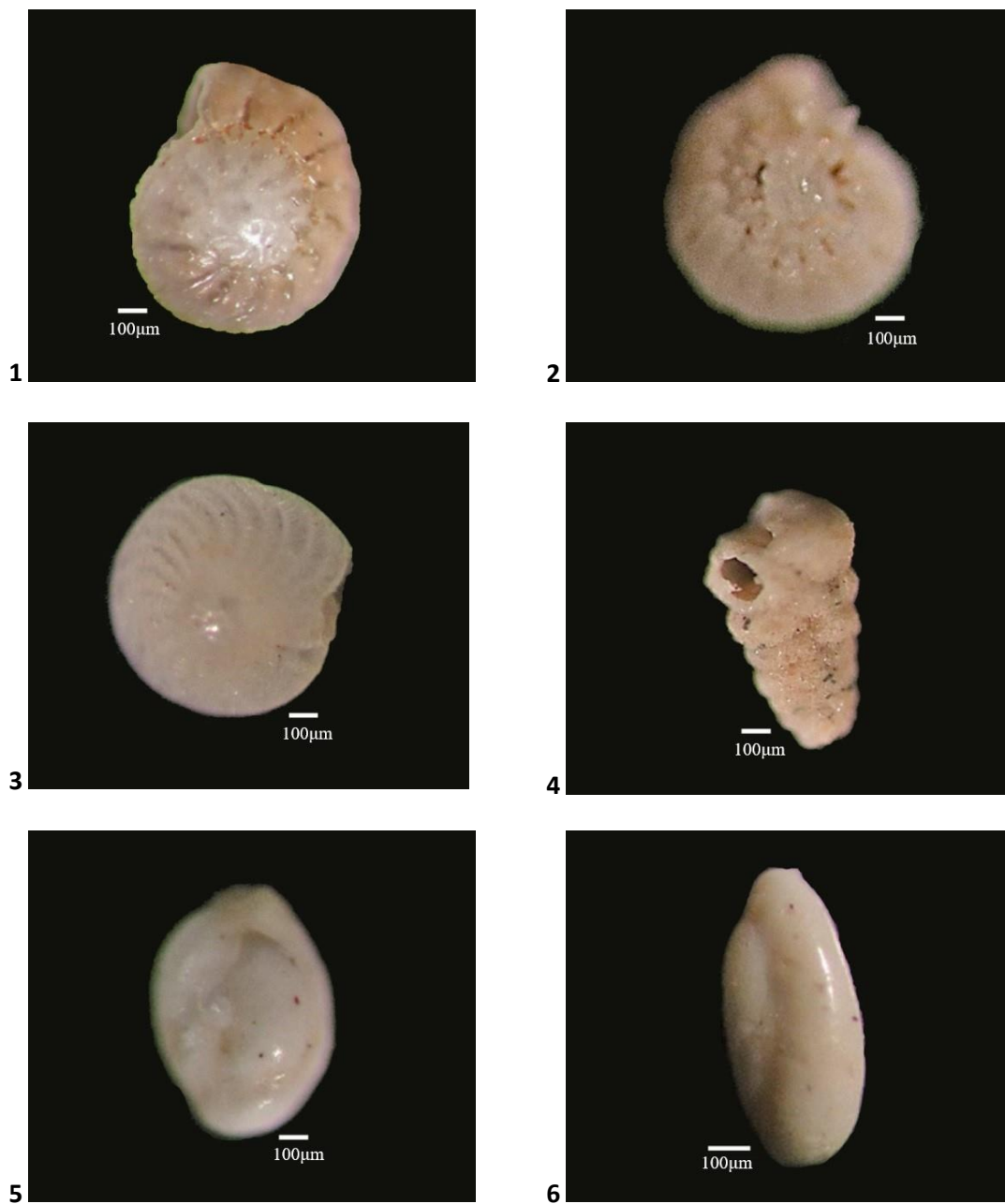
Η αύξηση των μικρότερων ετεροτροφικών miliolids και του *T. agglutinans* στο νησί της Αντιπάρου δείχνουν ότι εκδηλώνεται μεγαλύτερη ποσότητα τροφής, άρα και οργανικής ύλης στο περιβάλλον. Το γεγονός αυτό συνδυάζεται και με μία άνοδο των ποσοστών του είδους *A. beccarii* που είναι ανθεκτικό σε περιβαλλοντικές πιέσεις έναντι του είδους *E. crispum* (δεν ξεπέρασαν το 2% σε ποσοστό). Το παραπάνω αντικατοπτρίζεται στους βιοτικούς δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν. Με βάση τους FI, FSI και AEI τα νερά στο νησί της Αντιπάρου κατατάσσονται στο επίπεδο καλής οικολογικής ποιότητας. Τουναντίον, οι υπόλοιπες περιοχές διακρίνονται από ύδατα άριστης οικολογικής ποιότητας, γεγονός που αντανακλά τις ολιγοτροφικές περιβαλλοντικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν τα νερά του Αιγαίου.

Οι παράκτιες ζώνες, όπως οι περιοχές μελέτης στον κόλπο του Αργοσαρωνικού και στο Νότιο Αιγαίο, είναι πάντα ιδιαίτερης περιβαλλοντικής και οικονομικής σημασίας. Οι επιδράσεις που δέχονται με την αύξηση του πληθυσμού και την εξέλιξη των φυσικών και παραγωγικών δραστηριοτήτων ενέχουν το κίνδυνο να διαταράξουν την ισορροπία τους. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να συνεχιστούν οι έρευνες και η παρακολούθηση των θέσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα και συνδυαστικά με πρόσθετα στοιχεία που μπορούν να ληφθούν από παρόμοιες ενέργειες που έχουν ήδη πραγματοποιηθεί, θα μπορεί να γίνεται δυνατή η έγκαιρη διαπίστωση πιθανών αλλαγών στη σύνθεση και την κατανομή των ειδών και συνεπώς, ακριβής περιβαλλοντική εκτίμηση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Πίνακας I. 1) *Amphistegina lobifera* (Larsen, 1976), δείγμα ΑΝΑΦΗ (I), 2) *Amphistegina lobifera* (Larsen, 1976), δείγμα ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (II), 3) *Peneroplis planatus* (Fichtel & Moll, 1798), δείγμα ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΙΛΑΔΑΣ, 4) *Peneroplis planatus* (Fichtel & Moll, 1798), δείγμα ΑΓΚΙΣΤΡΙ, 5) *Peneroplis pertusus* (Forsskål in Niebuhr, 1775), δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (II), 6) *Sorites orbiculus* (Forsskål in Niebuhr, 1775), δείγμα ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΙΛΑΔΑΣ.



