



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

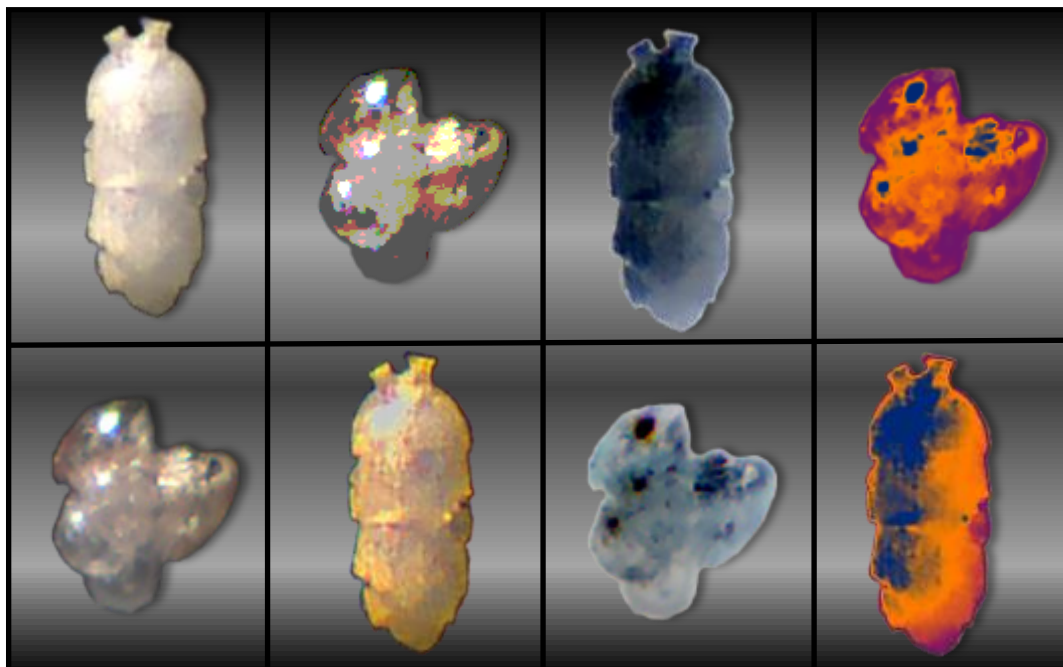


ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΣΟΦΙΑ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΤΑ ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ ΩΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΤΟ
ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ 'ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΟΝΤΙΚΗ
ΓΕΩΛΟΓΙΑ', ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: 'ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ'*



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021





ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΣΟΦΙΑ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΤΑ ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ ΩΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών
'Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία', Κατεύθυνση 'Δομή και Εξέλιξη Ιζηματογενών
Λεκανών'

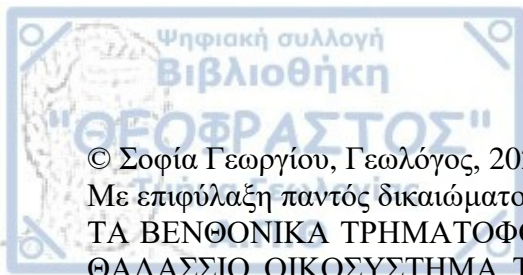
Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 18/03/2021

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής Γ. Συρίδης, Επιβλέπων

Καθηγήτρια Μ. Τριανταφύλλου, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Δρ. Ο. Κουκουσιούρα, ΕΔΙΠ, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής



© Σοφία Γεωργίου, Γεωλόγος, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΤΑ ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ ΩΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ - *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Sofia Georgiou, Geologist, 2021

All rights reserved.

BENTHIC FORAMINIFERA AS ENVIRONMENTAL INDICES IN THE MARINE ECOSYSTEM OF THERMAIKOS GULF - *Master Thesis*

Citation:

Γεωργίου Σ., 2021. - ΤΑ ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ ΩΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ. *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 144 σελ.

Georgiou S., 2021. - Benthic foraminifera as environmental indices in the marine ecosystem of Thermaikos Gulf. *Master Thesis*, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 144 pp.

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

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

Εικόνα Εξωφύλλου: Rectuvigerina phlegeri abnormal and Virgulinitella fragilis abnormal from Thermaikos Gulf.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο «Τα βενθονικά τρηματοφόρα ως περιβαλλοντικοί δείκτες στο σύγχρονο θαλάσσιο οικοσύστημα του Θερμαϊκού κόλπου» εντάσσεται στις ερευνητικές δραστηριότητες που αναπτύσσει ο Τομέας Γεωλογίας (Εργαστήριο Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας) του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Τα βενθονικά τρηματοφόρα αποτελούν σημαντικό στοιχείο του θαλάσσιου ζωοβένθους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία σε διάφορα πεδία λόγω της ευρείας κατανομής τους τόσο στο χώρο όσο και στο γεωλογικό χρόνο, όπως η στρωματογραφία ακολουθιών-βιοστρωματογραφία, η ερμηνεία της παλαιοοικολογίας και παλαιοωκεανογραφίας, η παρακολούθηση και ερμηνεία αλλαγών του περιβάλλοντος, όπως στάθμη της θάλασσας, κλίμα κλπ. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν δημιουργηθεί διάφοροι βιοδείκτες για την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας ενός περιβάλλοντος. Στην παρούσα εργασία λοιπόν, έγινε μια προσπάθεια μελέτης των συγκεντρώσεων των βενθονικών τρηματοφόρων και της αλληλεπίδρασής τους με τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Επίσης, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή και σύγκριση περιβαλλοντικών δεικτών για την καταγραφή της οικολογικής ποιότητας της περιοχής μελέτης.

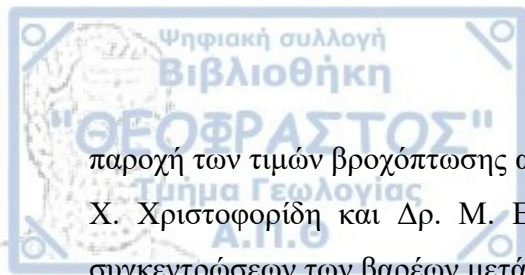
Με την ολοκλήρωση της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν και με στήριξαν στην προσπάθεια αυτή.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή Συρίδη Γεώργιο για τη συμπαράσταση, καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της εργασίας αυτής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Καθηγήτρια Τριανταφύλλου Μαρία από το Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών για τις συμβουλές, την καθοδήγηση και τη βοήθεια στην τελική επιλογή του θέματος.

Την αμέριστη ευγνωμοσύνη μου θα ήθελα να εκφράσω στην Δρ. Κουκουσιούρα Όλγα, ΕΔΠΠ του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., για την αδιάκοπη προσοχή, υποστήριξη και συμπαράστασή της καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας και για το ότι πίστεψε σε μένα. Ήταν παρούσα για την επίλυση κάθε προβλήματος, απορίας, δυσκολίας και εμποδίου που θα πρόκυπτε, ενώ έδειξε τεράστια υπομονή και κατανόηση προς το πρόσωπό μου. Οι συμβουλές, η καθοδήγηση και οι διορθώσεις τόσο για το εργαστηριακό κομμάτι όσο και για τη συγγραφή της διπλωματικής ήταν πολύ σημαντικές. Πάντα παρούσα σε οτιδήποτε χρειάστηκε για να ολοκληρωθεί η εργασία αυτή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Μ. Σεφερλή του Εθνικού Κέντρου Βιοτόπων Υγροτόπων (Ε.Κ.Β.Υ.) για τη συλλογή και διάθεση των δειγμάτων από τους σταθμούς και την παροχή μετρήσεων για τις φυσικοχημικές παραμέτρους, την Δρ. Χ. Αναγνωστοπούλου για την



παροχή των τιμών βροχόπτωσης από το σταθμό παρακολούθησης του Α.Π.Θ. και τέλος τους Δρ. Χ. Χριστοφορίδη και Δρ. Μ. Ευγενάκη του Τμήματος Χημείας Α.Π.Θ. για τις τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων.

Τις ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω στον Διδάκτορα Πισκούλη Παύλο και την Υπ. Διδάκτορα Ναυροζίδου Βαλεντίνα (Ε.Κ.Β.Υ.) για τη βοήθεια στην ανεύρεση βιβλιογραφίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Δήμου Γρηγορία-Βασιλική για τη βοήθεια στο εργαστηριακό κομμάτι και κατά τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής, τόσο πρακτικά όσο και ηθικά, με τις συμβουλές και την παρότρυνσή της.

Επίσης, ιδιαίτερες ευχαριστίες στους φίλους και συνεργάτες Κυνηγοπούλου Ζωή, Ναυροζίδου Βαλεντίνα και Ματθαίο Μπάννεμπεργκ για τη συνεχή ηθική συμπαράσταση και βοήθεια που μου προσέφεραν και τις συμβουλές τους για την επίλυση προβλημάτων που αντιμετώπισα.

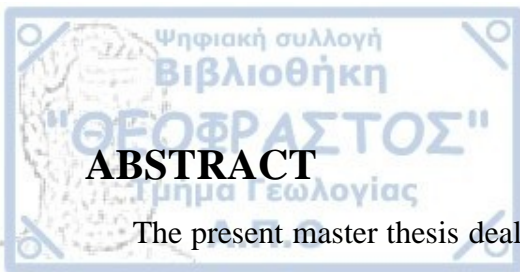
Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη στους γονείς μου Νίκο και Ελένη και τα αδέρφια μου Μαρία και Γιώργο για την ηθική υποστήριξη τους και ιδιαίτερα στο σύζυγό μου Άγγελο χωρίς την υπομονή και την υποστήριξη του οποίου δε θα είχα ολοκληρώσει την εργασία αυτή. Αφιερώνω αυτή μου την προσπάθεια στην οικογένεια μου και ιδιαίτερα στην κόρη μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνώνται οι συναθροίσεις σύγχρονων βενθονικών τρηματοφόρων τόσο ζωντανών όσο και νεκρών, από δείγματα επιφανειακών ιζημάτων πυθμένα τα οποία συλλέχθηκαν από το εσωτερικό τμήμα του Θερμαϊκού κόλπου στο βόρειο Αιγαίο. Επιπλέον, μελετήθηκε και η χρήση των τρηματοφόρων ως περιβαλλοντικοί δείκτες, με την εφαρμογή δυο δεικτών, του FSI και του Foram-AMBI. Η περιοχή αυτή του Θερμαϊκού κόλπου επιλέχθηκε, καθώς είναι μια περιοχή ζωτικής σημασίας για την πόλη της Θεσσαλονίκης και γενικά του βορείου Αιγαίου και δεν έχει πραγματοποιηθεί στο παρελθόν μελέτη βάσει των βενθονικών τρηματοφόρων.

Για την επίτευξη της εργασίας πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία από 5 σταθμούς για 4 διαφορετικούς μήνες. Από τα δείγματα αυτά, τα τρηματοφόρα που συλλέχθηκαν αναγνωρίστηκαν σε επίπεδο γένους και είδους. Στη συνέχεια μελετήθηκε η κατανομή τους μέσα στον κόλπο και η επίδραση που δέχονται από τους διάφορους φυσικοχημικούς παράγοντες που μετρήθηκαν στην περιοχή, όπως βαρέα μέταλλα, αλατότητα, βροχοπτώσεις, χλωροφύλλη-*a*, διαλυμένο οξυγόνο (DO), θερμοκρασία (T), pH, αιωρούμενα σωματίδια (TDS) και εύφωτη ζώνη (δίσκος Secchi). Επίσης, έγινε προσπάθεια χαρακτηρισμού της οικολογικής ποιότητας του κόλπου με την εφαρμογή των δεικτών FSI και Foram-AMBI, οι οποίοι υπολογίζονται βάσει των συναθροίσεων των τρηματοφόρων.

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν πως η συνολική μικροπανίδα (νεκρά+ζωντανά) είναι παρόμοια για τους 4 μήνες, με τα ευαίσθητα είδη να επικρατούν στο δυτικό τμήμα του κόλπου, ενώ στον υπόλοιπο τα ανθεκτικά, ενώ στις ζωντανές συναθροίσεις, τα ευαίσθητα είδη επικρατούν μόνο στον S2 σταθμό. Στο Θερμαϊκό κόλπο παρατηρήθηκαν επίσης, υψηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου, ποικιλότητας και αριθμού ζωντανών ατόμων, αν και χαρακτηρίζεται ως ευτροφικός κόλπος. Τέλος, οι δείκτες FSI και Foram-AMBI παρουσίασαν διαφορετικά αποτελέσματα, με τον πρώτο να χαρακτηρίζει την οικολογική κατάσταση του κόλπου από ελλιπή ως μέτρια και τον δεύτερο καλή.



ABSTRACT

The present master thesis deals with the study of assemblages of recent benthic foraminifera, both dead and living. Sampling of the surface sediment was carried out in the innermost part of the Thermaikos Gulf (Thessaloniki Bay), in North Aegean. Two biotic indices, the FSI and the Foram-AMBI, were also applied to determine the ecological quality status of the studied area. Thermaikos Gulf was chosen because it is an area with a vital significance for the city of Thessaloniki and the North Aegean in general and a study based on benthic foraminifera has never been carried out in the past.

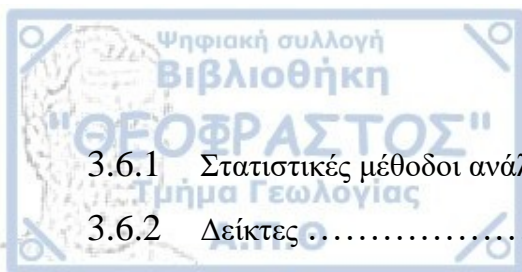
Samples were collected from 5 stations for 4 different months through the year. The foraminifera specimens have been picked in each sample and identified in genera and species level. The foraminifera distribution and the abiotic parameters were studied, like heavy metals, salinity, precipitation, chlorophyll-*a*, dissolved oxygen (DO), temperature (T), pH, total dissolved solids (TDS), and euphotic zone (Secchi disc). Finally, the two biotic indices were used based on the living foraminifera assemblages.

The results of the study showed that the total assemblages (dead+living) are similar in each month, with the sensitive foraminifera being abundant at the western part of the gulf and the stress-tolerant in the rest of the gulf, while in the living assemblages the sensitive foraminifera are abundant only in station S2. The studied area presents high levels of dissolved oxygen, diversity and high numbers of living individuals, even though Thermaikos is considered as an eutrophicated gulf. As far as the two biotic indices, they present different results. According to the FSI, the inner Thermaikos gulf presents a poor to medium ecological quality status, but according to Foram-AMBI it presents a good ecological quality status.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1	ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ.....	9
1.1.1	Κέλυφος.....	11
1.1.2	Κύκλος ζωής.....	12
1.2	ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ.....	13
1.3	ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ ΩΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ.....	16
1.4	ΜΕΛΕΤΕΣ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ.....	20
2.	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	22
2.1	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ.....	22
2.2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ.....	23
2.3	ΘΕΡΜΑΪΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ.....	24
2.3.1	Γεωλογία της περιοχής.....	24
2.3.2	Παλαιοπεριβαλλοντική εξέλιξη	27
2.3.3	Περιβαλλοντικό καθεστώς.....	30
2.3.3.1	Απορροές υδάτων και ιζημάτων.....	32
2.3.3.2	Κυκλοφορία υδάτων.....	36
2.3.3.3	Γεωχημικά χαρακτηριστικά της περιοχής	38
2.3.4	Σύγχρονη κατάσταση του Θερμαϊκού κόλπου.....	39
3.	ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	42
3.1	ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	42
3.2	ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ, ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ.....	43
3.3	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	44
3.4	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ.....	46
3.5	ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ.....	46
3.6	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	46

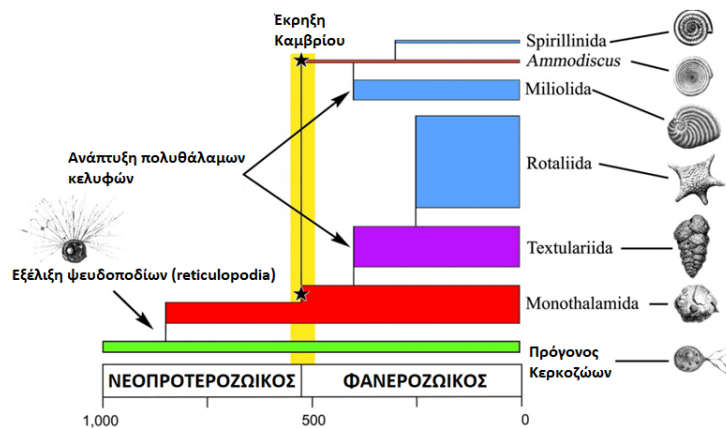


3.6.1	Στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης.....	46
3.6.2	Δείκτες.....	47
3.6.3	Πολυπαραγοντικές αναλύσεις.....	50
4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	51
4.1	ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ, ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ.....	53
4.1.1	Ιανουάριος 2016.....	53
4.1.2	Απρίλιος 2016.....	54
4.1.3	Ιούλιος 2016.....	55
4.1.4	Οκτώβριος 2016.....	57
4.2	ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΕΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΖΩΝΤΑΝΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ.....	59
4.2.1	Ιανουάριος 2016.....	59
4.2.2	Απρίλιος 2016.....	61
4.2.3	Ιούλιος 2016.....	63
4.2.4	Οκτώβριος 2016.....	65
4.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ FSI ΚΑΙ FORAM-AMBI ΚΑΙ ΤΙΣ ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΕΙΣ ΤΩΝ ΖΩΝΤΑΝΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ.....	68
4.4	ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΕΙΣ ΖΩΝΤΑΝΩΝ ΚΑΙ ΝΕΚΡΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ.....	73
4.4.1	Ιανουάριος 2016.....	73
4.4.2	Απρίλιος 2016.....	75
4.4.3	Ιούλιος 2016.....	77
4.4.4	Οκτώβριος 2016.....	79
5.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	83
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	100
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	102
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	137

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

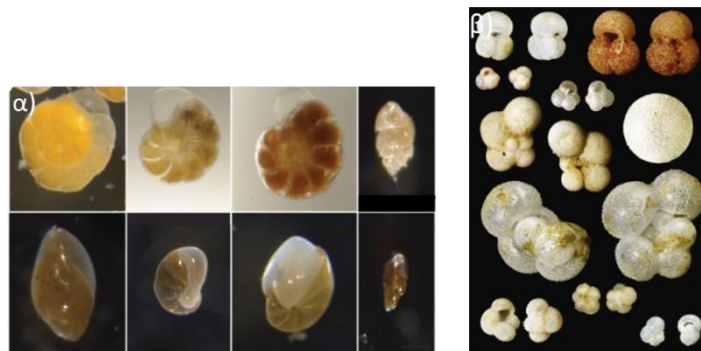
1.1 ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ

Τα Τρηματοφόρα (Foraminifera) είναι μονοκύτταροι οργανισμοί και ανήκουν στην κατηγορία των Πρωτόζωων, όπως προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Felix Dujardin (Cifelli 1990). Εμφανίζονται ήδη από το Κάμβριο και εξαπλώνονται μέχρι σήμερα (Pawlowski et al. 2003) (Εικ. 1).



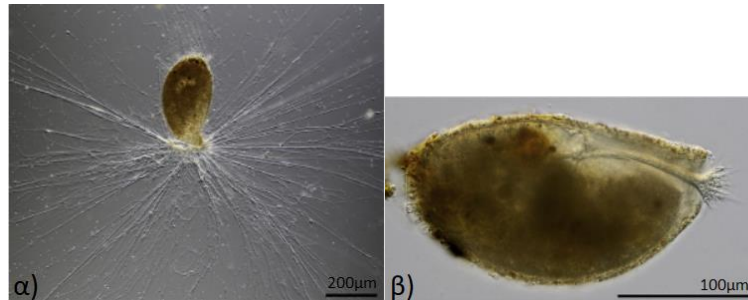
Εικόνα 1. Εξέλιξη των τρηματοφόρων (τροποποιημένο από Pawlowski et al. 2003).

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους είναι το κέλυφος και η ύπαρξη ενός δικτύου ψευδοποδίων. Τα τρηματοφόρα έχουν μεγάλο αριθμό ειδών με γνωστά περίπου 10.000 σύγχρονα (Vickerman 1992) και 50.000 απολιθωμένα (Debenay et al. 1996) και ανάλογα με τον τρόπο ζωής τους χωρίζονται σε βενθονικά (η πλειοψηφία) και πλαγκτονικά (40-50 είδη) (Εικ. 2).



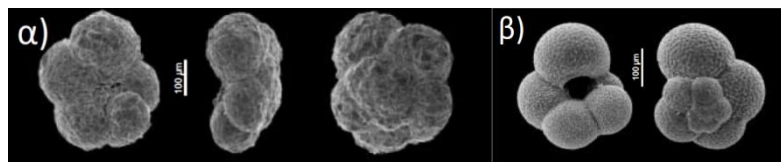
Εικόνα 2. α) Βενθονικά τρηματοφόρα (LeKieffre et al. 2018), β) Πλαγκτονικά τρηματοφόρα (Avnaim-Katav et al. 2020).

Τα τρηματοφόρα διαβιούν κυρίως σε θαλάσσια περιβάλλοντα, ενώ ορισμένα μπορούν να προσαρμοστούν σε υφάλμυρα (π.χ., Fatela et al. 2009) και ακόμα και σε γλυκά ύδατα (Εικ. 3) (π.χ. Siemensma et al. 2017). Στα γλυκά ύδατα εμφανίζονται μαζί με τα Thecamoebians (Escobar et al. 2008; Patterson and Kumar 2000), τα οποία ανήκουν στα πρωτόζωα και είναι γνωστά ως συμφυρματοπαγή ριζόποδα (agglutinated rhizopods), αλλά δεν εμφανίζονται σε θαλάσσια ή υφάλμυρα περιβάλλοντα (Scott et al. 2001).



Εικόνα 3. Είδος τρηματοφόρου *Lacogromia cassipira* (α, β), το οποίο διαβιεί σε γλυκά ύδατα. Στην εικόνα (α) φαίνεται πλήρως ανεπτυγμένο το δίκτυο των ψευδοποδίων (Siemensma et al. 2017).

Ζουν τόσο σε βαθιές θάλασσες όσο και σε ρηγά περιβάλλοντα, ενώ έχουν παρατηρηθεί ακόμα και σε ακραίες συνθήκες, όπως ο παγωμένος ωκεανός της Ανταρκτικής (Dieckman et al. 1991; Gazdzicki and Majewski 2003) (Εικ. 4), λίμνες (Lipps and Langer 1999) και βαθιά θαλάσσια υδροθερμικά πεδία (Jonasson et al. 1995).



Εικόνα 4. Σύγχρονα τρηματοφόρα που βρέθηκαν στον παγωμένο ωκεανό της Ανταρκτικής: α) βενθονικό τρηματοφόρο – *Portatrochammia antarctica*, β) πλαγκτονικό τρηματοφόρο – *Neogloboquadrina pachyderma* (Gazdzicki and Majewski 2003).

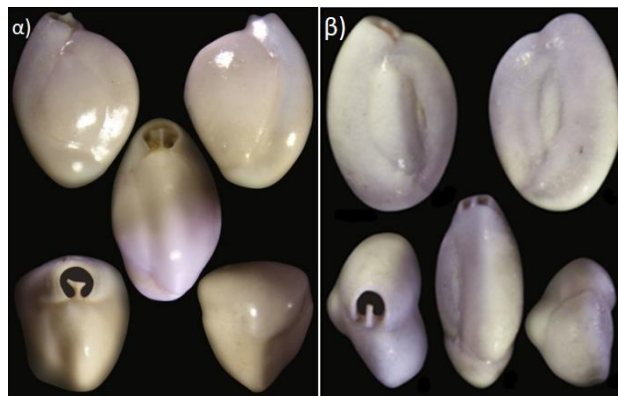
Είναι ετερότροφοι, μικρο-παμφάγοι οργανισμοί, ενώ πολλά είδη επωφελούνται από τη συνύπαρξή τους με ενδοσυμβιωτικούς αυτότροφους οργανισμούς (Anderson and Lee 1991; Hallock 2000; Lee 1998, 2006; Leutenegger 1984).

Ο ρόλος των τρηματοφόρων στους βιογεωχημικούς κύκλους του άνθρακα και του ασβεστίου στα ωκεάνια συστήματα είναι πολύ σημαντικός (Loubere and Fariduddin 1999) και μαζί με τα κοκκολιθοφόρα θεωρούνται οι κύριες ομάδες της βιογενούς ανθρακικής ιζηματογένεσης (Haynes

1981; Lee and Anderson 1991; Yanko et al. 1999). Σύμφωνα με τον Langer (2008), η συνεισφορά τους φτάνει το 25% του συνόλου των ανθρακικών ιζημάτων.

1.1.1 Κέλυφος

Το μέγεθος του κελύφους των τρηματοφόρων κυμαίνεται από 100 μm έως 20 cm (Larger Benthic Foraminifera, LBF) και μπορεί να είναι κατασκευασμένο από διαφορετικά υλικά (Loeblich and Tappan 1964). Η σύσταση του τοιχώματος του κελύφους μπορεί να είναι οργανική (organic wall), πυριτική (silica wall), αραγωνιτική (aragonitic wall), συμφυρματοπαγής (agglutinated wall), και ασβεστολιθική (calcareous wall). Η αναγνώριση και ταξινόμηση των ειδών των τρηματοφόρων επιτυγχάνεται βάσει της δομής του τοιχώματος, του σχήματος του κελύφους και των θαλάμων, και τα χαρακτηριστικά του στομίου (Εικ. 5) (Haq and Boersma 1998; Murray 2006; Scott et al. 2001).



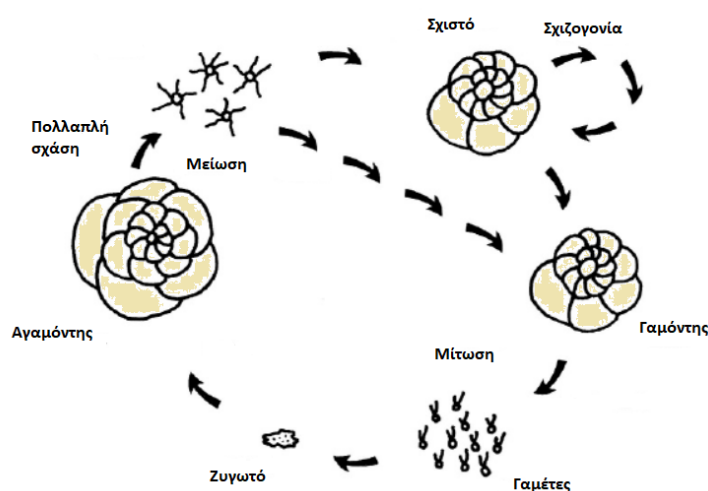
Εικόνα 5. Η αναγνώριση των βενθονικών τρηματοφόρων *Triloculina trigonula* (α) και *Quinqueloculina seminula* (β) επιτυγχάνεται βάσει του αριθμού των θαλάμων, το σχήμα του στομίου και του οδόντα (Lei and Li 2016).

Το κέλυφος μπορεί να χρησιμοποιείται επίσης και ως προστασία ενάντια σε δυσμενείς συνθήκες (Banner and Williams 1973; Bradshaw 1961; Haynes 1965), ως υποδοχή για τις απεκκρίσεις του μονοκύτταρου οργανισμού (Banner et al. 1973; Brasier 1986; Tendal 1979), για τον έλεγχο της πλευστότητας όπως και βοηθητικά στην αναπαραγωγή ή ανάπτυξη του κυττάρου (Mullineaux 1987). Ωστόσο, δεν υπάρχουν αποδείξεις για το αν το κέλυφος παρέχει κάποιου είδους προστασία απέναντι σε θηρευτές (Murray 2006).

1.1.2 Κύκλος ζωής

Ο κύκλος ζωής των τρηματοφόρων (Εικ. 6) χαρακτηρίζεται από ετεροφασική εναλλαγή αγενούς και εγγενούς αναπαραγωγής (Goldstein 1999; Lee et al. 1991) και μπορεί να κυμαίνεται από μερικούς μήνες έως μερικά χρόνια (Hallock 1985).

Κατά την αγενή και εγγενή αναπαραγωγή, τα κέλυφες των τρηματοφόρων που παράγονται παρουσιάζουν μορφολογική διαφοροποίηση (διμορφισμός). Στην αγενή αναπαραγωγή, ο αγαμόντης παράγει με πολλαπλή σχάση κύτταρα απλού γονιδιώματος και στη συνέχεια με μείωση τη γενεά του γαμόντη. Το κέλυφος του αγαμόντη έχει μικρή πρωτοκόγχη και σχετικά μεγάλη διάμετρο και αποτελεί τη μικροσφαιρική γενεά (B-form). Στην εγγενή αναπαραγωγή, ο γαμόντης παράγει με μίτωση τους γαμέτες και στη συνέχεια με σεξουαλική σύζευξη νέα γενεά αγαμόντη. Το κέλυφος του γαμόντη χαρακτηρίζεται από μεγάλη πρωτοκόγχη και σχετικά μικρή διάμετρο, το οποίο καλείται μακροσφαιρικό κέλυφος και αποτελεί τη μακροσφαιρική γενεά (A-form). Σε ορισμένα βενθονικά τρηματοφόρα υπάρχει και η περίπτωση του τριμορφισμού, όπου προστίθεται το σχιστό, το οποίο αποτελεί μακροσφαιρική μορφή που προέρχεται από τον αγαμόντη με πολλαπλή σχάση αλλά χωρίς μείωση (Goldstein 1999).



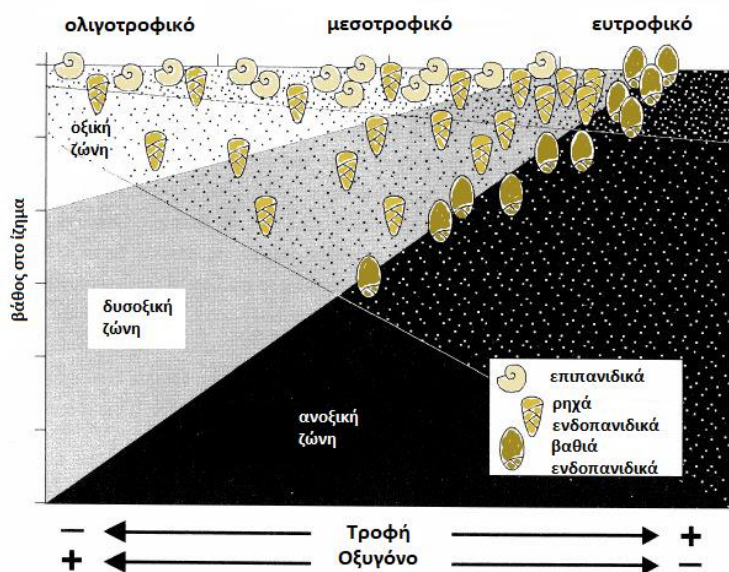
Εικόνα 6. Ο κύκλος ζωής των τρηματοφόρων (τροποποιημένη από Goldstein 1999).

Η εναλλαγή αγενούς και εγγενούς αναπαραγωγής είναι για κάποια είδη υποχρεωτική και για άλλα επιλεκτική. Σήμερα, είναι γνωστοί οι πλήρεις κύκλοι ζωής μόνο για 30 από τα πάνω από 10.000 γνωστά είδη σύγχρονων τρηματοφόρων. Γενικά, ο κύκλος ζωής των τρηματοφόρων ποικίλει περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο οργανισμό Πρωτόζωων (Goldstein 1999), ενώ μπορεί να επηρεαστεί από περιβαλλοντικές συνθήκες προκαλώντας διαφοροποιήσεις στον πληθυσμό ενός είδους (Goody and Alve 2001; Lee et al. 1991).

Οι Haq και Boersma (1978), παρατήρησαν πως η εγγενής αναπαραγωγή είναι μάλλον ένας δευτερογενής μηχανισμός αναπαραγωγής, ενώ η αγενής είναι ο πιο βασικός και πιο συχνός για την πλειοψηφία των ειδών των τρηματοφόρων. Ο πιο γρήγορος τρόπος αναπαραγωγής θεωρείται ο εγγενής και συμβαίνει είτε για να εκμεταλλευτεί ο οργανισμός ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες ή ενεργοποιείται ως αντίδραση στην ανάπτυξη δυσμενών συνθηκών, έτσι ώστε ο οργανισμός να επιβιώσει στο συγκεκριμένο περιβαλλοντικό καθεστώς (π.χ., Boltovskoy and Wright 1976). Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν απτές αποδείξεις για το λόγο ύπαρξης αυτής της εναλλαγής των γενεών ή για το πόσο συχνά συμβαίνει.

1.2 ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ

Τα βενθονικά τρηματοφόρα αποτελούν σημαντικό στοιχείο του θαλάσσιου ζωοβένθους και καταλαμβάνουν πολλά ενδιαίτηματα. Ο τρόπος ζωής τους χαρακτηρίζεται είτε ως επιπανιδικός (διαβιούν στην επιφάνεια του πυθμένα), είτε ως ενδοπανιδικός (διαβιούν μέσα στο ίζημα, έως 10 cm βάθος) (Corliss 1991; Goldstein et al. 1995; Murray 2006; Sturrock and Murray 1981) (Εικ 7).

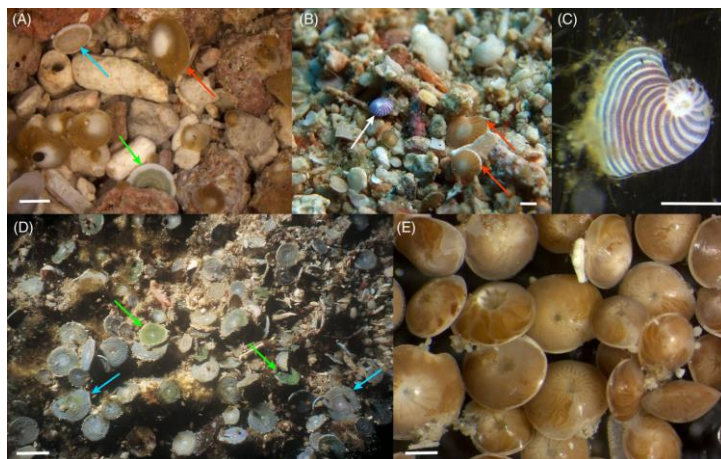


Εικόνα 7. Μοντέλο μικροπεριβάλλοντος στα βενθονικά τρηματοφόρα με την αλλαγή του βάθους στο ίζημα, σε σχέση με την παροχή τροφής και οξυγόνου (τροποποιημένο από de Stigter 1996; Jorissen et al. 1995).

Η μορφολογία και η φύση του κελύφους των βενθονικών τρηματοφόρων είναι ενδεικτική του περιβάλλοντος διαβίωσης (Hunt and Corliss 1993; Scott et al. 2001). Μορφές που φέρουν ανθρακικά κελύφη (CaCO_3), εξαρτώνται άμεσα από το αν το περιβάλλον συμβάλλει ή όχι στη διατήρηση αυτών των κελυφών (π.χ., Greiner 1970; McCrone and Schafer 1966). Τα

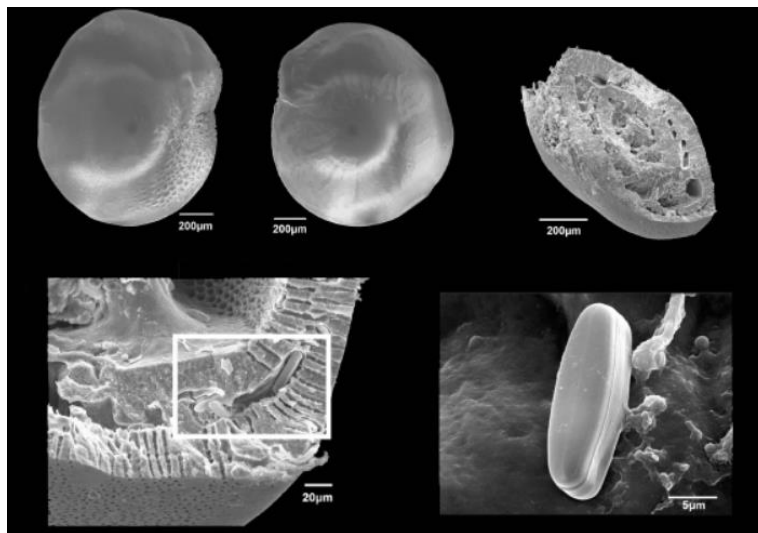
τρηματοφόρα που φέρουν συμφυρματοπαγή κελύφη, και θεωρούνται ως οι πιο πρωτόγονες μορφές, μπορούν να ζήσουν και σε ιζήματα όπου δεν είναι διαθέσιμο το ανθρακικό ασβέστιο, όπως σε περιοχές όπου οι χαμηλές αλατότητες, τα ψυχρά ύδατα ή το μεγάλο βάθος δεν επιτρέπουν εύκολα την καθίζησή του (Kaminski et al. 1995; Scott et al. 2001). Σε περιβάλλοντα όπου η αλατότητα και οι θερμοκρασίες είναι αυξημένες τα συμφυρματοπαγή κελύφη αντικαθίστανται από ανθρακικές μορφές (Greiner 1970), εκτός αν το pH μειώνεται λόγω χαμηλού οξυγόνου ή μεγάλης συγκέντρωσης οργανικών υλικών. Οι συνθήκες αυτές συναντώνται συνήθως σε παράκτια ρυπασμένα περιβάλλοντα (π.χ., Bernhard et al. 1997; Schafer 1973; Schafer et al. 1975; Sen Gupta et al. 1996; Vilks et al. 1975). Επίσης, παρατηρήσεις σε άτομα τρηματοφόρων έδειξαν πως φέρουν παχύτερο κέλυφος όταν βρίσκονται σε περιβάλλοντα υψηλής ενέργειας από ότι σε περιβάλλοντα χαμηλής ενέργειας (Murray 2006), όπως αντίστοιχα σε συνθήκες υψηλής αλατότητας φέρουν μεγαλύτερα και παχύτερα κελύφη (Carboni et al. 2002; Koukousioura et al. 2012; Melis and Violanti 2006; Murray 1991; Triantaphyllou et al. 2018).

Τα βενθονικά τρηματοφόρα είναι παμφάγοι οργανισμοί, που τρέφονται συνήθως με φυτοζωοπλαγκτόν, βακτήρια, μικρά ασπόνδυλα και οργανικά μόρια, αλλά σε κάθε περιβάλλον διαβίωσης υιοθετούνται και άλλες διατροφικές συνήθειες (Anderson et al. 1991; Arnold 1974; Bernhard and Bowser 1992; Goldstein 1999; Lee 1980; Lee et al. 1966; Lipps 1983). Επίσης, ένας αριθμός βενθονικών τρηματοφόρων ανήκουν σε αυτά που φιλοξενούν ενδοσυμβιωτικούς αυτότροφους οργανισμούς, όπως φύκη, διάτομα κλπ., όπως προαναφέρθηκε (Εικ. 8).



Εικόνα 8. Είδη από μεγάλα βενθονικά τρηματοφόρα που φέρουν ενδοσυμβιώτες. A) βενθονικά τρηματοφόρα, νήσος Heron, Αυστραλία (scale bar=0,5cm), B) *Dendritina* sp. (άσπρο βέλος), *Operculina* και *Nummulites* (κόκκινο βέλος), Ινδονησία (scale bar=1 cm), C) *Peneroplis planatus*, νήσος Lizard, Αυστραλία (scale bar=250μm), D) *Amphisorus* sp., Φιλιππίνες (scale bar=1mm), E) *Amphistegina lobifera* και *A. lessonii*, Αυστραλία (scale bar=0,5 mm) (Prazeres and Renema 2018).

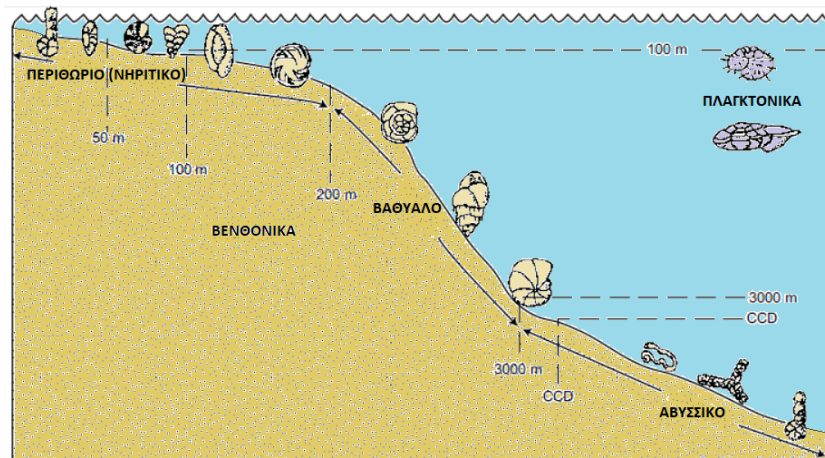
Ένα παράδειγμα από τον χώρο του Αιγαίου είναι το είδος *Amphistegina lobifera* (Koukousioura et al. 2010a,b, 2011; Triantaphyllou et al. 2009, 2012) (Εικ. 9). Η συμβίωση αυτή έχει θετικά αποτελέσματα τόσο για τα τρηματοφόρα, καθώς λαμβάνουν τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης για ενέργεια αλλά και για την ασβεστοποίηση του κελύφους τους, όσο και για τους συμβιώτες, αφού τα τρηματοφόρα τους παρέχουν προστασία (Hallock 1999).



Εικόνα 9. Το είδος *Amphistegina lobifera* στο οποίο παρατηρούνται τα διάτομα με τα οποία συμβιώνει (Triantaphyllou et al. 2009).

Τα βενθονικά τρηματοφόρα έχουν παγκόσμια γεωγραφική κατανομή (Gooday 2002; Todo et al. 2005), η οποία εξαρτάται από μια σειρά περιβαλλοντικών και ιζηματολογικών συνθηκών, όπως η αλατότητα, η θερμοκρασία, η ποιότητα της υδάτινης μάζας, ο τύπος του υπεδάφους, τα θρεπτικά, τα επίπεδα του φωτός, η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, κλπ. (Boltonskoy et al. 1980). Η ποικιλότητα του πληθυσμού των τρηματοφόρων αυξάνεται συνήθως όσο το περιβάλλον είναι πιο σταθερό (ωκεάνια και θερμότερα ύδατα) (Scott et al. 2001), αλλά και σε υφαλώδη περιβάλλοντα, τα οποία θεωρούνται αντίστοιχα των τροπικών δασών (Boltonskoy and Wright 1976; Haynes 1981; Murray 1991). Υπάρχουν πλέον πολλά διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με τις κατανομές των βενθονικών τρηματοφόρων, αλλά και μεγαλύτερη κατανόηση των παραγόντων που τις ελέγχουν (Murray 2006). Ανάλογα με το βάθος διαβίωσης (Εικ. 10) οι κύριοι παράγοντες ελέγχου μπορεί να είναι η θερμοκρασία (ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος), η αλατότητα, το επίπεδο ενέργειας (κυματική δράση και ρεύματα), το διαθέσιμο οξυγόνο, το υπόστρωμα και η διαθεσιμότητα τροφής και στις αβυσσικές περιοχές η διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου (Murray 2006). Βέβαια, οι παραπάνω παράγοντες αλληλεξαρτώνται και δρουν από κοινού στα

τρηματοφόρα. Έτσι είναι δύσκολο να διευκρινιστεί ποιος παράγοντας είναι υπεύθυνος κάθε φορά (Boltovskoy et al. 1980).



Εικόνα 10. Αντιπροσωπευτικοί τύποι τρηματοφόρων σε σχέση με το βάθος. Δεδομένα βάθους από Bandy (1953), Brasier (1980) και Schroder et al. (1988) (Tosk 1988).