Πίνακας II. 1) *Ammonia beccarii* (Linnaeus, 1758), δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (I), 2) *Ammonia beccarii* (Linnaeus, 1758), δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (II), 3) *Elphidium crispum* (Linnaeus, 1758), δείγμα ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (II), 4) *Textularia agglutinans* (d' Orbigny, 1839), δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 1 (II), 5) *Quinqueloculina* spp., δείγμα ΠΟΡΟΣ ΓΕΦΥΡΑΚΙ (II), 6) *Triloculina* spp., δείγμα ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ 2 (I).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alejo I., Austin W.E.N., Frances G., Villas F., 1999. Preliminary investigations of the recent foraminifera of Baiona Bay, N. W. Spain, *Journal of Coastal Research*, v. 15, p. 413-427.
- Almeida C.M., Barbosa C.F., Cordeiro R.C., Seoane J.C.S., Fermino G.M., Silva P.O., Turcq B.J., 2013. Palaeoecology of a 3-kyr biosedimentary record of a coral reef-supporting carbonate shelf. *Cont. Shelf Res.*, 70, p. 168-176.
- Alve E., 1991. Benthic foraminifera in sediment cores reflecting heavy metal pollution in Sonfjord, W. Norway. *Journal of Foraminiferal Research*, 21, p. 1-19.
- Alve E., 1995. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: a review, *Journal of Foraminiferal Research*, v. 25, no. 3, p. 190-203.
- Anderson O.R., Lee J.J., 1991. *Cytology and fine structure in biology of Foraminifera*, London Academic Press, p. 7-40.
- Azov Y., 1991. Eastern Mediterranean—a marine desert? *Mar. Pollut. Bull.*, 23, p. 225-232.
- Azzurro and Andaloro, 2004. A new settled population of the Lessepsian migrant *Siganus luridus* (Pisces: Siganidae) in Linosa Island – Sicily Strait. *J. Marine Biology Association U.K.* 84, 819–821.
- Barale V. and Gade M., 2008, *Remote sensing of the European seas*, Springer.
- Barmawidjaja D.M., Jorissen F.J., Puskaric S., Van der Zwaan G.J., 1992. Microhabitat selection by benthic foraminifera in the northern Adriatic Sea. *J. Foraminiferal Res.*, 22, p. 297-317.
- Barmawidjaja, D.M., van der Zwaan, G.J., Jorissen, F.J., Puskaric, S., 1995. 150 years of eutrophication in the northern Adriatic Sea, evidence from a benthic foraminiferal record. *Marine Geology* 122, p. 367–384.
- Ben-Eliyahu and Hoover, 1992. Serpulid along the Mediterranean coast: new population buildup of the Lessepsian migrant. *Isr. J. Zool* 38 (1), 35–55.
- Béranger K., Mortier L., Gasparini G.P., Gervasio L., Astraldi M., Crépona M., 2004. The dynamics of the Sicily Strait: a comprehensive study from observations and model. *Deep-Sea Res. II*, 51, p. 411-440.
- Bernhard J.M., Reimers C.E., 1991. Benthic foraminiferal population fluctuations related to anoxia: Santa Barbara Basin. *Biogeochemistry*, 15, p. 127-149.
- Bernhard J.M., Bowser S.S., 1999. Benthic foraminifera of dysoxic sediments: chloroplast sequestration and functional morphology. *Earth Science Review* 46, p. 149 – 165.
- Berthold W.-U., 1976. Ultrastructure and function of wall perforations in *Patellina corrugate*. Williamson, *Foraminiferida. J. Foraminiferal Res.*, 6, p. 22-29.
- Bethoux J.P., Morin P., Madec C., Gentili B., 1992. Phosphorus and nitrogen in the Mediterranean Sea: specificities and forecasting. *Deep-Sea Res.*, 39, p. 1641-1654.
- Bethoux J.P., Gentili B., Morin P., Nicolas E., Pierre C., Ruiz-Pino D., 1999. The Mediterranean Sea: a miniature ocean for climatic and environmental studies and a key for the climatic functioning of the North Atlantic. *Prog. Oceanogr.*, 44, p. 131-146.
- Bizon G., Bizon J.J., 1984. Distribution des foraminifères sur le plateau continental au large du Rhône. *Ecologie des Microorganismes en Méditerranée occidentale 'ECOMED'*, Association Française des Techniciens du Pétrole (AFTP), Paris, p. 84-94.

- Blanc-Vernet, L., 1969. Contribution à l'étude des foraminifères de Méditerranée. Recueil des Travaux de la Station. Marine d'Endoume, 48, p. 1-281.
- Boltovskoy E., 1965. Los Foraminiferos Recientes. Universidad de Buenos Aires, p. 510.
- Boltovskoy E., Scott D.B., Mediolì F.S., 1991. Morphological variations of benthic foraminiferal tests in response to changes in ecological parameters: a review. *Journal of Paleontology*, 65, p. 175–185.
- Bregant D., Camerlenghi A., Catalano G., Corselli C., McCoy F. W., 1986. Preliminary results of physical and chemical characters of the Bacino Bannock Brines (Eastern Mediterranean Sea). *Mem. Soc. Geol. It.*, 36, p. 145 – 151.
- Buzas-Stephens P., Pessagno E.A. Jr., Bowen, C.J., 2003. Foraminiferal response to habitat disruption: Arroyo Colorado, Texas. *Jour. Foraminiferal Res.*, 33, p. 294-308.
- Camerlenghi A., McCoy F. W., 1990. Physiography and structure of Bacino Bannock (Eastern Mediterranean). *Geo. Mar. Letters*, 10, p. 23 – 30.
- Carnahan E.A., Hoare A.M., Hallock P., Lidz B.H., Reich C.D., 2009. Foraminiferal assemblages in Biscayne Bay, Florida, USA: responses to urban and agricultural influence in a subtropical estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 59, p. 221-233.
- Cimerman F., Langer M.R., 1991. Mediterranean foraminifera. *Academia Scientiarum et Artium Slovenica, Dela, Opera* 30, Classis IV, *Historia Naturalis*, p. 118.
- Çinar M.E., Bilecenoğlu M., Öztürk B., Katağan T., Yokeş M.B., Aysel V., Dağlı E., Açık S., Özcan T., Erdoğan H., 2011. An updated review of alien species on the coasts of Turkey, *Mediterranean Marine Science*, 12, p. 257-315.
- Culver S.J., Woo H.J., Oertel G.F., Buzas M.A., 1996. Foraminifera of coastal depositional environments, Virginia, U.S.A. distribution and taphonomy. *Palaios*, 11, p. 459-486.
- Debenay J-P., Gerlin E., Eicher B.B., Duleba W., Sylvestre F., Eichler P., 2001. Foraminiferal assemblages in a hypersaline lagoon, Araruama (R.J) Brazil *Journal of Foraminiferal Research* 31, p. 133-151.
- Debenay J.P., Millet B., Angelids M.O., 2005. Relationship between foraminiferal assemblages and hydrodynamics in the Gulf of Kalloni, Greece. *Jour. Foraminiferal Res.*, 35, p.327-343.
- Dercourt J., Zonenshain L.P., Ricou L.E., Le Pichon X., Kinpper A.L., Grandjaquet C., Sbertshikov I.M., Geussant J., Lepvrier C., Pechersku D.H., Boulin J., Bazhenov M.L., Lauer J.P., Biju-Duval. B., 1986. Geological Evolution of the Tethys belt from the Atlantic of the Pamirs since the Lias. *Tectonophysics*, 123, p. 241- 135.
- Dietrich V., Mercolli I., Oberhänsli R., Mercolli V.J., Oberhänsli I., 1988. Dazite, high-alumina-basalte und andesite als Produkte der amphiboldomierter differentiation (Aegina und Methana ägäischer Inselbogen). *Schweiz Mineral Petrogr Mitt*, 68, p. 21–39.
- Dimiza M.D., Triantaphyllou M.V., Koukousioura O., Hallock P., Simboura N., Karageorgis A.P., 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, p. 611-621.
- Dimiza M.D., Ravani A., Kapsimalis V., Panagiotopoulos I.P., Skampa E., Triantaphyllou M.V., 2019. Benthic foraminiferal assemblages in the severely polluted coastal environment of Drapetsona-Keratsini, Saronikos Gulf (Greece). *Revue de Micropaleontologie*, 62(1), p. 33-44.

- Dugdale R. C., Wilkerson F.P., 1988. Nutrient sources and primary production in the Eastern Mediterranean. *Oceanol Acta*, 9, p.179-184.
- Ehrmann W., Schmiedl G., Hamann Y., Kuhnt T., 2007. Distribution of clay minerals in surface sediments of the Aegean Sea: a compilation. *International Journal of Earth Sciences*, 96, p. 769-780.
- Eleftheriou G., Tsabaris C., Papageorgiou D.K., Patiris D.L., Androulakaki E.G., Pappa F.K., 2018. Radiometric dating of sediment cores from aquatic environments of north-east Mediterranean. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, p. 1-17.
- Faber W.W., Lee J.J., 1991. Feeding and growth of the foraminifer *Peneroplis planatus* (Fichtel and Moll). *Symbiosis* 10, p. 63–82.
- Frerichs W.E., 1970. Paleobathymetry, paleotemperature, and tectonism. *Geological Society of America. Bulletin* 81, p. 3445–3452.
- Friligos N., 1984. Nutrients of the Saronikos Gulf in relation to environmental characteristics (1973-1976). *Hydrobiologia*, 112, p. 17–25.
- Fytikas M., Giuliani O., Innocenti F., Marinelli G., Mazzuoli R., 1976. Geochronological data on recent magmatism of the Aegean Sea. *Tectonophysics* 31, T29–T34.
- Gaki-Papanastassiou K., Karymbalis E., Seni A., 2005. Potential impacts of the expected sea-level rise during the present century on the Argive plain (Peloponnese). *Proceedings of the 3rd Pan-Hellenic Conference on Coastal Zone management*, p. 213-223.
- Gaki-Papanastassiou K., Karymbalis E., Poulos S. E., Seni A., Zouva C., 2010. Coastal vulnerability assessment to sea-level rise based on geomorphological and oceanographical parameters: the case of Argolikos Gulf, Peloponnese, Greece. *Hell. J. Geosci.* 45, p. 109 - 122.
- Galil, B.S., Zenetos, A., 2002. A sea change: exotics in the eastern Mediterranean Sea. In Leppäkoski, E., Gollasch, S., Olenin, S. (Eds.), *Invasive Aquatic Species of Europe: Distribution, Impacts and Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 325–336.
- Garcia-Castellanos D., Estrada F., Jiménez-Munt I., Gorini C., Fernández M., Vergés J., De Vicente R., 2009. Catastrophic flood of the Mediterranean after the Messinian salinity crisis. *Nature* 462, p. 778–781.
- Garilli V., 2011. Mediterranean Quaternary interglacial molluscan assemblages: palaeobiogeographical and palaeoceanographical responses to climate change. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 312, p. 98–114.
- Georgopoulos D., Theocharis A., Zodiatis G., 1989. Intermediate water formation in the Cretan Sea (S. Aegean Sea), *Oceanol. Acta*, 12, p. 353-359.
- Georgopoulos D., Chronis G., Zervakis V., Lykousis V., Poulos S., Iona A., 2000. Hydrology and circulation in the Southern Cretan Sea during the CINCS experiment (May 1994–September 1995), *Prog. Oceanogr.*, 46, p. 89-112.
- Gogou A., Stratigakis N., Kanakidou M., Stephanou E.G., 1996. Organic aerosols in Eastern Mediterranean: components source reconciliation by using molecular markers and atmospheric back trajectories. *Organic Geochemistry*, 25, p. 79–96.
- Gogou A., Bouloubassi I., Stephanou E.G., 2000. Marine organic geochemistry of the Eastern Mediterranean: 1. Aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in Cretan Sea surficial sediments. *Marine Chemistry*, 68, p. 265-282.

- Golani and Darom, 1997. Handbook of the Fishes of Israel. Jerusalem, Israel. Keter Publishing House, Jerusalem, Israel, p. 228.
- Golani D., 1998. Impact of Red Sea Fish Migrants through the Suez Canal on the Aquatic Environment of the Eastern Mediterranean, Hebrew University of Jerusalem.
- Goldstein, S.T., Watkins, G.T. and Kuhn, R.M., 1995. Microhabitats of salt marsh foraminifera: St. Catharines Island, Georgia, USA. *Micropaleontology*, 26, p. 17-29.