Τα τρηματοφόρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία σε διάφορα πεδία λόγω της ευρείας κατανομής τους τόσο στο χώρο όσο και στο γεωλογικό χρόνο. Στα πεδία αυτά περιλαμβάνεται η στρωματογραφία ακολουθιών-βιοστρωματογραφία, η ερμηνεία της παλαιοοικολογίας και παλαιοωκεανογραφίας, η παρακολούθηση και ερμηνεία αλλαγών του περιβάλλοντος, όπως στάθμη της θάλασσας, κλίμα κλπ. (π.χ. Koukousioura et al. 2012; Triantaphyllou et al. 2010).

1.3 ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ ΩΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Τα βενθονικά τρηματοφόρα είναι εξαιρετικά χρήσιμα ως περιβαλλοντικοί δείκτες, εξαιτίας της μεγάλης ποικιλότητας, αφθονίας και εξάπλωσης, καθώς καταλαμβάνουν κάθε είδους θαλάσσιο περιβάλλον (Buzas 1978; Scott et al. 2001; Yanko et al. 1999). Επίσης, τα κελύφη τους διατηρούνται εύκολα (Alve 1995; Yanko et al. 1999), σε συνδυασμό με τους μικρούς αναπαραγωγικούς κύκλους (6-12 μήνες, Boltovskoy 1964) και τη γρήγορη ανάπτυξή τους (Walton 1964), τα καθιστούν ιδιαίτερα ικανά στην καταγραφή των περιβαλλοντικών αλλαγών (Murray 1991; Yanko et al. 1999).

Η μελέτη των σύγχρονων τρηματοφόρων έχει ξεκινήσει ήδη από τον 17^ο αιώνα, όπου τα κελύφη τους παρατηρήθηκαν σε παράκτιες άμμους (Cifelli 1990). Η πρώτη απεικόνιση ενός τρηματοφόρου έγινε από τον Robert Hooke το 1665 (Εικ. 11). Υπάρχουν και άλλες αναφορές όπως από τον van Leeuwenhoek, ο οποίος περιέγραψε το 1700 το κέλυφος των τρηματοφόρων ως

«όχι πιο μεγάλο από έναν κόκκο άμμου» και ως «πολύ μικρά σπειροειδή κελύφη», τα οποία εξαιτίας της κυκλικότητάς τους, τα ονόμασε μικρούς κοχλίες (Dobell 1932).

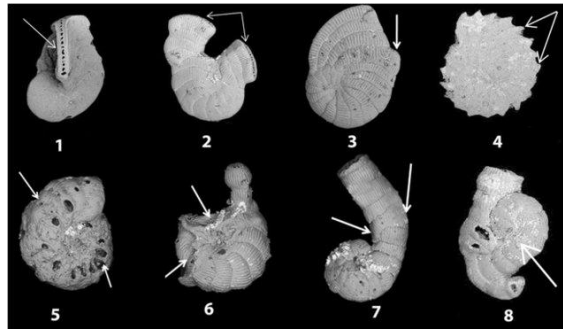


Εικόνα 11. Η πρώτη απεικόνιση τρηματοφόρου από τον Hooke (1665), ο οποίος το χαρακτήρισε ως ένα μικρό «Οστρακόδερμο» (small Shellfish).

Αργότερα, το 1826 ο d'Orbigny περιέγραψε 68 γένη και υπολόγισε ότι υπάρχουν 1.000 είδη σύγχρονων τρηματοφόρων, ενώ αργότερα οι Loeblich and Tappan (1987) περιέγραψαν 878 γένη σύγχρονων τρηματοφόρων. Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα διατυπώθηκε η υπόθεση πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες για τον τύπο του νερού και την κίνησή του, ενώ η πρώτη μελέτη των τρηματοφόρων ως υδρολογικοί δείκτες έγινε από τον Boltovskoy (1959 a,b).

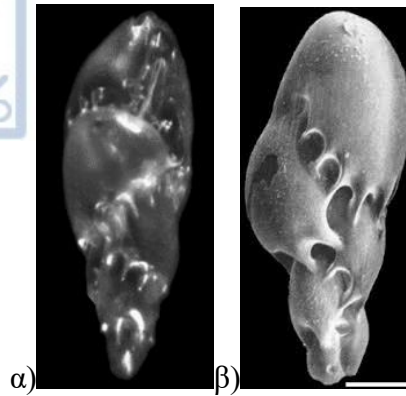
Μελέτες για τις επιπτώσεις της ρύπανσης στην κατανομή των βενθονικών τρηματοφόρων και την πιθανή χρήση τους ως δείκτες, ξεκίνησαν στις αρχές της δεκαετίας του 60 από τους Resig (1960) και Watkins (1961) και συνεχίζονται μέχρι σήμερα (π.χ., Barras et al. 2014; Carnahan et al. 2009; Coccioni et al. 2009; Debenay and Fernandez 2009; Frontalini and Coccioni 2008; Murray 2006; Murray and Alve 2002). Πολλές έρευνες έχουν εστιάσει στην απόκριση των τρηματοφόρων στη ρύπανση από απορροές οικιακών ή βιομηχανικών λυμάτων (Koukousioura et al. 2011; Nagy and Alve 1987; Schafer 1973; Schafer et al. 1991; Seiglie 1968), λόγω θερμικής δραστηριότητας (π.χ., Buckley et al. 1974; Schafer 1970, 1973), αλλά και από βαρέα μέταλλα και ιχνοστοιχεία (Alve 1991, 1995; Armynot du Chatelet et al. 2004; Coccioni 2000; Coccioni and Marsili 2005; Coccioni et al. 2003, 2005; Elberling et al. 2003; Ferraro et al. 2006; Geslin et al. 2000, 2002; Samir 2000; Samir and El-Din 2001; Sharifi et al. 1991; Stouff et al. 1999; Yanko et al. 1994, 1998, 1999).

Ορισμένα είδη τρηματοφόρων αντιδρούν σε αλλαγές συγκεκριμένων περιβαλλοντικών μεταβλητών (Fursenko 1978), κυρίως με τοπικές εξαφανίσεις, αλλαγές στις αφθονίες και στην ποικιλότητα των συναθροίσεων, με νανισμό αλλά και με ανάπτυξη δυσμορφιών στο κέλυφος (π.χ., Alve 1991, 1995; Bergin et al. 2006; Coccioni et al. 2009; Geslin et al. 1998; Yanko et al. 1994) (Εικ. 12).



Εικόνα 12. Είδη τρηματοφόρων τα οποία παρουσιάζουν δυσμορφίες στα κελύφη τους λόγω ρύπανσης. 1-3) *Peneroplis planatus*, 4) *Peneroplis proteus*, 5) *Peneroplis pertusus*, 6-8) *Coscinospira hemprichii* (El-Kahawy et al. 2018).

Κατά τον Boltovskoy et al. (1991) αυτές οι αλλαγές συνδέονται με έναν αριθμό περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως αλλαγές στην αλατότητα και τη θερμοκρασία, έλλειψη ή υπεραφθονία τροφής, χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο και ρύπανση των θαλάσσιων περιβαλλόντων. Παρόλα αυτά τα τρηματοφόρα είναι από τους οργανισμούς που εξαφανίζονται τελευταίοι σε έντονα ρυπασμένες περιοχές (π.χ., βιομηχανική ρύπανση) (Schafer et al. 1975; Scott et al. 1997), και μπορούν να ευδοκιμήσουν σε ζώνες μετάβασης που δεν υπάρχουν πολλά είδη θαλάσσιων οργανισμών (Schafer 1973). Επίσης, είδη τα οποία είναι άφθονα σε ρυπασμένες περιοχές είναι πιθανά και ανθεκτικά στους ρύπους και χαρακτηρίζονται ως καιροσκοπικά (Εικ. 13). Ακόμα όμως και αυτά τα είδη μπορεί να παρουσιάσουν αλλοιώσεις λόγω της επίδρασης των ρύπων (Bresler and Yanko 1995; Yanko et al. 1998). Αντίθετα, τα ευαίσθητα είδη συνήθως απουσιάζουν από την περιοχή. Σύμφωνα με την Alve (1995), τα επικρατέστερα ανθεκτικά ή καιροσκοπικά είδη φαίνεται ότι εξαρτώνται από τις τοπικές υδρογραφικές συνθήκες και όχι τόσο από το είδος των λυμάτων. Γενικά, κοντά στην πηγή της ρύπανσης επικρατεί μικρή ποικιλότητα και μεγάλη επικράτηση ανθεκτικών ή καιροσκοπικών ειδών.



Εικόνα 13. Το είδος *Virgulina fragilis* που θεωρείται ένα ανθεκτικό είδος (α) Leiter 2008, β) marinespecies.org.

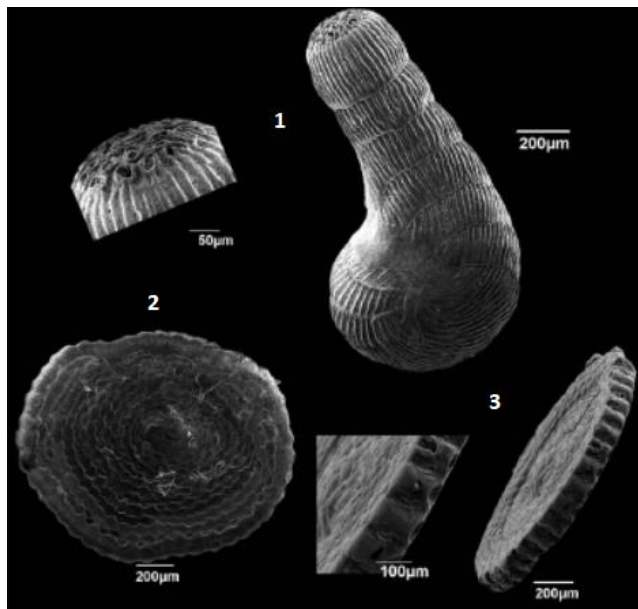
Η αύξηση του πληθυσμού, και κατά συνέπεια η αύξηση των οικιακών, αστικών, βιομηχανικών, γεωργικών και ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων (Norse 1993), η ιζηματογένεση λόγω αποψίλωσης και οι αλλαγές στο υδρογραφικό καθεστώς (Carnahan et al. 2009) θεωρούνται από τις κυριότερες αιτίες ρύπανσης εξαιτίας της ανθρωπογενούς δραστηριότητας. Η ρύπανση αυτή έχει σοβαρό αντίκτυπο στο περιβάλλον με εμφάνιση ασθενειών στα φυτά και στα ζώα (Lamb et al. 1991), εξαφανίσεις ειδών (Vermeij 1993), καταστροφή ολόκληρων οικοσυστημάτων (Nee and May 1992) και επιπλοκές στην ανθρώπινη υγεία (Yanko et al. 1999). Το θαλάσσιο περιβάλλον που είναι ο τελικός αποδέκτης όλων των χερσαίων απορροών επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη ρύπανση (Alve 1995; Yanko et al. 1999). Επιπρόσθετα, ο ευτροφισμός, η τροποποίηση/καταστροφή των ενδιαιτημάτων, οι υδατοκαλλιέργειες καθώς και η εισβολή ξενικών ειδών αποτελούν πολύ σημαντικά προβλήματα των παράκτιων περιοχών (Murray 2006). Έτσι, η παρακολούθηση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων είναι ένα καίριο και μείζον ζήτημα με αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να εφαρμόζονται καινούριες, γρήγορες και οικονομικές μέθοδοι για αυτόν τον σκοπό, βασισμένες σε βιοδείκτες (Οδηγία πλαίσιο 2000/60/AC, WFD-Water Framework Directive).

Τις τελευταίες δεκαετίες, λοιπόν, έχουν δημιουργηθεί διάφοροι βιοδείκτες για την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας ενός περιβάλλοντος, οι οποίοι βασίζονται στα βενθονικά τρηματοφόρα, όπως ο Foram Index (FI) των Hallock et al. (2003), Foram Stress Index (FSI) των Dimiza et al. (2016a), Foram AMBI των Alve et al. (2016), *Ammonia-Elphidium* index των Sen Gupta et al. (1996) και Foraminiferal Abnormality Index και Foraminiferal Monitoring Index (FAI και FMI) των Coccioni et al. (2003, 2005).

1.4 ΜΕΛΕΤΕΣ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

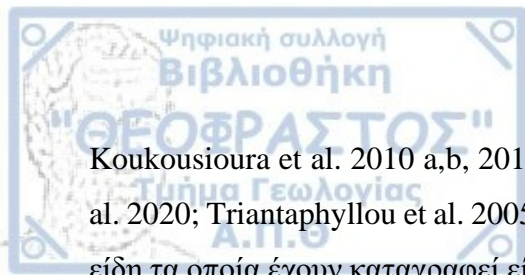
Οι μελέτες για την κατανομή των βενθονικών τρηματοφόρων στη Μεσόγειο ξεκίνησαν με τους Jones and Parker το 1860, οι οποίοι μελέτησαν τόσο απολιθωμένα όσο και σύγχρονα είδη. Οι Parker (1958), Todd (1958), Blanc-Vernet (1969) και Colom (1974), ήταν οι πρώτοι που διεξήγαγαν ποιοτικές μελέτες σε σύγχρονα τρηματοφόρα. Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα στον τομέα αυτό έχει επεκταθεί αρκετά (π.χ., Barmawidjaja et al. 1992; Bizon and Bizon 1984; Cimerman and Langer 1991; Cita and Zocchi 1978; Jorissen et al. 1992; Langer et al. 1998; Parisi 1981; Schmiedl et al. 2000; Sgarella and Moncharmont-Zei 1993), και ιδιαίτερα οι μελέτες για τη χρήση των βενθονικών τρηματοφόρων ως περιβαλλοντικοί δείκτες (π.χ., Coccioni et al. 2009; Frontalini and Coccioni 2008; Samir 2000), με πολλά παραδείγματα και από τον χώρο του Αιγαίου (π.χ., Bergin et al. 2006; Debenay et al. 2005; Dimiza et al. 2016a, b, 2019; Koukousioura et al. 2011; Triantaphyllou et al. 2005, 2010; Weinmann et al. 2019).

Επίσης, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν καταγραφεί πολλά ξενικά είδη τρηματοφόρων στη Μεσόγειο, συμβάλλοντας στη διαφοροποίηση της σύνθεσης της βιοποικιλότητας των σύγχρονων συναθροίσεων στα παράκτια οικοσυστήματα (Cimerman and Langer 1991; Sgarella and Moncharmont-Zei 1993) (Εικ. 14).



Εικόνα 14. Ξενικά είδη τρηματοφόρων στον χώρο του Αιγαίου. 1) *Coscinospira hemprichii*, Ehrenberg, 2-3) *Sorites orbiculus* Forskal (Koukousioura et al. 2010a).

Τα είδη αυτά αποκαλούνται Λεσσεψιανά και έχουν εισβάλλει πρόσφατα στα παράκτια οικοσυστήματα της ανατολικής Μεσογείου μέσω της διώρυγας του Σουέζ (Hyams et al. 2002;

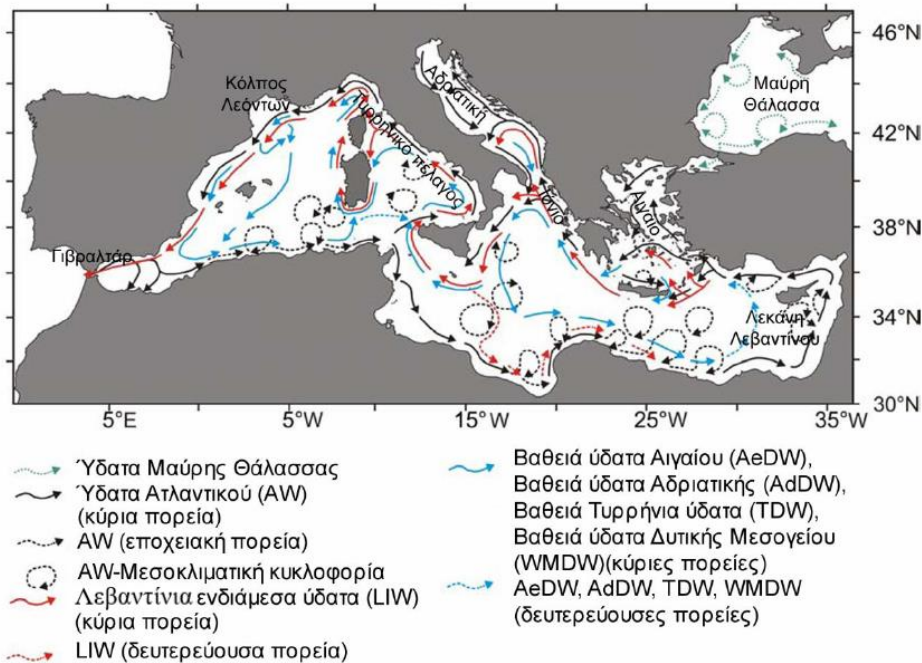


Koukousioura et al. 2010 a,b, 2011; Langer and Hottinger 2000; Meriç et al. 2010; Stulpinaite et al. 2020; Triantaphyllou et al. 2005, 2009, 2012). Συγκεκριμένα, στον χώρο του Αιγαίου τα ξενικά είδη τα οποία έχουν καταγραφεί είναι τα *Amphistegina lobifera* Larsen, *Sorites orbiculus* Forskal, *Coscinospira hemprichii* Ehrenberg, *Cymbaloporetta plana* Cushman, *Planogypsina acervalis* Brady και *Triloculina fichteliana* d' Origny (Koukousioura et al. 2010a, b, 2011; Triantaphyllou et al. 2005, 2009, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

Η Μεσόγειος θεωρείται μια ημί-κλειστη θάλασσα που βρίσκεται ανάμεσα στην Ευρώπη και την Αφρική και χωρίζεται σε δυο υπολεκάνες στα στενά της Σικελίας, την ανατολική και τη δυτική. Επικοινωνεί με τον Ατλαντικό ωκεανό μέσω των στενών του Γιβραλτάρ και με την Ερυθρά θάλασσα μέσω της διώρυγας του Σουέζ. Το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και από δροσερούς και υγρούς χειμώνες.



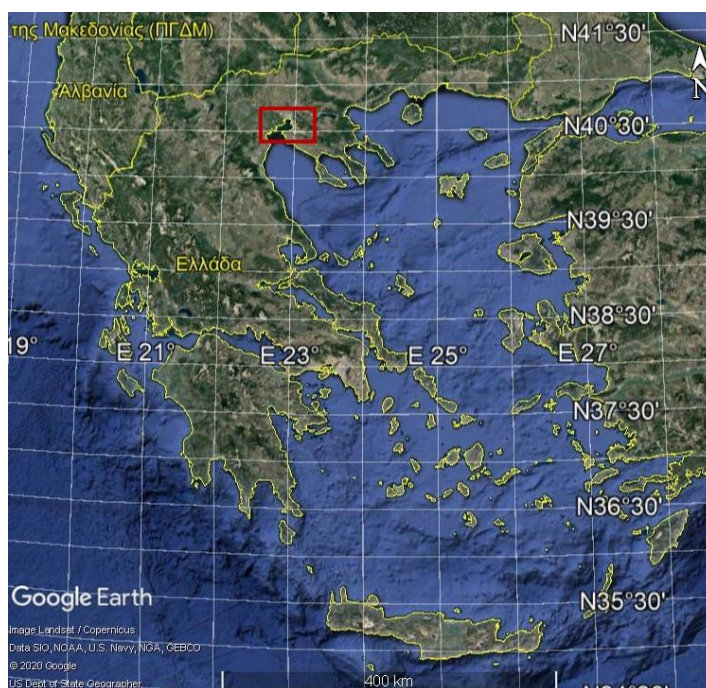
Εικόνα 15. Γενική κυκλοφορία των θαλάσσιων μαζών της Μεσογείου (από Κουκουσιούρα 2012 τροποποιημένο από Millot and Taupier-Letage 2005).

Οι υδάτινες μάζες της Μεσογείου χωρίζονται σε τέσσερις βάσει του βάθους. Τα εισερχόμενα ύδατα του Ατλαντικού (Atlantic Water, AW) αποτελούν τα επιφανειακά ύδατα και φτάνουν σε βάθος ~75-150 m (Masque et al. 2003; Rixen et al. 2005; Robinson et al. 2001). Η επόμενη υδάτινη μάζα αποτελείται από τα Λεβαντίνια ενδιάμεσα ύδατα (Levantine Intermediate Water, LIW) στα ~150-600 m βάθος, τα οποία αναπτύσσονται στην ανατολική Μεσόγειο (Robinson et al. 2001; Wüst 1961). Βαθύτερα από τα 600 m, υπάρχουν τα βαθειά ύδατα της δυτικής Μεσογείου (Western

Mediterranean Deep Water, WMDW), στον κόλπο των Λεόντων (Μασσαλία), και τα βαθειά ύδατα της ανατολικής Μεσογείου (Eastern Mediterranean Deep Water, EMDW) στη νότια Αδριατική και στο Αιγαίο (Millot and Taupier-Letage 2005; Robinson et al. 2001) (Εικ. 15).

Η Μεσόγειος θάλασσα και ιδιαίτερα η ανατολική λεκάνη της θεωρείται ως μια από τις μεγαλύτερες ολιγοτροφικές περιοχές παγκοσμίως (Berland et al. 1988; Berman et al. 1984; Psarra et al. 2000; Yacobi et al. 1995).

2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ



Εικόνα 16. Χάρτης της περιοχής του Αιγαίου πελάγους (στο κόκκινο πλαίσιο η περιοχή μελέτης-Θερμαϊκός κόλπος) (Google Earth Pro).

Το Αιγαίο πέλαγος (Εικ. 16), το οποίο βρίσκεται στη βορειοανατολική περιοχή της Μεσογείου, αποτελεί μια ρηγή ηπειρωτική λεκάνη, λειτουργεί δηλαδή σαν μια οπισθολεκάνη. Στην περιοχή τόσο του Αιγαίου όσο και του ηπειρωτικού χώρου ασκούνται εφελκυστικές τάσεις διευθύνσεως Β-Ν και λειτουργούν ρήγματα κανονικά και ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης. Αυτές οι τάσεις έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία λεκανών και τεκτονικών τάφρων (Anastasakis and Dermizakis 1986; Paranikolaou et al. 2002) κατά το ανώτερο Τεταρτογενές. Μια νέα επίκλυση της θάλασσας πραγματοποιήθηκε λόγω των καταβυθίσεων και προκλήθηκαν μεγάλης κλίμακας ευστατικές κινήσεις, οι οποίες δημιουργήθηκαν από την περιοδική δράση μεγάλων παγετωδών καλυμμάτων που οδήγησαν σε αυξομειώσεις της στάθμης της θάλασσας. Ο συνδυασμός αυτών

των διεργασιών μαζί με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες διαμορφώνουν τις πρόσφατες αλλαγές της στάθμης της θάλασσας στον χώρο του Αιγαίου.

Στο Αιγαίο η εξάτμιση είναι έντονη, με συνέπεια οι τιμές της αλατότητας να είναι αυξημένες και το κλίμα που επικρατεί χαρακτηρίζεται ως μεσογειακού τύπου. Παρά τις υψηλές τιμές αλατότητας, η περιοχή επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από εισροές γλυκού νερού από ποτάμια, αλλά και από εποχιακές εισροές επιφανειακών υδάτων από τη Μαύρη Θάλασσα μέσω των στενών των Δαρδανελίων (Poulos et al. 1997). Η μέγιστη επιφανειακή θερμοκρασία μέσα στο έτος (Sea Surface Temperature) ($SST > 24^{\circ}\text{C}$) εμφανίζεται κατά τον Αύγουστο/Σεπτέμβριο, ενώ η ελάχιστη ($SST < 13^{\circ}\text{C}$) τους χειμερινούς μήνες (Poulos et al. 1997; Triantaphyllou et al. 2004). Οι τιμές της αλατότητας στην επιφάνεια της θάλασσας (Sea Surface Salinity- SSS) διαφέρει μέσα στο έτος με τιμές που κυμαίνονται κάτω των 31,0 psu έως και άνω των 39,0 psu (Poulos et al. 1997).

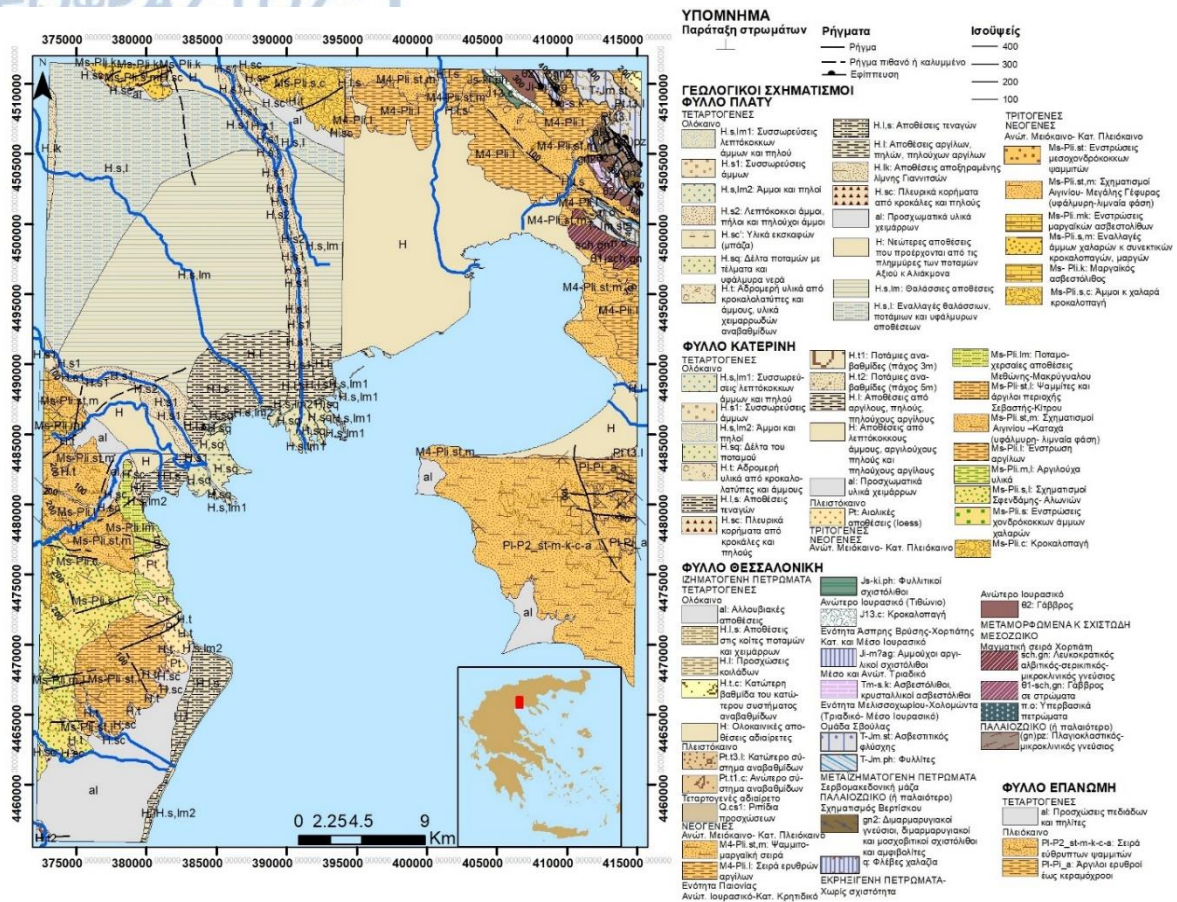
Η φυσική ωκεανογραφία του Αιγαίου σχετίζεται με θερμόαλα χαρακτηριστικά, αλλά και με το γεωγραφικό καθεστώς των νησιών, την ανώμαλη τοπογραφία του πυθμένα και τις αλλαγές στις κλιματολογικές συνθήκες (Poulos et al. 1997). Η επιφανειακή κυκλοφορία των υδάτων κατά τους θερινούς μήνες γίνεται με κατεύθυνση προς τα νότια και κυριαρχούν τα μελέμια (δυνατοί, ξηροί, βόρειοι άνεμοι που πνέουν από τα μέσα Μαΐου μέχρι τα μέσα Σεπτέμβρη) (Poulos et al. 1997). Τους χειμερινούς μήνες δυνατοί, ψυχροί και ξηροί βόρειοι άνεμοι πνέουν μέσα από τις κοιλάδες του Αξιού, Στρυμόνα και Έβρου με κατεύθυνση το Αιγαίο πέλαγος (Theocharis and Georgopoulos 1993).

2.3 ΘΕΡΜΑΪΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ

Η κοιλάδα της Θεσσαλονίκης είναι η περιοχή με το μεγαλύτερο δελταϊκό συγκρότημα στην Ελλάδα και βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του Θερμαϊκού κόλπου. Περιβάλλεται στα δυτικά από το όρος Βέρμιο (Μεσοζωϊκοί ασβεστόλιθοι), στα βόρεια από το όρος Πάικο, στα ανατολικά από το όρος Χορτιάτη και στα νότια από τους Νεογενείς λόφους της Πιερίας. Η συνολική έκταση της λεκάνης αποστράγγισης των ποταμών Αξιού, Αλιάκμονα, Γαλλικού και Λουδία είναι περίπου 35.000 km² (Ghilardi et al. 2008a).

2.3.1 Γεωλογία της περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή γύρω από τον Θερμαϊκό κόλπο ανήκει γεωλογικά στο μεγαλύτερο μέρος της στη ζώνη Αξιού, καθώς και ένα μικρό τμήμα της στα ανατολικά, στην Περιφοδοπική ζώνη (Εικ. 17).



Εικόνα 17. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Θερμαϊκού κόλπου (ψηφιοποιημένο από τα φύλλα χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε. 1978, 1986a,b; Ι.Γ.Ε.Υ. 1969).

Η ζώνη Αξιού καθορίστηκε αρχικά από τον Kossmat (1924) σαν μια ζώνη ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης και πλάτους 30-70 km. Ο Osswald (1938) ήταν ο πρώτος βασικός ερευνητής της ζώνης, ο οποίος και υποστήριξε ότι η ζώνη Αξιού λειτούργησε κατά το Μεσοζωικό ως γεωσύγκλινο που διαμορφώθηκε στο Περμοτριάδικό. Χαρακτηριστικά της ζώνης Αξιού είναι οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες και η παρουσία συνεχών τεκτονικών λεπιών. Οι οφειολιθικές μάζες έχουν εξάπλωση σε όλο το χώρο της και συνιστούν στο σύνολό τους την «εσωτερική οφειολιθική λωρίδα» της Ελλάδας γνωστή με το όνομα 'ΙΡΟ', ενώ καθορίζουν και τη γεωτεκτονική θέση της ζώνης Αξιού σαν τον παλιό ωκεάνιο χώρο με ωκεάνιο φλοιό και ιζηματα βαθιάς θάλασσας στη διάρκεια του Μεσοζωικού. Κατά το Τριτογενές λειτούργησε στην περιοχή της σημερινής κοιλάδας του Αξιού ποταμού η ομώνυμη μολασσική αύλακα. Οι εμφανίσεις της εντοπίζονται στο γεωλογικό χώρο της Παιονίας. Η ιζηματογένεση της «Τριτογενούς αύλακας Αξιού» ήταν πολυφασική, μολασσική, δηλαδή θαλάσσια, λιμναία, χερσαία. Αποτελείται από ψαμμίτες, μάργες, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή και ασβεστόλιθους ηλικίας Ανώτερου Ηωκαίνου- Ολιγοκαίνου- Άνω Μειοκαίνου. Το μεγαλύτερο μέρος της μολάσσας καλύπτεται σήμερα από τις χερσαίες Νεογενείς

και Τεταρτογενείς αποθέσεις της κοιλάδας του Αξιού και της ευρύτερης πεδιάδας της Θεσσαλονίκης. Με γεωτρήσεις πετρελαίου που έγιναν στην Επανομή της Θεσσαλονίκης και στο θαλάσσιο χώρο του κόλπου του Θερμαϊκού εντοπίστηκαν σε μεγάλο πάχος τα μολασσικά αυτά ιζήματα (Μουντράκης 2010)

Με βάση τα αλπικά ιζήματα, η ζώνη του Αξιού διαιρείται σε τρεις υποζώνες, στην «Αύλακα Παιονίας», στο «Υβωμα Πάικου» και στην «Αύλακα Αλμωπίας» (Mercier 1966). Το βασικό κριτήριο διαίρεσης είναι το γεγονός ότι στο Πάικο παρατηρείται μια νηριτική ασβεστολιθική σειρά ηλικίας Ιουρασικού, η οποία δείχνει ότι η περιοχή αυτή ήταν υποθαλάσσια ράχη (ύβωμα) με σχετικά ρηχή θάλασσα, ενώ στην Παιονία και Αλμωπία τα αντίστοιχα ιζήματα Ιουρασικού είναι βαθιάς θάλασσας, αργιλικά και κερατολιθικά.

Το προαλπικό υπόβαθρο του συνόλου της ζώνης Αξιού περιλαμβάνει αρκετές εμφανίσεις μεταμορφωμένων πετρωμάτων, συχνά συμπτυχωμένων με αλπικά ιζήματα, η τεκτονική θέση των οποίων δείχνει πολλές φορές με βεβαιότητα ότι αντιπροσωπεύουν Παλαιοζωικά (προαλπικά) πετρώματα. Τα πετρώματα αυτά είναι γενεύσιοι, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, χαλαζιακοί-χωριτικοί σχιστόλιθοι καθώς και μικρογρανιτικές και πηγματιτικές παρεμβολές. Το υπόβαθρο αυτό εμφανίζεται στα βουνά τα οποία περιβάλλουν την πόλη της Θεσσαλονίκης (Raptakis and Makra 2010). Στις εμφανίσεις αυτές συμπεριλαμβάνεται και ο σχηματισμός του Βερτίσκου, ο οποίος ανήκει στη Σερβομακεδονική μάζα.

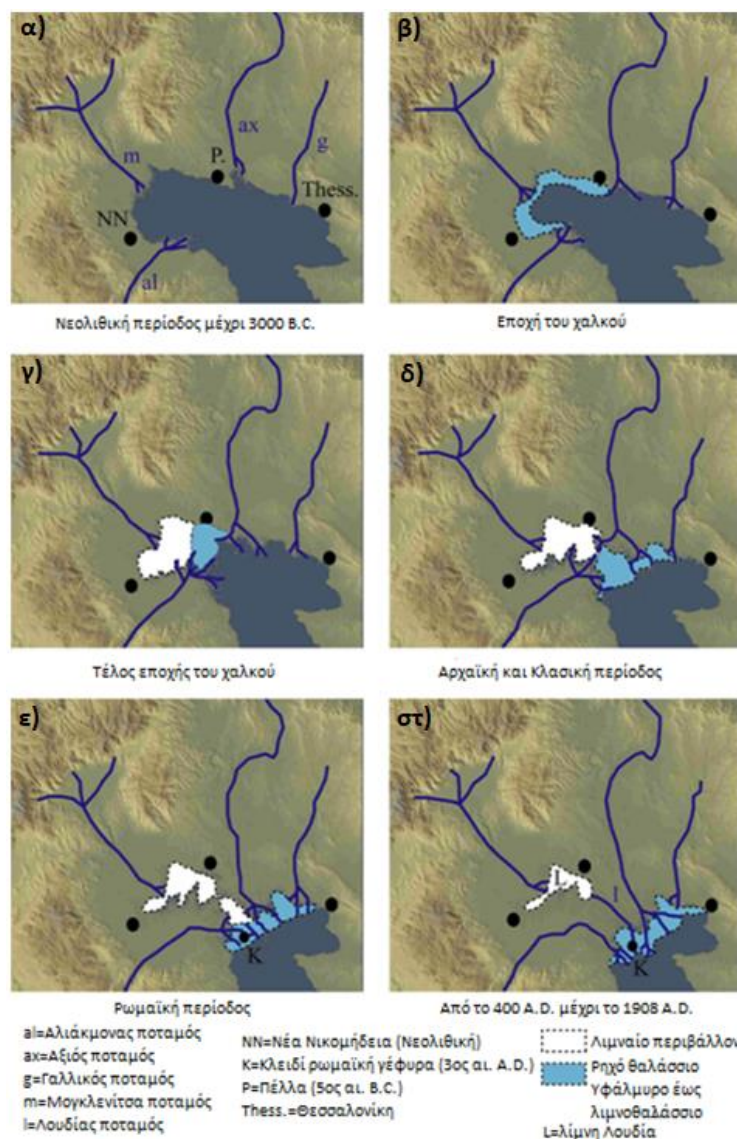
Η Περιοδοπική ζώνη είναι η πιο εσωτερική ζώνη των Ελληνίδων και καθιερώθηκε ως η ζώνη που περιβάλλει τις παλιές κρυσταλλικές μάζες Ροδόπης-Σερβομακεδονικής (Kauffmann et al. 1976). Βρίσκεται ανάμεσα στην Ελληνική Ενδοχώρα που αντιπροσωπεύει παλιό ηπειρωτικό τέμαχος και την ζώνη Αξιού που αντιπροσωπεύει παλιό ωκεάνιο χώρο, γι' αυτό και αντιπροσωπεύει τα ιζήματα που αποτέθηκαν πάνω στην κατωφέρεια της Ελληνικής Ενδοχώρας (Chatzidimitriadis and Kiliadis 1984) μέχρι και τα ιζήματα μετάβασης προς τον ωκεάνιο χώρο του Αξιού.

Οι Νεογενείς-Τεταρτογενείς αποθέσεις που καλύπτουν την παράκτια περιοχή γύρω από τον Θερμαϊκό κόλπο, σύμφωνα με τους Rozos et al. (2004) αποτελούνται από θαλάσσια και λιμναία ιζήματα που έχουν μεγάλο πάχος, το οποίο φτάνει τα 600-700 m κοντά στην ακτή. Τα ανώτερα στρώματα, που είναι χαλαροί λιμνοθαλάσσιοι ή δελταϊκοί σχηματισμοί, διαχωρίζονται σε τρεις ορίζοντες, με εναλλαγές στις διευθύνσεις τόσο οριζόντια όσο και κάθετα, κάτι που υποδεικνύει μια αρκετά πολύπλοκη δομή. Ο ένας ορίζοντας αποτελείται από ιλυώδη άμμο, ο επόμενος από ιλυώδη άργιλο και ο τρίτος από μαύρη ιλυώδη άργιλο με ενστρώσεις λεπτής άμμου (Raptakis and Makra 2010). Κάτω από αυτούς τους τρεις ορίζοντες υπάρχουν καφέ- πράσινοι άμμοι, αμμώδης έως αργιλώδης ιλύς με αμμοχάλικο και χάλικες με γενικά καλές γεωχημικές ιδιότητες

(Andronopoulos et al. 1991; Rozos et al. 2004). Πάνω από αυτούς τους ορίζοντες υπάρχουν οι αποθέσεις του Ολοκαίνου (Raptakis and Makra 2010).

2.3.2 Παλαιοπεριβαλλοντική εξέλιξη

Σύμφωνα με τον Stiros (2001), «Ιστορικές πηγές (Herodotus) υποδεικνύουν ότι γύρω στο 500 π.Χ., ο Θερμαϊκός κόλπος ήταν βαθύτερος και η Πέλλα, η πρωτεύουσα της αρχαίας Μακεδονίας, ήταν παράκτια πόλη». Η μορφολογία της περιοχής φαίνεται ότι αλλάζει έντονα κατά τη διάρκεια των τελευταίων χιλιάδων χρόνων και είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη δράση των ποταμών που ρέουν σε αυτήν (Εικ. 18).



Εικόνα 18. Η παλαιοπεριβαλλοντική εξέλιξη του Θερμαϊκού κόλπου (τροποποιημένο από Ghilardi et al. 2008a).

Κατά το κατώτερο Νεογενές, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και του Θερμαϊκού κόλπου σχηματίστηκε μια επιμήκης τεκτονική τάφρος με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ (Dinter and Royden 1993; Syrides 1990). Το τμήμα αυτό πληρώθηκε σταδιακά κυρίως με κλαστικά υλικά και τοπικά με ανθρακικά ιζήματα, τα οποία αποτέθηκαν σε πολύπλοκα παλαιοπεριβάλλοντα διαδοχικά κατά το Μειόκαινο (ποτάμια, χερσαία ερυθροστρώματα, υφάλμυροι άργιλοι, άμμοι, ασβεστόλιθοι), Πλειόκαινο (ποταμο-λιμναίες άμμοι, ιλύες, λιμναίοι ασβεστόλιθοι) και Πλειστόκαινο (χερσαία ερυθροστρώματα) (Faugères 1978; Syrides 1990).

Το συνολικό πάχος αυτών των ιζημάτων ξεπερνάει τα 2 km στο κέντρο του Θερμαϊκού (Ghilardi et al. 2008a). Η καταβύθιση Αξιού-Θερμαϊκού επηρεάστηκε από έντονη τεκτονική δραστηριότητα, κατά το ανώτερο Πλειστόκαινο και σταδιακά η μορφολογία της περιοχής έφτασε στη σημερινή της μορφή (Syrides 1990). Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, που έλαβε χώρα κατά το Ολόκαινο, πλημμύρισε την περιοχή και οι αποθέσεις του Αξιού και Αλιάκμονα άρχισαν να πληρώνουν το χώρο (Ghilardi et al. 2008a).

Στο δυτικό τμήμα της κοιλάδας της Θεσσαλονίκης, στην περιοχή της Νέας Νικομήδειας, έχει καταγραφεί η μετάβαση από την περίοδο αποπαγοποίησης Younger-Dryas (~12.900-11.700 yr BP) μέχρι τις αρχές του Ολοκαίνου (10.000 yr BP), ενώ παρατηρείται και σημαντική επιφανειακή διάβρωση, η οποία έχει προκαλέσει μεταφορά και απόθεση ποτάμιων ιζημάτων (Psomiadis et al. 2013). Η αρχή του Ολοκαίνου χαρακτηρίζεται από την παρουσία μιας ρηχής λίμνης γλυκού νερού (Ghilardi et al. 2012). Η παρουσία ποτάμιων ιζημάτων πλούσιων σε ανθρακικά υποδεικνύει την έντονη δράση ενός μικρού ρέματος, που χυνόταν μέσα στη λίμνη, σχηματίζοντας μια συνεχή λιμναία στρωματογραφική ακολουθία.

Η πρώτη καταγραφή της εισόδου της θάλασσας στον Θερμαϊκό κόλπο προέρχεται από την ανατολική του πλευρά, στη λιμνοθάλασσα του Πάλιουρα στα 8.000 yr BP (Koukousioura et al. 2019), ενώ στο δυτικό/κεντρικό τμήμα της κοιλάδας της Θεσσαλονίκης, παρατηρούνται συνθήκες λιμνοθάλασσας στα ~7.500 yr BP (Ghilardi et al. 2012; Koukousioura et al. 2012).

Στη συνέχεια, πριν από 6.000 χρόνια, η κεντρική κοιλάδα της Θεσσαλονίκης και τα βόρεια περιθώριά της στην περιοχή του Αρχοντικού, ήταν ένας μεγάλος ανοιχτός κόλπος με συνθήκες ρηχής θάλασσας κυρίως στο δυτικό τμήμα και βαθειάς θάλασσας στο ανατολικό τμήμα του κόλπου (Fouache et al. 2008; Ghilardi et al. 2008a,b; Syrides et al. 2009). Παράλληλα, στο δυτικό τμήμα της κοιλάδας υπήρχε μια δεύτερη λίμνη γλυκού νερού (Ghilardi et al. 2012). Αργότερα στα 5.000 με 4.000 yr BP, ο κόλπος άρχισε να πληρώνεται γρήγορα με ιζήματα από τα γύρω ποτάμια. Αυτή η διεργασία δημιούργησε αμμώδη φράγματα, πίσω από τα οποία σχηματίστηκαν λιμνοθάλασσες (Fouache et al. 2008; Ghilardi et al. 2008a,b).