- Gooday A.J., 1986. Meiofaunal foraminiferans from the bathyal Porcupine Seabight (northeast Atlantic): size structure, standing stock, taxonomic composition, species diversity and vertical distribution in the sediment. Institute of Oceanographic Sciences, Wormley, Godalming, Surrey GU8 5UB, U.K.
- Gooday A.J., 1990. *Tinogullmia riemanni* sp nov (Allogromiina; Foraminiferida), a new species associated with organic detritus in the deep sea. *Bull Br Mus Nat Hist*, p. 93-103.
- Gooday A.J., Levin L.A., Linke P., Heeger T., 1992. The role of benthic foraminifera in deep-sea food webs and carbon cycling. *Deep-sea Food Chains and the Global Carbon Cycle*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, p. 63–91.
- Gooday A.J., 1993. Deep-sea benthic foraminiferal species which exploit phytodetritus: characteristic features and controls on distribution. *Mar. Micropaleontol.*, 22, p. 187-205.
- Hallock P., 1981. Light dependence in *Amphistegina*. *J. Foram. Res.*, 11, p. 40-46.
- Hallock, P. 1984. Distribution of selected species of living algal symbiont-bearing foraminifera on two Pacific coral reefs. *J. Foram. Res.* 14, p. 250-261.
- Hallock P., Lidz B., Cockey-Burnard E.M., & Donnelly K.B., 2003. Foraminifera as bioindicators in coral reef assessment and monitoring: the FORAM Index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 81, p. 221-238.
- Hallock P., 2005. Global change and modern coral reefs: new opportunities to understand shallow-water carbonate depositional processes. *Sediment. Geol.*, 175, p. 19-33.
- Hallock P., Williams D.E., Fisher E.M., Toler S.K., 2006. Bleaching in Foraminifera with algal symbionts: Implications for reef monitoring and risk assessment. *Anuario do Instituto de Geociencias*, 29, p. 108-128.
- Hallock P., 2012. The FoRAM Index revisited: uses, challenges and limitations. *Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium, Cairns, Australia*, 9. 15F Benthic foraminifera on coral reefs.
- Hatzianestis I., Rori N., Sklivagou E., Rigas F., 2004. PAH profiles in dated sediment cores from Elefsis Bay, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 13, p. 1253-1257.
- Haynes J. R., 1981. *Foraminifera*. London, Macmillan Publishers.
- Hayward B.W., Le Coze F., Vachard D., Gross O., 2020. *World Foraminifera Database*.
- Hohenegger J., Yordanova E., Nakano Y., Tatzreiter F., 1999. Habitats of larger foraminifera on the upper reef slope of Sesoko Island, Okinawa, Japan. *Marine Micropaleontology*, 36, p. 109-168.
- Hollaus S.S., Hottinger L., 1997. Temperature dependence of endosymbiotic relationships? Evidence from the depth range of Mediterranean *Amphistegina lessonii* (Foraminiferida) truncated by the thermocline. *Eclogae geologicae Helvetiae*, 90, p. 591-597.

- Hottinger L., Dreher D., 1974. Differentiation of protoplasm in Nummulitidae (foraminifera) from Elat, Red Sea. *Mar. Biol.*, 25, p. 41-61.
- Howaida Y. Zakaria, 2015. Article Review: Lessepsian migration of zooplankton through Suez Canal and its impact on ecological system, *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, Volume 41, Issue 2, p. 129-144.
- Hulings N.C., Gray J.S., 1971. *A manual for the study of meiofauna* Smithsonian Inst. Press, Washington.
- Hyams O., Almongi-Labin A., Benjamini C., 2002. Larger foraminifera of the south-eastern Mediterranean shallow continental shelf off Israel, *Israel J. Earth Sci.*, 51, p. 169-179.
- Hyams-Kaphzan O., Almongi-Labin A., Sivan D., Benjamini C., 2008. Benthic foraminifera assemblage change along the southeastern Mediterranean inner shelf due to fall-offshore of Nile-derived siliciclastics, *N. Jb. Geol. Paläont.*, 248, p. 315-344.
- Jorissen F.J., 1988. Benthic foraminifera from the Adriatic Sea: principles of phenotypic variation. *Utrecht Micropaleontol. Bull.*, 37, p. 1-174.
- Jorissen F.J., De Stigter H.C., Widmark J.G.V., 1995. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Mar. Micropaleontol.*, 26, p. 3-15.
- Karymbalis E., Seni A., 2005. Coastal Geomorphology and Future Sea-level Rise Impacts at the Eastern Gulf of Argos. *Proceedings of the Seventh International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST*, vol 2, p. 1287-1298.
- Kontoyiannis H., 2009. Inner Saronikos Gulf: Turbidity, salinity, northerly winds and water quality, *Proceedings, 9th Panhellenic Conference in Oceanography and Fisheries*, Hellenic Center for Marine Research, Athens, Greece.
- Kontoyiannis H., 2010. Observations on the circulation of the Saronikos gulf: a Mediterranean embayment sea border of Athens, Greece. *J Geophys Res Ocean*, 115, p. 1–23.
- Koukousioura O., Dimiza M.D., Triantaphyllou M.V., 2010. Alien foraminifers from Greek coastal areas (Aegean Sea, Eastern Mediterranean) *Mediterranean Marine Science*, 11, p. 155-172.
- Koukousioura O., Dimiza M.D., Triantaphyllou M.V., Hallock P., 2011. Living benthic foraminifera as an environmental proxy in coastal ecosystems: A case study from the Aegean Sea (Greece, NE. Mediterranean), *Journal of Marine Systems*, 88, p. 489-501.
- Kress N., Gertman I., Herut B., 2014. Temporal evolution of physical and chemical characteristics of the water column in the Easternmost Levantine basin (Eastern Mediterranean Sea) from 2002 to 2010. *J. Mar. Syst.*, 135, p. 6-13.
- Krijgsman W., Hilgen F. J., Raffi I., Sierro F.J., Wilson D.S., 1999. Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis. *Nature* 400, p. 652–655.
- Kuhnt, W., Hess, S., Holbourn, A., Paulsen, H., and Salomon, B., 2005. The impact of the 1991 Mt. Pinatubo eruption on deep-sea foraminiferal communities: a model for the Cretaceous – Tertiary (K/T) boundary? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 224, p. 83–107.
- Lacombe H., Tchernia P., 1972. Caractères hydrologiques et circulation des eaux en Méditerranée. In: *The Mediterranean Sea: a natural sedimentation laboratory*. Dowden Hutchinson & Ross, Stroudsburg, PA, p. 26–36.
- Langer M.R., 1988. Recent epiphytic foraminifera from Vulcano (Mediterranean Sea). *Rev. Paleobiol.*, 2, p. 827-832.
- Langer M.R., 1993. Epiphytic foraminifera. *Mar. Micropaleontol.*, 20, p. 235-265.

- Langer M.R., Hottinger L., 2000. Biogeography of selected “larger” foraminifera *Micropaleontology*, 46, p. 105-126.
- Langer M.R., 2008. Foraminifera from the Mediterranean and the Red Sea, Aqaba-Eilat, the Improbable Gulf. Environment, Biodiversity and Preservation, Magnes Press.
- Langer M.R., Weinmann A.E., Lötters S., Rödder D., 2012. “Strangers” in paradise: modeling the biogeographic range expansion of the foraminifera *Amphistegina* in the Mediterranean Sea, *J. Foram. Res.*, 42, p. 234-244.
- Langer M.R., Weinmann A.E., Lötters S., Bernhard J.M., Rödder D., 2013. Climate-driven range extension of *Amphistegina* (Protista, Foraminiferida): models of current and predicted future ranges, *PLoS ONE*.
- Lascaratos A., Williams R., Tragou E., 1993. A mixed layer study of the formation of Levantine intermediate water. *Journal of Geophysical Research*, 98, p.739-749.
- Lee J.J., and Hallock, P. 1987. Algal symbiosis as the driving force in the evolution of larger foraminifera. *Annals N. Y. Academy Science* 503, p. 330-347.
- Lee J.J., 1990. Fine structure of the rhodophycean *Porphyridium purpureum* in situ in *Peneroplis periusus* (Forskal) and *P. acicularis* (Batsch) and in axenic culture. *J. Foram. Res.* 20, p. 162-169.
- Lejeusne C., Chevaldonné P., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., Pérez T., 2010. Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends in Ecology & Evolution* 25, p. 250–260.
- Leutenegger S., 1977. Ultrastructure de foraminifères perforés et imperforés ainsi que de leurs symbiotes. *Cahiers Micropaleont.* 3, p. 1-52.
- Leutenegger S., Hansen H.J., 1979. Ultrastructural and radiotracer studies of pore function in foraminifera. *Mar. Biol.*, 54, p. 11-16.
- Leutenegger S., 1984. Symbiosis in benthic foraminifera: specificity and host adaptation. *J. Foram. Res.*, 14, p. 16-35.
- Lipps J.H., 1983. Biotic interactions in benthic foraminifera. *Biotic interactions in Recent and Fossil Benthic Communities*, Plenum Publishing Corporation, p. 331–376.
- Loeblich and Tappan, 1987. *Foraminiferal genera and their classification*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Loeblich and Tappan, 1988. Foraminiferal evolution, diversification, and extinction. *Journal of Paleontology*, 62, p. 695-714.
- Loeblich and Tappan, 1992. Present status of Foraminiferal Classification. *Studies in benthic foraminifera*, 93–102. Tokyo: Tokai University Press.
- Lykousis V., Collins M.B., Ferentinos G., 1981. Modern sedimentation in the NW Aegean Sea. *Marine Geology*, 43, p. 111-130.
- Lykousis V., Anagnostou C., 1992. Sedimentological and paleogeographic evolution of the Saronikos Gulf in the end of Quaternary. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 28, p. 501-510.
- Lykousis V., Chronis G., Tselepidis A., Price N.B., Theocharis A., Siokou-Fragou I., van Wambeke F., Danovaro R., Stavrakakis S., Duineveld G., Georgopoulos D., Ignatiades L., Souvermezoglou A., Voutsinou-Taliadouri F., 2002. Major outputs of the recent

- multidisciplinary biogeochemical researches undertaken in the Aegean Sea. *Journal of Marine Systems*, 33–34, p. 313–334.
- Madl, P., 1999. Essay about the phenomenon of Lessepsian migration, in Goldschmid, A., *Marine Biology I, Colloquial Meeting of Marine Biology I*. Salzburg.
- Malanotte-Rizzoli P., Hecht A., 1988. Large scale properties of the Eastern Mediterranean: a review. *Oceanologica Acta*, 11, p. 323-335.
- Mare M.F., 1942. A study of a marine benthic community with special reference to the micro-organisms. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 25, p. 517-554.
- MEDOC Group, 1970. Observation of formation of deep water in the Mediterranean Sea. *Nature (London)*, 227, p. 1037–1040.
- Meriç Engin, Avşar Niyazi, Yokeş M. Baki, 2008. A review of benthic foraminifers and ostracodes of the Antalya coast, Recent Benthic Foraminifera along the Southwest Coasts of Antalya (SW Turkey) and the Impact of Alien Species on Autochthonous Fauna, *Micropaleontology* 54, p. 187-197.
- Meriç Engin, Avşar Niyazi, Yokeş M. Baki, 2008. Some alien foraminifers along the Aegean and southwestern coasts of Turkey, Recent Benthic Foraminifera along the Southwest Coasts of Antalya (SW Turkey) and the Impact of Alien Species on Autochthonous Fauna, *Micropaleontology* 54, p. 307-349.
- Meriç Engin, Yokeş M. Baki, Avşar Niyazi, Kıyak Nafiye Güneç, Öner Ertuğ, Nazik Atike, Demirtaşlı Erdoğan, Dinçer Feyza, Öztürk Muhammed Zeynel, 2016. Did *Amphistegina lobifera* Larsen reach the Mediterranean via the Suez Canal?, *Quaternary International*, Volume 401, p. 91-98.
- Mikhalevich V.I., 2013. New insight into the systematics and evolution of the foraminifera. *Micropaleontology*, 59, p. 493–527.
- Milliman J.D., Jeftic L., Sestini G., 1992. The Mediterranean Sea and climate change-an overview. *Climatic change and the Mediterranean*. Edward Arnold, London, p. 1-14.
- Minhat F.I., Yahya K., Talib A., Ahmad O., 2013. A survey of benthic foraminiferal assemblages in tropical coastal water of Penang, Malaysia. *Tropical Life Sci. Res.*, 24, p. 35–43.