Μετά από τα 2.500 yr BP η θάλασσα υποχωρεί σταδιακά από τα δυτικά προς τα νοτιοανατολικά, με αποτέλεσμα και τη γρήγορη μετακίνηση της ακτογραμμής. Το περιβάλλον μετατράπηκε σε ρηχό θαλάσσιο, δημιουργώντας λιμνοθάλασσες με μικρή διάρκεια ζωής (Fouache et al. 2008). Σταδιακά, η μορφή της ακτογραμμής άρχισε να παίρνει τη σημερινή της μορφή. Από την άλλη, στο δυτικότερο τμήμα της κοιλάδας δημιουργήθηκε μια μεγάλη λίμνη, το μέγεθος της οποίας σταδιακά μειωνόταν λόγω λιμναίας ιζηματογένεσης και πιθανότατα ήταν η πρόγονος της λίμνης των Γιαννιτσών (Λίμνη Λουδία). Το αλλουβιακό πεδίο συνέχισε να επεκτείνεται, και μετά από τα 2.000 yr BP το περιβάλλον του βορειοδυτικού τμήματος της κοιλάδας αποκτά ένα υφάλμυρο έως λιμναίο χαρακτήρα (Fouache et al. 2008).

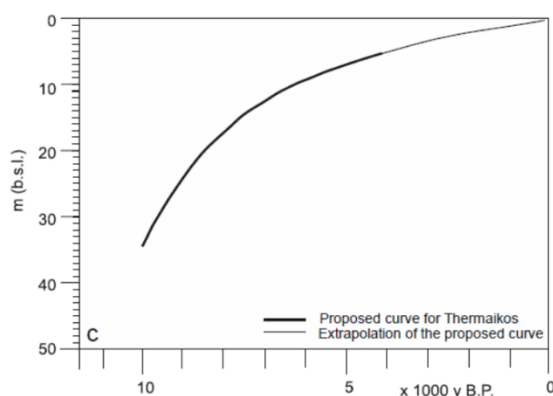
Περίπου στα 1.500 yr BP, ο πρώην κόλπος αλλά και όλη η κοιλάδα πληρώθηκαν με αλλουβιακές αποθέσεις και το βορειοδυτικό τμήμα απομονώθηκε από τη λίμνη. Η λίμνη των Γιαννιτσών επιβίωσε μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα στο δυτικό κομμάτι του αλλουβιακού πεδίου, μέχρι που αποξηράνθηκε κατά τη δεκαετία του 1930 (Fouache et al. 2008). Μια τελική φάση ρηχής λίμνης εξελίχθηκε στο νοτιοδυτικό τμήμα του πεδίου πολύ πρόσφατα, πιθανότατα κατά τη διάρκεια της μικρής εποχής των παγετώνων (Little Ice Age), που σταδιακά έγινε μια περιοχή ρηχών βάλτων κατά τη διάρκεια των τελευταίων δυο αιώνων (Ghilardi et al. 2012).

Ενώ στο δυτικό τμήμα της κοιλάδας επικρατούσαν αυτές οι συνθήκες λιμναίας ιζηματογένεσης, στο χαμηλότερο τμήμα του δελταϊκού συγκροτήματος έλαβε χώρα μια ραγδαία γεωμορφολογική εξέλιξη. Η δημιουργία μιας σειράς παράκτιων εμποδίων λόγω της αλλουβιακής ιζηματογένεσης, οδήγησε σε απομόνωση λιμνοθαλασσών και στο σχηματισμό βάλτων, αν και υπήρχε ακόμα κάποια επικοινωνία με τη θάλασσα (Ghilardi et al. 2010). Λόγω της απότομης δημιουργίας του δελταϊκού συγκροτήματος (λοβοί Αξιού και Αλιάκμονα) οι κοίτες των κύριων ποταμών άλλαξαν σταδιακά διεύθυνση προς νοτιοανατολικά, μέχρι τη σημερινή τους θέση (Ghilardi et al. 2010). Μετά την ένωση των κοιτών του Αξιού και του Αλιάκμονα, δημιουργήθηκε το πεδίο της Θεσσαλονίκης, παίρνοντας την τελική του μορφή.

Για την παλαιοπεριβαλλοντική εξέλιξη του ανατολικού τμήματος του Θερμαϊκού κόλπου έχουν γίνει λίγες μελέτες. Η μορφολογία της ανατολικής ακτής του Θερμαϊκού κόλπου ποικίλει κατά τη διάρκεια των τελευταίων 9.500 χρόνων. Έντονη παράκτια διάβρωση προκάλεσε υποχώρηση της ακτογραμμής για περίπου 1.400 m (κυρίως ανάλογα με το ρυθμό ανόδου της στάθμης της θάλασσας) που οδήγησε στη δημιουργία μιας εκτενούς παράκτιας ζώνης χαμηλού ανάγλυφου, αποτελούμενη από λιμνοθάλασσες και βάλτους (Albanakis et al. 2005). Η περιοχή αυτή θεωρείται τεκτονικά σταθερή και η υποβύθιση που παρατηρείται είναι αποτέλεσμα της έντονης συμπαγοποίησης ιζημάτων (Pavlopoulos et al. 2011), πιθανότατα λόγω του βάρους ολόκληρου του ιζηματογενούς καλύμματος του Ολοκαίνου, που σε ορισμένα σημεία ξεπερνάει τα

30 m (Fouache et al. 2008). Κατά το τέλος του Πλειστοκαίνου επικρατούν χερσαίες συνθήκες, που αντιστοιχούν στο προ-Ολοκαινικό υπόβαθρο της περιοχής (ερυθροστρώματα του Σχηματισμού Μουδανιών) (Sytides 1990). Οι συνθήκες αυτές διήρκησαν μέχρι περίπου τα 8.000 cal yr BP κατά την είσοδο της θάλασσας στην αρχή του Ολοκαίνου. Στη συνέχεια σχηματίστηκε ένα αρκετά απομονωμένο περιβάλλον κλειστής λιμνοθάλασσας υψηλής αλατότητας που λειτούργησε από 8.000-7.900 cal yr BP, και μέχρι τα 6.900 cal yr BP, το περιβάλλον της περιοχής είναι σε επικοινωνία με τη θάλασσα κατά το μεγαλύτερο διάστημα. Πριν από 5.900 cal. yr BP, το περιβάλλον άλλαξε και πάλι σε κλειστού τύπου με σχεδόν καμία επικοινωνία με τη θάλασσα, εκτός από κάποιες σποραδικές εισροές θαλασσινού νερού, καθεστώς που παραμένει μέχρι και σήμερα (Koukousioura et al. 2019).

Οι Vouvalidis et al. (2005) χρησιμοποιώντας δεδομένα από 17 γεωτρήσεις στον παράκτιο χώρο της Θεσσαλονίκης, πρότειναν την καμπύλη ανόδου της Μέσης Θαλάσσιας Στάθμης στην ευρύτερη περιοχή του Θερμαϊκού για τα τελευταία 10.000 χρόνια (Εικ. 19). Τα αποτελέσματα των ραδιοχρονολογήσεων που πραγματοποιήθηκαν οδήγησαν στην κατασκευή μιας ομαλής και μη διακυμαινόμενης καμπύλης, με σημείο καμπής στα 6.000 yr BP περίπου, με την οποία συμφωνούν οι Pavlouropoulos et al. (2011). Η καμπύλη υποδεικνύει ότι στα 10.000 yr BP η στάθμη της θάλασσας ήταν 29 m κάτω από τη σημερινή και αυξήθηκε απότομα μέχρι -5 m με μέσο όρο 4 m τη χιλιετία. Τα τελευταία 4.000 χρόνια ο ρυθμός έπεσε στο 1 m τη χιλιετία. Σαν αποτέλεσμα οι περιοχές χαμηλού υψομέτρου γύρω από τον Θερμαϊκό κόλπο επηρεάστηκαν σημαντικά.



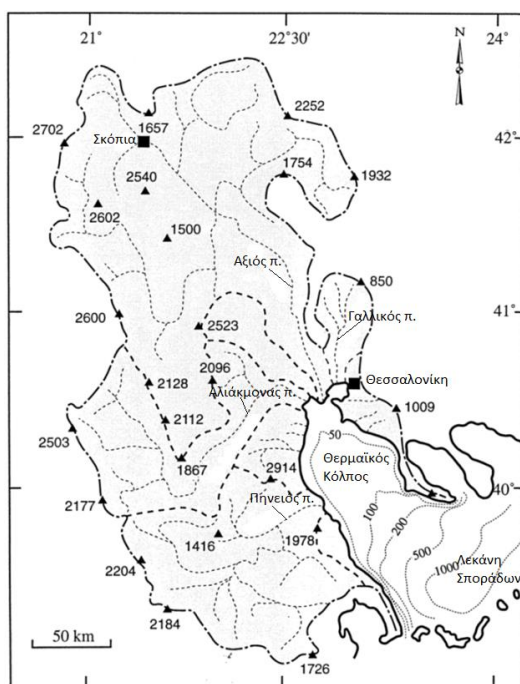
Εικόνα 19. Καμπύλη ανόδου της Μέσης Θαλάσσιας Στάθμης (από Vouvalidis et al. 2005).

2.3.3 Περιβαλλοντικό καθεστώς

Το παράκτιο σύστημα του Θερμαϊκού βρίσκεται στην υγρή μεσοθερμική κλιματική ζώνη, σε ένα κατά βάση θαλάσσιο περιβάλλον χωρίς παλίρροιες και χωρίζεται σε χερσαίο και ωκεάνιο τμήμα (Εικ. 20). Το χερσαίο αντιπροσωπεύει κυρίως τις λεκάνες απορροής των ποταμών κατά

μήκος των ακτών του Θερμαϊκού κόλπου, και τις δελταϊκές και παράκτιες πεδιάδες. Το ωκεάνιο υποσύστημα περιλαμβάνει την εσωτερική ηπειρωτική και την εξωτερική υφαλοκρηπίδα (Poulos et al. 2000).

Το κλίμα της ενδοχώρας, ιδιαίτερα των λεκανών απορροής χαρακτηρίζεται από ηπειρωτικό έως μεσογειακό προς την παράκτια ζώνη. Οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες του αέρα κυμαίνονται μεταξύ 9°C και 17,5°C, ενώ οι ετήσιες βροχοπτώσεις κυμαίνονται μεταξύ 400-1300 mm (Poulos et al. 2000).

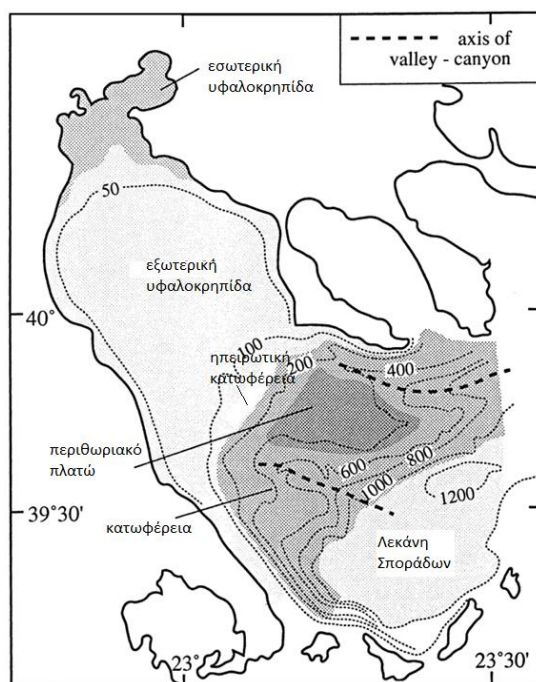


Εικόνα 20. Χάρτης με τις υδρογραφικές λεκάνες του Θερμαϊκού κόλπου (τροποποιημένο από Poulos et al. 2000).

Το παράκτιο πεδίο καλύπτει έκταση 2650 km² και το μήκος της ακτογραμμής υπερβαίνει τα 350 km. Στα δυτικά, και ειδικά στα νοτιοδυτικά, η ακτογραμμή οριοθετείται από ψηλά βουνά με υψόμετρο πάνω από 2000 m. Στο ανατολικό τμήμα επικρατούν χαμηλότερα υψόμετρα της τάξης των 300-1000 m (Poulos et al. 2000). Το κλίμα της περιοχής μπορεί να χαρακτηριστεί ως ημίξηρο μεσογειακό με πολύ κρύους χειμώνες. Οι θερμοκρασίες του αέρα κυμαίνονται από 0-38°C, ενώ η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι στα 480 mm. Επιπλέον, το κλίμα της περιοχής επηρεάζεται και από το καθεστώς των ανέμων. Βόρειοι άνεμοι πνέουν όλο το χρόνο και ενισχύονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Αυτές είναι βαλκανικές μάζες ψυχρού αέρα (τοπικά Βαρδάρης) που προέρχονται από τα βόρεια/ βορειοδυτικά και συνεχίζουν κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού

ποταμού. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρουσιάζονται τα μελτέμια, που πνέουν από τα βόρεια/ βορειοανατολικά (Poulos et al. 2000).

Το θαλάσσιο τμήμα του παράκτιου συστήματος (0-200 m βάθος) έχει έκταση 5.100 km² (Εικ. 21). Το τμήμα αυτό χωρίζεται στην εσωτερική ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα, με βάθη <40 m, που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Θεσσαλονίκης και του όρμου του Θερμαϊκού και στην εξωτερική περιοχή, όπου τα βάθη φτάνουν τα 50-200 m. Το εσωτερικό τμήμα καταλαμβάνει έκταση 1.100 km² (Poulos et al. 2000).



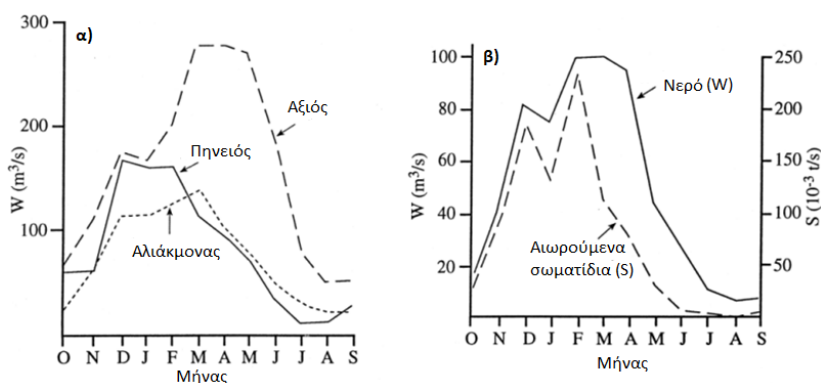
Εικόνα 21. Τμήματα της θαλάσσιας περιοχής του παράκτιου συστήματος του Θερμαϊκού κόλπου (τροποποιημένο από Lykousis et al. 1981).

Στην εσωτερική υφαλοκρηπίδα (Thermaikos Bay) η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας κυμαίνεται από 25°C (καλοκαίρι) μέχρι 9°C (χειμώνα). Η επιφανειακή αλατότητα είναι 35 psu και 28 psu κατά τη διάρκεια των θερινών και των χειμερινών μηνών αντίστοιχα. Η θερμοκρασία και η αλατότητα κοντά στον πυθμένα είναι σχετικά πιο σταθερές κατά τη διάρκεια του χρόνου, στους 21°C και 36 psu το καλοκαίρι και στους 9°C και 38 psu κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Robles et al. 1983).

2.3.3.1 Απορροές υδάτων και ιζημάτων

Η μεγαλύτερη ποσότητα εισροών γλυκών υδάτων στον Θερμαϊκό κόλπο προέρχεται από τους ποταμούς Αξιό, Αλιάκμονα, Πηνειό, Λουδία και Γαλλικό. Οι μέγιστες εκροές του Αλιάκμονα και

του Πηνειού πραγματοποιούνται από το Νοέμβριο μέχρι το Μάιο, ενώ του Αξιού από το Δεκέμβριο μέχρι τον Ιούνιο (Εικ. 22α). Αυτή η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι οι εκροές του Αλιάκμονα και του Πηνειού, που βρίσκονται πιο νότια, συμπίπτουν με τα υψηλά επίπεδα βροχοπτώσεων, ενώ το μέγιστο για τον Αξιό σχετίζεται με το λιώσιμο του χιονιού από τα βουνά της περιοχής της πρώην Γιουγκοσλαβίας (Poulos et al. 2000).

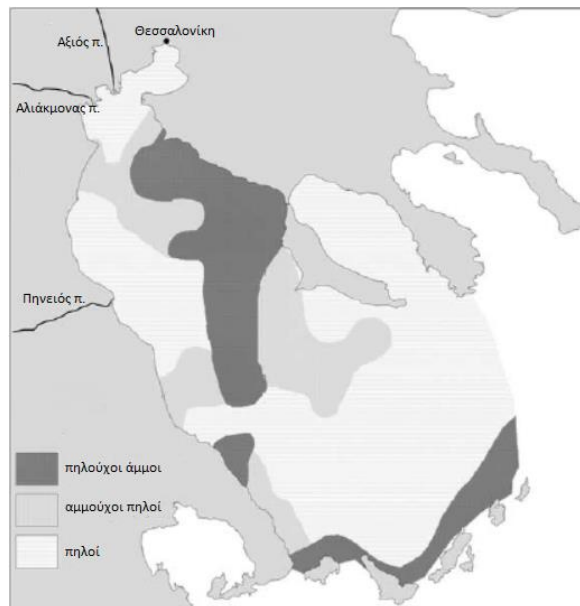


Εικόνα 22. α) Διακυμάνσεις στις απορροές των ποταμών Αξιός, Αλιάκμονας, Γαλλικός και Πηνειός (Therianos 1974), β) Διακυμάνσεις της ροής των υδάτων και των αιωρούμενων σωματιδίων για τον ποταμό Αλιάκμονα την περίοδο 1962-1982 (ΔΕΗ).

Η ποσότητα της συνολικής εισροής ποτάμιων υλικών στο Θερμαϊκό κόλπο υπολογίζεται περίπου στους 25-30 10^6 τόνους/χρόνο, ποσότητα πολύ μεγάλη, αν αναλογιστεί κανείς ότι τα υλικά που καταλήγουν ετήσια συνολικά σε όλη τη νότια ακτογραμμή της Ευρώπης είναι 350 10^6 τόνοι (Milliman and Syvitski 1992), ενώ στην ακτογραμμή της Ελλάδας φτάνει τους 60-70* 10^6 τόνους (Poulos and Chronis 1997). Η απορροή των υλικών αυτών παρουσιάζει μια εποχικότητα, όπως για παράδειγμα για τον Αλιάκμονα (Εικ. 22β) που το μεγαλύτερο επίπεδο απορροών εμφανίζεται στην αρχή (1 ή 2 μήνες) της υγρής περιόδου (Οκτώβριος-Ιούνιος), ενώ μερικούς μήνες αργότερα (τα επίπεδα των υδάτων είναι ακόμα υψηλά) η απορροή των υλικών μειώνεται σημαντικά, ώσπου φτάνει τις χαμηλότερες τιμές κατά την ξηρή περίοδο (Ιούλιος-Σεπτέμβριος) (Poulos et al. 2000).

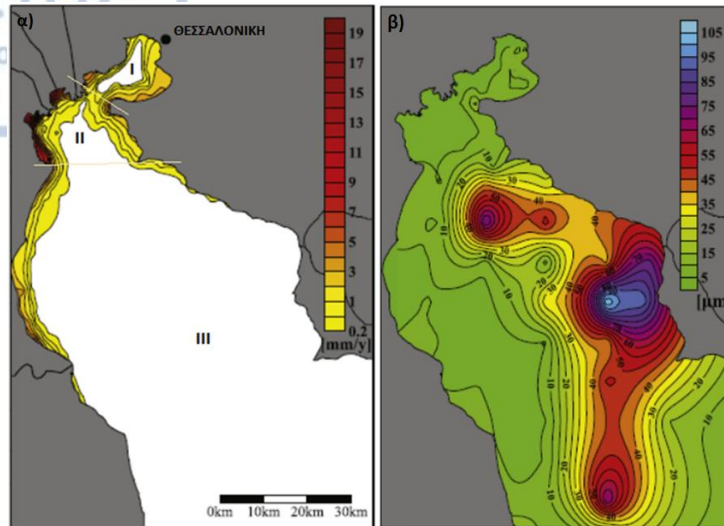
Το ιζηματολογικό υπόβαθρο του θαλάσσιου τμήματος του κόλπου ποικίλει, καθώς περιλαμβάνει ιζήματα ρηχής θάλασσας, βαθιάς θάλασσας και ανθρακικά ιζήματα (Karageorgis et al. 2005b). Τα επιφανειακά ιζήματα της περιοχής του Θερμαϊκού έχουν χερσαία προέλευση και κυμαίνονται από ιλύες έως αμμώδεις ιλύες στις βορειότερες και δυτικότερες περιοχές, ενώ στο ανατολικό τμήμα της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας εμφανίζονται πιο αδρόκοκκα ιζήματα (αμμώδης ιλύς). Αυτές οι αμμώδεις αποθέσεις χαρακτηρίζονται ως relict sands και αποτέθηκαν

κατά την τελευταία περίοδο των παγετώνων (Karageorgis and Anagnostou 2001; Lykousis and Chronis 1989; Poulos 2009) (Εικ. 23).

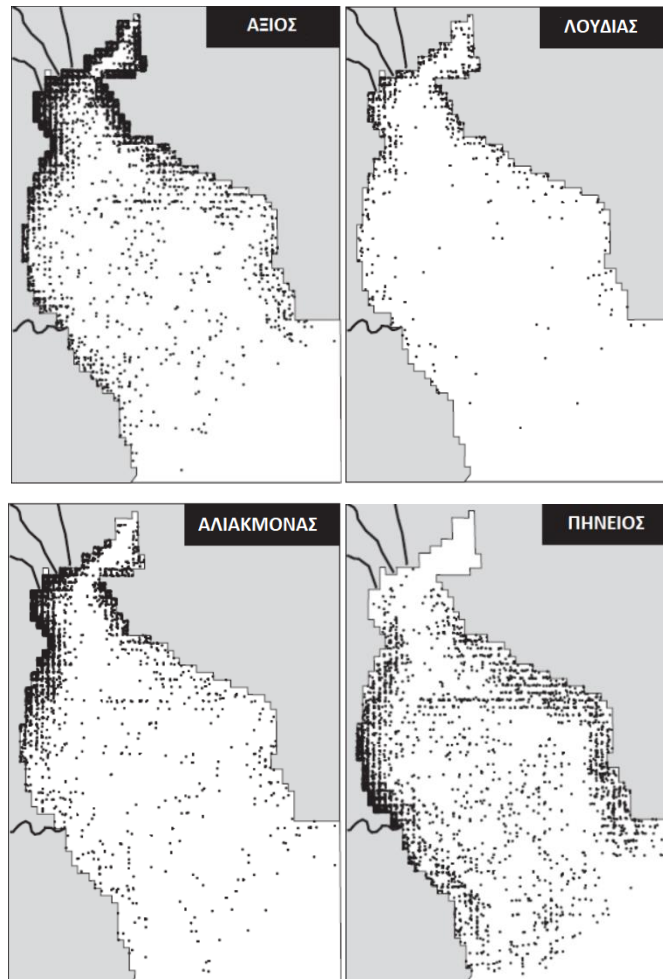


Εικόνα 23. Κατανομή ιζημάτων στο ΒΔ Αιγαίο (τροποποιημένο από Karageorgis and Anagnostou 2001).

Η συσσώρευση των λεπτόκοκκων υλικών κατά μήκος του βόρειου και δυτικού τμήματος του κόλπου υποδεικνύει ότι η απόθεση επηρεάζεται κυρίως από την απόσταση από τους ποταμούς, τη γενική κυκλοφορία και την τοπογραφία του Θερμαϊκού (Karageorgis and Anagnostou 2001; Lykousis et al. 1981). Έρευνα από τους Kombiadou and Krestenitis (2012) επιβεβαίωσε την ύπαρξη μεταφοράς και τα μοντέλα ιζηματογένεσης στην περιοχή, με ποτάμια προέλευση (Εικ. 24, 25). Ο Αξιός εμφανίζεται ως ο κύριος πάροχος ιζημάτων του εσωτερικού τμήματος του κόλπου, με μια μικρή συνεισφορά από τον ποταμό Λουδία. Για το εξωτερικό κομμάτι, ο Αξιός και ο Αλιάκμονας συνεισφέρουν εξίσου στην ιζηματογένεση της περιοχής. Παρόλα αυτά λόγω της τοπογραφίας, τα ιζήματα του Αξιού παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά στην περιοχή από αυτά του Αλιάκμονα, που αποθέτει κυρίως στα νότια, κατά μήκος της δυτικής ακτογραμμής. Υλικό από τον Πηνειό αποτίθεται κατά μήκος της δυτικής ακτής, με μια μεγαλύτερη συγκέντρωση ιζημάτων βόρεια από το δέλτα. Το 87% της συνολικής ποσότητας των ιζημάτων που προέρχονται από τα ποτάμια, παραμένει και αποτίθεται μέσα στον χώρο και αυτό συνάδει και με το χαρακτηρισμό του Θερμαϊκού ως παγίδα ιζημάτων (Lykousis and Chronis 1989).



Εικόνα 24. Ρυθμός ιζηματογένεσης (α) και μέση διάμετρος βενθονικού υλικού (β) (από Kombiadou and Krestenitis 2012).

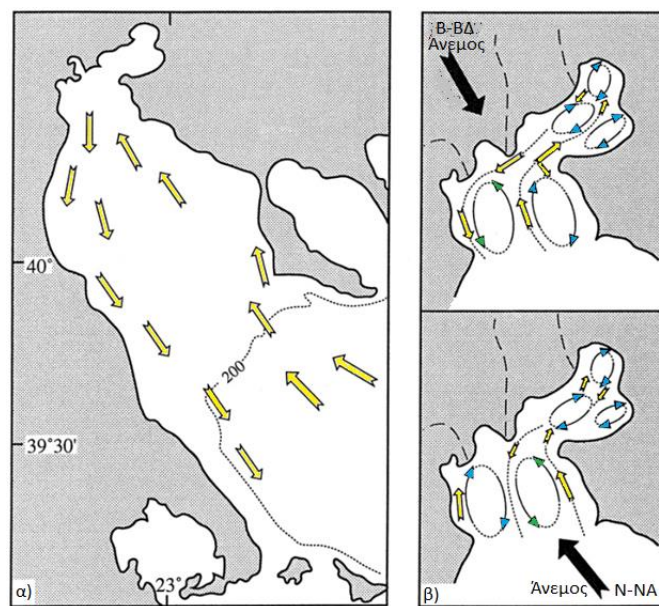


Εικόνα 25. Χωρική διαφοροποίηση των εναποτιθέμενων σωματιδίων με βάση την ποτάμια προέλευσή τους: Αξιός, Λουδίας, Αλιάκμονας και Πηνειός (από Kombiadou and Krestenitis 2012).

Στον ρηχό Θερμαϊκό κόλπο, λόγω μεγάλου ρυθμού ιζηματογένεσης και έντονης αποστράγγισης, χρειάστηκε τη δεκαετία του 1930, κατά τη διάρκεια των μεγάλων εγχειριστικών έργων, να γίνει εκτροπή της κοίτης και των εκβολών του ποταμού Αξιού, για να αποφευχθεί η πλήρωση του λιμανιού της Θεσσαλονίκης (Ghilardi et al. 2008a).

2.3.3.2 Κυκλοφορία υδάτων

Η γενική κυκλοφορία των υδάτων (Εικ. 26), χαρακτηρίζεται ως κυκλωνική και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η δράση των ανέμων, δυνάμεις που δρουν στο ανοικτό Αιγαίο και οι ποτάμιες εισροές υδάτων (Kourafalou et al. 2004).



Εικόνα 26. α) Γενικό μοτίβο κυκλοφορίας των επιφανειακών υδάτων του Θερμαϊκού κόλπου (από Baloroulos et al. 1987), β) μοτίβο κυκλοφορίας στα ρηχά (ενιαία βελάκια) και βαθιά ύδατα (διακεκομμένα βελάκια) στην εσωτερική υφαλοκρηπίδα (όρμος Θερμαϊκού και Θεσσαλονίκης) (τροποποιημένο από Ganoulis 1987).

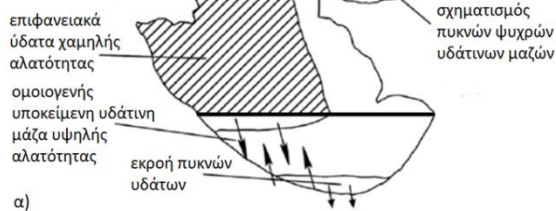
Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες για την υδροδυναμική συμπεριφορά του Θερμαϊκού (π.χ. Anagnostopoulos et al. 2000; Baloroulos 1986; Baloroulos and Friligos 1993; Kontoyiannis et al. 2003; Kourafalou 2001; Krestenitis et al. 1999). Οι Hyder et al. (2002) αναλύοντας συνολικά αυτά τα δεδομένα, κατέληξαν στην ύπαρξη δυο διαφορετικών μοντέλων κυκλοφορίας, μια κατά τη διάρκεια της χειμερινής και μια κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Επιπλέον, υπάρχει μια χαρακτηριστική κάθετη διαφοροποίηση στην αλατότητα κατά τους χειμερινούς και θερινούς μήνες. Το χειμώνα επικρατεί ένα σύστημα ποτάμιας κυκλοφορίας λόγω των έντονων ποτάμιων

εισροών και των δυνατών βόρειων ανέμων. Το καλοκαίρι επικρατεί μια κυκλοφορία με φορά αντίθετη της φοράς του ρολογιού, λόγω των διαφόρων ανέμων.

Το περιβαλλοντικό καθεστώς της περιοχής καθορίζεται από τη δράση των ποταμών που εκβάλλουν εκεί. Οι εποχιακές διαβαθμίσεις των εισροών γλυκού νερού από αυτούς τους ποταμούς επηρεάζουν τις επιφανειακές αλατότητες (Baloroulos et al. 1986). Το χειμώνα (Δεκέμβριο-Απρίλιο), μεγάλες εισροές γλυκού νερού ($\sim 350\text{m}^3/\text{s}$) δημιουργούν ένα λεπτό (5m) επιφανειακό στρώμα, χαμηλής αλατότητας, το οποίο κινείται προς τα νότια, πάνω από ένα σχετικά ομογενές, υψηλής αλατότητας στρώμα νερού που ρέει προς τα βόρεια. Το στρώμα χαμηλής αλατότητας, κοντά στο δέλτα των ποταμών, επηρεάζεται επιπλέον από τις αποφορτίσεις του υδροηλεκτρικού φράγματος του Αλιάκμονα. Μεταξύ Οκτωβρίου και Φεβρουαρίου, μια ψυχρή, μεγαλύτερης πυκνότητας, υδάτινη μάζα παρατηρείται στα μεγαλύτερα βάθη του ανατολικού κόλπου, σαν αποτέλεσμα ψύξης λόγω θυελλών βόρειας προέλευσης (Dense Water Formation, DWF) (Estournel et al. 2005; Zervakis et al. 2005). Τα βαθιά νερά του βορείου Αιγαίου και ιδιαίτερα η βαθιά λεκάνη των Σποράδων ανανεώνονται συνήθως από τα πυκνότερα νερά που σχηματίζονται στον Θερμαϊκό κόλπο (Krestenitis and Valioulis 1994). Οι μηχανισμοί αυτοί, ενεργοποιούνται εξαιτίας των διαβαθμίσεων στις πυκνότητες λόγω θερμοκρασίας ή αλατότητας (Shapiro et al. 2003) (Εικ. 27α).

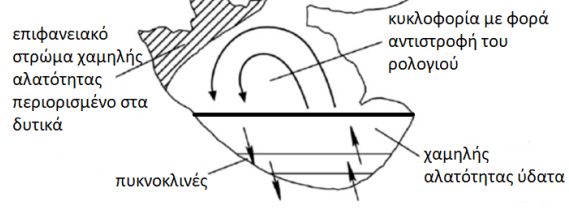
Το καλοκαίρι (Ιούλιο-Σεπτέμβριο), το επιφανειακό στρώμα χαμηλής αλατότητας δεν είναι καλά καθορισμένο και περιορίζεται στο δυτικό κόλπο κοντά στις εκβολές των ποταμών. Σε όλη την έκταση του κόλπου, μια παχύτερη (10-20 m) θερμή υδάτινη μάζα χαμηλής αλατότητας υπερκαλύπτει ένα ισχυρό πυκνοκλινές (Hyder et al. 2002). Μηνιαίες εκτιμήσεις της συνολικής περιεκτικότητας γλυκού νερού στον βόρειο κόλπο υποδεικνύουν τη συσσώρευση γλυκού νερού κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, παρόλο που οι ποτάμιες εισροές βρίσκονται στο ελάχιστο. Φαίνεται να οφείλεται σε επιφανειακά ύδατα χαμηλής αλατότητας που εκτείνονται κατά μήκος του βορείου Αιγαίου αυτήν την περίοδο και τα οποία προέρχονται από τα στενά των Δαρδανελλίων (Kourafalou and Barbopoulos 2003; Ünlüata et al. 1990). Ένα χαρακτηριστικό του καθεστώτος του καλοκαιριού είναι η ύπαρξη απότομων αλλαγών του βάθους στο οποίο βρίσκεται το θερμό, χαμηλής αλατότητας στρώμα ή του επιπέδου του πυκνοκλινούς του κόλπου. Κατά τη διάρκεια αυτού του γεγονότος, που οδηγεί στη δημιουργία έντονων ρευμάτων, το πυκνοκλινές ανεβαίνει απότομα (έως 10 m) και μένει σταθερό για 3-14 μέρες πριν να επανέλθει στα προηγούμενα επίπεδά του (Hyder et al. 2002) (Εικ. 27β).

ΧΕΙΜΩΝΑΣ



α)

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

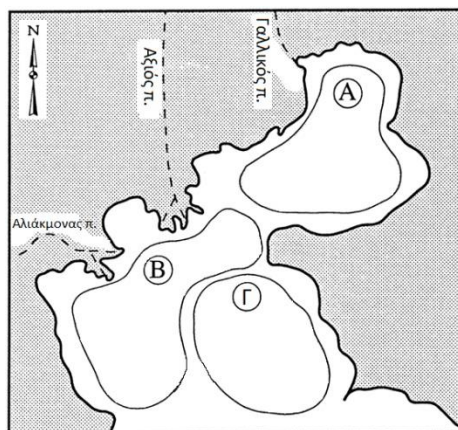


β)

Εικόνα 27. Σχεδιάγραμμα της κυκλοφορίας των υδάτων και του θερμόαλου καθεστώτος (α) το χειμώνα και (β) το καλοκαίρι (τροποποιημένο από Hyder et al. 2002).

2.3.3.3 Γεωχημικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Η γεωχημεία των ιζημάτων του όρμου και του κόλπου της Θεσσαλονίκης επηρεάζεται ουσιαστικά από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες της πόλης. Αστικά και βιομηχανικά λύματα απελευθερώθηκαν, έχοντας υποστεί μερική επεξεργασία, για αρκετές δεκαετίες, κάτι που έχει οδηγήσει σε υψηλά επίπεδα οργανικού άνθρακα (C) και ρυπαντικά στοιχεία (Cu, Zn, As και Pb). Ο εμπλουτισμός μετάλλων έχει περιοριστεί στο βορειότερο τμήμα του Θερμαϊκού και λιγότερο κοντά στις εκβολές των ποταμών (Georgas and Perissoratis 1993; Karageorgis et al. 2005b). Οι τιμές φωσφόρου και νιτρικών είναι υψηλότερες στον όρμο της Θεσσαλονίκης (Area A) απ' ότι στον όρμο του Θερμαϊκού (Areas B-C) (Εικ. 28).



Εικόνα 28. Αναπαράσταση των υδάτινων μαζών διαφορετικών συγκεντρώσεων σε θρεπτικά, της εσωτερικής υφαλοκρηπίδας του Θερμαϊκού: (Α) όρμος Θεσσαλονίκης, (Β) βορειοδυτικός Θερμαϊκός κόλπος, (Γ) νοτιοανατολικός Θερμαϊκός κόλπος (από Baloroulos and Friligos 1993).

Οι μέγιστες τιμές των νιτρικών παρατηρούνται κατά το φθινόπωρο, λόγω του ταχύτερου ρυθμού αποσύνθεσης των οργανικών ενώσεων. Το βορειοδυτικό κομμάτι του όρμου του

Θερμαϊκού παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές πυριτικών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, καθώς επηρεάζεται κυρίως από τις απορροές του Αξιού και του Αλιάκμονα. Τα αυξημένα επίπεδα των πυριτικών συμπίπτουν με περιόδους έντονων απορροών (Δεκ.-Μάιο).

Το δυτικό κομμάτι του Θερμαϊκού κόλπου κυριαρχείται από μεγάλα και μικρά στοιχεία χερσαίας προέλευσης, τα οποία μεταφέρονται από τα μεγάλα ποτάμια. Η χημεία των νερών αυτών των ποταμών ελέγχεται κυρίως από το κλίμα και την πετρογραφία των λεκανών απορροής (Katsiou et al. 1989; Skoulikidis 1993). Το γεωχημικό αποτύπωμα για τους τρεις μεγάλους ποταμούς μπορεί να προσδιοριστεί ως εξής: (i) Zn και Pb για τον Αξιό ποταμό, (ii) Cr, Co, Ni, Cu και As για τον Αλιάκμονα και (iii) V, Co, Ni και Cu για τον Πηνειό ποταμό. Ο Αλιάκμονας και ο Πηνειός δεν έχουν έντονη βιομηχανική δραστηριότητα. Αντίθετα, ο Αξιός μεταφέρει αιωρούμενα σωματίδια πλούσια σε μέταλλα, λόγω μεταλλευτικής δραστηριότητας που λαμβάνει χώρα στο άνω τμήμα της λεκάνης απορροής του. Όλα τα ποτάμια αποστραγγίζουν οφειολιθικούς και ηφαιστειακούς σχηματισμούς πλούσιους σε μέταλλα, έτσι ώστε ένα σημαντικό ποσοστό των μετάλλων που εντοπίζεται να έχει προέλθει από φυσική διάβρωση. Στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της υφαλοκρηπίδας επικρατούν υπολειμματικές (relict) άμμοι, που προκαλούν μια ουσιαστική διάλυση κύριων και δευτερευόντων στοιχείων, με εξαίρεση τα Si, Ca, Sr και Cr. Το πυρίτιο προέρχεται από καθαρό χαλαζία, Ca και Sr σε υπολειμματικά βιογενή σκελετικά στοιχεία (relict debris) και το Cr προέρχεται από ορυκτά χρωμίτη (Karageorgis et al. 2005b).

Τα συγκριτικά χαμηλά επίπεδα θρεπτικών που παρατηρούνται στο ανατολικό τμήμα του όρμου του Θερμαϊκού εξηγούνται από τη γενική κυκλοφορία των υδάτων, με τα πιο καθαρά και ολιγοτροφικά νερά του Αιγαίου να εισέρχονται στον Θερμαϊκό κόλπο κατά μήκος της ανατολικής ακτογραμμής.

Κατά τη διάρκεια μιας έρευνας, από το Δεκέμβριο του 1995 μέχρι το Μάρτιο 1996, βρέθηκε ότι τα θρεπτικά είχαν αυξηθεί στον όρμο της Θεσσαλονίκης (PO_4 : 0.85; SiO_4 : 4.1; NH_4 : 2.4) εκτός από το NO_3 (0,8) (Psyliou Giouranovits et al. 1998).

2.3.4 Σύγχρονη κατάσταση του Θερμαϊκού κόλπου

Ο Θερμαϊκός κόλπος συμπεριλαμβάνεται στο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών Natura 2000 της ΕΕ (GR1220010) και οι περιοχές του Αξιού, Αλιάκμονα και Λουδία προστατεύονται από τη σύμβαση Ramsar (υγρότοποι διεθνούς σημασίας) (Krestenitis et al. 2012).

Η περιοχή παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της συνεχούς απόθεσης δελταϊκών ιζημάτων αλλά και λόγω άλλων πιο περίπλοκων και ακραίων φαινομένων, που παρατηρήθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες (Raptakis and Makra 2010). Το πιο έντονο από αυτά σχετίζεται με διαδοχική καθίζηση, της τάξης των 3 m από το 1955 μέχρι το 1980, που σήμερα φτάνει ένα ποσοστό έως και

8-10 cm/έτος. Το φαινόμενο αυτό επηρεάζει το σημερινό δέλτα και οδηγεί σε υποχώρηση της ακτογραμμής λόγω θαλάσσιας επίκλυσης (regression) της τάξης των 1-2 km (Psimoulis et al. 2007; Stiros 2001). Η καθίζηση αυτή κατά μήκος της κοιλάδας της Θεσσαλονίκης είναι το αποτέλεσμα τόσο φυσικών διεργασιών όσο και ανθρωπογενών επιδράσεων (Ghilardi et al. 2008a). Οι φυσικές διεργασίες περιλαμβάνουν την συμπαγοποίηση των λεπτόκοκκων ιζημάτων (θαλάσσια ιλύς και άργιλος, αποθέσεις από υπερχειλίσεις), τη χημική αποσύνθεση οργανικής ύλης μέσα στα αργιλικά στρώματα (ETOME Co. 1974), την πιθανή τεκτονική καταβύθιση (Ghilardi et al. 2008a; Pavlopoulos et al. 2011), καθώς και τις υπεραντλήσεις στην περιοχή του Καλοχωρίου (Mouratidis et al. 2010).

Επίσης, ο συνδυασμός της ανθρωπογενούς πίεσης στον κόλπο του Θερμαϊκού με την περιορισμένη επικοινωνία του με το ανοιχτό Αιγαίο λόγω της φύσης του κόλπου, που είναι επιμήκης (~170 km) και στενός (~50 km), και λόγω του μικρού παλιρροϊκού εύρους, έχει σαν αποτέλεσμα το βόρειο τμήμα του κόλπου να αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα στην οικολογική ποιότητα των υδάτων (Hyder et al. 2002).

Η κύρια πηγή αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι ποταμοί Αξιός και Αλιάκμονας, μαζί με τους μικρότερους Λουδία και Γαλλικό, οι οποίοι σχηματίζουν όλοι μαζί μια λεκάνη απορροής περίπου 37.000 km² (Karageorgis et al. 2005b). Το ανθρωπογενές στρες στη λεκάνη απορροής, τα νερά της οποίας καταλήγουν στον κόλπο, περιλαμβάνει τα αστικά απόβλητα από την πόλη της Θεσσαλονίκης (πληθυσμός πάνω από 1.200.000 εκατ.) και τις απορροές από τις λεκάνες του Αξιού, Αλιάκμονα, Λουδία και Γαλλικού. Μέχρι πρόσφατα, οι αποχετεύσεις από την πόλη της Θεσσαλονίκης κατέληγαν χωρίς καμία επεξεργασία στον εσωτερικό Θερμαϊκό κόλπο. Επιπλέον, τα απόβλητα πάνω από 250 βιομηχανικές μονάδες κατέληγαν μέσα στον Γαλλικό ποταμό, ο οποίος με τη σειρά του κατέληγε μέσα στον κόλπο (Georgas and Perissoratis 1993; Nikolaidis et al. 2006). Ο Αξιός ποταμός είναι ο πιο σημαντικός από τους ποταμούς που καταλήγουν στο Θερμαϊκό κόλπο (Nikolaidis et al. 2006) και είναι ο δεύτερος πιο μολυσμένος ποταμός της Ελλάδας όσον αφορά τις θρεπτικές ουσίες (Skoulikidis 1993), ενώ η λεκάνη απορροής του καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της Βόρειας Μακεδονίας (Nikolaidis et al. 2006).