- Moodley L., Hess C., 1992. Tolerance of infaunal benthic foraminifera for low and high oxygen concentrations. *Biological Bulletin*, p. 183, 94-98.
- Murray J.W., 1973. *Distribution and Ecology of Living Benthic Foraminiferids*. Heinemann Ed. Books, London.
- Murray, J.W., 1979. *British Nearshore Foraminiferids*. London: Academic.
- Murray J.W., 1991. *Ecology and Paleocology of Benthic Foraminifera*. Longman, Wiley, Harlow/Essex, New York, NY.
- Murray J.W., Alve E., Cundy A., 2003. The origin of modern agglutinated foraminiferal assemblages: evidence from a stratified fjord, *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 58, p. 677-697.
- Murray J.W., 2006. *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge University Press, p. 426.
- Naeher S., Geraga M., Papatheodorou G., Ferentinos G., Kaberi H., Schubert C.J., 2012. Environmental variations in a semi-enclosed embayment (Amvrakikos Gulf, Greece) –

- reconstructions based on benthic foraminifera abundance and lipid biomarker pattern. *Biogeosciences*, 9, p. 5081-5094.
- Nagendra R., Nallapa Reddy A., 2019. Benthic Foraminifera Response to Ecosystem Pollution in the Uppanar Estuary, Tamil Nadu Coast, India. *Journal Geological Society of India*, Vol.93, p. 555-566.
- Nielsen J. N., 1912. Hydrography of the Mediterranean and adjacent waters. In Report of the Danish Oceanographic Expedition 1908–1910 to the Mediterranean and Adjacent Waters 1, Copenhagen, p. 72–191.
- Nikulina A., Polovodova I., Schönfeld J., 2008. Foraminiferal response to environmental changes in Kiel Fjord, SW Baltic Sea, *eEarth*, 3, p. 37-49.
- Occhipinti-Ambrogi A, 2007. Global change and marine communities: Alien species and climate change. *Marine pollution bulletin*, 55, p. 342-352.
- Oguz T., Sur I.H., 1989. A two-layer model of water exchange through the Dardanelles Strait. *Oceanol. Acta*, 12, p. 23-31.
- Ovchinnikov I. M., 1984. The formation of Intermediate Water in the Mediterranean Oceanology, 24, p. 168-173.
- Papanikolaou D., Lykousis V., Chronis G., Pavlakis P., 1988. A comparative study of neotectonic basins across the Hellenic arc: the Messiniakos, Argolikos, Saronikos and Southern Evoikos Gulfs. *Basin Research*, 1, p. 167-176.
- Papazachos B.C., Papadimitriou E.E., Kiratzi A.A., Papazachos C.B., Louvari E.K., 1998. Fault plane solutions in the Aegean Sea and the surrounding area and their tectonic implication. *Bollettino di Geophysica Teorica ed Applicata*, 39, p. 199-218.
- Pawlowski J., 2012. Foraminifera. *Eukaryotic Microbes*. Amsterdam: Elsevier.
- Pawlowski J., Holzmann M., Tyszka J., 2013. New supraordinal classification of foraminifera: molecules meet morphology. *Marine Micropaleontology*, 100, p. 1–10.
- Pawlowski J., Lejzerowicz F., Esling P., 2014. Next-Generation environmental diversity surveys of foraminifera, preparing the future. *Biological Bulletin*, 227, p. 93–106.
- Pe-Piper G., Piper D.J.W., 2005. The South Aegean active volcanic arc: relationships between magmatism and tectonics. *Dev Volcanol*, 7, p. 113–133.
- Pe-Piper G., Piper D.J.W., 2013. The effect of changing regional tectonics on an arc volcano: Methana, Greece. *J Volcanol Geotherm Res* 260, p. 146–163.
- Pollak M. I., 1951. The sources of deep water of the Eastern Mediterranean Sea. *Journal of Marine Research*, 10, p. 128-152.
- Por F.D., 1978. Lessepsian migration, the influx of Red Sea biota into the Mediterranean by way of the Suez Canal, *Ecological studies*, Springer-Verlag, Berlin.
- Por F.D., 1989. *The Legacy of Tethys An aquatic biogeography of the Levant* Kluwer Academic. The Netherlands.
- Poulos S.E., Collins M.B., Shaw H., 1996. Deltaic sedimentation, including clay mineral distribution patterns associated with small mountainous rivers and shallow marine embayments of Greece (SE Alpine Europe). *Journal of Coastal Research*, 12, p. 940-952.

- Poulos S.E., Drakopoulos P.G., Collins M.B., 1997. Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean): an overview. *Journal of Marine Systems*, 13, p. 225-244.
- Poulos S.E., 2009. Origin and distribution of the terrigenous component of the unconsolidated surface sediment of the Aegean floor: A synthesis. *Continental Shelf Research* 29, p. 2045–2060.
- Pye K., 1992. Aeolian dust transport and deposition over Crete and Adjacent parts of the Mediterranean Sea. *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, p. 271-288.
- Reiss Z., Hottinger L. 1985. *The Gulf of Aqaba: Ecological Micropaleontology*. Springer-Verlag, Berlin.
- Renema Willem, 2003. Larger foraminifera on reefs around Bali (Indonesia). *Zool. Verh. Lieden* 345.
- Resig J.M., 1960. Foraminiferal ecology around ocean outfalls off southern California. *Waste Disposal in the Marine Environment*. Pergamon Press, London, p.104-121.
- Reuter M., Piller W. E., Harzhauser M., Mandic O., Berning B., Rogl F., Kroh A., Aubry M. P., Wielandt-Schuster U., Hamedani A., 2009. The Oligo-/Miocene Qom Formation (Iran): evidence for an early Burdigalian restriction of the Tethyan Seaway and closure of its Iranian gateways. *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*, 98, p. 627–650.
- Robinson A.R., Sellschopp J., Warn-Varnas A., Leslie W.G., Lozano C.J., Haley Jr. P.J., Anderson L.A., Lermusiaux P.F.J., 1999. The Atlantic Ionian stream. *J. Mar. Syst.*, 20, p. 129-156.
- Roether W., Manca B., Klein B., Bregant D., Georgopoulos D., Beitzel V., Kovacevic V., Luchetta A., 1996. Recent changes in the Eastern Mediterranean deep waters. *Science*, 271, p. 333–335.
- Rouchy J. M., Caruso A., 2006. The Messinian Salinity Crisis in the Mediterranean basin: a reassessment of the data and an integrated scenario. *Sediment. Geol.* 188/189, p. 35–68.