Μια άλλη μεγάλη πηγή αιωρούμενων και διαλυμένων σωματιδίων είναι ο Πηνειός ποταμός. Έρευνες έχουν δείξει σημαντικά προβλήματα ευτροφισμού που σχετίζονται με αυξημένα φορτία θρεπτικών και αιωρούμενων σωματιδίων στην υδάτινη μάζα και στα ιζήματα (Anagnostou et al. 1997; Friligos et al. 1997).

Γενικά, οι εισροές αυτές έχουν αλλάξει το καθεστώς του Θερμαϊκού κόλπου σε ευτροφικό (γενικά τα νερά του Αιγαίου πελάγους είναι ολιγοτροφικά) (Balopoulos and Friligos 1993; Gotsis-Skretas and Friligos 1990; Pagou 2000, 2005), με συνέπεια η αυξημένη συγκέντρωση θρεπτικών

ουσιών να οδηγεί στη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και την αλλοίωση της βιοποικιλότητας σε αυτό.

Ο ευτροφισμός είναι ένα κοινό πρόβλημα στα παράκτια ύδατα σε όλο τον πλανήτη, όπως στην Πορτογαλία (Cabecadas et al. 1999), τη βόρεια Αδριατική θάλασσα (Barmawidjaja et al. 1995; Degobbis 1989), την Ολλανδία (de Jonge 2000), τη Βαλτική θάλασσα (Yurkovskis et al. 1993), τη Βραζιλία (Braga et al. 2000) και την Κίνα (Lee and Arega 1999). Στην Ελλάδα εμφανίζουν ευτροφισμό κόλποι με περιορισμένη κυκλοφορία υδάτων, όπως ο κόλπος της Ελευσίνας και το βόρειο τμήμα του εσωτερικού Σαρωνικού (Dimiza et al. 2016a, 2019; Friligos and Barbetseas 1990; Pagou et al. 2002; Pavlidou et al. 2004; Theodorou 1997), ο εσωτερικός Θερμαϊκός κόλπος (Balopoulos and Friligos 1993; Gotsis-Skretas and Friligos 1990; Pagou 2000), ο Πατραϊκός (Friligos et al. 1985) και ο κόλπος της Καλλονής στο νησί της Λέσβου (Panayotidis et al. 1999).

Έρευνα που έχει γίνει από τους Nikolaidis et al. (2006) έδειξε ότι θα μπορούσε να υπάρξει μια μείωση 10% στη συγκέντρωση των θρεπτικών στον όρμο της Θεσσαλονίκης και στον κόλπο με μια μείωση 30% των θρεπτικών που απορρέουν από την πόλη της Θεσσαλονίκης. Επιπλέον, μια μείωση 40% στα θρεπτικά που καταλήγουν στον Αξιό, θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της συγκέντρωσης των θρεπτικών στον Θερμαϊκό (έως 38% σε N και 20% σε P).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

3.1 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Στην περιοχή του όρμου της Θεσσαλονίκης, στον εσωτερικό Θερμαϊκό κόλπο συλλέχθηκαν δείγματα επιφανειακού ιζήματος πυθμένα από 5 διαφορετικούς σταθμούς (SP1-5) (Εικ. 29, Πίν. 1) για τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο του 2016.



Εικόνα 29. Ο εσωτερικός Θερμαϊκός κόλπος και οι σταθμοί δειγματοληψίας (Google Earth Pro).

Πίνακας 1. Συντεταγμένες των σταθμών δειγματοληψίας.

ΣΤΑΘΜΟΙ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ	
S1	40°35'15.72"N	22°55'1.20"E
S2	40°35'26.64"N	22°52'23.22"E
S3	40°36'47.16"N	22°51'56.64"E
S4	40°38'5.76"N	22°53'34.56"E
S5	40°36'43.80"N	22°54'26.22"E

Για τη συλλογή των δειγμάτων έγινε χρήση δειγματολήπτη Eckman, έτσι ώστε το ιζήμα να παραμένει αδιατάρακτο. Από κάθε σταθμό συλλέχθηκαν 3 πυρηνάκια επιφανειακού ιζήματος

πυθμένα, σύμφωνα με το πρωτόκολλο FOBIMO (FOraminiferal Bio-Monitoring) (Schönfeld et al. 2012). Στη συνέχεια τα δείγματα σφραγίστηκαν και διατηρήθηκαν σε χαμηλή θερμοκρασία μέχρι τη μεταφορά τους στις εγκαταστάσεις του Τομέα Γεωλογίας, του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την περαιτέρω επεξεργασία και μελέτη.

3.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ, ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ

Κατά τις δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν επί τόπου μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων (Πίν. 2), με τη χρήση πολύμετρου Aquarprobe AP-7000, στην επιφάνεια του πυθμένα σε κάθε σταθμό. Μετρήθηκαν η θερμοκρασία (T), το pH, το διαλυμένο οξυγόνο (DO), τα αιωρούμενα σωματίδια (TDS) και η αλατότητα (Salinity). Επίσης η εύφωτη ζώνη υπολογίστηκε με τη βοήθεια δίσκου Secchi (secchi depth x 2,5).

Πίνακας 2. Μετρήσεις των παραμέτρων, Chl-a και βροχόπτωσης σε κάθε σταθμό κατά τις περιόδους δειγματοληψίας.

Μήνας	Σταθμός	Βάθος (m)	Secchi (m)	T(°C)	pH	DO (mg/L)	TDS (g/L)	Αλατότητα (psu)	Chl-a $\mu\text{g l}^{-1}$	Βροχόπτωση (mm)
Ιανουάριος	S1	22	6	9,5	9,63	11,60	23,59	22,89	2,52578	31,7
	S2	3	3	9,1	8,04	12,00	21,88	21,05	0,694	31,7
	S3	2,5	2,5	9,2	8,04	11,26	22,02	21,20	2,5746	31,7
	S4	13	5,4	9,3	9,27	11,61	22,42	21,62	4,7372	31,7
	S5	20	6	9,1	9,45	11,58	23,37	22,66	4,2999	31,7
Απρίλιος	S1	20	2,6	14,1	9,29	7,88	23,35	22,87	4,4799	13,3
	S2	3	3	15,4	7,77	9,92	26,15	25,65	6,6877	13,3
	S3	3	2,6	14,2	7,77	8,62	25,41	24,87	7,1963	13,3
	S4	14	6,3	14,2	9,17	7,86	24,57	23,96	1,6807	13,3
	S5	20	5	14,3	9,26	8,48	24,29	23,66	3,0545	13,3
Ιούλιος	S1	21	4,1	22,5	8,18	5,99	24,46	29,43	1,474	1
	S2	3	3	25,4	8,06	8,36	22,57	27,51	1,979	1
	S3	3	1	25,7	8,06	7,97	23,52	27,98	19,091	1
	S4	15,1	4,4	23,5	8,14	5,57	23,79	28,01	2,893	1
	S5	20,2	4,3	22,7	8,15	6,07	24,28	26,99	1,859	1
Οκτώβριος	S1	22	4,1	20,1	8,34	6,70	52,24	33,42	8,245	41,1
	S2	2,8	2,8	17,8	7,27	9,58	25,35	33,53	6,439	41,1
	S3	2,8	2,2	18,1	7,45	9,03	25,34	33,54	6,151	41,1
	S4	17	3,2	18,2	8,34	8,82	25,33	33,55	8,155	41,1
	S5	20,7	3,6	18,3	8,24	8,78	25,34	33,57	6,457	41,1

Τα επίπεδα χλωροφύλλης σε κάθε σταθμό (Chlorophyll *a*, Chl-*a*), υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους Jeffrey and Humphrey (1975), με τη χρήση κατάλληλης συσκευής (U-5100 ratio beam spectrophotometer), στις εγκαταστάσεις του Εθνικού Κέντρου Βιοτόπων Υγροτόπων (Ε.Κ.Β.Υ.), από τον Δρ. Μ. Σεφερλή.

Τα στοιχεία για το ύψος βροχόπτωσης για κάθε μήνα παραχωρήθηκαν από το σταθμό παρακολούθησης του Α.Π.Θ. (Δρ. Χ. Αναγνωστοπούλου).

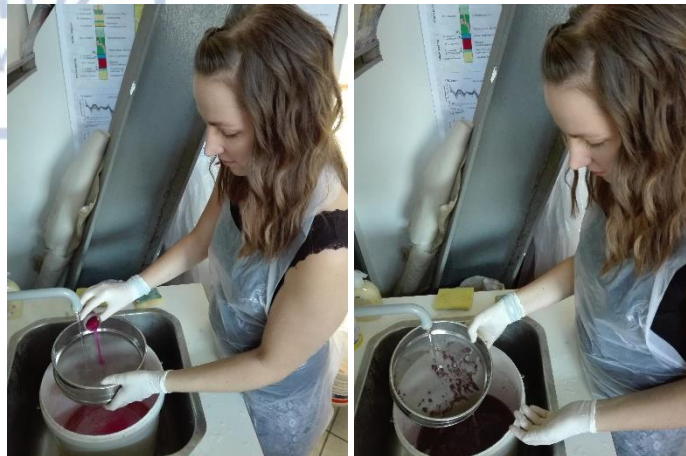
3.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Τα δείγματα αφαιρέθηκαν από τα πυρηνάκια με τη βοήθεια εμβόλου, και διαιρέθηκαν ανά εκατοστό. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια με διάλυμα αιθυλικής αλκοόλης (70°) και Rose Bengal (2gr/1 lt), ανακινήθηκαν καλά και διατηρήθηκαν σε χαμηλή θερμοκρασία για χρονικό διάστημα μερικών εβδομάδων, έως ότου να επιτευχθεί ο ορθός χρωματισμός των δειγμάτων (Walton 1952; Schönfeld et al. 2012) (Εικ. 30).



Εικόνα 30. Επεξεργασία δειγμάτων: Αφαίρεση δειγμάτων από τα πυρηνάκια και τοποθέτηση διαλύματος Rose Bengal.

Ο Walton (1952) ήταν αυτός που περιέγραψε τη διαδικασία χρήσης του Rose Bengal, μια διαδικασία γρήγορη, η οποία δεν απαιτεί ειδικό εξοπλισμό. Για αυτό το λόγο είναι κατάλληλη για μεγάλο αριθμό δειγμάτων (Murray 2006). Η χρωστική αυτή έχει τη δυνατότητα χρωματισμού της οργανικής ουσίας, βοηθώντας στο διαχωρισμό των ζωντανών από τα νεκρά άτομα (Debenay et al. 2001). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτή τη μέθοδο δεν είναι απόλυτα ακριβή, καθώς το Rose Bengal μπορεί να χρωματίσει φύκη και βακτήρια προσκολλημένα στο κέλυφος ή οργανικά στοιχεία από το ίδιο το κέλυφος (Murray 1991, 2006; Saffert and Thomas 1998). Αν και αυτή η μέθοδος έχει περιορισμένες δυνατότητες (Bernhard 1988; Gooday 1986), παραμένει ο πλέον πρακτικός τρόπος για την ποσοτικοποίηση της ζωντανής πανίδας και κατά τους Lutze and Altenbach (1991), αν χρησιμοποιηθεί προσεκτικά οδηγεί σε αποτελέσματα με 96% επιτυχία. Κατόπιν, πλύθηκαν σε υγρό κόκκινο με διάμετρο οπής 63 μm (Εικ. 31) και τοποθετήθηκαν για ξήρανση σε φούρνο χαμηλής θερμοκρασίας (50°C).



Εικόνα 31. Πλύσιμο δειγμάτων αφού έμειναν με το Rose Bengal για διάστημα μερικών εβδομάδων.

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων Fe, Zn, Cu και Cr υπολογίστηκαν με τη χρήση 1 gr ξηρού ιζήματος και αναλύθηκαν με τη χρήση κατάλληλων συσκευών Graphite Furnace (HGA 400 programmer) και Flame Atomic Absorption Spectrometry (Perkin Elmer 2380), στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Χημείας Α.Π.Θ., από τους Δρ. Χ. Χριστοφορίδη και Δρ. Μ. Ευγενάκη (Πίν. 3).

Πίνακας 3. Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων Fe, Zn, Cu και Cr στους σταθμούς δειγματοληψίας.

Μήνας	Σταθμός	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Cr (mg/L)
Ιανουάριος	S1	41306,67	22,5	71,46667	100,6333
	S2	21534,67	0	29,2	19,16667
	S3	19892	0	23,5	38,9
	S4	41400	25,4	113,6333	105,0333
	S5	41346,67	30,96667	101,9333	111,0667
Απρίλιος	S1	40680	16,9	72,36667	91,4
	S2	16734,67	0	22,9	25,3
	S3	25528	0	30,76667	46,5
	S4	41600	26,5	100,4333	98,56667
	S5	39136	23,26667	85,16667	90,66667
Ιούλιος	S1	39269,33	19,43333	66,4	106,1333
	S2	9556	0	10,63333	20,9
	S3	25881,33	0	32,2	60,63333
	S4	38785,33	30,73333	96,46667	105,7333
	S5	35358,67	20,86667	82,76667	94,23333
Οκτώβριος	S1	42333,33	20,23333	74,36667	121,7
	S2	10800	0	13,66667	25,9
	S3	27336	0	35,13333	63,86667
	S4	38841,33	19,53333	93,93333	120,6667
	S5	37937,33	23,53333	92,1	134,8667

3.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ

Από τα επιφανειακά ιζήματα πυθμένα από τους 5 σταθμούς στους τέσσερις διαφορετικούς μήνες, μελετήθηκαν τα ανώτερα 2 cm (45,36 cm³ υγρού δείγματος). Μετά τη ξήρανση των δειγμάτων, η ποσότητά τους μειώθηκε με τη βοήθεια Otto Microsplitter, μέχρι να προκύψει ένα αντιπροσωπευτικό κλάσμα, ικανό να περιέχει τον απαιτούμενο αριθμό τρηματοφόρων (200-300 άτομα). Τα άτομα συλλέχθηκαν με λεπτό πινέλο και τοποθετήθηκαν με ειδική κόλλα (Gome Adraganth) σε μικροπαλαιοντολογικά πινακίδια Charman. Η συλλογή και μελέτη των τρηματοφόρων έγινε με τη βοήθεια στερεοσκοπίου προσπίπτοντος φωτός Motic SMZ-140 Series.

Από κάθε δείγμα επιφανειακού ιζήματος πυθμένα, συλλέχθηκαν περίπου 300 άτομα ζώντα και νεκρά. Επίσης, όλα τα ζωντανά άτομα συλλέχθηκαν από το συνολικό δείγμα. Τα ζωντανά και τα νεκρά άτομα διαχωρίστηκαν και καταμετρήθηκαν, ώστε να προκύψει το ποσοστό συμμετοχής τους σε κάθε δείγμα (Melis and Violanti 2006).

3.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ

Τα άτομα τα οποία συλλέχθηκαν από τα δείγματα προσδιορίστηκαν σε επίπεδο είδους. Κατατάχθηκαν συστηματικά σύμφωνα με το σχήμα των Loeblich and Tappan (1988) και ο προσδιορισμός τους πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια των Papp and Schmid (1985), Boltovskoy et al. (1980), Hottinger et al. (1993), Cimerman and Langer (1991), Rupp (1986), Sgarrella and Moncharmont Zei (1993), Kaminski and Gradstein (2005), Dimiza et al. (2016b), αλλά και με πλήθος εργασιών δημοσιευμένων σε επιστημονικά περιοδικά.

3.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.6.1 Στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης

Για τη μελέτη των βενθονικών τρηματοφόρων υπολογίστηκαν:

- α. η σχετική συχνότητα επί τοις εκατό των ειδών σε κάθε δείγμα παρατήρησης
- β. η πυκνότητα της πανίδας (Foraminiferal Density) σε κάθε δείγμα παρατήρησης που αντιπροσωπεύεται από τον αριθμό των ατόμων σε κάθε δείγμα ανά 1 cm³ υγρού ιζήματος.

Επίσης υπολογίστηκαν οι δείκτες ποικιλότητας με το λογισμικό Past.exe v.2.17c (Hammer et al. 2001):

- α. Ο δείκτης αφθονίας ειδών Taxa S, ο οποίος δείχνει τον αριθμό των ειδών σε κάθε δείγμα
- β. Ο δείκτης Επικράτησης Dominance D που εκφράζει την κυριαρχία της παρουσίας ενός ατόμου στο σύνολο του πληθυσμού. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$D = \sum_i (n_i/n)^2, \text{ όπου το } n_i \text{ είναι ο αριθμός των ατόμων του είδους } i$$

Οι τιμές οι οποίες παίρνει κυμαίνονται από το 0 (όλα τα είδη είναι εξίσου παρόντα) μέχρι το 1 (ένα είδος επικρατεί στο σύνολο)

γ. Ο δείκτης Shannon - Wiener (H') (Shannon and Weaver 1963) ο οποίος λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των ατόμων καθώς και τον αριθμό των ειδών. Δείχνει την ποικιλότητα σε κάθε δείγμα παρατήρησης. Κυμαίνεται από το 0 για κοινωνίες με ένα είδος μόνο, μέχρι υψηλές τιμές για κοινωνίες με πολλά είδη, το καθένα με λίγα άτομα. Υπολογίζεται από τον τύπο $H' = -\sum_i (n_i/n) \ln(n_i/n)$. Ο δείκτης Shannon-Wiener μετρά την τάξη (ή αταξία) που παρατηρείται σε ένα συγκεκριμένο σύστημα (Hayek and Buzas 1997). Επιλέχθηκε, καθώς λαμβάνει υπό μέτρηση την αφθονία, αλλά και την ομοιομορφία των ειδών (Murray 1991), δηλαδή ποσοτικοποιεί την ετερογένεια (κατανομή των ατόμων στα διάφορα είδη) (Magurran 1988).

3.6.2 Δείκτες

Στα δείγματα εφαρμόστηκαν οι παρακάτω βιοτικοί δείκτες για την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας του περιβάλλοντος:

i. FSI- Foram Stress Index

Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται βάσει των σχετικών ποσοστών δύο οικολογικών ομάδων στις οποίες έχουν ομαδοποιηθεί τα βενθονικά τρηματοφόρα. Τα τρηματοφόρα κατηγοριοποιούνται σε κάθε ομάδα σύμφωνα με την αντοχή/ευαισθησία τους στον εμπλουτισμό του περιβάλλοντος από οργανική ύλη και σταθμίζονται αναλογικά ώστε να δημιουργηθεί ένας τύπος που θα κατηγοριοποιεί κάθε περιβάλλον σε 5 κλάσεις οικολογικής ποιότητας (Dimiza et al. 2016a).

Το FSI παρέχει ένα εργαλείο για την αξιολόγηση της οικολογικής ποιότητας των ιζημάτων ή των υποστρωμάτων με βάση τις συναθροίσεις των βενθονικών τρηματοφόρων, τα οποία αποτελούν σημαντικό τμήμα των σύγχρονων βενθονικών κοινωνιών, οι οποίες δε λαμβάνονται υπόψη στους περισσότερους βιοτικούς βενθονικούς δείκτες (Dimiza et al. 2016a).

Ο τύπος για τον υπολογισμό του FSI είναι:

$$FSI = (10 * Sen) + (Str)$$

όπου Sen το ποσοστό των «ευαίσθητων» ειδών και Str το ποσοστό των «ανθεκτικών» ειδών στο δείγμα παρατήρησης.

Οι τιμές του FSI κυμαίνονται από 1 έως 10, ενώ παίρνει την τιμή 0 μόνο όταν το ίζημα θεωρείται αζωικό. Τα όρια που επιτρέπουν τον καθορισμό σε πέντε κλάσεις Οικολογικής Ποιότητας (Ecological Quality Status, ECoQ) σύμφωνα με την Οδηγία-Πλαίσιο (Water Framework Directive 2000/60 EC) για την ολοκληρωμένη διαχείριση των οικοσυστημάτων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίν. 4).

Πίνακας 4 . Κατάταξη του ενδιαιτήματος των βενθονικών τρηματοφόρων βάσει του Foram Stress Index (Dimiza et al. 2016a).

Κατάσταση Ενδιαιτήματος	Εύρος του δείκτη FSI	Όρια κλάσεων του δείκτη FSI EQR	Κλάση Οικολογικής Ποιότητας
καθόλου ή ελάχιστα ρυπασμένα ύδατα	$9,0 \leq FSI \leq 10,0$	Υψηλή/Καλή=0,90	Άριστη
ελαφρώς ρυπασμένα ύδατα	$5,5 \leq FSI < 9,0$	Καλή/Μέτρια=0,55	Καλή
μέτρια ρυπασμένα ύδατα	$2,0 \leq FSI < 5,5$	Μέτρια/Φτωχή=0,20	Μέτρια
βαρέως ρυπασμένα ύδατα	$1,0 \leq FSI < 2,0$	Φτωχή/Κακή=0,10	Ελλιπής
Αζωικό	Αζωικές συνθήκες	-	Κακή

ii. FORAM-AMBI

Ο συγκεκριμένος δείκτης δημιουργήθηκε με την προσαρμογή ενός προϋπάρχοντος παγκόσμια αποδεκτού θαλάσσιου βιοδείκτη, τον AMBI, ο οποίος εφαρμόζεται για να υπολογιστεί το καθεστώς οικολογικής ποιότητας μιας περιοχής (Πίν. 5). Με βάση τον τύπο του AMBI, όλα τα είδη πρέπει να ανατεθούν σε 5 οικολογικές ομάδες βάσει της ευαισθησίας/αντοχής τους σε έναν στρεσογόνο παράγοντα. Ο παράγοντας που χρησιμοποιήθηκε ήταν το σύνολο του οργανικού άνθρακα (Total organic carbon-TOC). Οι 5 οικολογικές ομάδες είναι οι παρακάτω:

Ομάδα I (G I): Τα «ευαίσθητα είδη (sensitive species)» είναι τα ευαίσθητα στην αύξηση της οργανικής ύλης. Η αφθονία τους είναι η μέγιστη όταν το TOC έχει τις χαμηλότερες τιμές, ενώ μηδενίζεται όταν αυξάνεται η ποσότητά του.

Ομάδα II (G II): Τα «indifferent species» έχουν μικρή αντίδραση στον εμπλουτισμό με οργανική ύλη. Δεν επικρατούν στη συνάθροιση ποτέ. Έχουν μικρές αφθονίες όταν υπάρχουν χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης, αλλά απουσιάζουν σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις.

Ομάδα III (G III): Τα «ανθεκτικά είδη (tolerant species)» είναι τα ανθεκτικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις οργανικής ύλης. Μπορεί να υπάρχουν σε χαμηλές τιμές TOC, οι υψηλότερες συχνότητές τους ενεργοποιούνται από τον οργανικό εμπλουτισμό, αλλά απουσιάζουν σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις.

Ομάδα IV (G IV): Τα «2^{ης} τάξης καιροσκοπικά (opportunistic) είδη» δείχνουν μια θετική συσχέτιση με τον εμπλουτισμό σε οργανική ύλη με μέγιστες αφθονίες ανάμεσα στα μέγιστα των Ομάδων III και V.

Ομάδα V (G V): Τα «1^{ης} τάξης καιροσκοπικά (opportunistic) είδη» δείχνουν μια θετική συσχέτιση με πολύ αυξημένες τιμές οργανικής ύλης, με μέγιστες αφθονίες όταν το επίπεδο του οργανικού φορτίου είναι υψηλότερο από ότι για τα είδη της Ομάδας IV. Σε ακόμα υψηλότερες συγκεντρώσεις οργανικής ύλης, τα τρηματοφόρα δεν μπορούν να επιζήσουν.

Ο δείκτης Foram-AMBI υπολογίστηκε από τα αθροίσματα των σχετικών αφθονιών όλων των ειδών στις διάφορες οικολογικές ομάδες χρησιμοποιώντας τον τύπο των Borja et al. (2000):

$$\text{FORAM AMBI} = \{(0\% \text{ GI}) + (1,5\% \text{ GII}) + (3\% \text{ GIII}) + (4,5\% \text{ GIV}) + (6\% \text{ GV})\} / 100$$

Πίνακας 5. Οικολογική ποιότητα περιβάλλοντος βενθονικών τρηματοφόρων βάσει του δείκτη AMBI (Borja et al. 2000).

Τιμές δείκτη AMBI	Οικολογικές Ομάδες	Υγεία Βενθονικών Κοινωνιών	Ταξινόμηση περιοχής με βάση την ένταση της ρύπανσης	Κλάση Οικολογικής ποιότητας
0,0<BC≤0,2 0,2<BC≤1,2	I	Φυσιολογικό Φτωχό	Μη ρυπασμένο	Άριστη
1,2<BC≤3,3	III	Χωρίς ισορροπία	Ελαφρώς ρυπασμένο	Καλή
3,3<BC≤4,3 4,3<BC≤5,0	IV-V	Μεταβατικό προς ρυπασμένο ρυπασμένο	Ρυπασμένο	Μέτρια
5,0<BC≤5,5 5,5<BC≤6,0	V	Μεταβατικό προς βαρέως ρυπασμένο Βαρέως ρυπασμένο	Βαρέως ρυπασμένο	Ελλιπής
Αζωικό (7,0)	Αζωικό	Αζωικό	Εξαιρετικά ρυπασμένο	Κακή

Κατά την προσπάθεια υπολογισμού του δείκτη FORAM-AMBI προέκυψαν κάποια προβλήματα. Ο χαρακτηρισμός των ειδών και η κατηγοριοποίησή τους στις 5 οικολογικές ομάδες έγινε βάσει των εργασιών των Alve et al. (2016) Jorissen et al. (2018), O'Malley et al. (2021) και Bouchet et al. (2021).

Ο δείκτης αυτός για να εφαρμοστεί έχει μια προϋπόθεση που πρέπει να ισχύει: «Όταν τα είδη ενός δείγματος που δεν ήταν δυνατό να κατηγοριοποιηθούν σε μια από τις 5 οικολογικές ομάδες αποτελούν το N=20% της συνάθροισης, τότε οι τιμές του δείκτη πρέπει να εκτιμηθούν με προσοχή, ενώ αν αποτελούν το N=50% της συνάθροισης, τότε οι τιμές του δείκτη δε θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη». Για τα δεδομένα της συγκεκριμένης έρευνας στον Θερμαϊκό κόλπο όταν έγινε η κατηγοριοποίηση κατά Jorissen et al. (2018), το ποσοστό των ειδών που δεν ήταν δυνατό να κατηγοριοποιηθούν ήταν N=38,6%, ενώ στην περίπτωση των Alve et al. (2016) το ποσοστό ήταν N=62,9%, των O'Malley et al. (2021) N=75,7% και των Bouchet et al. (2021) ήταν N=55,7%. Λόγω των αποτελεσμάτων αυτών έγινε μια προσπάθεια συνδυασμού των εργασιών και κατηγοριοποίηση των ειδών βάσει και των τεσσάρων. Στην περίπτωση που κάποιο είδος είχε κατηγοριοποιηθεί και στις τέσσερις εργασίες, επιλέχθηκε η κατηγοριοποίηση στην μεγαλύτερη ομάδα, από την GI έως την GV. Το ποσοστό των ειδών που δεν μπόρεσαν να κατηγοριοποιηθούν ήταν N=24,3%, ένας αριθμός που οδηγεί και πάλι σε χρήση του δείκτη με προσοχή. Επίσης, πραγματοποιήθηκε συνδυασμός των εργασιών Jorissen et al. (2018) και Bouchet et al. (2021) και μελέτη των αποτελεσμάτων, καθώς και οι δυο αυτές εργασίες αναφέρονται στην περιοχή της Μεσογείου. Ο αριθμός N=32,9% δείχνει πως τα αποτελέσματα πρέπει και σε αυτήν την περίπτωση να χρησιμοποιηθούν με προσοχή.

3.6.3 Πολυπαραγοντικές αναλύσεις

Με τη χρήση του προγράμματος SPSS (IBM SPSS Statistics Version 25) εφαρμόστηκε η Correlation analysis προκειμένου να πραγματοποιηθεί συσχέτιση των διαφόρων παραγόντων για τον προσδιορισμό στατιστικά σημαντικών συσχετίσεων. Ο συντελεστής συσχέτισης που επιλέχθηκε ήταν ο Spearman r και προκύπτουν δυο περιπτώσεις στατιστικά σημαντικών συσχετίσεων:

- *Correlation is significant at the level (1-tailed), δηλαδή επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.
- **Correlation is significant at the level (2-tailed), δηλαδή επίπεδο εμπιστοσύνης 99%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Εικόνα 32. Ο χάρτης της περιοχής του Θερμαϊκού κόλπου με τους σταθμούς δειγματοληψίας (Google Earth Pro).

Ο χάρτης της περιοχής μελέτης (Εικ. 32) παρουσιάζει τους σταθμούς από τους οποίους συλλέχθηκαν τα δείγματα και αναγνωρίστηκαν τα είδη των τρηματοφόρων, που περιείχαν τόσο ζωντανά όσο και νεκρά άτομα (Πίν. 6).

Πίνακας 6. Συγκεντρωτικός πίνακας όλων των ειδών τρηματοφόρων.

ΕΙΔΗ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ		
<i>Adelosina carinata-striata</i> (Wiesner 1912)	<i>Eggereloides scaber</i> (Williamson 1858)	<i>Quinqueloculina stelligera</i> Schlumberger 1893
<i>Adelosina cliarensis</i> (Heron-Allen & Earland 1930)	<i>Elphidium advenum</i> (Cushman 1922)	<i>Quinqueloculina triangularis</i> d'Orbigny 1846
<i>Adelosina dargonae</i> (Lévy et al. 1980)	<i>Elphidium complanatum</i> (d'Orbigny 1839)	<i>Quinqueloculina trigonula</i> Terquem 1876
<i>Adelosina italica</i> (Terquem 1878)	<i>Elphidium crispum</i> (Linné 1758)	<i>Rectuvigerina phlegeri</i> Le Calvez 1959
<i>Adelosina longinostra</i> (d'Orbigny 1826)	<i>Elphidium excavatum clavatum</i> Cushman 1930	<i>Reophax subfusiformis</i> Earland Em. Höglund 1947
<i>Adelosina mediterranensis</i> (Le Calvez and Le Calvez 1958)	<i>Elphidium fichtelianum</i> (d'Orbigny 1846)	<i>Reophax</i> sp.
<i>Adelosina</i> sp.1 (from Cimerman and Langer 1991)	<i>Elphidium granosum</i> (d'Orbigny 1846)	<i>Reussoolina laevis</i> (Montagu 1803)
<i>Adelosina</i> sp.3 (από Κουκουσιούρα 2012)	<i>Elphidium gunteri</i> Cole 1931	<i>Rosalina bradyi</i> (Cushman 1915)
<i>Affinetrina alcidii</i> Lévy et al. 1992	<i>Elphidium macellum</i> (Fichtel & Moll 1798)	<i>Rosalina floridensis</i> (Cushman 1922)
agglutinant sp.	<i>Elphidium translucens</i> Natland 1938	<i>Rosalina globularis</i> d'Orbigny 1826
<i>Ammobaculites agglutinans</i> (d'Orbigny 1846)	<i>Elphidium</i> sp.	<i>Rosalina macropora</i> (Hofker 1951)
<i>Ammonia beccarii</i> (Linné 1758)	<i>Eratidus foliaceus</i> (Brady 1881)	<i>Rosalina</i> sp.
<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny 1839)	<i>Fursenkoina acuta</i> (d'Orbigny 1846)	rotaliid sp.
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman 1926)	<i>Glomospira gordialis</i> (Jones & Parker 1860)	<i>Sigmoilinita costata</i> (Schlumberger 1893)
<i>Amphicoryna scalaris</i> (Batsch 1791)	<i>Haplophragmoides canariensis</i> (d'Orbigny 1839)	<i>Sigmoilinita grata</i> (Terquem 1878)
<i>Articulina nitida</i> d'Orbigny 1826	<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob 1798)	<i>Sigmoilinita</i> sp.
<i>Astacolus crepidulus</i> (Fichtel & Moll 1798)	<i>Haynesina germanica</i> (Ehrenberg 1840)	<i>Sigmoilinita tenuis</i> (Czjzek 1848)
<i>Asterigerina planorbis</i> d'Orbigny 1846	<i>Heronallenia</i> sp.	<i>Sigmoilinita tenuissima</i> Shchedrina 1984
<i>Asterigerinata mammila</i> (Williamson 1858)	<i>Lachlanella reticulata</i> (d'Orbigny 1826)	<i>Sigmoilopsis schlumbergeri</i> (Silvestri 1904)
<i>Aubignyna perlucida</i> (Heron-Allen & Earland 1913)	<i>Lagena caudata</i> (d'Orbigny 1839)	<i>Sinuloculina consobrina</i> (d'Orbigny 1846)
<i>Bolivina alata</i> (Seguenza 1862)	<i>Lagena hispida</i> Reuss 1863	<i>Sinuloculina inflata</i> (d'Orbigny 1846)
<i>Bolivina dilatata</i> Reuss 1850	<i>Lagena laevis</i> (Montagu 1803)	<i>Sinuloculina mayeriana</i> (d'Orbigny 1826)
<i>Bolivina pseudoplicata</i> Heron-Allen & Earland 1930	<i>Lagena striata</i> (d'Orbigny 1839)	<i>Siphonaperta agglutinans</i> (d'Orbigny 1839)
<i>Bolivina seminuda</i> Cushman 1911	<i>Lenticulina gibba</i> (d'Orbigny 1826)	<i>Siphonaperta aspera</i> (d'Orbigny 1826)
<i>Bolivina spatulata</i> (Williamson 1858)	<i>Lenticulina orbicularis</i> (d'Orbigny 1826)	<i>Siphonaperta berthelotiana</i> (d'Orbigny 1839)
<i>Bolivina striatula</i> Cushman 1922	<i>Lenticulina</i> sp.	<i>Spirillina vivipara</i> Ehrenberg 1841
<i>Bolivina subspinescens</i> Cushman 1922	<i>Leptohalysis scottii</i> (Chaster 1892)	<i>Spiroloculina excavata</i> d'Orbigny 1846
<i>Bolivina</i> sp.	<i>Lobatula lobatula</i> (Walker & Jacob 1798)	<i>Stainforthia concava</i> (Höglund, 1947)
<i>Buccella frigida</i> (Cushman 1921)	<i>Massilina gualteriana</i> (d'Orbigny 1839)	<i>Textularia agglutinans</i> d'Orbigny 1839
<i>Bulimina aculeata</i> d'Orbigny 1826	<i>Miliammina</i> sp.	<i>Textularia bocki</i> Höglund, 1947
<i>Bulimina elongata</i> d'Orbigny 1846	<i>Miliolinella subrotunda</i> (Montagu 1803)	<i>Textularia sagittula</i> Defrance 1824
<i>Bulimina marginata</i> d'Orbigny 1826	<i>Miliolinella</i> sp.	<i>Textularia tenuissima</i> Earland 1933
<i>Bulimina striata</i> d'Orbigny in Guérin-Méneville, 1832	<i>Neoconorbina terquemi</i> (Rzehak 1888)	<i>Triloculina marioni</i> Schlumberger 1893
<i>Bulimina</i> sp.	<i>Nonion</i> sp.	<i>Triloculina oblonga</i> (Montagu 1803)
<i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny 1839)	<i>Nonionella stella</i> Cushman & Moyer 1930	<i>Triloculina tricarinata</i> d'Orbigny 1826
<i>Buliminella</i> sp. (from Rupp 1986)	<i>Nonionella turgida</i> (Williamson 1858)	<i>Triloculina trigonula</i> (Lamarck 1804)
<i>Cibicides refulgens</i> de Montfort 1808	<i>Patelina corrugata</i> (Williamson 1858)	<i>Trochammina hadai</i> Uchio 1962
<i>Cibicidella variabilis</i> (d'Orbigny 1826)	<i>Planorbulina mediterranensis</i> d'Orbigny 1826	<i>Trochammina</i> sp.
<i>Cibicidoides ungerianus</i> (d'Orbigny 1846)	<i>Quinqueloculina annectens</i> (Schlumberger 1893)	<i>Uvigerina mediterranea</i> Hofker 1932
<i>Cornuspira involvens</i> (Reuss 1850)	<i>Quinqueloculina berthelotiana</i> d'Orbigny 1839	<i>Uvigerina proboscidea</i> Schwager 1866
<i>Cribrostomoides</i> sp.	<i>Quinqueloculina bicarinata</i> d'Orbigny 1878	<i>Uvigerina</i> sp.
<i>Cycloforina colomi</i> (Le Calvez & Le Calvez 1985)	<i>Quinqueloculina irregularis</i> d'Orbigny 1878	<i>Valvulinera bradyana</i> (Fornasini 1900)
<i>Cycloforina tenuicollis</i> (Wiesner 1923)	<i>Quinqueloculina istriae</i> Lévy et al. 1992	<i>Virgulinea fragilis</i> Grindell & Collen 1976
<i>Cymbaloporetta plana</i> (Cushman 1924)	<i>Quinqueloculina laevigata</i> d'Orbigny 1839	
<i>Discorbinella bertheloti</i> (d'Orbigny 1839)	<i>Quinqueloculina nodulosa</i> Wiesner 1923	
<i>Discorbis nitida</i> (Williamson 1858)	<i>Quinqueloculina padana</i> Perconig 1954	
<i>Discorbis williamsoni</i> Chapman & Parr 1932	<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linnaeus 1758)	

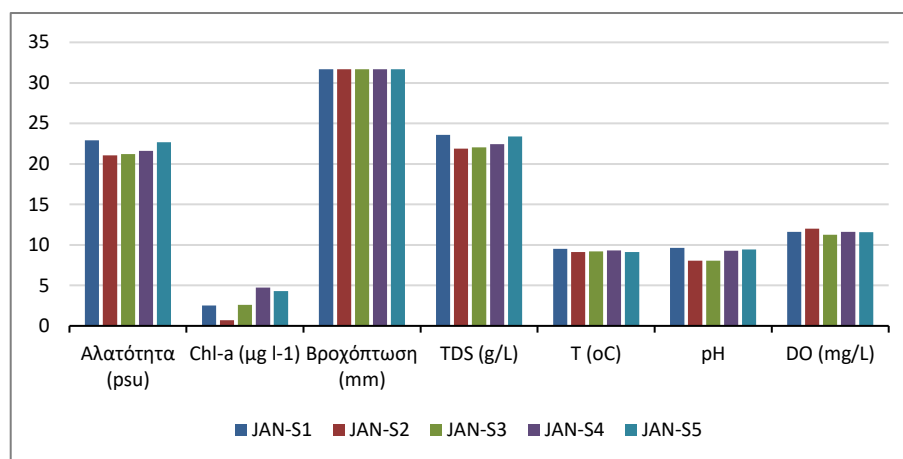
4.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ, ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ

4.1.1 Ιανουάριος 2016

Τον Ιανουάριο του 2016, στην περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου, η θερμοκρασία στην επιφάνεια του πυθμένα στους σταθμούς δειγματοληψίας κυμάνθηκε γύρω στους 9°C (Πιν. 7). Οι τιμές του pH για τους σταθμούς S1, S4 και S5, που βρίσκονται στην ανατολική πλευρά του Θερμαϊκού κόλπου, ήταν 9,63, 9,27 και 9,45 αντίστοιχα. Για τους σταθμούς S2 και S3, που βρίσκονται στη δυτική μεριά του Θερμαϊκού, η τιμή του pH ήταν 8,04. Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου (DO) ήταν παρόμοια για όλους τους σταθμούς με τιμές που κυμαίνονται από 11,26-12,00 mg/L, ενώ οι τιμές για τα αιωρούμενα σωματίδια (TDS) κυμαίνονται από 21,88 έως 23,59 g/L. Η αλατότητα παρουσίασε τιμές από 21,05 psu έως 22,89 psu και η βροχόπτωση για τον μήνα αυτό έφτασε τα 31,7 mm. Όσον αφορά την χλωροφύλλη, οι τιμές της για τους σταθμούς S1 και S3 ήταν ~2,5 $\mu\text{g l}^{-1}$, για τους σταθμούς S4 και S5 ~4,5 $\mu\text{g l}^{-1}$, ενώ για τον S2 ήταν 0,694 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Σχ. 1).

Πίνακας 7. Μετρήσεις των παραμέτρων, Chl-a και βροχόπτωσης σε κάθε σταθμό για τον Ιανουάριο του 2016.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	Σταθμός	Βάθος (m)	Secchi (m)	T(°C)	pH	DO (mg/L)	TDS (g/L)	Αλατότητα (psu)	Chl-a $\mu\text{g l}^{-1}$	Βροχόπτωση (mm)
	S1	22	6	9,5	9,63	11,60	23,59	22,89	2,52578	31,7
	S2	3	3	9,1	8,04	12,00	21,88	21,05	0,694	31,7
	S3	2,5	2,5	9,2	8,04	11,26	22,02	21,20	2,5746	31,7
	S4	13	5,4	9,3	9,27	11,61	22,42	21,62	4,7372	31,7
	S5	20	6	9,1	9,45	11,58	23,37	22,66	4,2999	31,7

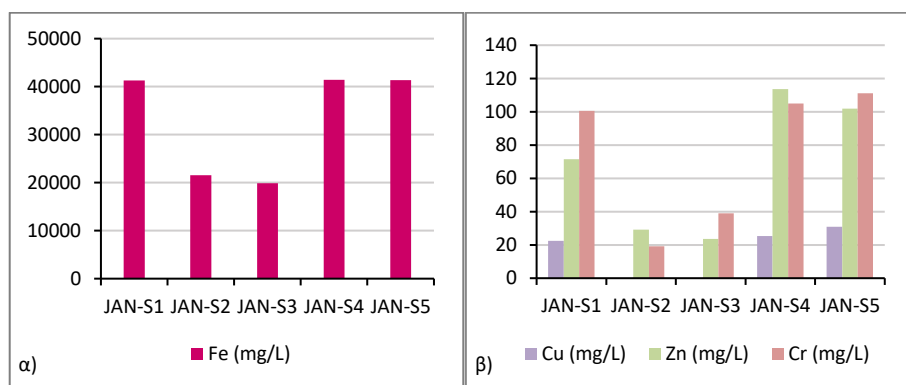


Σχήμα 1. Τιμές θερμοκρασίας, pH, DO, αλατότητας, βροχόπτωσης, Chl-a και TDS για τους 5 σταθμούς το μήνα Ιανουάριο.

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων Fe, Zn, Cu και Cr που υπολογίστηκαν για τον μήνα Ιανουάριο παρουσίασαν πολύ μεγάλες τιμές στους σταθμούς S1, S4 και S5, σε αντίθεση με τις πολύ μικρές σχετικά τιμές στο δυτικό τμήμα (σταθμοί S2 και S3) (Πίν. 8, Σχ. 2).

Πίνακας 8. Συγκεντρώσεις μετάλλων Fe, Zn, Cu και Cr στους σταθμούς δειγματοληψίας για τον μήνα Ιανουάριο.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	Σταθμός	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Cr (mg/L)
	S1	41306,67	22,5	71,46667	100,6333
	S2	21534,67	0	29,2	19,16667
	S3	19892	0	23,5	38,9
	S4	41400	25,4	113,6333	105,0333
	S5	41346,67	30,96667	101,9333	111,0667



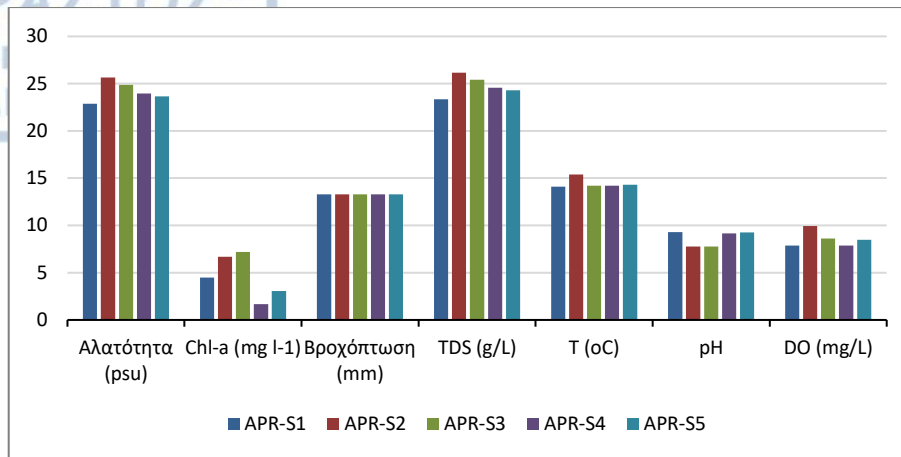
Σχήμα 2. Συγκεντρώσεις μετάλλων Fe (α), Zn, Cu και Cr (β) στους σταθμούς δειγματοληψίας για τον μήνα Ιανουάριο.

4.1.2 Απρίλιος 2016

Τον Απρίλιο του 2016, στην περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου, η θερμοκρασία στην επιφάνεια του πυθμένα κυμάνθηκε από 14,1°C έως 15,4°C. Οι τιμές του pH για τους σταθμούς S1, S4 και S5 ήταν >9, ενώ στους σταθμούς S2 και S3 7,77. Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου (DO) ήταν ~7,8 mg/L για τους σταθμούς S1 και S4, ~8,5 mg/L για τους σταθμούς S3 και S5, ενώ για τον S2 η ποσότητα αυξήθηκε σε σχέση με τους υπόλοιπους στα 9,92 mg/L. Οι τιμές για τα αιωρούμενα σωματίδια (TDS) κυμάνθηκαν από 23,35-26,15 g/L και η αλατότητα παρουσίασε τιμές από 21,05 έως 22,89 psu. Για τον μήνα Απρίλιο, η βροχόπτωση έφτασε τα 13,3 mm. Όσον αφορά την χλωροφύλλη, οι τιμές παρουσίασαν μεγάλη διαφοροποίηση από 1,6807 έως 7,1963 (Πίν. 9, Σχ. 3).

Πίνακας 9. Μετρήσεις των παραμέτρων, Chl-a και βροχόπτωσης σε κάθε σταθμό για τον Απρίλιο του 2016.

ΑΠΡΙΛΙΟΣ	Σταθμός	Βάθος (m)	Secchi (m)	T(°C)	pH	DO (mg/L)	TDS (g/L)	Αλατότητα (psu)	Chl-a $\mu\text{g l}^{-1}$	Βροχόπτωση (mm)
	S1	20	2,6	14,1	9,29	7,88	23,35	22,87	4,4799	13,3
	S2	3	3	15,4	7,77	9,92	26,15	25,65	6,6877	13,3
	S3	3	2,6	14,2	7,77	8,62	25,41	24,87	7,1963	13,3
	S4	14	6,3	14,2	9,17	7,86	24,57	23,96	1,6807	13,3
	S5	20	5	14,3	9,26	8,48	24,29	23,66	3,0545	13,3

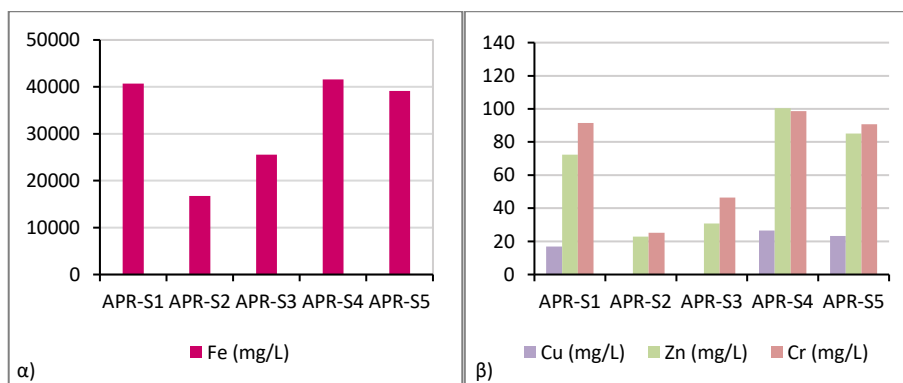


Σχήμα 3. Τιμές θερμοκρασίας, pH, DO, αλατότητας, βροχόπτωσης, Chl-a και TDS για τους 5 σταθμούς το μήνα Απρίλιο.

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων Fe, Zn, Cu και Cr που υπολογίστηκαν για τον μήνα Απρίλιο παρουσίασαν πολύ μεγάλες τιμές στους σταθμούς S1, S4 και S5, σε αντίθεση με τις πολύ μικρές σχετικά τιμές στο δυτικό τμήμα (σταθμοί S2 και S3) (Πίν. 10, Σχ. 4).

Πίνακας 10. Συγκεντρώσεις μετάλλων Fe, Zn, Cu και Cr στους σταθμούς δειγματοληψίας για τον μήνα Απρίλιο.

ΣΤΑΘΜΟΣ	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Cr (mg/L)
S1	40680	16,9	72,36667	91,4
S2	16734,67	0	22,9	25,3
S3	25528	0	30,76667	46,5
S4	41600	26,5	100,4333	98,56667
S5	39136	23,26667	85,16667	90,66667



Σχήμα 4. Συγκεντρώσεις μετάλλων Fe (α), Zn, Cu και Cr (β) στους σταθμούς δειγματοληψίας για τον μήνα Απρίλιο.

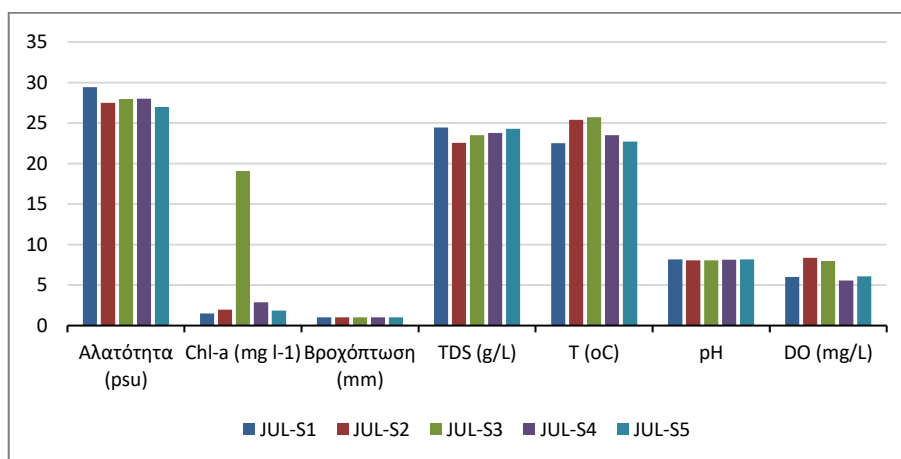
4.1.3 Ιούλιος 2016

Τον Ιούλιο του 2016, στην περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου, η θερμοκρασία στην επιφάνεια του πυθμένα κυμάνθηκε από 22,5°C έως 25,7°C και οι τιμές του pH από 8,06 έως 8,18. Η

ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου (DO) ήταν περίπου 6 mg/L για τους σταθμούς S1, S4 και S5, ενώ για τους σταθμούς S2 και S3 η ποσότητα αυξήθηκε στα ~8 mg/L. Οι τιμές για τα αιωρούμενα σωματίδια (TDS) κυμάνθηκαν από 22,57-24,46 g/L και η αλατότητα παρουσίασε τιμές από 26,99 έως 29,43 psu. Για τον μήνα Ιούλιο, η βροχόπτωση έφτασε το 1 mm. Όσον αφορά την χλωροφύλλη, οι τιμές της κυμάνθηκαν από 1,474 έως 2,893 $\mu\text{g l}^{-1}$ για όλους σχεδόν τους σταθμούς εκτός του S3, όπου παρατηρείται μια έντονη αύξηση στα επίπεδά της με την τιμή να έφτασε τα 19,091 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Πίν. 11, Σχ. 5).

Πίνακας 11. Μετρήσεις των παραμέτρων, Chl-a και βροχόπτωσης σε κάθε σταθμό για τον Ιούλιο του 2016.

ΙΟΥΛΙΟΣ	Σταθμός	Βάθος (m)	Secchi (m)	T(°C)	pH	DO (mg/L)	TDS (g/L)	Αλατότητα (psu)	Chl-a $\mu\text{g l}^{-1}$	Βροχόπτωση (mm)
	S1	21	4,1	22,5	8,18	5,99	24,46	29,43	1,474	1
	S2	3	3	25,4	8,06	8,36	22,57	27,51	1,979	1
	S3	3	1	25,7	8,06	7,97	23,52	27,98	19,091	1
	S4	15,1	4,4	23,5	8,14	5,57	23,79	28,01	2,893	1
	S5	20,2	4,3	22,7	8,15	6,07	24,28	26,99	1,859	1

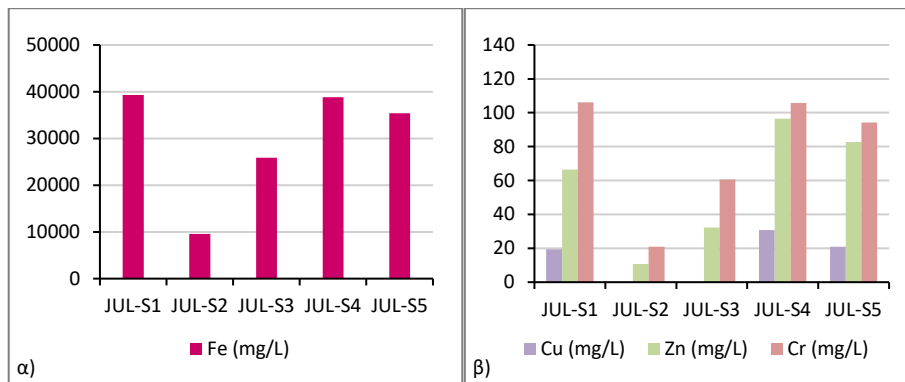


Σχήμα 5. Τιμές θερμοκρασίας, pH, DO, αλατότητας, βροχόπτωσης, Chl-a και TDS για τους 5 σταθμούς το μήνα Ιούλιο.

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που υπολογίστηκαν για τον μήνα Ιούλιο παρουσίασαν πολύ μεγάλες τιμές στους σταθμούς S1, S4 και S5, σε αντίθεση με τις πολύ μικρές σχετικά τιμές στους σταθμούς S2 και S3 (Πίν. 12, Σχ. 6).

Πίνακας 12. Συγκεντρώσεις μετάλλων Fe, Zn, Cu και Cr στους σταθμούς δειγματοληψίας για τον μήνα Ιούλιο.

ΙΟΥΛΙΟΣ	Σταθμός	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Cr (mg/L)
	S1	39269,33	19,43333	66,4	106,1333
	S2	9556	0	10,63333	20,9
	S3	25881,33	0	32,2	60,63333
	S4	38785,33	30,73333	96,46667	105,7333
	S5	35358,67	20,86667	82,76667	94,23333



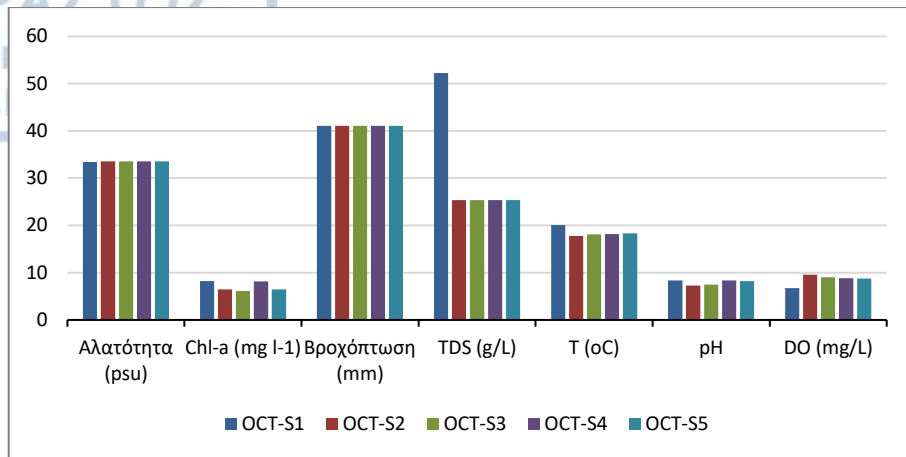
Σχήμα 6. Συγκεντρώσεις μετάλλων Fe (α), Zn, Cu και Cr (β) στους σταθμούς δειγματοληψίας για τον μήνα Ιούλιο.

4.1.4 Οκτώβριος 2016

Τον Οκτώβριο του 2016, στην περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου, η θερμοκρασία στην επιφάνεια του πυθμένα κυμάνθηκε από 17,8°C έως 20,1°C. Οι τιμές του pH για τους σταθμούς S1, S4 και S5, που βρίσκονται στην ανατολική πλευρά του Θερμαϊκού κόλπου, κυμάνθηκαν από 8,24 έως 8,43, ενώ για τους σταθμούς S2 και S3, που βρίσκονται στη δυτική πλευρά του Θερμαϊκού, οι τιμές του pH ήταν 7,27 και 7,45, αντίστοιχα. Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου (DO) για όλους τους σταθμούς κυμάνθηκε ~9 mg/L, εκτός του S1 όπου η τιμή ήταν χαμηλότερη, στα 6,70 mg/L. Οι τιμές για τα αιωρούμενα σωματίδια (TDS) κυμάνθηκαν από 25,33-25,35 g/L για όλους τους σταθμούς, εκτός του S1, όπου η τιμή είναι 52,24. Η αλατότητα για τον μήνα αυτό παρουσίασε τιμές από 33,42 έως 33,57 psu και η βροχόπτωση έφτασε τα 41,1 mm. Όσον αφορά την χλωροφύλλη, τα επίπεδά της έφτασαν περίπου τα 8 $\mu\text{g l}^{-1}$ για τους σταθμούς S1 και S4, ενώ για τους S2, S3 και S5 κυμάνθηκαν γύρω στα 6 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Πίν. 13, Σχ. 7).

Πίνακας 13. Μετρήσεις των παραμέτρων, Chl-a και βροχόπτωσης σε κάθε σταθμό για τον Οκτώβριο του 2016.

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	Σταθμός	Βάθος (m)	Secchi (m)	T(°C)	pH	DO (mg/L)	TDS (g/L)	Αλατότητα (psu)	Chl-a $\mu\text{g l}^{-1}$	Βροχόπτωση (mm)
	S1	22	4,1	20,1	8,34	6,70	52,24	33,42	8,245	41,1
	S2	2,8	2,8	17,8	7,27	9,58	25,35	33,53	6,439	41,1
	S3	2,8	2,2	18,1	7,45	9,03	25,34	33,54	6,151	41,1
	S4	17	3,2	18,2	8,34	8,82	25,33	33,55	8,155	41,1
	S5	20,7	3,6	18,3	8,24	8,78	25,34	33,57	6,457	41,1

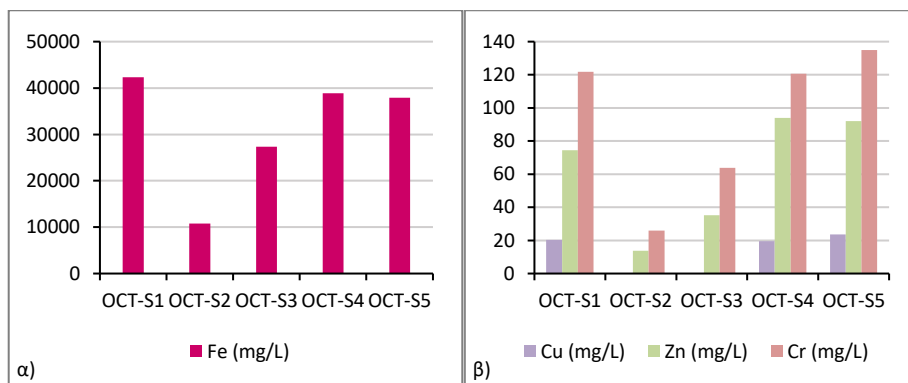


Σχήμα 7. Τιμές θερμοκρασίας, pH, DO, αλατότητας, βροχόπτωσης, Chl-a και TDS για τους 5 σταθμούς το μήνα Οκτώβριο.

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων Fe, Zn, Cu και Cr που υπολογίστηκαν για τον μήνα Οκτώβριο παρουσίασαν πολύ μεγάλες τιμές στους σταθμούς S1, S4 και S5, σε αντίθεση με τις πολύ μικρές σχετικά τιμές στο δυτικό τμήμα και στους σταθμούς S2 και S3 (Πίν. 14, Σχ. 8).

Πίνακας 14. Συγκεντρώσεις μετάλλων Fe, Zn, Cu και Cr στους σταθμούς δειγματοληψίας για τον μήνα Οκτώβριο.

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	Σταθμός	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Cr (mg/L)
	S1	42333,33	20,23333	74,36667	121,7
	S2	10800	0	13,66667	25,9
	S3	27336	0	35,13333	63,86667
	S4	38841,33	19,53333	93,93333	120,6667
	S5	37937,33	23,53333	92,1	134,8667



Σχήμα 8. Συγκεντρώσεις μετάλλων Fe (α), Zn, Cu και Cr (β) στους σταθμούς δειγματοληψίας για τον μήνα Οκτώβριο.

4.2 ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΕΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΖΩΝΤΑΝΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ

Κατά τη μελέτη του υλικού πρέπει να αναφερθεί ότι παρατηρήθηκε ένας σημαντικός αριθμός από γαστερόποδα, δίθυρα, θραύσματα μαλακίων, οστρακώδη, σκώληκες, βελόνες αχινών και σπόγγων, σπόροι, βρυόζωα, «καρβουνάκια», αλλά και ένας μικρός αριθμός πλαγκτονικών τρηματοφόρων.

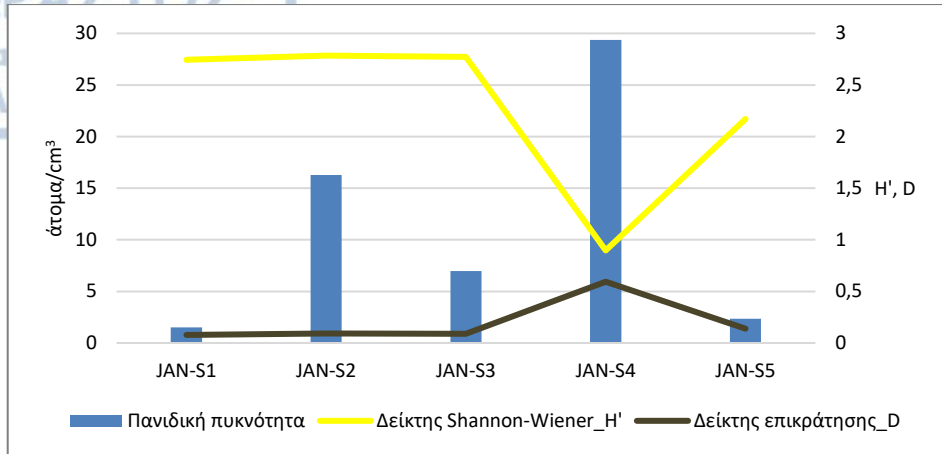
4.2.1 Ιανουάριος 2016

Κατά τη μελέτη της μικροπανίδας του Θερμαϊκού κόλπου, τον Ιανουάριο του 2016, προσδιορίστηκαν 53 είδη που ανήκουν σε 31 γένη. Το ποσοστό των ζωντανών (Rose Bengal stained) επί του συνόλου του πληθυσμού (ζωντανά + νεκρά άτομα) παρουσιάζει μικρές τιμές <10% για όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας, εκτός του S4, όπου το ποσοστό των ζωντανών φτάνει το 24%. Ο αριθμός των ειδών είναι χαμηλός για τους σταθμούς S4 και S5, ενώ είναι λίγο υψηλότερος για τους υπόλοιπους και ειδικά στον S2 (S=40) (Πιν. 15).

Πίνακας 15. Ποσοστά ζωντανών τρηματοφόρων, δείκτης αφθονίας Taxa_S, δείκτης επικράτησης_D, δείκτης Shannon-Wiener_H' και πανιδική πυκνότητα σε κάθε σταθμό για τον μήνα Ιανουάριο.

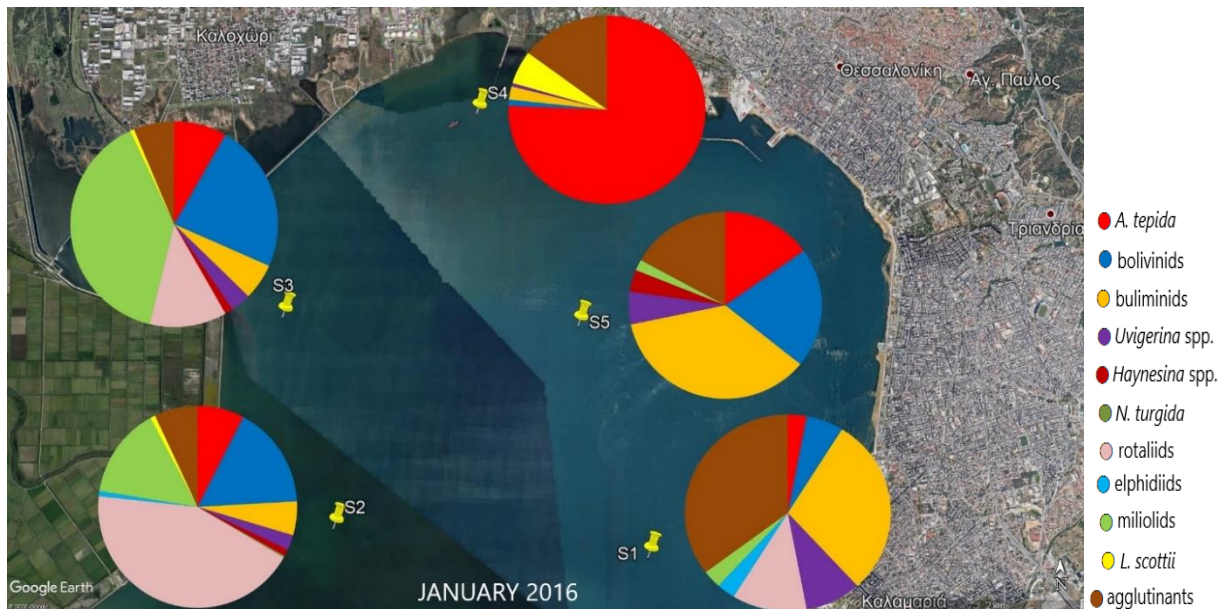
Σταθμός	Ζωντανά επί του συνόλου %	Δείκτης αφθονίας Taxa_S	Δείκτης επικράτησης_D	Δείκτης Shannon-Wiener_H'	Πανιδική πυκνότητα άτομα/cm ³
S1	7,476635514	19	0,07785	2,744	1,499118
S2	2,764976959	40	0,09329	2,785	16,26984
S3	8,588957055	26	0,08949	2,772	6,96649
S4	23,98843931	10	0,5936	0,8971	29,36508
S5	3,773584906	12	0,1378	2,172	2,336861

Ο δείκτης επικράτησης (Dominance, D) τείνει προς το 0, με εξαίρεση τον σταθμό S4, όπου η τιμή του δείκτη είναι περίπου 0,6. Κατά τον υπολογισμό του δείκτη ποικιλότητας Shannon-Wiener (H') παρατηρούνται παρόμοιες τιμές σε όλους τους σταθμούς (~ 2,6), εκτός από τον S4 όπου η τιμή του δείκτη είναι μικρότερη (H'=0,8971). Η πυκνότητα της πανίδας παρουσιάζει μια διαφοροποίηση στους διάφορους σταθμούς, με αρκετά μικρές τιμές για τους S1 (1,5 άτομα/cm³), S3 (6,97 άτομα/cm³) και S5 (2,34 άτομα/cm³), ενώ για τους S2 και S4 οι τιμές είναι πιο αυξημένες, 16,27 άτομα/cm³ και 29,37 άτομα/cm³ αντίστοιχα (Σχ. 9).



Σχήμα 9. Διακύμανση της πανιδικής πυκνότητας, του δείκτη H' και του δείκτη D για τον μήνα Ιανουάριο.

Στο σταθμό S1 της περιοχής μελέτης, για τον μήνα Ιανουάριο, παρατηρείται η έντονη συμμετοχή των agglutinants (είδη με συμφορματοπαγή κελύφη) με ποσοστό 35% (*Eggerelloides scaber*: 14,7%) και τα είδη των buliminids με ποσοστό σχεδόν 30%. Τα είδη της ομάδας των rotaliids και του *Uvigerina* spp. συμμετέχουν με ποσοστό 11,8% και 8,82% αντίστοιχα, ενώ είδη που ανήκουν στο γένος *Ammonia tepida*, bolivinids, elphidiids και στα miliolids συμμετέχουν με ένα μικρό ποσοστό <10%. Παρόμοια κατανομή παρουσιάζουν και στον S5 με τα buliminids (35,8%- *Bulimina elongata*: 20,8%) και τα bolivinids (20,8%- *Bolivina spathulata*: 18,9%) να επικρατούν, ενώ τα agglutinants εμφανίζονται μειωμένα (16,98%) (Εικ. 33, Πιν. 16).



Εικόνα 33. Ποσοστά των ζωντανών τρηματοφόρων σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας για τον Ιανουάριο 2016.

Στο σταθμό S2 τα είδη που βρέθηκαν σε μεγαλύτερο ποσοστό ανήκουν στην ομάδα των rotaliids με τιμή που φτάνει το 43,4% και ακολουθούν τα bolivinids και τα miliolids με χαμηλότερες τιμές, 16,5% και 14,6% αντίστοιχα. Τα υπόλοιπα είδη παρουσιάζουν πολύ μικρά ποσοστά <10% και ανήκουν στα είδη *A. tepida*, buliminids, elphidiids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., agglutinants, *Nonionella turgida* και *Leptohalysis scottii*. Παρόμοια κατανομή με κάποιες διακυμάνσεις παρουσιάζει η μικροπανίδα και στον σταθμό S3. Αντίθετα, έντονη διαφοροποίηση παρουσιάζει ο σταθμός S4 σε σχέση με όλους τους άλλους, καθώς αυξάνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό η συμμετοχή του *A. tepida*, με ποσοστό 75,7%. Ακολουθούν τα είδη που ανήκουν στα agglutinants με ποσοστό 14,71%, ενώ συμμετέχουν με μικρό ποσοστό το είδος *L. scottii* και τα είδη που ανήκουν στα bolivinids, buliminids και *Uvigerina* spp. με τιμές < 6%.

Πίνακας 16. Σχετικές συγκεντρώσεις των τρηματοφόρων στα δείγματα του Ιανουαρίου.

Σταθμός	<i>Ammonia tepida</i> %	bolivinids %	buliminids %	<i>Uvigerina</i> spp.%	<i>Haynesina</i> spp.%	<i>Nonionella turgida</i> %	rotaliids %	elphidiids %	miliolids %	<i>Leptohalysis scottii</i> %	agglutinants %
S1	2,94	5,88	29,4	8,82	0	0	11,8	2,94	2,94	0	35,29
S2	7,59	16,5	5,42	2,44	1,08	0,27	43,4	0,81	14,6	0,813	7,046
S3	8,23	23,4	5,7	3,16	1,27	0	12	0	39,2	0,633	6,329
S4	75,7	1,05	2,25	0,6	0	0	0	0	0	5,706	14,71
S5	15,1	20,8	35,8	5,66	3,77	0	0	0	1,89	0	16,98

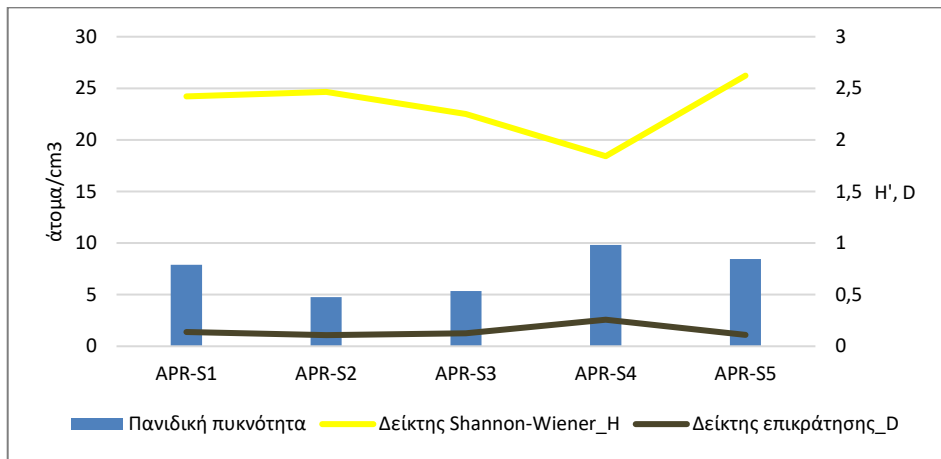
4.2.2 Απρίλιος 2016

Κατά τη μελέτη της μικροπανίδας του Θερμαϊκού κόλπου, τον Απρίλιο του 2016, προσδιορίστηκαν 40 είδη που ανήκουν σε 28 γένη. Το ποσοστό των ζωντανών επί του συνόλου του πληθυσμού (ζωντανά + νεκρά άτομα) παρουσιάζει χαμηλές τιμές, ιδιαίτερα για τους σταθμούς S1 και S5, όπου το ποσοστό είναι <10%, ενώ για τους υπόλοιπους ξεπερνά το 10% (Πιν. 17). Ο αριθμός των ειδών είναι χαμηλός σε όλους τους σταθμούς και κυμαίνεται από S=14 (S3) έως S=27 (S5).

Πίνακας 17. Ποσοστά ζωντανών τρηματοφόρων, δείκτης αφθονίας Taxa_S, δείκτης επικράτησης_D, δείκτης Shannon-Wiener_H' και πανιδική πυκνότητα σε κάθε σταθμό για τον μήνα Απρίλιο.

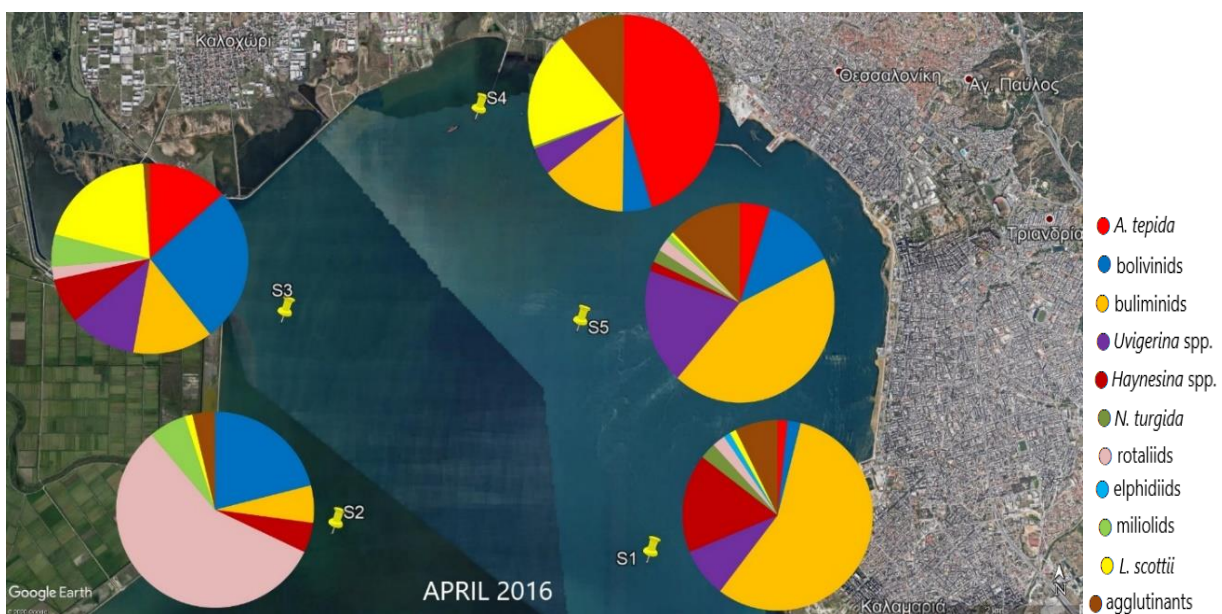
Σταθμός	Ζωντανά επί του συνόλου %	Δείκτης αφθονίας_S	Δείκτης επικράτησης_D	Δείκτης Shannon – Wiener H'	Πανιδική πυκνότητα/cm ³
S1	6,26349892	24	0,1386	2,422	7,892416
S2	13,46153846	17	0,1081	2,466	4,761905
S3	12,95180723	14	0,1252	2,251	5,349794
S4	15,14423077	15	0,2576	1,842	9,832451
S5	4,864864865	27	0,1111	2,623	8,465608

Ο δείκτης Επικράτησης (Dominance, D) τείνει προς το 0 σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας. Ο δείκτης ποικιλότητας Shannon-Wiener (H') είναι παρόμοιος σε όλους τους σταθμούς με μέση τιμή 2,32. Παρατηρείται μια ομοιογένεια στα δείγματα με μικρό αριθμό διαφορετικών ειδών. Η πυκνότητα της πανίδας δεν παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση ανάμεσα στους σταθμούς, με ελάχιστη τιμή 4,8 άτομα/cm³ στον S2 και μέγιστη τιμή 9,8 άτομα/cm³ στον S4 (Σχ. 10).



Σχήμα 10. Διακύμανση της πανιδικής πυκνότητας, του δείκτη H' και του δείκτη D για τον μήνα Απρίλιο.

Στο σταθμό S1 της περιοχής μελέτης, για τον μήνα Απρίλιο, τα buliminids επικρατούν με ποσοστό που φτάνει το 56,4% (*B. aculeata*: 22,4%, *B. elegantissima*: 22,4%). Αξιοσημείωτη είναι η συμμετοχή των ειδών του *Haynesina* spp. με ποσοστό 16,8%, ενώ ακολουθούν τα *Uvigerina* spp. και τα agglutinants με ποσοστά 8,38% και 7,26% αντίστοιχα.



Εικόνα 34. Ποσοστά των ζωντανών τρηματοφόρων σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας για το μήνα Απρίλιο -2016.

Τα *A. tepida*, bolivinids, elphidiids, rotaliids, *L. scottii* και *N. turgida* παρουσιάζουν πολύ μικρή συμμετοχή (μέση τιμή 1,86%). Παρόμοια κατανομή της μικροπανίδας παρατηρείται και στον σταθμό S5 (Εικ. 34). Στο σταθμό S2 η ομάδα που κυριαρχεί είναι τα rotaliids, με ένα μεγάλο ποσοστό 56,8% επί του συνόλου των ζωντανών τρηματοφόρων, ενώ ακολουθούν τα bolivinids (21%), και τα buliminids, *Haynesina* spp., miliolids, agglutinants και *L. scottii* συμμετέχουν σε μικρότερα ποσοστά (Πιν. 18). Στο σταθμό S3 επικρατούν τα bolivinids και το είδος *L. scottii* με τιμές 26,4% (*B. spathulata*: 17,6%) και 19,8% αντίστοιχα. Ακολουθούν με μικρότερα ποσοστά τα *A. tepida*, buliminids, *Uvigerina* spp. και τα miliolids. Στον σταθμό S4 κυριαρχεί το είδος *A. tepida* με ποσοστό 45,3%. Το είδος *L. scottii* φέρει και αυτό υψηλό ποσοστό (19,3%), ενώ τα buliminids, agglutinants, bolivinids και *N. turgida* συμμετέχουν με μικρότερα ποσοστά.

Πίνακας 18. Σχετικές συγκεντρώσεις των τρηματοφόρων στα δείγματα του Απριλίου.

Σταθμός	<i>Ammonia tepida</i> %	bolivinids %	buliminids %	<i>Uvigerina</i> spp.%	<i>Haynesina</i> spp.%	<i>Nonionella turgida</i> %	rotaliids %	elphidiids %	miliolids %	<i>Leptohalysis scottii</i> %	agglutinants %
S1	1,68	2,23	56,4	8,38	16,8	2,79	2,23	1,12	0	1,12	7,26
S2	0	21	6,17	0	4,94	0	56,8	0	6,17	1,23	3,7
S3	13,2	26,4	13,2	10,99	7,69	0	2,2	0	5,49	19,8	1,1
S4	45,3	4,93	14,3	4,484	0	0,45	0	0	0	19,3	11,2
S5	5,21	12,5	43,8	18,75	1,56	2,08	2,08	0	1,04	0,52	12,5

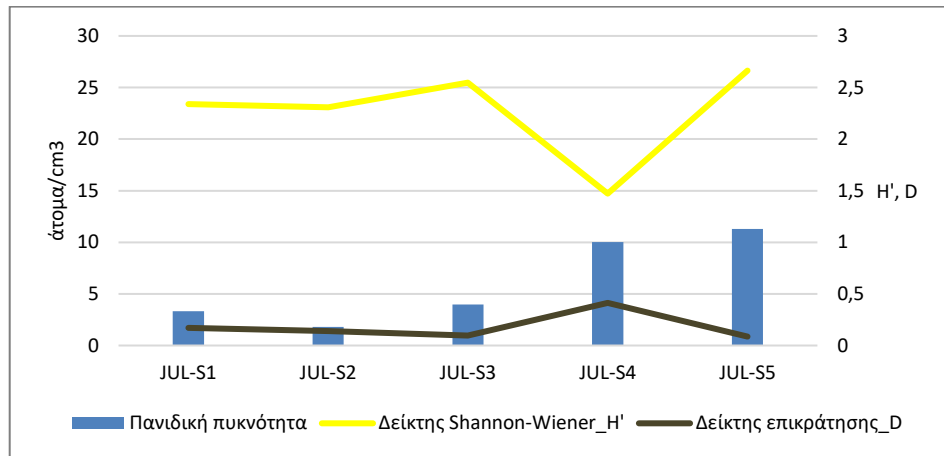
4.2.3 Ιούλιος 2016

Κατά τη μελέτη της μικροπανίδας του Θερμαϊκού κόλπου, τον Ιούλιο του 2016, προσδιορίστηκαν 41 είδη που ανήκουν σε 25 γένη. Το ποσοστό των ζωντανών ατόμων παρουσιάζει αρκετά χαμηλές τιμές (<10%) σε όλους τους σταθμούς εκτός του σταθμού S2, όπου το ποσοστό είναι αυξημένο σε αντίθεση με τους υπόλοιπους (28,67%). Ο αριθμός των ειδών είναι χαμηλός σε όλους τους σταθμούς και κυμαίνεται από S=15 (σταθμοί S2 και S4) έως S=22 στον σταθμό S5.

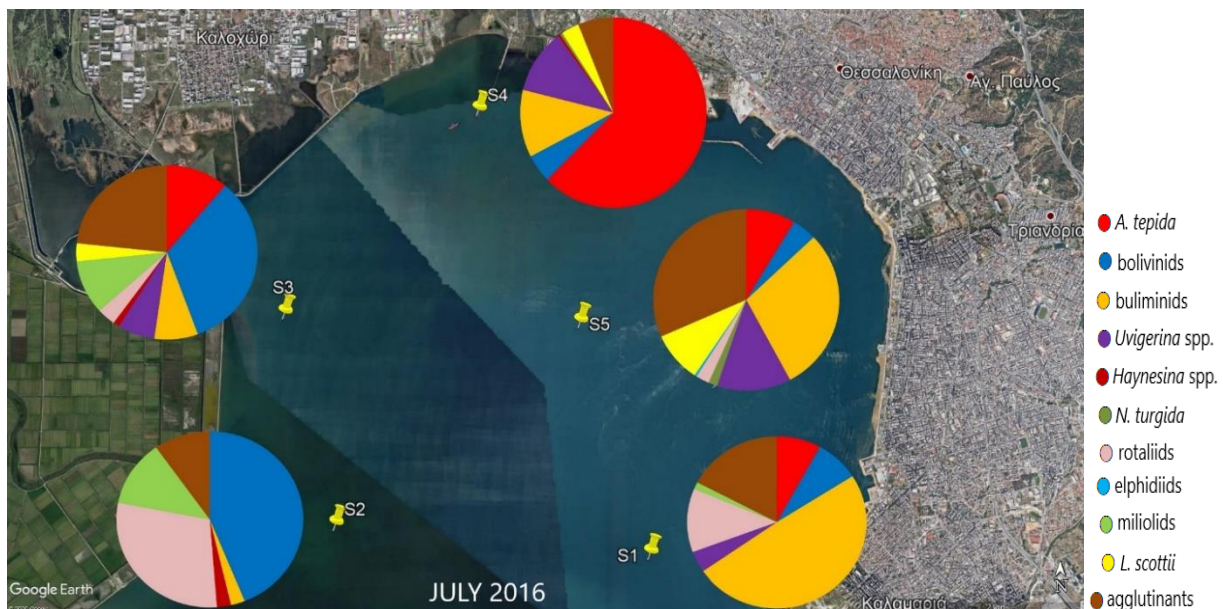
Πίνακας 19. Ποσοστά ζωντανών τρηματοφόρων, δείκτης αφθονίας Taxa_S, δείκτης επικράτησης_D, δείκτης Shannon-Wiener_H' και πανιδική πυκνότητα σε κάθε σταθμό για τον μήνα Ιούλιο.

Σταθμός	Ζωντανά επί του συνόλου %	Δείκτης αφθονίας_S	Δείκτης επικράτησης_D	Δείκτης Shannon – Wiener_H'	Πανιδική πυκνότητα/cm ³
S1	1,633986928	19	0,1712	2,338	3,306878
S2	28,67132867	15	0,1386	2,309	1,80776
S3	6,64556962	19	0,09704	2,548	3,968254
S4	9,340659341	15	0,4128	1,472	10,00882
S5	5,492424242	22	0,08643	2,664	11,28748

Ο δείκτης επικράτησης (Dominance, D) τείνει προς το 0 σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας. Υπάρχει μόνο μια μικρή απόκλιση στον σταθμό S4, όπου η τιμή φτάνει το 0.4. Ο δείκτης ποικιλότητας Shannon-Wiener (H') είναι παρόμοιος σε όλους τους σταθμούς με ελάχιστη τιμή στον S4 (1,472) και μέγιστη στον S5 (2,664) (Πιν. 19). Η πυκνότητα της πανίδας παρουσιάζει μικρές τιμές στους σταθμούς S1, S2 και S3 και λίγο μεγαλύτερες τιμές στους S4 και S5 (10 άτομα/cm³ και 11,29 άτομα/cm³) (Σχ. 11).



Σχήμα 11. Διακύμανση της πανιδικής πυκνότητας, του δείκτη H' και του δείκτη D για τον μήνα Ιούλιο.



Εικόνα 35. Ποσοστά των ζωντανών τρηματοφόρων σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας για το μήνα Ιούλιο-2016.

Στο σταθμό S1 της περιοχής μελέτης, για τον μήνα Ιούλιο (Εικ. 35), παρατηρείτε η έντονη συμμετοχή των buliminids, με ποσοστό που φτάνει το 49,3% (*B. elongata*: 37,3%), ενώ σημαντική

είναι και η συμμετοχή των rotaliids και agglutinants στο δείγμα με ποσοστά 12% και 17,33%, αντίστοιχα. Τα είδη που ανήκουν στα *A. tepida*, bolivinids, *Uvigerina* spp. και τα miliolids έχουν μικρά ποσοστά συμμετοχής στο σταθμό αυτό <10%. Παρόμοια κατανομή παρουσιάζεται και στο σταθμό S5, με τα agglutinants και τα buliminids να παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά, με τιμές 31,64% και 29,3%, αντίστοιχα. Οι υπόλοιπες ομάδες έχουν χαμηλά ποσοστά συμμετοχής, ενώ εμφανίζεται και το είδος *L. scotti* με ποσοστό 8,98%. Στο σταθμό S2 η ομάδα των bolivinids είναι αυτή που κυριαρχεί με ποσοστό 43,9% (*B. spathulata*: 26,8%), ενώ ακολουθούν τα rotaliids (29,3%- *Rosalina floridensis*: 19,5%) και τα miliolids (12,2%). Τα buliminids, *Haynesina* spp. και τα agglutinants έχουν μικρό ποσοστό συμμετοχής, <10%. Παρόμοια κατανομή με κάποιες διαφοροποιήσεις παρουσιάζει και ο σταθμός S3, όπου σε μεγαλύτερο ποσοστό βρέθηκαν τα bolivinids και τα agglutinants με τιμές 33,3% και 23,33% (*E. scaber*: 15,6%), αντίστοιχα. Τέλος, τα είδη *A. tepida* και *L. scotti* και οι ομάδες των miliolids, buliminids, *Uvigerina* spp. Rotaliids και *Haynesina* spp. συμμετέχουν με ποσά <11% (Πίν. 20). Στο σταθμό S4 η εικόνα είναι αρκετά διαφορετική με το είδος *A. tepida* να κυριαρχεί με ποσοστό 62,6%, ενώ οι ομάδες των bolivinids, buliminids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., *N. turgida*, *L. scotti* και agglutinants παρουσιάζουν μικρή συμμετοχή, με τιμές που κυμαίνονται από το μέγιστο 11,5% των buliminids έως 0,44% των *Haynesina* spp. και *N. turgida*.

Πίνακας 20. Σχετικές συγκεντρώσεις των τρηματοφόρων στα δείγματα του Ιουλίου.

Σταθμός	<i>Ammonia tepida</i> %	bolivinids %	buliminids %	<i>Uvigerina</i> spp.%	<i>Haynesina</i> spp.%	<i>Nonionella turgida</i> %	rotaliids %	elphidiids %	miliolids %	<i>Leptohalysis scotti</i> %	agglutinants %
S1	8	8	49,3	4	0	0	12	0	1,33	0	17,33
S2	0	43,9	2,44	0	2,44	0	29,3	0	12,2	0	9,76
S3	11,1	33,3	7,78	6,67	1,11	0	3,33	0	10	3,33	23,33
S4	62,6	4,85	11,5	11	0,44	0,44	0	0	0	3,08	6,17
S5	8,59	4,3	29,3	12,9	0	1,56	2,34	0,39	0	8,98	31,64

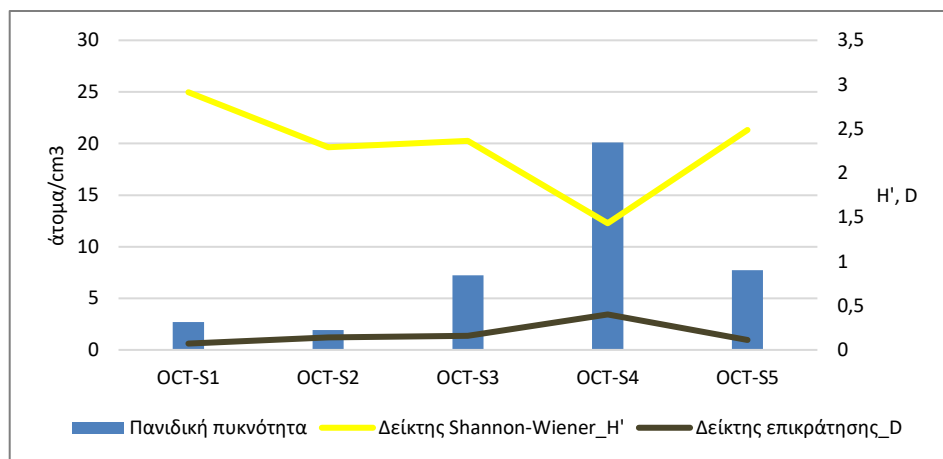
4.2.4 Οκτώβριος 2016

Κατά τη μελέτη της μικροπανίδας του Θερμαϊκού κόλπου, τον Οκτώβριο του 2016, προσδιορίστηκαν 44 είδη που ανήκουν σε 30 γένη. Το ποσοστό των ζωντανών (Rose Bengal stained) ατόμων παρουσιάζει γενικά χαμηλές τιμές για τους σταθμούς S1, S3 και S5 (<6%), ενώ στους S2 και S4 το ποσοστό είναι πιο αυξημένο (26,35% και 11,13% αντίστοιχα). Ο αριθμός των ειδών είναι χαμηλός σε όλους τους σταθμούς και κυμαίνεται από S=14 στον S4 σταθμό έως S=26 στον S1 (Πίν. 21).

Πίνακας 21. Ποσοστά ζωντανών τρηματοφόρων, δείκτης αφθονίας Taxa_S, δείκτης επικράτησης_D, δείκτης Shannon-Wiener_H' και πανιδική πυκνότητα σε κάθε σταθμό για τον μήνα Οκτώβριο.

Σταθμός	Ζωντανά επί του συνόλου %	Δείκτης αφθονίας_S	Δείκτης επικράτησης_D	Δείκτης Shannon – Wiener_H	Πανιδική πυκνότητα/cm ³
S1	3,712296984	26	0,07175	2,913	2,689594
S2	26,34730539	15	0,1415	2,291	1,940035
S3	5,354058722	23	0,1582	2,362	7,231041
S4	11,12716763	14	0,4011	1,432	20,10582
S5	5,555555556	20	0,1123	2,488	7,716049

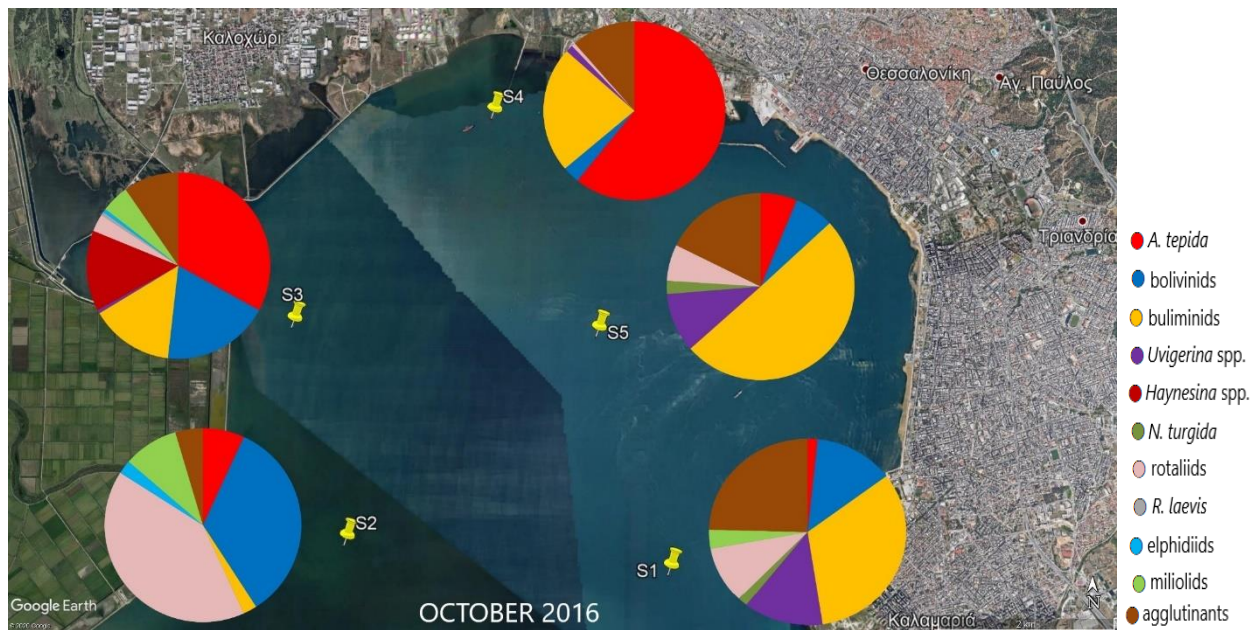
Ο δείκτης επικράτησης (Dominance, D) τείνει προς το 0 σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας, εκτός από μια μικρή απόκλιση στον σταθμό S4, όπου η τιμή ανεβαίνει στο 0,4. Ο δείκτης ποικιλότητας Shannon – Wiener (H') είναι παρόμοιος σε όλους τους σταθμούς με ελάχιστη τιμή στον S4 (1,432) και μέγιστη στον S1 (2,913). Η πυκνότητα της πανίδας παρουσιάζει μικρές τιμές στους σταθμούς S1 και S2 (2,69 άτομα/cm³ και 1,94 άτομα/cm³), λίγο πιο αυξημένες στους S3 και S5 (7,23 άτομα/cm³ και 7,72 άτομα/cm³), ενώ στον S4 η πανιδική πυκνότητα είναι ~ 20 άτομα/cm³ (Σχ.12).



Σχήμα 12. Διακύμανση της πανιδικής πυκνότητας, του δείκτη H' και του δείκτη D για τον μήνα Οκτώβριο.

Στο σταθμό S1 της περιοχής μελέτης, για τον μήνα Οκτώβριο (Εικ. 36), παρατηρείται η έντονη συμμετοχή της ομάδας των buliminids και των agglutinants με ποσοστά 32,3% και 24,2%, αντίστοιχα, ενώ σημαντική είναι και η συμμετοχή των bolivinids, *Uvigerina* spp. και rotaliids στο δείγμα με ποσοστά 12,9%, 12,9% και 9,68% για το καθένα. Τα είδη *A. tepida*, *N. turgida* και τα miliolids έχουν μικρά ποσοστά συμμετοχής στο σταθμό αυτό, <4%. Παρόμοια κατανομή παρουσιάζεται και στον S5, όπου τα buliminids παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής 50,3% μαζί με τα agglutinants με ποσοστό συμμετοχής 17,7%. Τα υπόλοιπα είδη που

ανήκουν στα *Uvigerina* spp., bolivinids, *A. tepida*, rotaliids και *N. turgida* έχουν ένα μικρό ποσοστό συμμετοχής <10%.



Εικόνα 36. Ποσοστά των ζωντανών τρηματοφόρων σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας για το μήνα Οκτώβριο-2016.

Στο σταθμό S2, η ομάδα των rotaliids και των bolivinids επικρατούν με μεγαλύτερα ποσοστά, οι τιμές των οποίων είναι 40,9% (*R. floridensis*: 25%) και 34,1% (*B. spathulata*: 22,7%). Οι υπόλοιπες ομάδες τρηματοφόρων (miliolids, *A. tepida*, buliminids, elphidiids και agglutinants) συμμετέχουν με ποσοστά <10%. Στο σταθμό S3 τα είδη που βρέθηκαν σε μεγαλύτερο ποσοστό ανήκουν στο είδος *A. tepida* με ποσοστό 32,9% και ακολουθούν οι ομάδες των bolivinids, buliminids και *Haynesina* spp. με ποσοστά 18,9%, 14,6% και 14,02%. Οι ομάδες των agglutinants, miliolids και rotaliids συμμετέχουν με αρκετά μικρά ποσοστά <10% και ελάχιστη συμμετοχή έχουν τα *Uvigerina* spp., elphidiids και το είδος *R. laevis* (0,61%). Στον σταθμό S4 η κατανομή είναι αρκετά διαφορετική από τους υπόλοιπους σταθμούς με το είδος *A. tepida* να κυριαρχεί με ποσοστό 60,7%. Σημαντική είναι η συμμετοχή των buliminids και agglutinants με ποσοστά 22,8% και 11,4%. Οι ομάδες των bolivinids, *Uvigerina* spp. και rotaliids συμμετέχουν με ποσοστά <4% (Πίν.22).

Πίνακας 22. Σχετικές συγκεντρώσεις των τρηματοφόρων στα δείγματα του Οκτωβρίου.

Σταθμός	<i>Ammonia tepida</i> %	bolivinids %	buliminids %	<i>Uvigerina</i> spp.%	<i>Haynesina</i> spp.%	<i>Nonionella turgida</i> %	rotaliids %	<i>Reusoolina laevis</i> %	elphidiids %	miliolids %	agglutinants %
S1	1,61	12,9	32,3	12,9	0	1,61	9,68	0	0	3,23	24,2
S2	6,82	34,1	2,27	0	0	0	40,9	0	2,27	9,09	4,55
S3	32,9	18,9	14,6	0,61	14,02	0	3,05	0,61	0,61	4,88	9,76
S4	60,7	3,07	22,8	1,32	0	0	0,66	0	0	0	11,4
S5	6,29	6,86	50,3	10,3	0	2,29	6,29	0	0	0	17,7

4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ FSI ΚΑΙ FORAM-AMBI ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΕΙΣ ΤΩΝ ΖΩΝΤΑΝΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ

Στις συναθροίσεις των ζωντανών τρηματοφόρων έγινε προσπάθεια υπολογισμού των δεικτών FSI και FORAM-AMBI για κάθε μήνα και σε καθένα σταθμό. Για το δείκτη FSI το κάθε είδος τρηματοφόρου χαρακτηρίστηκε πρώτα ως «ευαίσθητο ή ανθεκτικό» (Πίν. 23), ενώ για το δείκτη FORAM-AMBI έγινε πρώτα κατηγοριοποίηση του κάθε είδους τρηματοφόρου σε μια από τις 5 οικολογικές ομάδες σύμφωνα με τους Alve et al. (2016) Jorissen et al. (2018), O'Malley et al. (2021) και Bouchet et al. (2021). Με αυτόν τον τρόπο προέκυψαν και οι 6 διαφορετικές τιμές του δείκτη που παρουσιάζονται στον Πιν.24.

Πίνακας 23. Κατάταξη ειδών τρηματοφόρων σε «ευαίσθητα» (Sen) και «ανθεκτικά» (Str) για την εφαρμογή του δείκτη FSI.

ΕΙΔΗ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ	Sen/Str	ΕΙΔΗ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ	Sen/Str
<i>Adelosina carinata-striata</i> Wiesner 1912	Sen	<i>Lobatula lobatula</i> (Walker & Jacob 1798)	Sen
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman 1926)	Str	<i>Miliolinella subrotunda</i> (Montagu 1803)	Sen
<i>Asterigerinata mammila</i> (Williamson 1858)	Sen	<i>Neoconorbina terquemi</i> (Rzehak 1888)	Sen
<i>Aubignyna perlucida</i> (Heron-Allen & Earland 1913)	Sen	<i>Nonionella turgida</i> (Williamson 1858)	Str
<i>Bolivina dilatata</i> Reuss 1850	Str	<i>Planorbulina mediterraneensis</i> d'Orbigny 1826	Sen
<i>Bolivina pseudoplicata</i> Heron-Allen & Earland 1930	Str	<i>Quinqueloculina berthelotiana</i> d'Orbigny 1839	Sen
<i>Bolivina seminuda</i> Cushman 1911	Str	<i>Quinqueloculina laevigata</i> d'Orbigny 1839	Sen
<i>Bolivina spathulata</i> (Williamson 1858)	Str	<i>Quinqueloculina padana</i> Perconig 1954	Sen
<i>Bolivina striatula</i> Cushman 1922	Str	<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linnaeus 1758)	Sen
<i>Buccella frigida</i> (Cushman 1921)	Sen	<i>Quinqueloculina stelligera</i> Schlumberger 1839	Sen
<i>Bulimina aculeata</i> d'Orbigny 1826	Str	<i>Rectuvigerina phlegeri</i> Le Calvez 1959	Sen
<i>Bulimina elongata</i> d'Orbigny 1846	Str	<i>Reophax subfusiformis</i> Earland Em. Höglund 1947	Str
<i>Bulimina marginata</i> d'Orbigny 1826	Str	<i>Reophax</i> sp.	Str
<i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny 1839)	Str	<i>Reusoolina laevis</i> (Montagu 1803)	Sen
<i>Buliminella</i> sp. (from Rupp 1986)	Str	<i>Rosalina floridensis</i> (Cushman 1922)	Sen
<i>Cibicides refulgens</i> de Montfort 1808	Sen	<i>Rosalina globularis</i> d'Orbigny 1826	Sen
<i>Cibicidella variabilis</i> (d'Orbigny 1826)	Sen	<i>Rosalina macropora</i> (Hofker 1951)	Sen
<i>Cornuspira involvens</i> (Reuss 1850)	Sen	Rotaliid sp.	Sen
<i>Discorbinella bertheloti</i> (d'Orbigny 1839)	Sen	<i>Sigmoilinita</i> sp.	Sen
<i>Discorbis williamsoni</i> Chapman & Parr 1932	Sen	<i>Sigmoilopsis schlumbergeri</i> (Silvestri 1904)	Sen
<i>Eggereloides scaber</i> (Williamson 1858)	Str	<i>Sinuloculina mayeriana</i> (d'Orbigny 1826)	Sen
<i>Elphidium advenum</i> (Cushman 1922)	Sen	<i>Spirillina vivipara</i> Ehrenberg 1841	Sen
<i>Elphidium excavatum clavatum</i> Cushman 1930	Sen	<i>Spiroloculina excavata</i> d'Orbigny 1846	Sen
<i>Elphidium gunteri</i> Cole 1931	Sen	<i>Textularia agglutinans</i> d'Orbigny 1839	Str

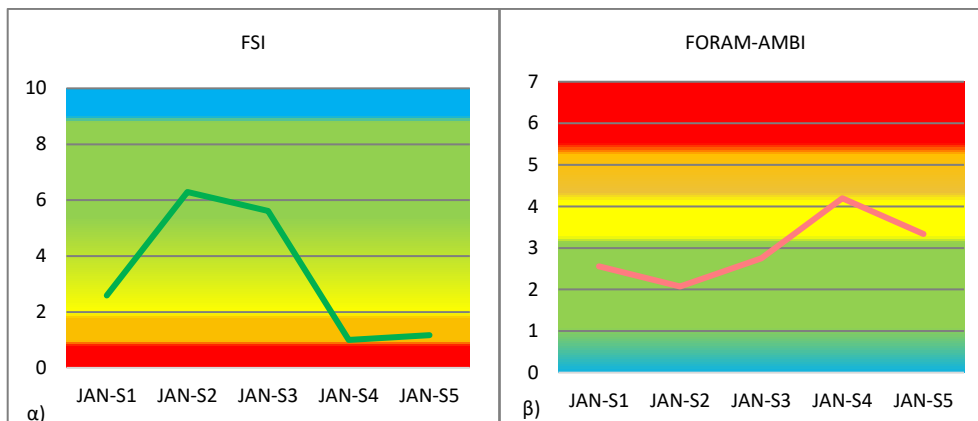
<i>Elphidium translucens</i> Natland 1938	Sen	<i>Textularia bocki</i> Höglund, 1947	Str
<i>Eratidus foliaceus</i> (Brady 1881)	Str	<i>Textularia sagittula</i> Defrance 1824	Str
<i>Fursenkoina acuta</i> (d'Orbigny 1846)	Str	<i>Textularia tenuissima</i> Earland 1933	Str
<i>Glomospira gordialis</i> (Jones & Parker 1860)	Str	<i>Triloculina tricarinata</i> d'Orbigny 1826	Sen
<i>Haplophragmoides canariensis</i> (d'Orbigny 1839)	Str	<i>Triloculina trigonula</i> (Lamarck 1804)	Sen
<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob 1798)	Str	<i>Trochammina hadai</i> Uchio 1962	Str
<i>Haynesina germanica</i> (Ehrenberg 1840)	Str	<i>Uvigerina mediterranea</i> Hofker 1932	Str
<i>Lachlanella reticulata</i> (d'Orbigny 1826)	Sen	<i>Uvigerina proboscidea</i> Schwager 1866	Str
<i>Lenticulina gibba</i> (d'Orbigny 1826)	Sen	<i>Uvigerina</i> sp.	Str
<i>Leptohalysis scottii</i> (Chaster 1892)	Str	<i>Virgulinea fragilis</i> Grindell & Collen 1976	Str

Πίνακας 24. Κατάταξη ειδών τρηματοφόρων στις οικολογικές ομάδες σύμφωνα με τον δείκτη Foram AMBI.

ΕΙΔΗ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ	ΟΜΑΔΑ	ΕΙΔΗ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ	ΟΜΑΔΑ
<i>Adelosina carinata-striata</i> Wiesner 1912	I	<i>Lobatula lobatula</i> (Walker & Jacob 1798)	I
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman 1926)	IV	<i>Miliolinella subrotunda</i> (Montagu 1803)	I
<i>Asterigerinata mammila</i> (Williamson 1858)	I	<i>Neonoronina terquemi</i> (Rzehak 1888)	I
<i>Aubignyna perlucida</i> (Heron-Allen & Earland 1913)	V	<i>Nonionella turgida</i> (Williamson 1858)	V
<i>Bolivina dilatata</i> Reuss 1850	II	<i>Planorbulina mediterranea</i> d'Orbigny 1826	I
<i>Bolivina pseudoplicata</i> Heron-Allen & Earland 1930	V	<i>Quinqueloculina berthelotiana</i> d'Orbigny 1839	I
<i>Bolivina seminuda</i> Cushman 1911	III	<i>Quinqueloculina laevigata</i> d'Orbigny 1839	II
<i>Bolivina spathulata</i> (Williamson 1858)	IV	<i>Quinqueloculina padana</i> Perconig 1954	III
<i>Bolivina striatula</i> Cushman 1922	III	<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linnaeus 1758)	III
<i>Buccella frigida</i> (Cushman 1921)	III	<i>Quinqueloculina stelligera</i> Schlumberger 1839	III
<i>Bulimina aculeata</i> d'Orbigny 1826	III	<i>Rectuvigerina phlegeri</i> Le Calvez 1959	III
<i>Bulimina elongata</i> d'Orbigny 1846	III	<i>Reophax subfusiformis</i> Earland Em. Höglund 1947	II
<i>Bulimina marginata</i> d'Orbigny 1826	III	<i>Reophax</i> sp.	
<i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny 1839)	V	<i>Reusoolina laevis</i> (Montagu 1803)	IV
<i>Buliminella</i> sp. (from Rupp 1986)		<i>Rosalina floridensis</i> (Cushman 1922)	I
<i>Cibicides refulgens</i> de Montfort 1808	I	<i>Rosalina globularis</i> d'Orbigny 1826	II
<i>Cibicidella variabilis</i> (d'Orbigny 1826)	I	<i>Rosalina macropora</i> (Hofker 1951)	I
<i>Cornuspira involvens</i> (Reuss 1850)	III	<i>Rotaliid</i> sp.	
<i>Discorbinella bertheloti</i> (d'Orbigny 1839)	III	<i>Sigmoilinita</i> sp.	
<i>Discorbis williamsoni</i> Chapman & Parr 1932		<i>Sigmoilopsis schlumbergeri</i> (Silvestri 1904)	III
<i>Eggereloides scaber</i> (Williamson 1858)	III	<i>Sinuloculina mayeriana</i> (d'Orbigny 1826)	
<i>Elphidium advenum</i> (Cushman 1922)	II	<i>Spirillina vivipara</i> Ehrenberg 1841	III
<i>Elphidium excavatum clavatum</i> Cushman 1930	III	<i>Spiroloculina excavata</i> d'Orbigny 1846	I
<i>Elphidium gunteri</i> Cole 1931	V	<i>Textularia agglutinans</i> d'Orbigny 1839	IV
<i>Elphidium translucens</i> Natland 1938	II	<i>Textularia bocki</i> Höglund, 1947	III
<i>Eratidus foliaceus</i> (Brady 1881)	II	<i>Textularia sagittula</i> Defrance 1824	
<i>Fursenkoina acuta</i> (d'Orbigny 1846)		<i>Textularia tenuissima</i> Earland 1933	
<i>Glomospira gordialis</i> (Jones & Parker 1860)	III	<i>Triloculina tricarinata</i> d'Orbigny 1826	I
<i>Haplophragmoides canariensis</i> (d'Orbigny 1839)		<i>Triloculina trigonula</i> (Lamarck 1804)	III
<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob 1798)	II	<i>Trochammina hadai</i> Uchio 1962	
<i>Haynesina germanica</i> (Ehrenberg 1840)	V	<i>Uvigerina mediterranea</i> Hofker 1932	II
<i>Lachlanella reticulata</i> (d'Orbigny 1826)		<i>Uvigerina proboscidea</i> Schwager 1866	
<i>Lenticulina gibba</i> (d'Orbigny 1826)		<i>Uvigerina</i> sp.	
<i>Leptohalysis scottii</i> (Chaster 1892)	V	<i>Virgulinea fragilis</i> Grindell & Collen 1976	

Οι τιμές του FSI για τον μήνα Ιανουάριο διαφέρουν για τους σταθμούς που βρίσκονται στο ανατολικό και στο δυτικό τμήμα του Θερμαϊκού κόλπου. Στο ανατολικό τμήμα και στους σταθμούς S1, S4 και S5 οι τιμές είναι χαμηλές και τείνουν προς το 1, ενώ στους σταθμούς S2 και S3, στο δυτικό τμήμα, οι τιμές του FSI είναι 6,3 και 5,6 (Πίν. 25, Σχ. 13α).

Οι τιμές του FORAM-AMBI (κατά Alve-Jorissen-O'Malley-Bouchet) είναι παρόμοιες για τους σταθμούς S1, S2 και S3, με τιμές από 2,1 έως 2,8 και για τους σταθμούς S4 και S5 είναι πιο αυξημένη, 4,2 και 3,3 αντίστοιχα (Πίν. 25, Σχ. 13β).



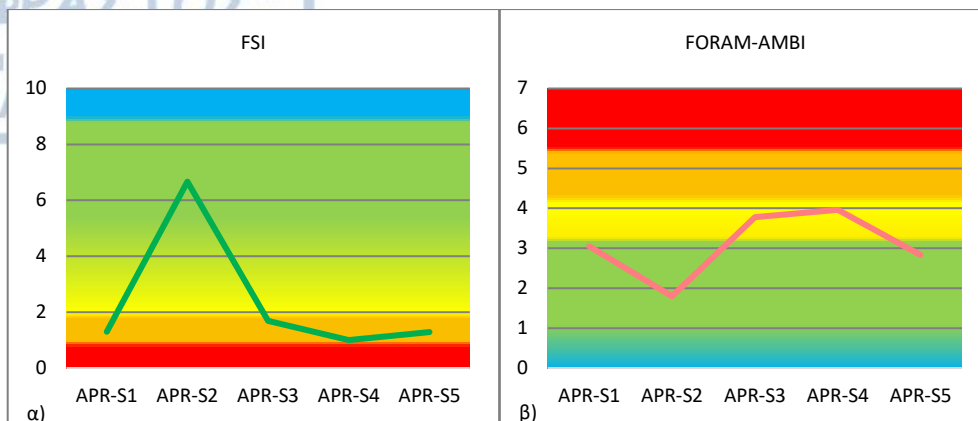
Σχήμα 13. α) Τιμές του δείκτη FSI, β) τιμές του δείκτη FORAM-AMBI (για τον μήνα Ιανουάριο).

Πίνακας 25. Βιοτικοί δείκτες για την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας του περιβάλλοντος για τον Ιανουάριο 2016.

Σταθμός	FSI	FORAM-AMBI (κατά Jorissen)	FORAM-AMBI (κατά Alve)	FORAM-AMBI (κατά O'Malley)	FORAM-AMBI (κατά Bouchet)	FORAM-AMBI (κατά Jorissen-Bouchet)	FORAM-AMBI (κατά Alve-Jorissen-O'Malley-Bouchet)
S1	2,6	1,6	1,2	1,4	0,9	2,1	2,6
S2	6,3	1,4	0,9	0,7	1,1	1,7	2,1
S3	5,6	2,2	1,03	0,7	1,2	2,6	2,8
S4	1	4,2	0,6	0,02	2,3	4,2	4,2
S5	1,2	2,8	1,7	0,8	2,1	3,2	3,3

Οι τιμές του FSI για τον μήνα Απρίλιο κυμαίνονται σε παρόμοιες τιμές για όλους τους σταθμούς από 1 έως 1,69, εκτός από τον S2, όπου η τιμή του διαφοροποιείται αρκετά (FSI=6,67) (Πίν. 26, Σχ. 14α).

Οι τιμές του FORAM-AMBI (κατά Alve-Jorissen-O'Malley-Bouchet) είναι χαμηλές για τους σταθμούς S1, S2 και S5 από 1,8-3,1, ενώ στους σταθμούς S3 και S4 αυξάνεται ο δείκτης, με τιμές που φτάνουν κοντά στο 4 (Πίν. 26, Σχ. 14β).



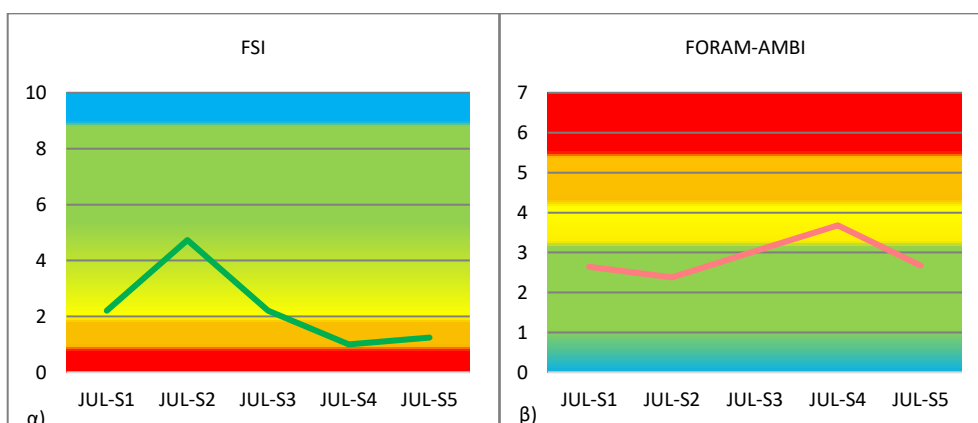
Σχήμα 14. α) Τιμές του δείκτη FSI, β) τιμές του δείκτη FORAM-AMBI (για τον μήνα Απρίλιο).

Πίνακας 26. Βιοτικοί δείκτες για την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας του περιβάλλοντος για τον Απρίλιο 2016.

Σταθμός	FSI	FORAM-AMBI (κατά Jorissen)	FORAM-AMBI (κατά Alve)	FORAM-AMBI (κατά O'Malley)	FORAM-AMBI (κατά Bouchet)	FORAM-AMBI (κατά Jorissen-Bouchet)	FORAM-AMBI (κατά Alve-Jorissen-O'Malley-Bouchet)
S1	1,3	1,6	0,99	2,1	1,02	2,4	3,1
S2	6,7	1,02	0,9	0,8	1,1	1,5	1,8
S3	1,7	2,9	1,6	1,1	1,5	3,5	3,8
S4	1	3,8	1,1	0,2	1,8	3,9	3,96
S5	1,3	1,98	1,3	0,9	1,8	2,5	2,8

Οι τιμές του FSI για τον μήνα Ιούλιο είναι ίδιες για τους σταθμούς S1 και S3 (2,2) ενώ ο S2 εμφανίζει μεγαλύτερη τιμή (4,7). Οι σταθμοί S4 και S5 παρουσιάζουν αρκετά διαφορετικές τιμές δείκτη από τους άλλους σταθμούς, με τιμές 1 και 1,25 αντίστοιχα (Πίν. 27, Σχ. 15α).

Ο σταθμός S4 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή του FORAM-AMBI (κατά Alve-Jorissen-O'Malley-Bouchet) για αυτόν τον μήνα (3,7). Οι τιμές για τους υπόλοιπους σταθμούς παρουσιάζουν μια ομοιομορφία και κυμαίνονται από 2,4 έως 3,03 (Πίν. 27, Σχ. 15β).



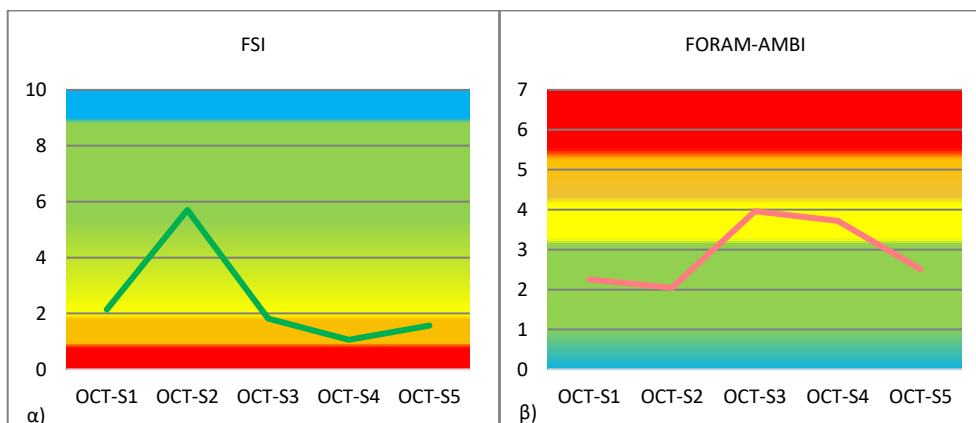
Σχήμα 15. α) Τιμές του δείκτη FSI, β) τιμές του δείκτη FORAM-AMBI (για τον μήνα Ιούλιο).

Πίνακας 27. Βιοτικοί δείκτες για την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας του περιβάλλοντος για τον Ιούλιο 2016.

Σταθμός	FSI	FORAM-AMBI (κατά Jorissen)	FORAM-AMBI (κατά Alve)	FORAM-AMBI (κατά O'Malley)	FORAM-AMBI (κατά Bouchet)	FORAM-AMBI (κατά Jorissen-Bouchet)	FORAM-AMBI (κατά Alve-Jorissen-O'Malley-Bouchet)
S1	2,2	2,4	1,02	0,6	2,2	2,7	2,6
S2	4,7	1,7	1,2	0,95	1,4	2,2	2,4
S3	2,2	2,3	1,5	0,8	1,5	2,9	3,03
S4	1	3,6	0,5	0,2	2,3	3,7	3,7
S5	1,3	2,3	1,2	0,7	0,9	2,5	2,7

Οι τιμές του FSI για τον μήνα Οκτώβριο χωρίζουν τους σταθμούς σε τρεις διαφορετικές ομάδες. Ο S1 έχει τιμή δείκτη 2,15, ενώ ο S2 έχει τιμή 5,71. Οι υπόλοιποι 3 σταθμοί έχουν παρόμοιες τιμές που τείνουν προς το 0 (1,82, 1,06, 1,57) (Πίν. 28, Σχ. 16α).

Οι τιμές του FORAM-AMBI (κατά Alve-Jorissen-O'Malley-Bouchet) για τον Οκτώβριο είναι παρόμοιες για τους σταθμούς S1, S2 και S5 (FORAM-AMBI=2,1-2,5), ενώ είναι πιο αυξημένος στους σταθμούς S3 και S4, με τιμές 3,96 και 3,7 αντίστοιχα (Πίν. 28, Σχ. 16β).



Σχήμα 16. α) Τιμές του δείκτη FSI, β) τιμές του δείκτη FORAM-AMBI (για τον μήνα Οκτώβριο).

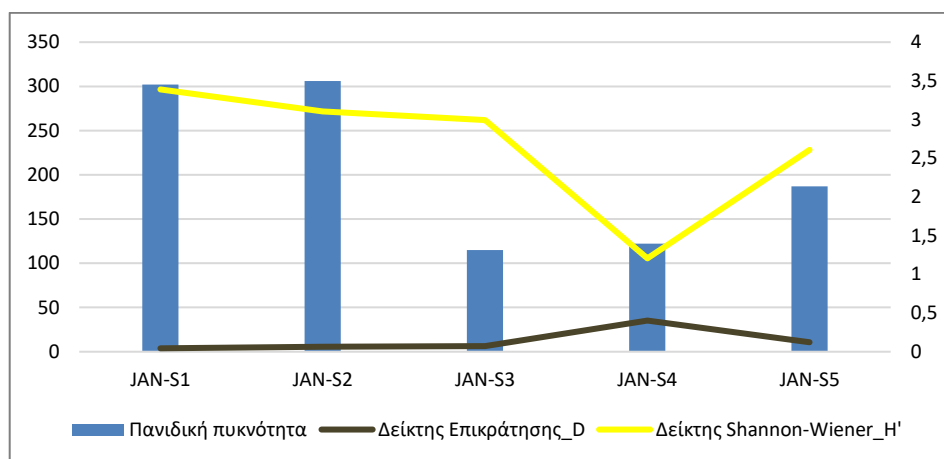
Πίνακας 28. Βιοτικοί δείκτες για την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας του περιβάλλοντος για τον Οκτώβριο 2016.

Σταθμός	FSI	FORAM-AMBI (κατά Jorissen)	FORAM-AMBI (κατά Alve)	FORAM-AMBI (κατά O'Malley)	FORAM-AMBI (κατά Bouchet)	FORAM-AMBI (κατά Jorissen-Bouchet)	FORAM-AMBI (κατά Alve-Jorissen-O'Malley-Bouchet)
S1	2,2	1,9	0,8	0,7	1,4	2,2	2,3
S2	5,7	1,6	0,95	0,5	1,4	1,98	2,1
S3	1,8	2,9	0,95	1,6	2,3	3,3	3,96
S4	1,1	3,6	0,6	0,2	2,4	3,7	3,7
S5	1,6	2,2	1,1	0,8	1,3	2,3	2,5

4.4 ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΕΙΣ ΖΩΝΤΑΝΩΝ ΚΑΙ ΝΕΚΡΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ

4.4.1 Ιανουάριος 2016

Κατά τη μελέτη της μικροπανίδας του Θερμαϊκού κόλπου, τον Ιανουάριο του 2016, προσδιορίστηκαν 82 είδη που ανήκουν σε 48 γένη. Οι τιμές του δείκτη αφθονίας (Πίν. 29) παρουσιάζονται μικρότερες σε σχέση με τους άλλους μήνες. Όλοι οι σταθμοί έχουν παρόμοιες τιμές από 33-47, εκτός από τον S4 που η τιμή του είναι αρκετά μικρότερη (S=16).

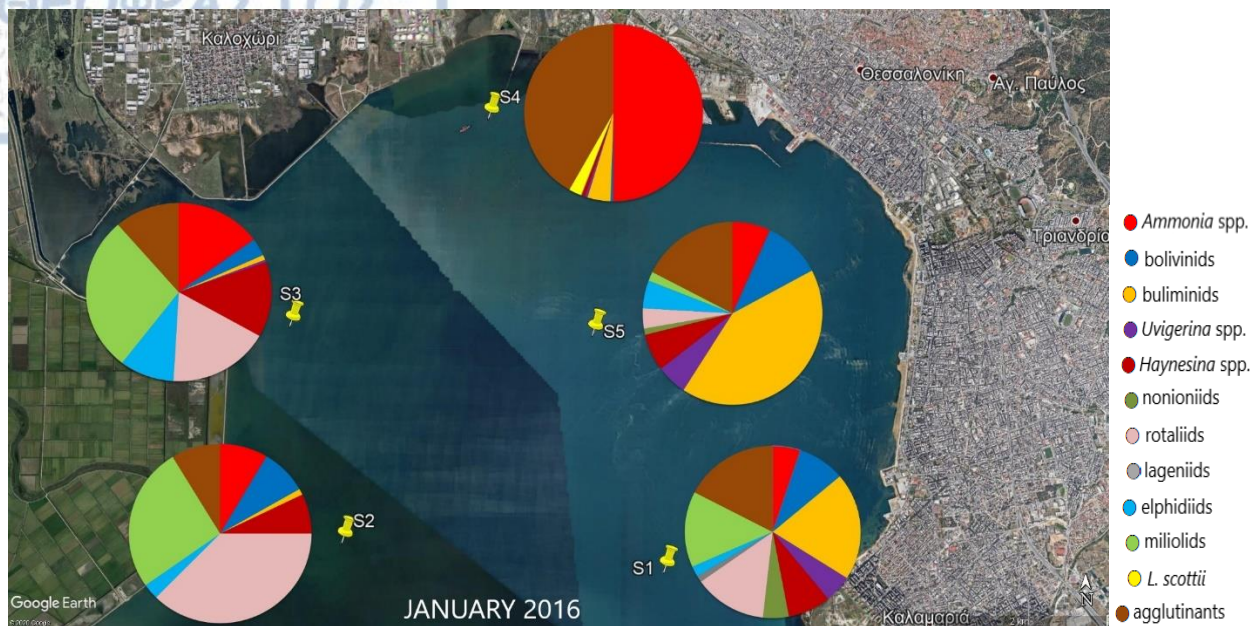


Σχήμα 17. Διακύμανση της πανιδικής πυκνότητας, του δείκτη H' και του δείκτη D για τον μήνα Ιανουάριο.

Ο δείκτης επικράτησης (Dominance, D) τείνει προς το 0 σε όλους τους σταθμούς, με μια απόκλιση που παρουσιάζει ο σταθμός S4, όπου η τιμή του δείκτη είναι 0,4026. Κατά τον υπολογισμό του δείκτη ποικιλότητας Shannon – Wiener (H') παρατηρούνται παρόμοιες τιμές για τους όλους τους σταθμούς, με μέση τιμή 3,0238, εκτός από τον S4 που έχει μικρότερο δείκτη H'=1,206. Η πανιδική πυκνότητα για τον μήνα Ιανουάριο παρουσιάζει μια διαφοροποίηση στους σταθμούς, με τους S1 και S2 να έχουν μεγάλη τιμή ~300 άτομα/cm³ και τους S3, S4 και S5 να έχουν μικρότερη μέση τιμή 141,35 άτομα/cm³ (Σχ. 17).

Πίνακας 29. Τιμές της πανιδικής πυκνότητας/ cm³ σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας για το μήνα Ιανουάριο.

Σταθμός	Δείκτης αφθονίας_S	Δείκτης επικράτησης_D	Δείκτης Shannon – Wiener H'	Πανιδική πυκνότητα/ cm ³
S1	47	0,04392	3,389	301,9
S2	47	0,06532	3,103	306,2
S3	33	0,07083	2,995	114,99
S4	16	0,4026	1,206	122,1
S5	35	0,1204	2,608	186,95



Εικόνα 37. Ποσοστά των συνολικών τριματοφόρων σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας για το μήνα Ιανουάριο-2016.

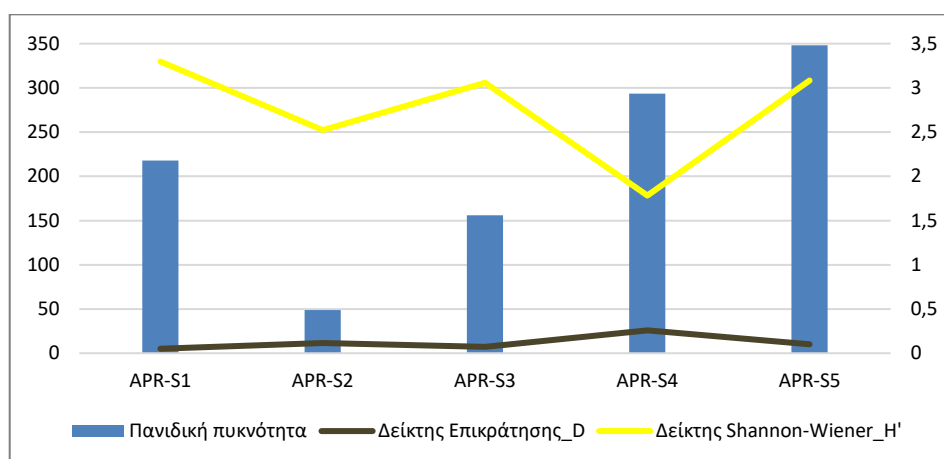
Στο σταθμό S1 της περιοχής μελέτης, για το μήνα Ιανουάριο (Εικ. 37), παρατηρείται παρόμοια συμμετοχή των διαφόρων ειδών που υπάρχουν στα δείγματα. Οι ομάδες των buliminids, agglutinants, miliolids και rotaliids παρουσιάζουν σχετικά πιο μεγάλα ποσοστά συμμετοχής, με μέγιστο των buliminids (20,2%) και ελάχιστο των rotaliids (13,4%). Τα *Ammonia* spp., bolivinids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., nonioniids, lageniids και elphidiids έχουν μικρότερα ποσοστά συμμετοχής, με μέση τιμή 4,97%. Στον S2 σταθμό παρατηρείται μεγαλύτερη συμμετοχή των rotaliids με ποσοστό 37,4% (*Rosalina globularis*: 15,2%) και των miliolids με ποσοστό 26,1% και ακολουθούν με ποσοστά <10% τα *Ammonia* spp., bolivinids, *Haynesina* spp., agglutinants, buliminids και elphidiids. Παρόμοια κατανομή παρατηρείται και στον σταθμό S3 με ένα μικρότερο ποσοστό συμμετοχής των rotaliids σε σχέση με το σταθμό S2 (Πίν. 30). Μεγάλη διαφορά στην κατανομή σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς παρατηρείται στο σταθμό S4 με το γένος *Ammonia* spp. και τα agglutinants να επικρατούν με μεγάλα ποσοστά συμμετοχής, με τιμές 50,1% (*A. tepida*: 49,6%) και 41,8% (*E. scaber*: 39,36%), αντίστοιχα. Οι υπόλοιπες ομάδες των bolivinids, buliminids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp. και miliolids συμμετέχουν με ποσοστά <4%, ενώ στον σταθμό αυτό εμφανίζεται και το είδος *L. scottii* με ποσοστό 2,24%. Στο σταθμό S5 παρατηρείται έντονη συμμετοχή των buliminids με ποσοστό 41,9% (*B. elongata*: 25,8%) και ακολουθεί με μικρότερο ποσοστό (17,5%) η ομάδα των agglutinants. Τα υπόλοιπα είδη που εμφανίζονται (*Ammonia* spp., bolivinids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., nonioniids, rotaliids, elphidiids, miliolids) έχουν μικρά ποσοστά συμμετοχής με τιμές <10%.

Πίνακας 30. Σχετικές συγκεντρώσεις των τρηματοφόρων στα δείγματα του Ιανουαρίου.

Σταθμός	<i>Ammonia</i> spp. %	boliviniids %	buliminids %	<i>Uvigerina</i> spp. %	<i>Haynesina</i> spp. %	nonionniids %	rotaliids %	lageniids %	elphidiids %	miloliids %	<i>Leptohalysis</i> <i>scottii</i> %	agglutinants %
S1	5,14	8,70	20,2	5,14	7,91	4,74	13,4	1,19	1,98	14,2	0	17,4
S2	8,48	8,26	1,09	0	7,17	0	37,4	0	2,83	26,1	0	8,70
S3	15	3,18	0,91	0,45	13,6	0	17,7	0	9,55	28,2	0	11,4
S4	50,1	0,48	4,16	0,48	0,64	0	0	0	0	0,16	2,24	41,8
S5	6,85	10,4	41,9	5,48	6,58	1,10	3,56	0	4,93	1,64	0	17,5

4.4.2 Απρίλιος 2016

Κατά τη μελέτη της μικροπανίδας του Θερμαϊκού κόλπου, τον Απρίλιο του 2016, προσδιορίστηκαν 68 είδη που ανήκουν σε 48 γένη. Παρατηρείται μια αύξηση στο δείκτη αφθονίας από τον S1 σταθμό, που είναι S=54, έως τον S5 σταθμό που η τιμή του δείκτη είναι S=130.



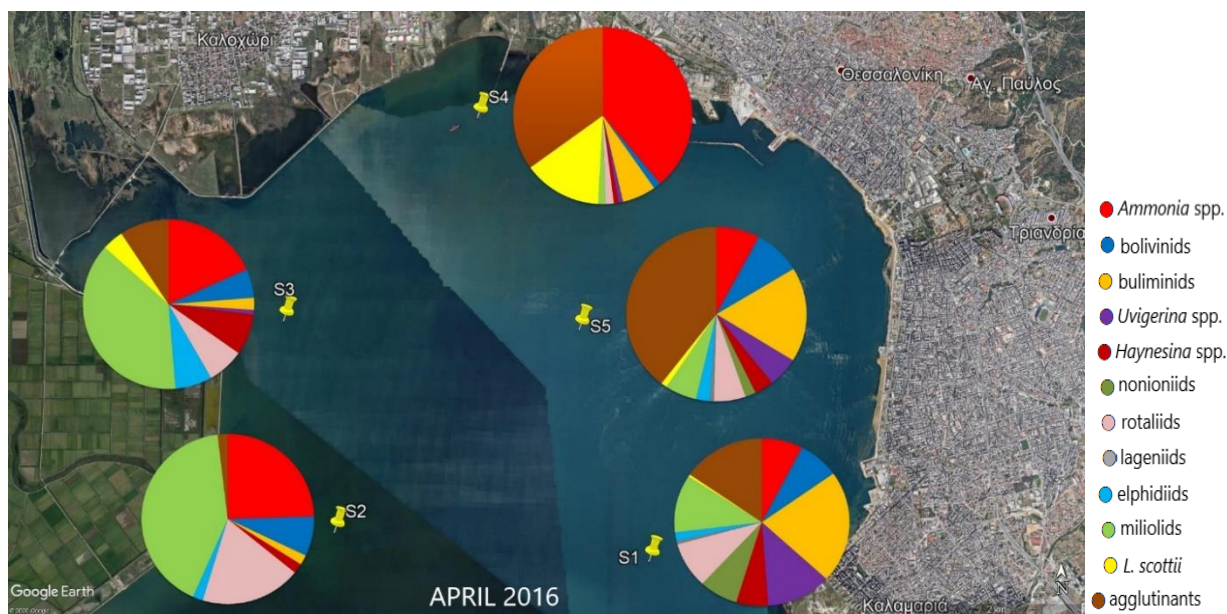
Σχήμα 18. Διακύμανση της πανιδικής πυκνότητας, του δείκτη H' και του δείκτη D για τον μήνα Απρίλιο.

Ο δείκτης επικράτησης (Dominance, D) τείνει προς το 0 σε όλους τους σταθμούς, με μέγιστη τιμή 0,2585 στον σταθμό S4 και ελάχιστη τιμή 0,05123 στον S2. Κατά τον υπολογισμό του δείκτη ποικιλότητας Shannon – Wiener (H') παρατηρούνται παρόμοιες τιμές για τους S1, S3 και S5 με τιμές κοντά στο 3, ενώ ο σταθμός S2 έχει H'=2,522 και ο S4 έχει τιμή H'=1,783. Η πανιδική πυκνότητα για τον μήνα Απρίλιο είναι διαφορετική για κάθε σταθμό με μεγάλες τιμές (π.χ. S5: 348,02 άτομα/cm³), ενώ σημαντική είναι η αρκετά μειωμένη τιμή της στο σταθμό S2 (48,9 άτομα/cm³) (Πίν. 31, Σχ. 18).

Πίνακας 31. Τιμές της πανιδικής πυκνότητας/cm³ σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας για το μήνα Απρίλιο.

Σταθμός	Δείκτης αφθονίας_S	Δείκτης επικράτησης_D	Δείκτης Shannon – Wiener H'	Πανιδική πυκνότητα/cm ³
S1	54	0,05123	3,298	217,7
S2	73	0,1157	2,522	48,9
S3	92	0,07122	3,059	156,1
S4	111	0,2585	1,783	293,5
S5	130	0,0998	3,083	348,02

Στο σταθμό S1 της περιοχής μελέτης, για το μήνα Απρίλιο (Εικ. 38), τα διάφορα είδη των τρηματοφόρων συμμετέχουν με παρόμοια ποσοστά. Οι ομάδες των buliminids, *Uvigerina* spp., agglutinants και miliolids έχουν τα μεγαλύτερα ποσοστά με τιμές 21,7%, 12%, 15,4% και 11,2%, αντίστοιχα. Τα ποσοστά των *Ammonia* spp., bolivinids, *Haynesina* spp., nonioniids, rotaliids, lageniids, elphidiids και *L. scottii* είναι <10%.



Εικόνα 38. Ποσοστά των συνολικών τρηματοφόρων σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας για το μήνα Απρίλιο-2016.

Στο σταθμό S2 παρατηρείται έντονη συμμετοχή των miliolids με ποσοστό 41,5% (*Quinqueloculina stelligera*: 16,98%), ενώ και τα *Ammonia* spp. και τα rotaliids παρουσιάζουν σημαντική συμμετοχή με ποσοστά 24,5% (*A. tepida*: 22,6%) και 18,9%, αντίστοιχα. Τα είδη των bolivinids, buliminids, *Haynesina* spp., elphidiids και agglutinants συμμετέχουν με μικρά ποσοστά <8%. Παρόμοια κατανομή παρατηρείται και στο σταθμό S3 (Πίν. 32). Στο σταθμό S4, η συμμετοχή του *Ammonia* spp. και των agglutinants επικρατεί στο δείγμα, με ποσοστά 38,9% (*A.*

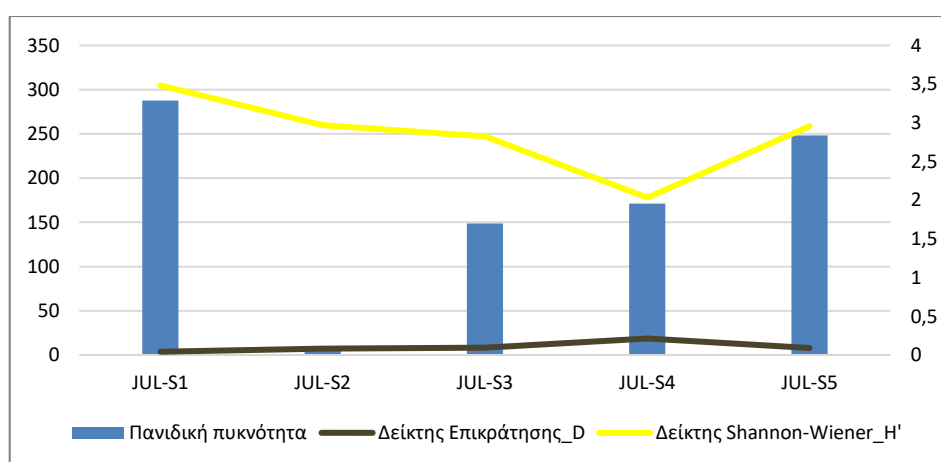
terpida) και 34,98% (*E. scaber*: 28,9%), αντίστοιχα. Το είδος *L. scottii* εμφανίζει επίσης έντονη συμμετοχή με ποσοστό 14,2%, ενώ οι ομάδες των bolivinids, buliminids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., rotaliids και miliolids έχουν μικρή συμμετοχή με ποσοστά <7%. Στο σταθμό S5 η συμμετοχή των agglutinants είναι η πιο έντονη με ποσοστό 39,6% (*E. scaber*: 26,9%), ενώ και η ομάδα των buliminids έχει ένα σχετικά σημαντικό ποσοστό συμμετοχής (17,6%). Οι ομάδες των *Ammonia* spp., bolivinids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., nonioniids, rotaliids, lageniids, elphidiids, miliolids, *L. scottii* που συμμετέχουν στο συγκεκριμένο σταθμό έχουν χαμηλά ποσοστά <10%.

Πίνακας 32. Σχετικές συγκεντρώσεις των τρηματοφόρων στα δείγματα του Απριλίου.

Σταθμός	<i>Ammonia</i> spp. %	bolivinids %	buliminids %	<i>Uvigerina</i> spp. %	<i>Haynesina</i> spp. %	nonioniids %	rotaliids %	lageniids %	elphidiids %	miliolids %	<i>Leptohalysis scottii</i> %	agglutinants %
S1	7,58	7,58	21,7	12	5,89	7,16	8,84	0,63	1,68	11,2	0,42	15,4
S2	24,5	7,55	1,89	0	1,89	0	18,9	0	1,89	41,5	0	1,89
S3	18,3	5,51	2,32	0,87	7,83	0	6,96	0	6,96	37,97	4,06	9,28
S4	38,9	1,32	6,11	0,83	0,83	0	1,49	0	0	1,32	14,2	34,98
S5	7,79	8,51	17,6	5,53	3,44	1,90	5,71	0,72	2,45	5,71	1,09	39,6

4.4.3 Ιούλιος 2016

Κατά τη μελέτη της μικροπανίδας του Θερμαϊκού κόλπου, τον Ιούλιο του 2016, προσδιορίστηκαν 90 είδη που ανήκουν σε 47 γένη.



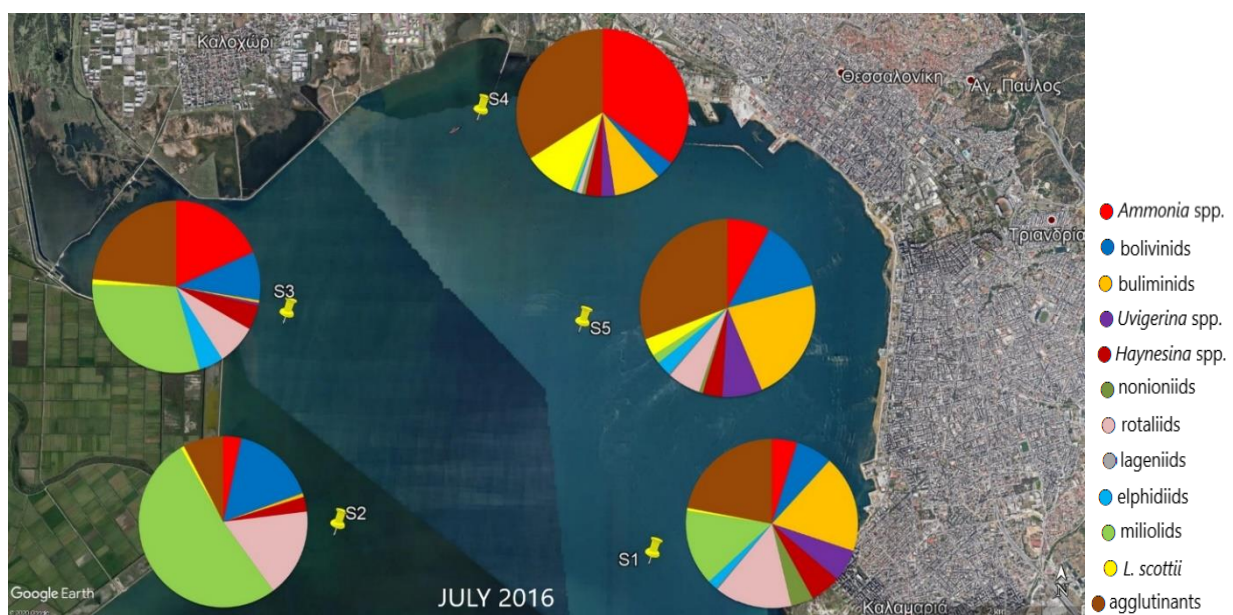
Σχήμα 19. Διακύμανση της πανιδικής πυκνότητας, του δείκτη H' και του δείκτη D για τον μήνα Ιούλιο.

Παρατηρείται μια μεγάλη διαφορά ανάμεσα στους σταθμούς όσον αφορά τον αριθμό των ειδών, με μεγάλες τιμές στους σταθμούς S1, S2 και S3 (μέση τιμή $S=168$), ενώ για τους σταθμούς S4 και S5 οι τιμές είναι χαμηλότερες, $S=25$ και $S=53$ αντίστοιχα. Ο δείκτης επικράτησης (Dominance, D) τείνει προς το 0 σε όλους τους σταθμούς, με μια μικρή απόκλιση που παρουσιάζει ο σταθμός S4, όπου η τιμή του δείκτη είναι περίπου 0,2. Ο δείκτης ποικιλότητας Shannon – Wiener (H') είναι παρόμοιος σε όλους τους σταθμούς με μέση τιμή $\sim 2,9$. Η πανδική πυκνότητα για τον μήνα Ιούνιο είναι μεγάλη σε όλους σχεδόν τους σταθμούς, με εξαίρεση τον σταθμό S2, όπου η τιμή της πανδικής πυκνότητας είναι πολύ μικρότερη με τιμή $6,31$ άτομα/cm³. Οι σταθμοί S1 και S5 έχουν μέση τιμή πανδικής πυκνότητας $268,05$ άτομα/cm³, ενώ οι σταθμοί S3 και S4 έχουν μέση τιμή $159,9$ άτομα/cm³ (Πίν. 33, Σχ. 19).

Πίνακας 33. Τιμές της πανδικής πυκνότητας/ cm³ σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας για το μήνα Ιούλιο.

Σταθμός	Δείκτης αφθονίας_S	Δείκτης επικράτησης_D	Δείκτης Shannon – Wiener H'	Πανδική πυκνότητα/cm ³
S1	149	0,04202	3,483	287,8
S2	168	0,08308	2,969	6,31
S3	187	0,09604	2,824	148,6
S4	25	0,2125	2,033	171,2
S5	53	0,08978	2,956	248,3

Στο σταθμό S1 της περιοχής μελέτης, για το μήνα Ιούλιο (Εικ. 39), σημαντικό ποσοστό συμμετοχής έχουν οι ομάδες των agglutinants, buliminids, rotaliids και miliolids με τιμές 21,99%, 18,5%, 14,6% και 14,4%, αντίστοιχα.



Εικόνα 39. Ποσοστά των συνολικών τρηματοφόρων σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας για το μήνα Ιούλιο-2016.

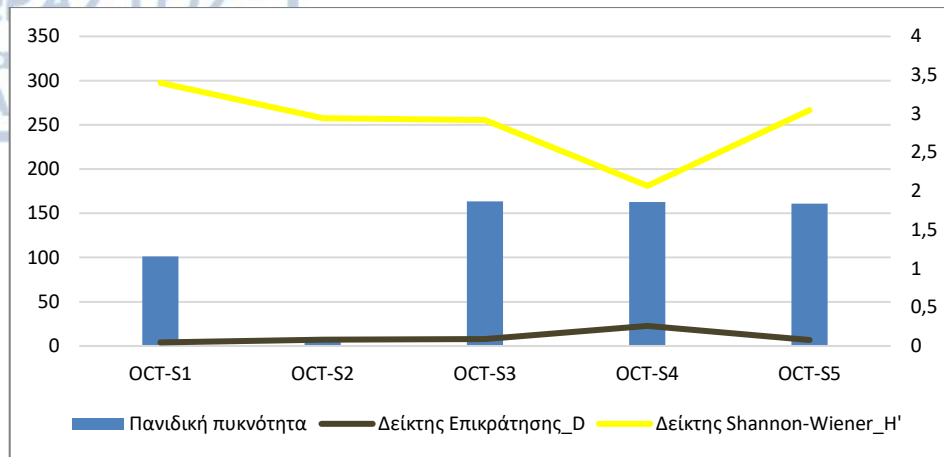
Τα είδη που ανήκουν στα *Ammonia* spp., bolivinids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., nonioniids, lageniids, elphidiids και *L. scottii* συμμετέχουν στο δείγμα με ποσοστά <7%. Παρόμοια κατανομή παρατηρείται στο σταθμό S5 με έντονη συμμετοχή των agglutinants και των buliminids με ποσοστά συμμετοχής 30,8% (*E. scaber*: 20,5%) και 22,7% (*B. aculeata*: 14,4%) αντίστοιχα, ενώ με μικρότερο ποσοστό 13% συμμετέχουν και τα bolivinids (Πίν. 34). Στο σταθμό S2 παρατηρείται η έντονη συμμετοχή των miliolids με ποσοστό 51,8% (*Quinqueloculina seminulum*: 22,4%), που είναι πάνω από το μισό του δείγματος. Οι ομάδες των bolivinids και rotaliids παρουσιάζουν ένα σημαντικό ποσοστό συμμετοχής, με ποσοστά 16,1% και 16,8%, αντίστοιχα. Τέλος, με μικρά ποσοστά συμμετέχουν και τα *Ammonia* spp., buliminids, *Haynesina* spp., *L. scottii* και agglutinants (<8%). Στο σταθμό S3 παρατηρείται παρόμοια κατανομή με μικρές διαφοροποιήσεις, με τα miliolids να έχουν μικρότερο ποσοστό συμμετοχής 29,98% και το ποσοστό των agglutinants αυξημένο, με τιμή 23,6% (*E. scaber*: 18,9%). Το γένος *Ammonia* spp. ακολουθεί με ποσοστό συμμετοχής 18,4% (*A. tepida*: 18,2%). Στο σταθμό S4 δυο ομάδες επικρατούν, το γένος *Ammonia* spp. με ποσοστό συμμετοχής 35,4% (*A. tepida*) και τα agglutinants με ποσοστό 34,2% (*E. scaber*: 26,3%). Το είδος *L. scottii* εμφανίζει σημαντική συμμετοχή με ποσοστό 9,82% μαζί με την ομάδα των buliminids με ποσοστό 8,90%. Η συμμετοχή των υπόλοιπων ειδών είναι <4% (bolivinids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., nonioniids, rotaliids, elphidiids, miliolids).

Πίνακας 34. Σχετικές συγκεντρώσεις των τρηματοφόρων στα δείγματα του Ιουλίου.

Σταθμός	<i>Ammonia</i> spp. %	bolivinids %	buliminids %	<i>Uvigerina</i> spp. %	<i>Haynesina</i> spp. %	nonioniids %	rotaliids %	lageniids %	elphidiids %	miliolids %	<i>Leptohalysis scottii</i> %	agglutinants %
S1	4,77	6,89	18,5	6,09	5,83	4,24	14,6	0,26	1,85	14,4	0,53	21,99
S2	3,5	16,1	0,7	0	2,8	0	16,8	0	0	51,8	0,7	7,69
S3	18,4	9,09	0,49	0,49	4,67	0	7,62	0	4,67	29,98	0,98	23,6
S4	35,4	3,42	8,90	2,51	2,97	0,68	0,91	0	0,46	0,69	9,82	34,2
S5	7,89	13	22,7	7,34	3,6	0,69	6,09	0,28	2,77	1,66	3,19	30,8

4.4.4 Οκτώβριος 2016

Κατά τη μελέτη της μικροπανίδας του Θερμαϊκού κόλπου, τον Οκτώβριο του 2016, προσδιορίστηκαν 101 είδη που ανήκουν σε 48 γένη. Για τον μήνα, ο αριθμός των ειδών είναι χαμηλός σε όλους σχεδόν τους σταθμούς, με μέγιστη τιμή στον S1 (S=58) και ελάχιστη τιμή στον S2 (S=32).



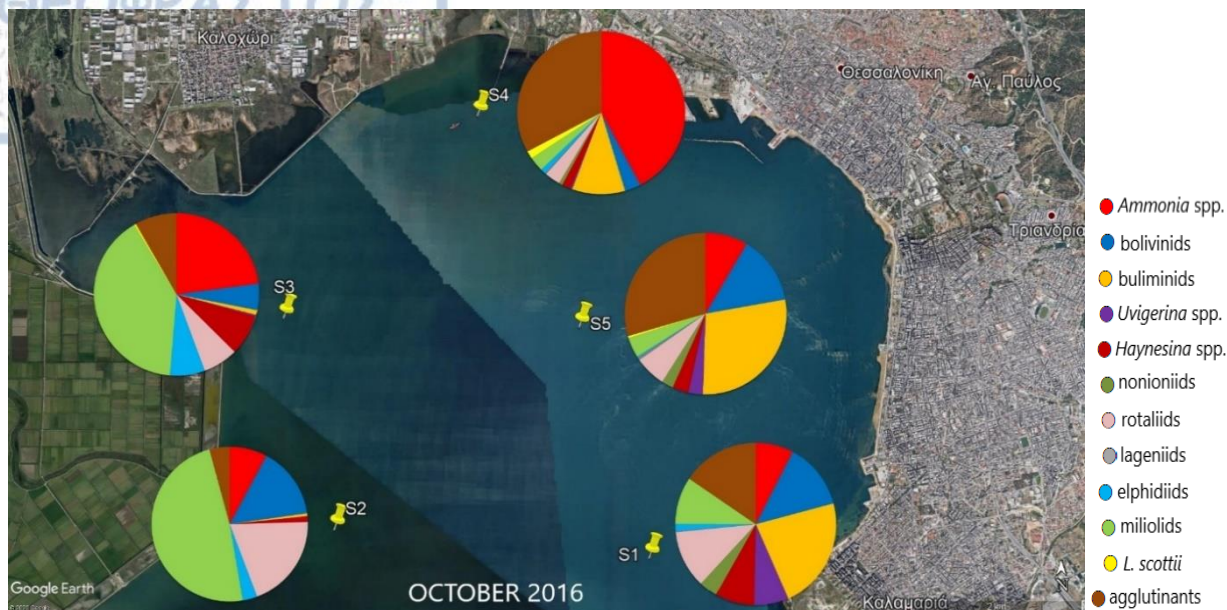
Σχήμα 20. Διακύμανση της πανιδικής πυκνότητας, του δείκτη H' και του δείκτη D για τον μήνα Οκτώβριο.

Ο δείκτης επικράτησης (Dominance, D) τείνει προς το 0 σε όλους τους σταθμούς, με μια μικρή απόκλιση που παρουσιάζει ο σταθμός S4, όπου η τιμή του δείκτη είναι περίπου 0,3. Κατά τον υπολογισμό του δείκτη ποικιλότητας Shannon – Wiener (H') παρατηρούνται παρόμοιες τιμές σε όλους τους σταθμούς με μέση τιμή $H'=2,8752$ (Πίν. 35). Η πανιδική πυκνότητα για τον μήνα Οκτώβριο έχει μικρότερες τιμές από τους άλλους μήνες. Έχει σημαντικές τιμές για το σταθμό S1 που ισούται με 101,3 άτομα/cm³ και στους S3, S4 και S5 έχει μέση τιμή 162,33 άτομα/cm³, με εξαίρεση τον σταθμό S2, όπου η τιμή της πανιδικής πυκνότητας είναι πολύ μικρότερη με τιμή 7,4 άτομα/cm³ (Σχ. 20).

Πίνακας 35. Τιμές της πανιδικής πυκνότητας/cm³ σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας για το μήνα Οκτώβριο.

Σταθμός	Δείκτης αφθονίας_S	Δείκτης επικράτησης_D	Δείκτης Shannon – Wiener H'	Πανιδική πυκνότητα/cm ³
S1	58	0,04573	3,4	101,3
S2	32	0,08186	2,944	7,4
S3	44	0,0912	2,917	163,4
S4	54	0,2591	2,069	162,7
S5	59	0,07895	3,046	160,9

Στο σταθμό S1 της περιοχής μελέτης, για το μήνα Οκτώβριο (Εικ. 40), σημαντικό ποσοστό συμμετοχής έχουν οι ομάδες των buliminids με τιμή 22,5% και οι ομάδες των agglutinants, bolivinids και rotaliids με μικρότερα ποσοστά, 15,5%, 13,3% και 11,5%, αντίστοιχα. Τα miliolids *Haynesina* spp., *Ammonia* spp., *Uvigerina* spp., nonioniids, elphidiids και lageniids έχουν μικρά ποσοστά συμμετοχής <10%.



Εικόνα 40. Ποσοστά των συνολικών τρηματοφόρων σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας για το μήνα Οκτώβριο-2016.

Παρόμοια κατανομή παρουσιάζει ο σταθμός S5 με τα μεγαλύτερα ποσοστά συμμετοχής να ανήκουν στις ομάδες των agglutinants, buliminids και bolivinids με τιμές 29,5% (*E. scaber*: 18,9%), 28,3% και 13,7%, αντίστοιχα (Πίν. 36). Στο σταθμό S2 παρατηρείται πολύ έντονη συμμετοχή των miliolids, με ποσοστό 48,6% (*Quinqueloculina seminulum*: 20,96%), ενώ και οι ομάδες των rotaliids και των bolivinids παρουσιάζουν σημαντικό ποσοστό συμμετοχής με τιμές 19,8% και 14,97%. Τα υπόλοιπα είδη έχουν πολύ μικρά ποσοστά <8% (*Ammonia* spp., agglutinants, elphidiids, *Haynesina* spp., buliminids). Στο σταθμό S3 παρατηρείται πάλι παρόμοια κατανομή με τα miliolids να επικρατούν στο δείγμα με ένα ποσοστό 40,1% και το γένος *Ammonia* spp. να παρουσιάζει σημαντική συμμετοχή με ποσοστό 22,9% (*A. tepida*: 22,9%). Οι υπόλοιπες ομάδες (bolivinids, buliminids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., rotaliids, elphidiids, *L. scottii*, agglutinants) έχουν μικρά ποσοστά συμμετοχής με μέγιστο 8,29% για τα agglutinants και ελάχιστο ποσοστό 0,31 για τα γένη *Uvigerina* spp. και *L. scottii*. Στο σταθμό S4 παρατηρείται μια έντονη διαφοροποίηση σε σχέση με τους άλλους σταθμούς. Το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής κατέχει το γένος *Ammonia* spp. με τιμή 42,3% (*A. tepida*: 41,5%) και ακολουθούν τα agglutinants με 32,9% (*E. scaber*: 28,6%). Η ομάδα των buliminids συμμετέχει με ένα ποσοστό 10,2% και οι υπόλοιπες ομάδες έχουν πολύ μικρά ποσοστά συμμετοχής με τιμές <3% (bolivinids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., nonioniids, rotaliids, lageniids, elphidiids, miliolids, *L. scottii*).

Πίνακας 36. Σχετικές συγκεντρώσεις των τρηματοφόρων στα δείγματα του Οκτωβρίου.

Σταθμός	<i>Ammonia</i> spp. %	boliviniids %	buliminids %	<i>Uvigerina</i> spp. %	<i>Haynesina</i> spp. %	nonioniids %	rotaliids %	lageniids %	elphidiids %	milioliids %	<i>Leptohalysis</i> <i>scottii</i> %	agglutinants %
S1	7,61	13,3	22,5	6,96	7,93	3,72	11,5	0,16	1,46	9,39	0	15,5
S2	7,78	14,97	0,6	0	1,2	0	19,8	0	2,99	48,6	0	4,19
S3	22,9	5,22	0,92	0,31	8,14	0	6,91	0	6,91	40,1	0,31	8,29
S4	42,3	3,13	10,2	0,35	1,74	0,67	3,01	0,23	1,04	2,9	1,51	32,9
S5	8,49	13,7	28,3	2,87	3,26	2,35	6,27	0,52	0,26	4,05	0,39	29,5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον (Εικ. 41). Συμπεριλαμβάνεται στο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών Natura 2000 της ΕΕ (GR1220010) και οι περιοχές του Αξιού, Αλιάκμονα και Λουδία προστατεύονται από τη σύμβαση Ramsar (Σύμβαση για τους Υγροτόπους Διεθνούς Σημασίας ειδικά ως Ενδιαιτήματα Υδροβίων Πτηνών-Ramsar Information Sheet GR59RIS).



Εικόνα. 41. Η περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου από δορυφορική εικόνα Landsat.

Επίσης, περιλαμβάνεται στην Οδηγία-Πλαίσιο (Water Framework Directive 2000/60 EC) για την ολοκληρωμένη διαχείριση των οικοσυστημάτων, ενώ μελετάται και από το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.), το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων – Υγροτόπων (Ε.Κ.Β.Υ.) και το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.- π.χ., Τμήματα Γεωλογίας, Βιολογίας,

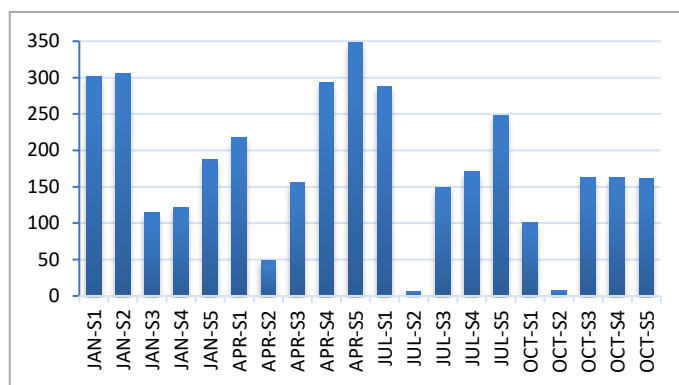
Χημείας). Οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν είχαν ως θέμα την υδρολογία (π.χ., Anagnostopoulos et al. 2000; Balopoulos 1986; Balopoulos and Friligos 1993; Hyder et al. 2002; Kontoyiannis et al. 2003; Kourafalou 2001; Krestenitis et al. 1999; Voutsinou-Taliadouri and Varnavas 1995), την ιζηματολογία και ιζηματογένεση (π.χ., Karageorgis and Anagnostou 2001; Kombiadou and Krestenitis 2012; Lykousis and Chronis 1989; Poulos 2009; Voutsinou-Taliadouri and Varnavas 1995), τις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και τα χημικά του χαρακτηριστικά (π.χ., Christophoridis et al. 2009; Georgas and Perissoratis 1993; Karageorgis et al. 2005b), την κατάσταση της βιοποικιλότητας (π.χ., Chintiroglou et al. 2004; Haritonidis and Malea 1999; Lattos et al. 2020; Dimiza et al. 2020), περιβαλλοντικές (Dimiza et al. 2016b; Fytianos et al. 1999; Karageorgis et al. 2005a,b; Simboura and Reizopoulou 2007; Simboura et al. 2015) και παλαιοπεριβαλλοντικές μελέτες (π.χ., Ghilardi et al. 2008a; Koukousioura et al. 2012, 2019; Syrides 1990; Syrides et al. 2009), τις ανθρωπογενείς επιδράσεις (Poulos et al. 1994, 2000) κλπ. Η παρούσα μελέτη στο εσωτερικό τμήμα του Θερμαϊκού, αποτελεί την πρώτη προσπάθεια καταγραφής της οικολογικής ποιότητας του τμήματος αυτού βάσει των βενθονικών τρηματοφόρων.

Οι εισροές ρύπων από τα ποτάμια της περιοχής και τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα από την πόλη της Θεσσαλονίκης (Pavlidou and Souvermezoglou 2006; Karydis and Kitsiou 2013; Pavlidou et al. 2015), έχουν οδηγήσει στον ευτροφισμό του Θερμαϊκού κόλπου, μία κατάσταση που παρατηρείται σε διάφορες περιοχές τόσο στον ελλαδικό χώρο (π.χ., Balopoulos and Friligos 1993; Dimiza et al. 2016, 2019; Friligos and Barbetseas 1990; Friligos et al. 1985; Gotsis-Skretas and Friligos 1990; Pagou 2000; Pagou et al. 2002; Panayotidis et al. 1999; Pavlidou et al. 2004; Theodorou 1997), όσο και παγκόσμια, που προκαλεί αλλοιώσεις στη βιοποικιλότητα (π.χ., Barmawidjaja et al. 1995; Cabecadas et al. 1999; Degobbis 1989).

Το δυτικό τμήμα του Θερμαϊκού κόλπου αποτελείται από ρηχό αμμώδη πυθμένα, ενώ το ανατολικό από μεγαλύτερου βάθους, ιλυώδη πυθμένα. Συλλέχθηκαν και μελετήθηκαν 11.359 άτομα, από τα οποία προσδιορίστηκαν 64 γένη που ανήκουν σε 137 είδη.

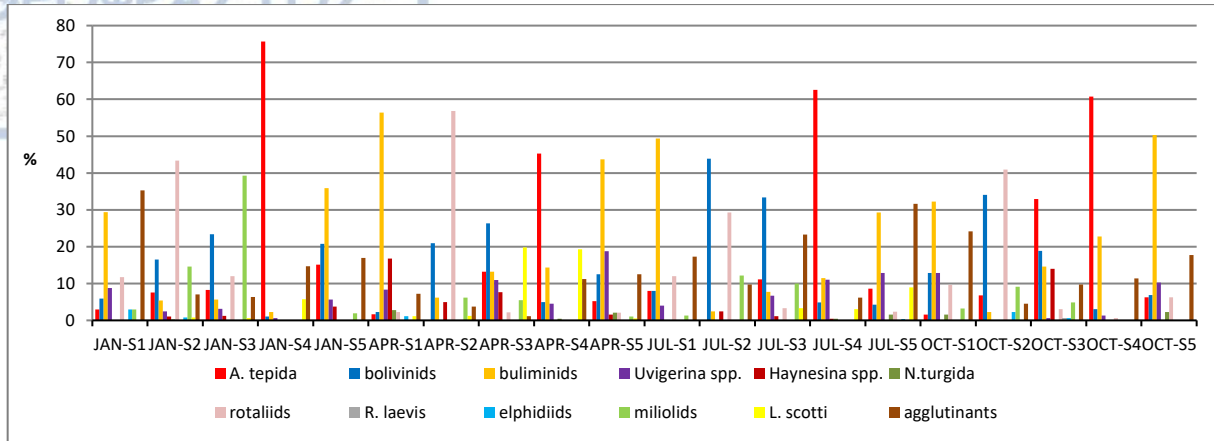
Η συνολική μικροπανίδα (νεκρά+ζωντανά) παρουσιάζει παρόμοια εικόνα μέσα στους 4 μήνες μελέτης. Συνολικά τα είδη που εμφανίζονται ανήκουν στις ομάδες *Ammonia* spp., bolivinids, buliminids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., nonioniids, rotaliids lageniids, elphidiids, miliolids, *L. scottii* και agglutinants. Παρατηρείται μια τάση στους σταθμούς S2 και S3, που βρίσκονται στο δυτικό τμήμα του κόλπου, τα είδη που θεωρούνται ως ευαίσθητα (rotaliids, lageniids, elphidiids, miliolids) (Dimiza et al. 2016a και αναφορές) να έχουν σημαντικά ποσοστά συμμετοχής σε σχέση με τους S1, S4 και S5. Οι σταθμοί αυτοί, που βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα του κόλπου, παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά συμμετοχής των ειδών που θεωρούνται ανθεκτικά (*Ammonia*

spp., bolivinids, buliminids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., nonioniids, *L. scottii*, agglutinants). Τον Ιανουάριο η ομάδα των rotaliids εμφανίζει μεγαλύτερα ποσοστά στους S2 και S3 σταθμούς, ενώ τους υπόλοιπους μήνες τα miliolids υπερτερούν. Στο ανατολικό τμήμα, ο S1 και ο S5 παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα όσον αφορά τις συμμετοχές των ειδών, με τον S1 να παρουσιάζει μια μέση κατάσταση, ενώ στον S5 τα ποσοστά των buliminids και agglutinants υπερτερούν σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη. Επίσης, στον σταθμό S5 σημαντικό είναι το μεγάλο ποσοστό των buliminids για τον μήνα Ιανουάριο σε αντίθεση με το μεγάλο ποσοστό των agglutinants των Απριλίου. Ο S4 φαίνεται να αποτελεί μια κατηγορία διαφορετική από τους άλλους, καθώς σε όλους τους μήνες το γένος *Ammonia* spp. (Ιαν-S4=50,1%) και τα agglutinants (Ιαν-S4=41,8%) τείνουν να επικρατούν. Η πανιδική πυκνότητα των συνολικών συναθροίσεων είναι αρκετά μεγάλη σε όλους τους σταθμούς και τους 4 μήνες (48-348 άτομα/cm³), εκτός από το σταθμό S2 για τους μήνες Ιούλιο και Οκτώβριο που είναι πολύ χαμηλή, με τιμές 6,3 και 7,4, αντίστοιχα (Σχ. 21).



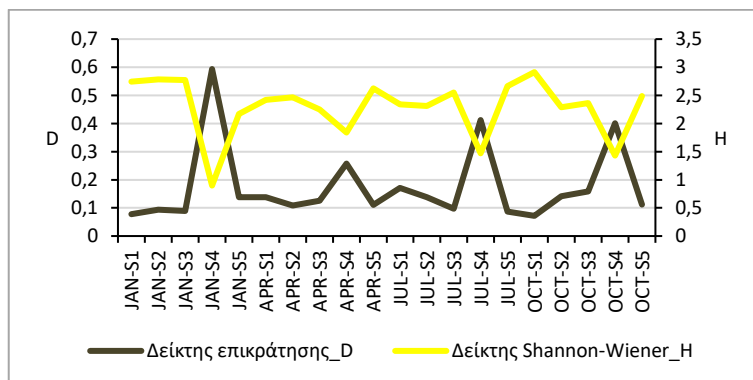
Σχήμα 21. Διακόμανση πανιδικής πυκνότητας στις συναθροίσεις με τα συνολικά άτομα (ζωντανά + νεκρά).

Μελετώντας τις ζωντανές συναθροίσεις των τρηματοφόρων παρατηρήθηκε και σε αυτή την περίπτωση μια συγκεκριμένη τάση μέσα στον κόλπο του Θερμαϊκού. Τα ζωντανά είδη που βρέθηκαν ανήκουν στα *A. tepida*, bolivinids, buliminids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., *N. turgida*, rotaliids, elphidiids, miliolids, *R. laevis*, *L. scottii* και agglutinants. Τα μεγαλύτερα ποσοστά συμμετοχής εμφανίζουν τα *A. tepida*, bolivinids, buliminids, rotaliids, miliolids και agglutinants (Σχ. 22).



Σχήμα 22. Ποσοστά ζωντανών τρηματοφόρων στους σταθμούς δειγματοληψίας για τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο.

Γενικά, παρατηρείται μια τάση στον S2 σταθμό να επικρατούν τα είδη που χαρακτηρίζονται ως ευαίσθητα (rotaliids, elphidiids, miliolids, *R. laevis*) και στους υπόλοιπους αυτά που χαρακτηρίζονται ως ανθεκτικά (*A. tepida*, bolivinids, buliminids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., *N. turgida*, *L. scottii* και agglutinants) (Dimiza et al. 2016a και αναφορές). Για τον μήνα Ιανουάριο εμφανίζεται μια διαφορά στον S3 σταθμό, ο οποίος τείνει να έχει παρόμοια κατανομή με τον S2 σταθμό και τα ευαίσθητα είδη να επικρατούν. Ο S4 σταθμός παρουσιάζει μια εικόνα διαφορετική σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς, καθώς κυριαρχεί ένα είδος, κάτι που φαίνεται και από την υψηλή τιμή του δείκτη Επικράτησης_D, και τη μειωμένη τιμή του δείκτη Shannon-Wiener H' (Σχ. 23).



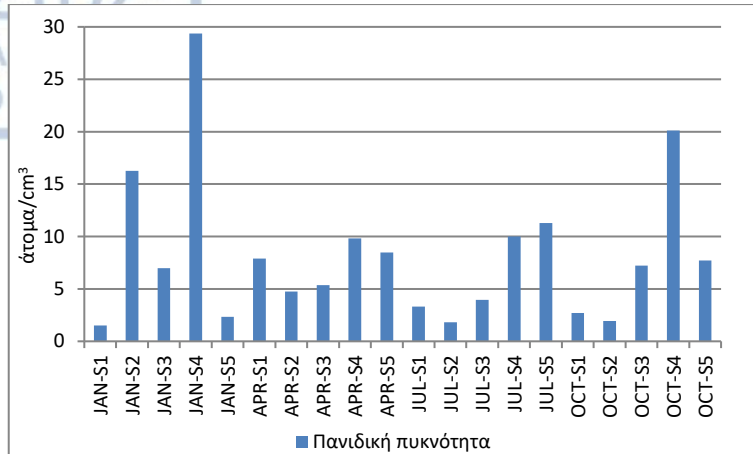
Σχήμα 23. Συσχέτιση του δείκτη επικράτησης_D και του δείκτη Shannon-Wiener_H' για τις συναθροίσεις των ζωντανών τρηματοφόρων.

Το είδος που επικρατεί είναι το *A. tepida*, το οποίο παρουσιάζει μεγάλα ποσοστά συμμετοχής (Ιανουάριος-S4= \sim 75%). Επίσης, τον μήνα Ιούλιο φαίνεται πως και στον S2 επικρατούν τα

ανθεκτικά είδη σε σχέση με τα ευαίσθητα. Και στους 4 μήνες παρατηρείται μια τάση το ποσοστό των rotaliids να είναι πιο μεγάλο από το ποσοστό των miliolids στον S2 και αντίστροφα στον S3 σταθμό. Στο ανατολικό τμήμα του κόλπου μεγάλα ποσοστά συμμετοχής τείνουν να έχουν τα buliminids και στο δυτικό τμήμα τα bolivinids.

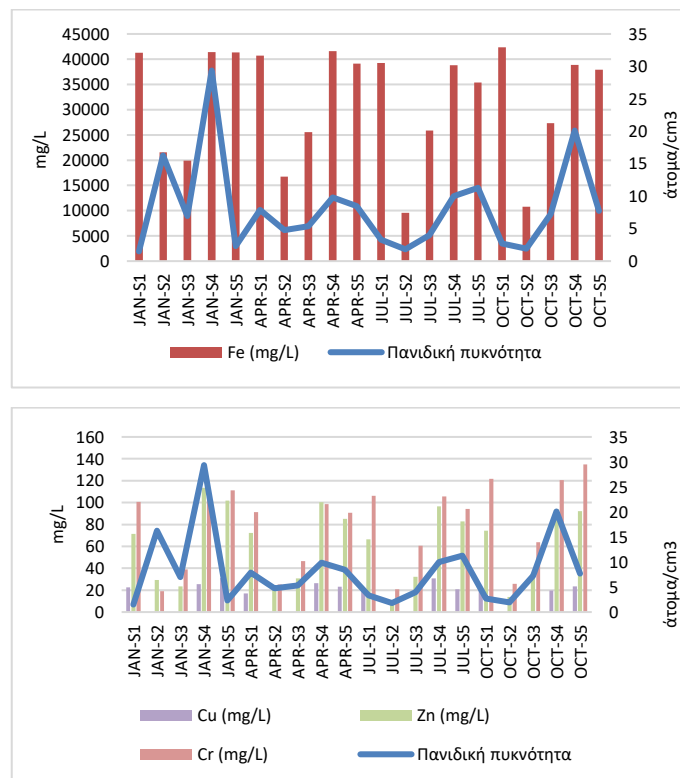
Παρατηρώντας τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στον κόλπο και τους 4 μήνες που μελετήθηκαν φαίνεται πως οι σταθμοί S2 και S3, που βρίσκονται στο δυτικό τμήμα του κόλπου, εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τους άλλους σταθμούς. Ο Cu συγκεκριμένα είναι σχεδόν ανύπαρκτος σε σχέση με παλαιότερες μελέτες, ενώ δεν εντοπίστηκε καθόλου μόλυβδος (Christophoridis et al. 2009). Σύμφωνα με την Correlation ανάλυση, παρόλο που τα τρηματοφόρα δεν επηρεάζονται όλα από το ίδιο είδος μετάλλου παρατηρείται μια θετική συσχέτιση των συγκεντρώσεών τους με τα ποσοστά των ανθεκτικών ειδών στις διάφορες συναθροίσεις (Bergin et al. 2006; Coccioni et al. 2009; Ferraro et al. 2006; Frontalini and Coccioni 2008; Martins et al. 2013), αν και τα bolivinids και το γένος *Haynesina* spp. έχουν αντίθετη συμπεριφορά καθώς έχουν αρνητική συσχέτιση. Αρνητική συσχέτιση παρουσιάζουν και τα ευαίσθητα είδη, καθώς τα ποσοστά τους είναι μικρότερα όταν οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων είναι αυξημένες (Bresler and Yanko 1995b) (Πίν. 37). Για παράδειγμα, στον S2 που οι συγκεντρώσεις των μετάλλων είναι πολύ χαμηλές, παρατηρείται ότι τα ευαίσθητα είδη έχουν μεγαλύτερα ποσοστά συμμετοχής, ιδιαίτερα τα ποσοστά των rotaliids. Παρόλο που ο Θερμαϊκός αποτελεί μια ευτροφική παράκτια περιοχή, παρατηρείται μια σταδιακή απορρύπανση την τελευταία δεκαετία όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα.

Η πανιδική πυκνότητα είναι υψηλή και στους 4 μήνες (Σχ. 24). Ο σταθμός S4 παρουσιάζει αυξημένες τιμές ιδιαίτερα τον Ιανουάριο και τον Οκτώβριο, όπου η τιμή της πυκνότητας φτάνει τα 30 και τα 20 άτομα/cm³, αντίστοιχα. Επίσης, ο σταθμός S2 του Ιανουαρίου παρουσιάζει μια αύξηση με τιμή >15 ατόμων/cm³. Στον S4, υπεύθυνο για τη μεγάλη πανιδική πυκνότητα είναι το είδος *A. terpida*. Στην περίπτωση όμως του S2 για τον Ιανουάριο δεν επικρατεί ένα συγκεκριμένο είδος. Επιπρόσθετα, τον Απρίλιο όλοι οι σταθμοί εμφανίζουν υψηλές παρόμοιες τιμές πανιδικής πυκνότητας, από 5-10 άτομα/cm³. Πιθανά η άνοιξη (Απρίλιος) είναι μια περίοδος αναπαραγωγής για τα βενθονικά τρηματοφόρα του Θερμαϊκού κόλπου (Kitazato et al. 2000; Debenay et al. 2006; Melis et al. 2019; Schönfeld and Numberger 2007).



Σχήμα 24. Πανιδική πυκνότητα (άτομα/cm³) για τις συναθροίσεις ζωντανών τρηματοφόρων.

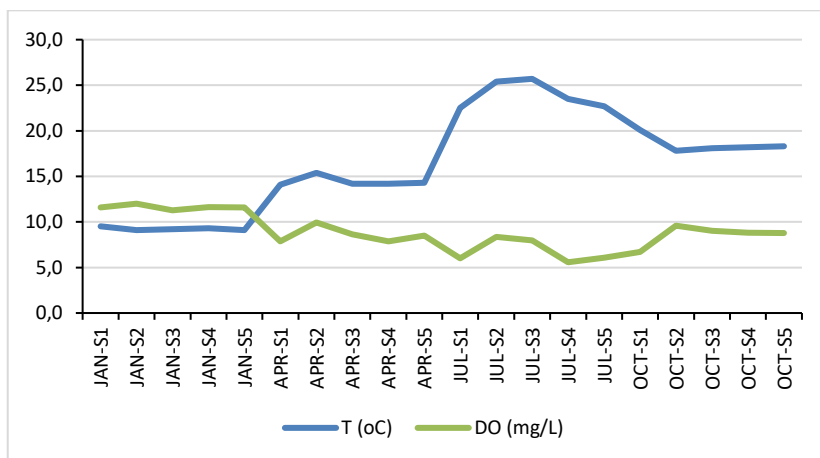
Μελετώντας τις συγκεντρώσεις των μετάλλων και τη διακύμανση της πανιδικής πυκνότητας (Σχ. 25) παρατηρείται πως δεν παρουσιάζουν καλή συσχέτιση, καθώς κάποιος θα περίμενε σε μεγάλες συγκεντρώσεις μετάλλων να βλέπει μικρές τιμές πανιδικής πυκνότητας και το αντίστροφο (Afshan et al. 2014; Khayatzadeh and Abbasi 2010; Martins et al. 2013, 2015; Sardar et al. 2013). Αυτό στον Θερμαϊκό κόλπο φαίνεται ότι δεν ισχύει, καθώς οι τιμές είναι υψηλές, αλλά η μικροπανίδα απαρτίζεται κυρίως από ανθεκτικά είδη (Frontalini and Coccioni 2008).



Σχήμα 25. Διαγράμματα των συγκεντρώσεων των στοιχείων Fe, Cr, Zn και Cu σε συνάρτηση με την πανιδική πυκνότητα.

Το pH έχει παρόμοιες τιμές σε όλους τους σταθμούς και παρατηρείται πως σε όλους τους μήνες οι S2 και S3 έχουν χαμηλότερες τιμές σε σχέση με άλλους σταθμούς. Έντονη είναι αυτή η διαφοροποίηση τον Απρίλιο και τον Οκτώβριο, που το pH παίρνει τις τιμές 7,77 και 7,27-7,45 αντίστοιχα, τιμές οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά τη διατήρηση του κελύφους (Allison et al. 2010; Charrieau et al. 2018; Uthicke et al. 2013). Ο συσχετισμός των παραμέτρων έδειξε ότι όσο αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στους σταθμούς, το pH είναι πιο αυξημένο, κάτι που είναι αναμενόμενο (Zhang et al. 2018). Επίσης, φαίνεται πως το pH παρουσιάζει μια θετική συσχέτιση με τα είδη buliminids και agglutinants και αρνητική με τα bolivinds, rotaliids και miliolids. Τέλος, στους σταθμούς με μεγαλύτερο βάθος το pH, έχει μεγαλύτερες τιμές (Πίν. 37).

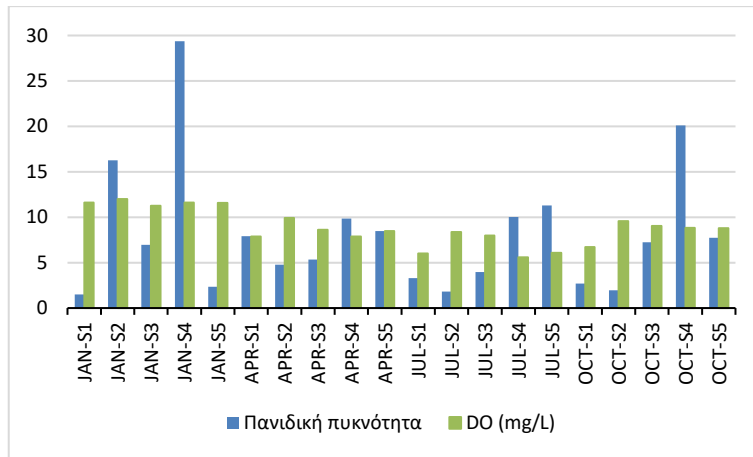
Η θερμοκρασία των υδάτων παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές τον Ιανουάριο, και τις υψηλότερες τον Ιούλιο. Αντίθετο μοτίβο σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία ακολουθεί το διαλυμένο οξυγόνο (DO) με ελάχιστη τιμή τον Ιούλιο και μέγιστη τον Ιανουάριο, παρουσιάζοντας σημαντική αρνητική συσχέτιση (Σχ. 26, Πίν. 37).



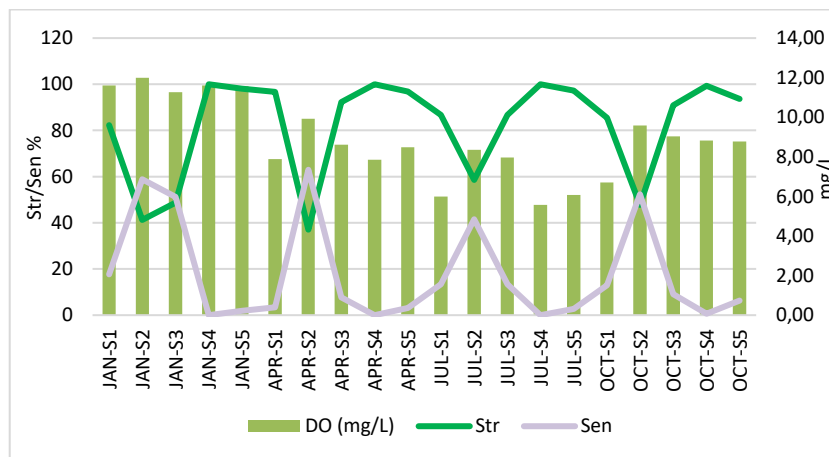
Σχήμα 26. Η θερμοκρασία (T) σε συνάρτηση με τις συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου (DO).

Ο Θερμαϊκός κόλπος, ως ευτροφικός (Pagou et al. 2002), θα έπρεπε να παρουσιάζει μειωμένες τιμές DO (Karydis 2009). Γενικά, τιμές διαλυμένου οξυγόνου <4-5 mg/L σε μια υδάτινη μάζα μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στην υδρόβια ζωή (Coffin et al. 2018; Dorgham et al. 2004; Khan and Ansari 2005). Παρόλο, λοιπόν, που ο Θερμαϊκός κόλπος είναι ευτροφικός, οι τιμές του DO κυμαίνονται από 5,57 mg/L έως 12 mg/L στον S2 του Ιανουαρίου. Επίσης, δε φαίνεται να επηρεάζεται από τις συγκεντρώσεις των μετάλλων, ενώ τις περιόδους με έντονες βροχοπτώσεις, το DO έχει αυξημένα επίπεδα, (Σχ. 29). Όσον αφορά τη σχέση του διαλυμένου οξυγόνου με την πανιδική πυκνότητα δεν παρατηρείται κάποια έντονη αλληλεπίδραση. Αυτό που

παρατηρείται είναι μια μικρή τάση τους μήνες που το DO είναι μειωμένο, η πανιδική πυκνότητα του κόλπου συνολικά να είναι σε χαμηλότερα επίπεδα (Σχ. 27). Επίσης, σε όλους τους μήνες εκτός από τον Ιανουάριο όταν μειώνεται το DO, τα ευαίσθητα είδη φαίνονται μειωμένα σε αντίθεση με τα ανθεκτικά (Σχ. 28).

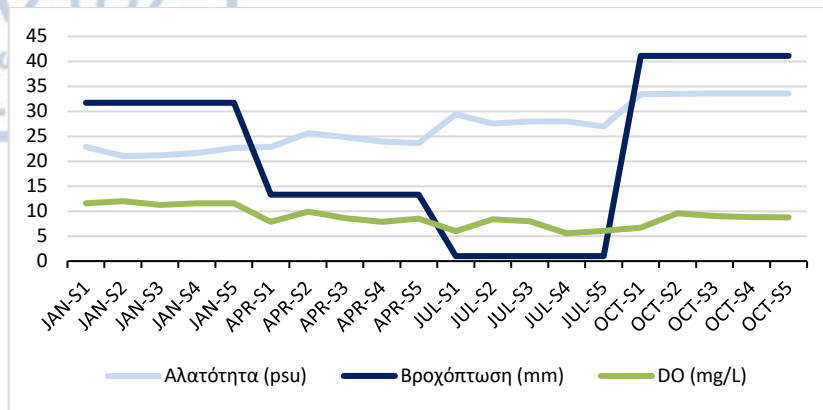


Σχήμα 27. Διακύμανση πανιδικής πυκνότητας σε σχέση με τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου.



Σχήμα 28. Ποσοστά ανθεκτικών και ευαίσθητων τρηματοφόρων σε συνάρτηση με το DO.

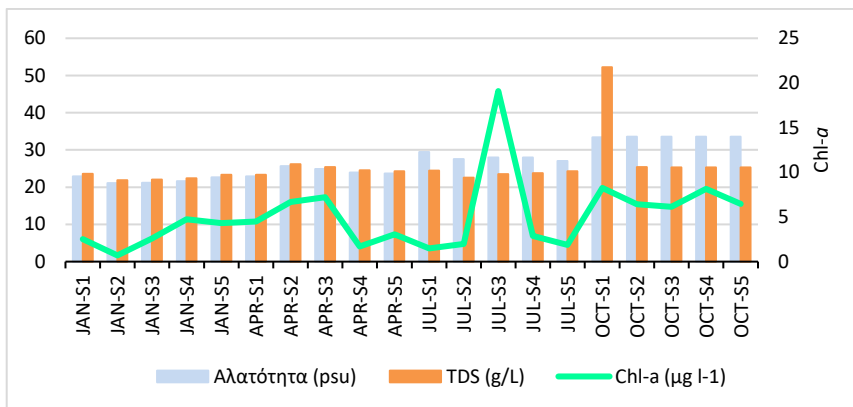
Σημαντική μπορεί να θεωρηθεί η αρνητική συσχέτιση του DO και των ανθεκτικών ειδών *Unigerina* spp. και *N. turgida*, που παρουσιάζουν μικρές συγκεντρώσεις όταν το DO είναι υψηλότερο (Πίν. 37). Η μεγάλη ποσότητά του σίγουρα εξηγεί την ύπαρξη των τρηματοφόρων σε έναν ευτροφικό κόλπο, αλλά φαίνεται πως άλλοι παράγοντες επηρεάζουν περισσότερο τα ποσοστά των ευαίσθητων και των ανθεκτικών τρηματοφόρων. Η αλατότητα εμφανίζει αρνητική συσχέτιση με το διαλυμένο οξυγόνο, καθώς παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές όταν το DO είναι μειωμένο (Πίν. 37, Σχ.29).



Σχήμα 29. Συσχέτιση του DO με την αλατότητα και τη βροχόπτωση για τους 4 μήνες δειγματοληψίας.

Το φυτοπλαγκτόν αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς βιοδείκτες ευτροφισμού. Σαν αποτέλεσμα της συσσώρευσης των θρεπτικών, η περιοχή επηρεάζεται από υψηλές συγκεντρώσεις φωσφορικού άλατος και αζώτου (Karageorgis et al. 2005a; Tsiaras et al. 2014), οι οποίες προκαλούν αλλαγές στο φυτοπλαγκτόν (Moncheva et al. 2001; Nikolaidis and Moustaka-Gouni 1990; Pagou 2005; Vakirtzi et al. 2010). Διάφορες μέθοδοι με τη μέτρηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης έχουν πραγματοποιηθεί για τη μελέτη της ποιότητας του νερού (Karydis 1999; Michelakaki and Kitsiou 2005; Simboura et al. 2005) και τον ευτροφισμό σε συγκεκριμένα θαλάσσια και παράκτια οικοσυστήματα (Kitsiou and Karydis 2000; Pagou et al. 2002; Pavlidou et al. 2015; Spatharis and Tsirtsis, 2010). Τα επίπεδα, λοιπόν, της χλωροφύλλης για ένα ελληνικό ευτροφικό περιβάλλον έχουν υπολογιστεί από 1,16 έως 1,84 mg m⁻³ (εσωτερικό τμήμα του Σαρωνικού κόλπου) (Ignatiades 2005). Τα επίπεδα της χλωροφύλλης είναι υψηλά για τον Θερμαϊκό κόλπο (Σχ. 30). Τον Ιούλιο εμφανίζεται η μεγαλύτερη της τιμή από τους 4 μήνες (S3=19,091), αν και στους υπόλοιπους σταθμούς κυμαίνεται σε χαμηλές τιμές, ενώ ο Οκτώβριος είναι ο μήνας που έχει τις πιο υψηλές τιμές σε όλους τους σταθμούς, με ελάχιστη 6,151 μg l⁻¹ στον S3 και μέγιστη 8,245 μg l⁻¹ στον S1. Τον Ιανουάριο παρατηρείται η μικρότερη τιμή της χλωροφύλλης στον S2 (0,694 μg l⁻¹). Την περίοδο Απριλίου-Μαΐου παρατηρείται μια αύξηση στην πυκνότητα από το φυτοπλαγκτόν, κάτι που εξηγεί τις υψηλές τιμές της χλωροφύλλης τον Απρίλιο, αλλά και τον λόγο που φαίνεται λιγότερη η χλωροφύλλη τον Ιούλιο (Dimiza et al. 2020). Οι ποσότητες της χλωροφύλλης θεωρητικά επηρεάζουν και τις ποσότητες του διαλυμένου οξυγόνου μέσα στον κόλπο. Αυτοί οι δυο αυτοί παράγοντες όμως δεν εμφανίζουν καλή συσχέτιση βάσει της Corellation analysis. Επίσης, παρόλο που και η θερμοκρασία έχει τις υψηλότερες τιμές τον Ιούλιο, η χλωροφύλλη παρουσιάζει από τις χαμηλότερες τιμές. Η υπερβολικά μεγάλη ποσότητα της χλωροφύλλης, όμως στον S3 έρχεται σε καλή συσχέτιση τόσο με το βάθος της εύρωτης ζώνης (μέτρηση από το δίσκο Secchi), όπου έχει πολύ μικρή τιμή, κάτι που σημαίνει πως το νερό είναι

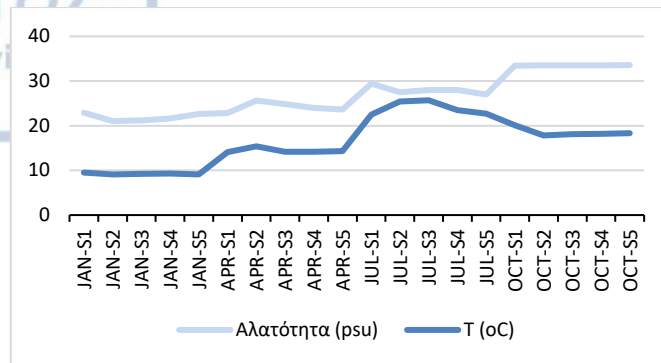
αρκετά θολό, όσο και με την υψηλή θερμοκρασία και το μειωμένο διαλυμένο οξυγόνο. Η πανιδική πυκνότητα δεν εμφανίζει κάποια καλή συσχέτιση με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης, σε αντίθεση με την αλατότητα που έχουν θετική συσχέτιση (Σχ. 30, Πίν. 37).



Σχήμα 30. Διακύμανση της Chl-a σε συνάρτηση με το TDS και την αλατότητα.

Οι τιμές του TDS είναι υψηλές για τον Θερμαϊκό κόλπο ως αποτέλεσμα των απορροών από τα ποτάμια της περιοχής, που επηρεάζονται τόσο από τις βροχοπτώσεις όσο και από το λιώσιμο του χιονιού από τα γύρω βουνά. Τον Οκτώβριο ιδιαίτερα έχουμε μεγάλες ποσότητες και ειδικά στον S1 (52,24 g/L). Παρατηρείται πως τον μήνα αυτό μειώνεται λίγο το DO. Επίσης, οι τιμές των διαλυμένων αιωρούμενων σωματιδίων συνάδει και με τις διακυμάνσεις της Chl-a, καθώς για παράδειγμα τον Οκτώβριο και οι δυο παράμετροι παρουσιάζουν από τις υψηλότερες τιμές (Σχ. 30). Παρατηρώντας τις μετρήσεις από το δίσκο Secchi φαίνεται πως οι χαμηλές τιμές του συμφωνούν σε αρκετές περιπτώσεις με τις μεγαλύτερες τιμές του TDS, αφού μεγάλος αριθμός αιωρούμενων σωματιδίων αυξάνει τη θολότητα των υδάτων (Ignatiades et al. 1995). Τέλος, τις περιόδους που το TDS είναι αυξημένο και η αλατότητα έχει μεγαλύτερες τιμές (Σχ. 30, Πίν. 37).

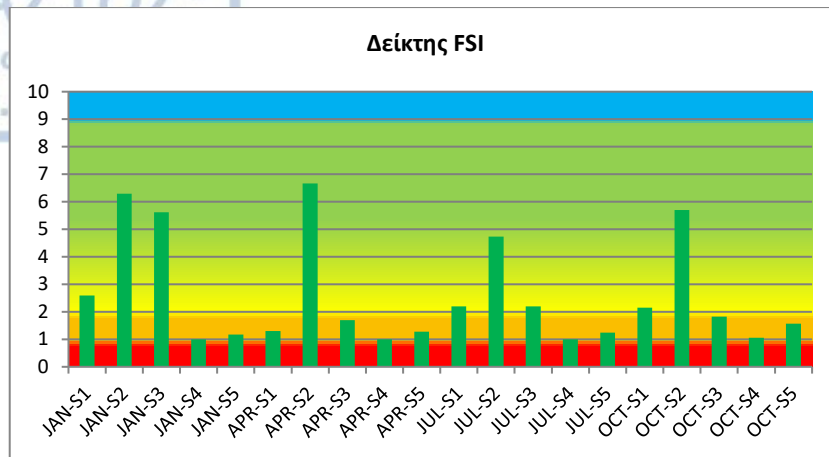
Η αλατότητα έχει γενικά χαμηλές τιμές, κάτι που υποδεικνύει σημαντικές εισροές γλυκού νερού. Αυτό φαίνεται και από τις έντονες βροχοπτώσεις τους μήνες αυτούς, αλλά και από το λιώσιμο του χιονιού. Τον Οκτώβριο μόνο, όπως αναφέρθηκε, παρατηρείται αύξηση της αλατότητας (Poulos et al. 2000; Rhobles et al. 1983), ίσως λόγω αύξησης της θερμοκρασίας, με την οποία παρουσιάζει θετική συσχέτιση (Σχ. 31, Πίν. 37). Οι χαμηλές αυτές τιμές της αλατότητας δε φαίνεται να επηρεάζουν με κάποιο τρόπο τα τριηματοφόρα. Πιθανά να οφείλονται για τις αυξημένες ποσότητες του ευρύαλου είδους *A. tepida*.



Σχήμα 31. Διακύμανση αλατότητας με την αλλαγή της θερμοκρασίας.

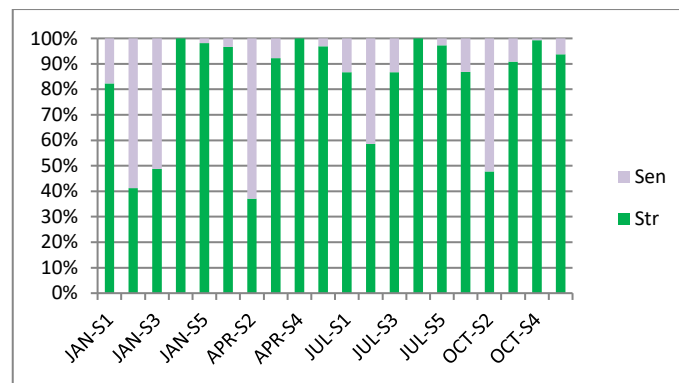
Στους σταθμούς με το μικρότερο βάθος παρατηρείται πως όλη η υδάτινη στήλη είναι αρκετά διαφανής, καθώς το Secchi είναι ορατό σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις μέχρι την επιφάνεια του πυθμένα. Στους σταθμούς με τα μεγαλύτερα βάθη, το Secchi είναι ορατό μέχρι ένα συγκεκριμένο βάθος, το οποίο απέχει αρκετά από τον πυθμένα. Παρατηρείται πως εκεί που η χλωροφύλλη έχει από τις μεγαλύτερες τιμές, οι μετρήσεις από το Secchi είναι μικρές. Σε ένα ευτροφικό παράκτιο περιβάλλον οι μετρήσεις από το δίσκο Secchi αναμένονται να είναι <10m (Ignatiades et al. 1995) και αυτό αποδεικνύεται ότι ισχύει για τον Θερμαϊκό κόλπο. Οι ομάδες των bolivinids, miliolids και το γένος *Haynesina* spp. έχουν μικρότερα ποσοστά συμμετοχής στους σταθμούς με μεγάλο βάθος και το αντίθετο, ενώ παρουσιάζουν και αρνητική συσχέτιση με το Secchi. Αρνητική συσχέτιση με το Secchi παρουσιάζουν και τα rotaliids. Θετική συσχέτιση με το βάθος έχουν τα buliminds, *Uvigerina* spp. και agglutinants. Τα agglutinants έχουν θετική συσχέτιση και με το βάθος της εύφωτης ζώνης (Πίν. 37).

Παρατηρείται, λοιπόν μια τάση εκεί που η εύφωτη ζώνη είναι μικρή, λόγω αυξημένων αιωρούμενων σωματιδίων, που συνάδει με τις υψηλές τιμές TDS και Chl-*a*, οι ομάδες με τα ευαίσθητα είδη να έχουν μικρότερα ποσοστά συμμετοχής. Για τον καθορισμό της οικολογικής ποιότητας του Θερμαϊκού κόλπου εφαρμόστηκε ο δείκτης FSI (Dimiza et al. 2016a). Και στους 4 μήνες φαίνεται ότι ο σταθμός S2 παρουσιάζει καλή οικολογική ποιότητα, εκτός από το μήνα Ιούλιο, όπου η ποιότητα του σταθμού μπορεί να χαρακτηριστεί ως μέτρια. Για τους μήνες Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο ο δείκτης έχει μια σταθερή τάση για όλους τους σταθμούς με τιμές που τους κατατάσσουν σε ελλιπή έως μέτρια οικολογική κατάσταση. Ο μήνας Ιανουάριος έχει μια διαφορετική εικόνα, καθώς οι σταθμοί S2 και S3 παρουσιάζουν μια καλή οικολογική κατάσταση, ο S1 μέτρια και οι S4 και S5 ελλιπή (Σχ. 32).



Σχήμα 32. Διακύμανση του δείκτη FSI στους σταθμούς δειγματοληψίας για όλους τους μήνες.

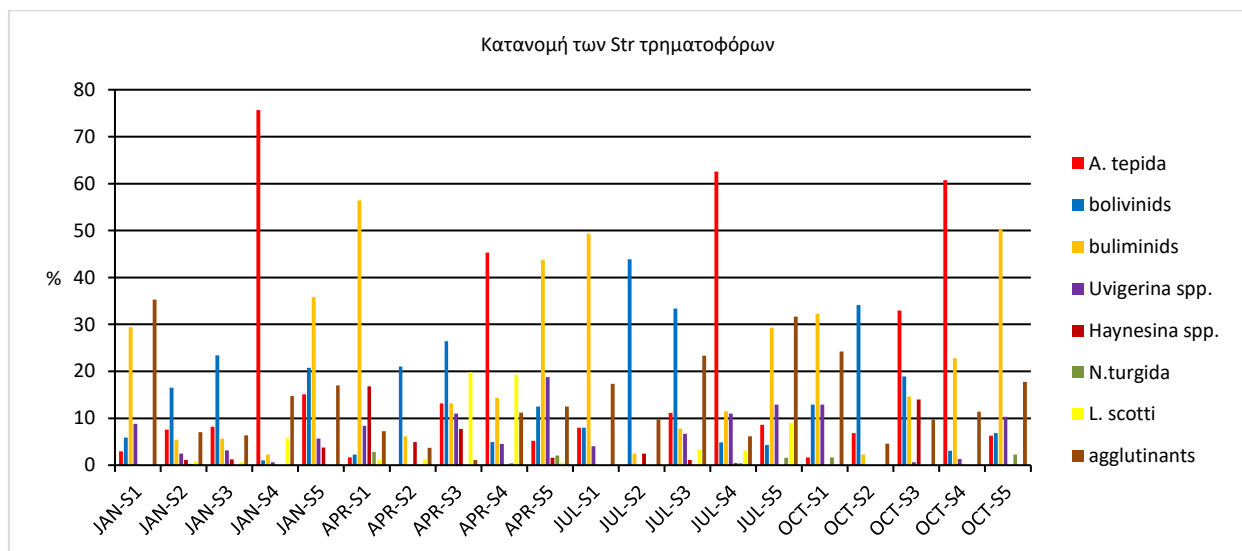
Ο υπολογισμός του δείκτη έδειξε πως γενικά τα είδη τα οποία θεωρούνται ως ανθεκτικά στην επιρροή διαφόρων στρεσογόνων παραγόντων είναι περισσότερα από τα ευαίσθητα είδη (Σχ. 33).



Σχήμα 33. Ποσοστά ανθεκτικών/ευαίσθητων (Str/Sen) τρηματοφόρων.

Τα ανθεκτικά περιλαμβάνουν τα *A. tepida*, bolivinids, buliminids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., *N. turgida*, *L. scottii* και agglutinants (Σχ. 34). Το είδος *A. tepida*, το οποίο έχει πολύ μεγάλα ποσοστά συμμετοχής, είναι ένα τυπικό είδος ρηχής θάλασσας (Cimerman and Langer 1991; Murray 2006), καιροσκοπικό, που είναι ανθεκτικό σε μεγάλες ποσότητες οργανικής ύλης και συγκεντρώσεις μετάλλων (π.χ., Alve 1995; Armynot du Chatelet et al. 2004; Bergamin et al. 2009; Burone et al. 2006; Debenay et al. 2001; Frontalini and Coccioni 2008; Hyams-Kaphzan et al. 2009; Koukousioura et al. 2011; Naeher et al. 2012; Yanko et al. 1999). Τα bolivinids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp. και *N. turgida* είναι τρηματοφόρα τα οποία συναντώνται σε ιλυώδη ιζήματα πλούσια σε οργανική ύλη και σε συνθήκες μειωμένου οξυγόνου (π.χ., Barmawidjaja et al. 1995; Barras et al. 2014; Fontanier et al. 2002; Jorissen 1987; Mojtahid et al. 2006, 2008). Από την ανθεκτική ομάδα των bolivinids (Denoyelle et al. 2010; Mojtahid et al. 2006) το είδος που

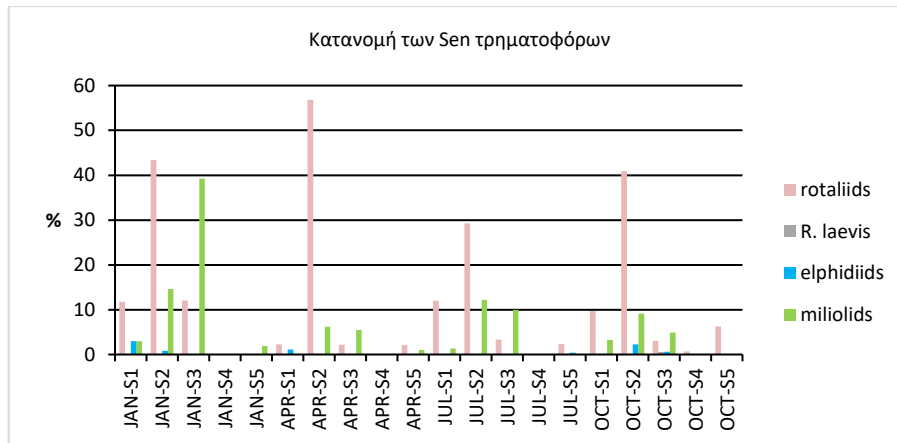
συμμετέχει πιο έντονα είναι το *B. spathulata*. Τα *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., *L. scottii* και *N. turgida*, παρόλο που έχουν μικρά σχετικά ποσοστά συμμετοχής, θεωρούνται από τα πιο ανθεκτικά είδη. Το ενδοπανιδικό γένος *Haynesina* spp. εμφανίζεται σε περιοχές με έντονη ρύπανση (Armynot du Chatelet et al. 2004; Bergamin et al. 2009; Cherchi et al. 2009), ενώ τα άλλα τρία σχετίζονται με υψηλές περιεκτικότητες σε οργανική ύλη (Barras et al. 2014; Denoyelle et al. 2010). Η ομάδα των buliminids αποτελείται από είδη ενδοπανιδικά, τα οποία είναι ανθεκτικά σε υψηλά επίπεδα οργανικής ύλης, έλλειψη οξυγόνου και απαντώνται σε ευτροφικά περιβάλλοντα λόγω ανθρωπογενούς επίδρασης (π.χ., Barras et al. 2014; Denoyelle et al. 2010; De Rijk et al. 2000; Fontanier et al. 2002; Jorissen et al. 1998; Lutze and Colbourn 1984; Mojtahid et al. 2006). Τα είδη που έχουν μεγαλύτερα ποσοστά συμμετοχής είναι τα *B. aculeata*, *B. elongata* και *B. elegantissima*. Από την ομάδα των agglutinants τα είδη που έχουν μεγαλύτερα ποσοστά συμμετοχής είναι το *E. scaber*. Επίσης, το είδος *Textularia agglutinants* (Barmawidjaja et al. 1995; Naehler et al. 2012) θεωρείται ανθεκτικό σε χαμηλά επίπεδα οξυγόνου, ενώ το είδος *Textularia sagittula* συναντάται σε ευτροφικά περιβάλλοντα (Mojtahid et al. 2006).



Σχήμα 34. Κατανομή των ανθεκτικών τρηματοφόρων στις ζωντανές συναθροίσεις.

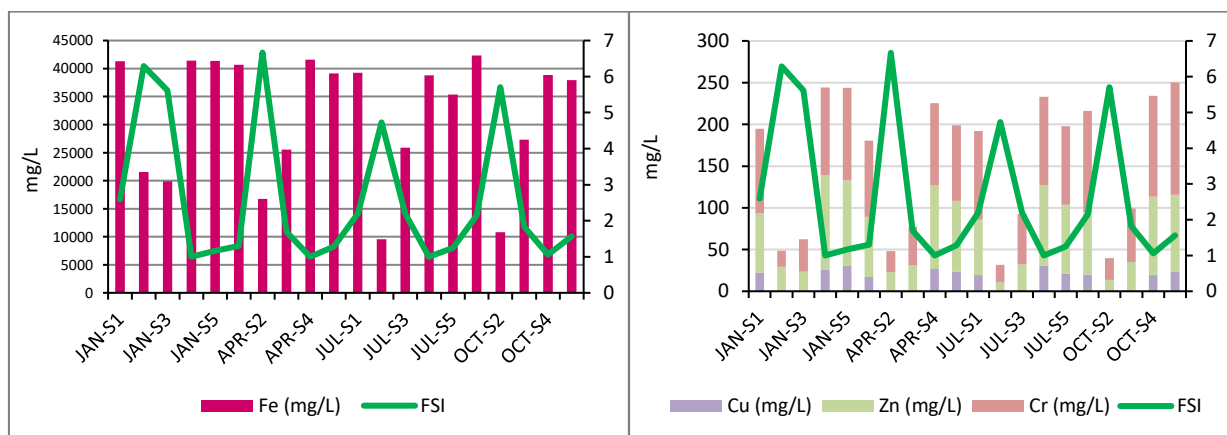
Τα ευαίσθητα είδη έχουν μεγαλύτερα ποσοστά τον Ιανουάριο στους S2 και S3 σταθμούς, τον Απρίλιο στον S2 και τον Οκτώβριο στον S2. Τα είδη που παρουσιάζονται είναι μικρά επιφυτικά γένη των rotaliids και elphidiids, που εμφανίζονται στη Μεσόγειο, όπως τα *Rosalina*, *Cibicides*, *Planorbulina*, *Lobatula* κ.ά., τα οποία εμφανίζονται σε ρηγά θαλάσσια περιβάλλοντα, καλά οξυγονωμένα ή/και αδρόκοκκα ιζήματα (Jorissen, 1987; Langer, 1988, 1993; Sgarrella and Moncharmont Zei, 1993; Frezza and Carboni, 2009; Barras et al., 2014) και γένη των miliolids,

τα οποία εμφανίζονται σε αμμώδη και καλά οξυγονωμένα ιζήματα (Bizon and Bizon, 1984; Jorissen, 1988; Schmiedl et al., 2003; Barras et al., 2014; Li et al., 2014). Τα είδη τα οποία έχουν τα μεγαλύτερα ποσοστά συμμετοχής είναι τα *R. floridensis*, *R. globularis*, *R. macropora*, *P. mediterranensis*, *Q. seminulum* και *Q. stelligera* (Σχ. 35).



Σχήμα 35. Κατανομή των ευαίσθητων τρηματοφόρων στις ζωντανές συναθροίσεις.

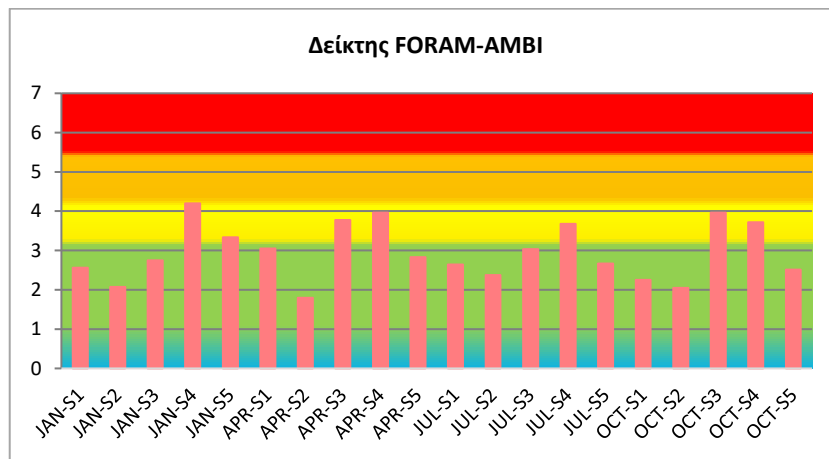
Ο δείκτης παρουσιάζει συσχετίσεις με τις συγκεντρώσεις των μετάλλων. Ο σίδηρος (Fe), στους σταθμούς που έχει πολύ μεγάλες τιμές ο δείκτης FSI, τείνει προς το 0 και αντίστροφα. Τα χαμηλότερα ποσοστά σιδήρου βρίσκονται στο σταθμό S2 σε όλους τους μήνες, ενώ και στον S3 του Ιανουαρίου παρατηρείται χαμηλή σχετικά τιμή. Παρατηρείται ότι όταν οι συγκεντρώσεις των Cu, Zn και Cr είναι χαμηλές τότε ο δείκτης FSI έχει υψηλές τιμές. Υψηλότερες τιμές έχει ιδιαίτερα όταν απουσιάζει ο Cu, και κυρίως στον σταθμό S2 (Σχ. 36).



Σχήμα 36. Διακύμανση του δείκτη FSI σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των Fe, Cu, Zn και Cr.

Η πανιδική πυκνότητα και ο δείκτης επικράτησης D παρουσιάζουν μια αρνητική συσχέτιση με τον δείκτη FSI, ενώ όταν ο δείκτης Shannon-Wiener είναι μικρός, το FSI έχει και αυτό χαμηλές τιμές. Επίσης, φαίνεται πως κατά τις χαμηλότερες τιμές του pH, το FSI έχει μεγάλες τιμές και το αντίθετο (Πίν. 37).

Εκτός από το δείκτη FSI εφαρμόστηκε και ο δείκτης FORAM-AMBI (Alve et al. 2016; Bouchet et al. 2021; Jorissen et al. 2018; O'Malley et al. 2021) για να γίνει μια σύγκριση μεταξύ τους και να παρατηρηθεί αν τα αποτελέσματα συγκλίνουν. Βάσει των τιμών που παίρνει ο δείκτης αυτός ο κόλπος του Θερμαϊκού έχει γενικά καλή οικολογική ποιότητα (Σχ. 37). Ο σταθμός S4 είναι διαφορετικός σε σχέση με τους υπόλοιπους καθώς κατατάσσεται στη μέτρια οικολογική κατάσταση σε όλους τους μήνες, ενώ και ο S3 για τους μήνες Απρίλιο και Οκτώβριο έχει μέτρια οικολογική κατάσταση και ο S5 για τον Ιανουάριο.



Σχήμα 37. Διακύμανση του δείκτη FORAM-AMBI στους σταθμούς δειγματοληψίας για όλους τους μήνες.

Συγκρίνοντας τους δυο δείκτες μεταξύ τους φαίνεται πως έχουν διαφορά, καθώς ο FORAM-AMBI κατατάσσει τον κόλπο σε καλύτερη οικολογική κατάσταση από τον FSI. Κατά τον υπολογισμό του δείκτη FORAM-AMBI παρατηρήθηκε ότι επειδή το ποσοστό του N είναι μεγαλύτερο του 20%, τα αποτελέσματά του πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με προσοχή (Borja and Muxika 2005).

Το πιο σημαντικό στοιχείο για τον Θερμαϊκό κόλπο είναι η μεγάλη ποικιλότητα που εμφανίζει, καθώς είναι πλούσιος τόσο σε γένη όσο και σε είδη. Γενικά, όλα τα στοιχεία που μελετήθηκαν και μετρήθηκαν δείχνουν έναν ευτροφικό κόλπο, ο οποίος όμως εμφανίζει πολύ καλά ποσοστά διαλυμένου οξυγόνου. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην πολύ καλή κυκλοφορία υδάτων στην περιοχή (π.χ., Anagnostopoulos et al. 2000; Balopoulos 1986; Balopoulos et al. 1987; Balopoulos and Friligos