- Roussakis G., Karageorgis A.P., Conispoliatis N., Lykousis V., 2004. Last glacial-Holocene sediment sequences in N. Aegean basins: structure, accumulation rates and clay mineral distribution, *Geo-Mar. Lett.*, 24, p. 97–111.
- Rutten A., De Lange G.D., Ziveri P., Thompson J., van Santvoort P.J.M., Colley S., 2000. Recent terrestrial and carbonate fluxes in the pelagic eastern Mediterranean; a comparison between sediment trap and surface sediment. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 158, p. 197-213.
- Sakellariou D., Lykousis V., Karageorgis A., Anagnostou Ch., 2005. Geomorphology and tectonic structure. *State of the Hellenic Marine Environment*, HCMR Publications, Athens, p. 16-20.
- Salihoğlu İ., Saydam C., Baştürk Ö., Yılmaz K., Göçmen D., Hatipoğlu E., Yılmaz A., 1990. Transport and distribution of nutrients and chlorophyll-a by mesoscale eddies in the northeastern Mediterranean. *Mar. Chem.*, 29, p. 375-390.
- Schafer C. T., 2000. Monitoring nearshore marine environments using benthic foraminifera: Some protocols and pitfalls. *Micropaleontology*, 46, p. 161–169.
- Schlitzer R., Roether W., Oster H., Junghans H., Hausmann M., Johannsen H., Michelato A., 1991. Chlorofluoromethane and oxygen in the Eastern Mediterranean. *Deep-Sea Research*, 38, p. 1531.
- Schmiedl G., Mitschele A., Beck S., Emeis K., Hemleben C., Schulz H., Sperling M., Weldeab S., 2003. Benthic foraminiferal record of ecosystem variability in the eastern Mediterranean Sea

- during times of sapropel S5 and S6 deposition. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 190, p. 139-164.
- Sen Gupta B.K., Machain-Castillo M.L., 1993. Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Mar. Micropaleontol.*, 20, p. 183-201.
- Sen Gupta B.K., 1999. *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Sen Gupta B.K., 2000. Introduction to modern Foraminifera. *Modern Foraminifera*, Kluwer Academic Publishers, Great Britain, p.3-6.
- Sen Gupta B. K., Platon E., 2006. Tracking past sedimentary records of oxygen depletion in coastal waters: use of the Ammonia-Elphidium foraminiferal index, *Jour. Coastal Res.*, 39, p. 1351–1355.
- Shackleton N. J., Backman J., Zimmerman H., Kent D. V., Hall M. A., Roberts D. G., Schnitker D., Baldauf G. J., Desprairies A., Homrighausen R., Huddleston P. J., Keene B., Kaltenback J. A., Krumsiek K. A. O., Morton A. C., Murray J. W., Westberg-Smith J., 1984. Oxygen isotope calibration of the onset of ice-rafting and history of glaciation in the North Atlantic region. *Nature* 307, p. 620–623.
- Sleigh, 1989. *Protozoa and other protists*, Butler & Tanner Ltd, Great Britain.
- Sofianos S., Johns W., Lascaratos A., Murray S., Olson D., Theocharis A., 2002. Draft Report of the Aegean Sea Workshop. *Proceedings of the Aegean Sea. Workshop*, Rhodes, Greece.
- Spanier and Galil, 1991. Lessepsian migration: a continuous biogeographical process. *Endeavour* 15, 102–106.
- Stanley J., Perissoratis C., 1977. Aegean ridge barrier and basin sedimentation patterns. *Marine Geology*, 24, p. 97-107
- Stergiou K.I., Christou E.D., Georgopoulos D., Zenetos A., Souvermezoglou C., 1997. The Hellenic seas: physics, chemistry, biology and fisheries. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 35, p. 415-538.
- Streftaris N. & Zenetos A., 2006. Alien marine species in the Mediterranean - the 100 ‘worst invasives’ and their impacts. *Mediterranean Marine Science*, p. 87-118.
- Sturrock S., Murray J.W., 1981. Comparison of low energy middle shelf foraminiferal faunas: Celtic Sea and western English Channel. *Microfossils from Recent and Fossil Shelf Seas*. Chichester: Ellis Horwood, p. 250-60.
- Theocharis A., Georgopoulos D., 1993. Dense water formation over the Samothraki and Limnos Plateaux in the North Aegean Sea (Eastern Mediterranean Sea). *Continental Shelf Research*, 13, p. 919-939.
- Theocharis A., Georgopoulos D., Lascaratos A., Nittis K., 1993. Water masses and circulation in the central region of the Eastern Mediterranean: Eastern Ionian, South Aegean and Northwest Levantine, 1986–87. *Deep-Sea Res., Part II*, 40, p. 1121-1142.
- Theocharis A., Nittis K., Kontoyannis H., Papageorgiou E., Balopoulos E., 1999. Climatic changes in the deep waters of the Aegean sea and their influence in the deep thermohaline circulation of the Eastern Mediterranean (1986–1997). *Geophysical Research Letters*, 20, p. 1617–1620.
- Thiel H., 1983. *Meiobenthos and nanobenthos of the deep sea*. Deep – Sea Biology Wiley, New York, p. 167–230.
- Thomas Linn Dix, 2001. *The distribution and ecology of benthic foraminifera of Tampa Bay, Florida*. College of Marine Science, University of South Florida.

- Travis & Browser, 1991. The motility of Foraminifera in biology of Foraminifera, Lee and Anderson, New York.
- Triantaphyllou M.V., Tsourou T., Koukousioura O., Dermitzakis M.D., 2005. Foraminiferal and ostracod ecological patterns in the coastal environments of SE Andros Island (Middle Aegean Sea, Greece). *Revue de Micropaleontologie*, 48, p. 279-302.
- Triantaphyllou M.V., Koukousioura O., Dimiza M.D., 2009. The presence of the Indo-Pacific symbiont-bearing foraminifer *Amphistegina lobifera* in Greek coastal ecosystems (Aegean Sea, Eastern Mediterranean) *Mediterranean Marine Science*, 10, p. 73-85.
- Tripsanas E.K., Panagiotopoulos I.P., Lykousis V., Morfis I., Karageorgis A.P., Anastasakis G., Kontogonis G., 2016. Late quaternary bottom-current activity in the south Aegean Sea reflecting climate-driven dense-water production. *Marine Geology*, 375, p. 99-119.
- Tsimplis, M. N., Velegrakis A. F., Theocharis A., Collins M. B., 1997. Low-frequency current variability at the Straits of Crete, Eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research*, 102, p. 25005–25020.
- Turley C. M., Bianchi M., Christaki U., Conan P., Harris J. R. W., Psarra S., Ruddy G., Stutt E., Tselepidis A., Van Wambeke F, 2000. The relationship between primary producers and bacteria in an oligotrophic sea – the Mediterranean and biogeochemical implications. *Marine Ecology Progress Series*, 193, p. 11-18.
- Van Andel T. H., Vitaliano C. J., 1987. The landscape of the southern Argolid. *Landscape and People of the Franchthi Region. Excavations at Franchthi Cave, Greece*, 2., Indiana University Press, Bloomington, p. 1-62.
- Van Andel T.H., Zangger E., Perissoratis C., 1990. Quaternary Transgressive /Regressive Cycles in the Gulf of Argos. *Quaternary Research*, 34, p. 317-329.
- Van Andel T. H., Perissoratis C., Rondoyanni T., 1993. Quaternary tectonics of the Argolikos Gulf and adjacent basins, Greece. *Geology, Journal of the Geological Society*.
- Venec- Peyre M.T., Le Calvez Y., 1988. Les foraminifères épiphytes de l' herbier a posidonies de Banyuls-sur-Mer (Méditerranée occidentale): étude des variations spatiotemporelles du peuplement. *Cahier Micropaleontology* 3, p. 21–40.
- Verhallen P.J.J.M., 1990. Late Pliocene to early Pleistocene Mediterranean mud-dwelling foraminifera; influence of a changing environment on community structure and evolution. *Utrecht Micropaleontol. Bull.*, 40, p. 219.
- Watkins J.G., 1961. Foraminiferal ecology around the Orange County, California, ocean sewer outfall. *Micropaleontology*, 7, p. 199-206.
- WoRMS Editorial Board, 2020, World Register of Marine Species. URL, <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1410>.
- Wüst G., 1961. On the vertical circulation of the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 66, p. 3261-3271.
- Yanko V., Kronfeld J., Flexer A., 1994. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: implications for pollution monitoring. *Journal of Foraminiferal Research*, 24, p. 1–17.
- Yedidia Bentur et al., 2008. Lessepsian migration and tetrodotoxin poisoning due to *Lagocephalus sceleratus* in the eastern Mediterranean, Israel Poison Information Center, Rambam Health Care Campus, The Rappaport Faculty of Medicine, Technion-Israel Institute of Technology, *Toxicon* 52 964–968.

- Yokeş M.B., Meriç E., Avşar N., 2007. On the presence of alien foraminifera *Amphistegina lobifera* Larsen on the coasts of Maltese Islands, *Aquatic Invasions*, p. 439-441.
- Yuce H., 1996. On the variability of mediterranean water flow into Black Sea. *Continental Shelf Res.*, 16, p. 1309- 1413.
- Zabakas J.D., 1981. *General Climatology*. Univ. Athens Press, p. 493.
- Zarkogiannis S., Kontakiotis G., Antonarakou A., 2020. Recent planktonic foraminifera population and size response to Eastern Mediterranean hydrography. *Revue de Micropaléontologie*, Volume 69, 100450.
- Zenetos A., Inar M.E., Pancucci - Papadopoulou M.A., Harmelin J.G., Furnari G., Andaloro F., Bellou N., Streftaris N., Zibrowius H., 2005. Annotated list of marine alien species in the Mediterranean with records of the worst invasive species. *Mediterranean Marine Science*, 6, p. 63-118.
- Zenetos A., Meric E., Verlaque M., Galli P., Boudouresque Cf., Giangrande A., Cinar M.E., Bilecenoglu M., 2008. Additions to the annotated list of Marine alien biota in the Mediterranean with special emphasis on foraminifera and parasites. *Mediterranean Marine Science*, 9, p. 119-165.
- Zenetos A., Pancucci - Papadopoulou M.A., Zogaris S., Papastergiadou E., Vardakas L., Aligizaki K., Economou A.N., 2009. Aquatic alien species in Greece (2009): tracking sources, patterns and effects on the ecosystem. *Journal of Biological Research*, Thessaloniki, p. 135-172.
- Zenetos A., Gofas S., Verlaque M., Çinar M.E., García Raso J.G., Bianchi C.N., Morri C., Azzurro E., Bilecenoglu M., Frogliá C., Siokou I., Violanti D., Sfriso A, San Martín G., Giangrande A., Katagan T., Ballesteros E., Ramos-Esplá A., Mastrototaro F., Ocaña O., Zingone A., Gambi M.C., Streftaris N., 2010. Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial distribution, *Mediterranean Marine Science*, 11, p. 381-493.
- Zervakis V., Georgopoulos D., Karageorgis A.P., Theocharis A., 2004. On the response of the Aegean Sea to climatic variability: a review. *Int. J. Climatol.*, 24, p. 1845–1858.
- Zervakis V., Karageorgis A.P., Kontoyiannis H., Papadopoulos V., Lykousis V., 2005a. Hydrology, circulation and distribution of particulate matter in Thermaikos Gulf (NW Aegean Sea), during September 2001–October 2001 and February 2002. *Continental Shelf Research*, 25 (19–20), p. 2332-2349.
- Zervakis V., Theocharis A., Georgopoulos D., 2005b. Circulation and hydrography of the open Seas. *State of the Hellenic Marine Environment*, HCMR Publication, Athens, p. 104-110.
- Zodiatis G., 1993. Advection of the Black Sea water in the north Aegean Sea. *Global Atmos. Ocean Syst.*, 2, p. 41–60.
- Δερμιτζάκης Μ., Γεωργιάδου – Δικαιούλια Ε., (1993). Εισαγωγή στη θαλάσσια μικροπαλαιοντολογία. Εκδόσεις Σταμούλης.
- Κουκουσιούρα Ο., 2012. Τα βενθονικά τρηματοφόρα ως δείκτες περιβαλλοντικής υγείας των Ολοκαινικών παράκτιων οικοσυστημάτων: οι περιπτώσεις του Ευβοϊκού, Θερμαϊκού κόλπου και των ακτών του Ν. Ξάνθης. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος. Αθήνα.
- Τριανταφύλλου Μαρία Β., Δήμιζα Δ. Μαργαρίτα, 2012. Μικροπαλαιοντολογία & Γεωπεριβάλλον, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος.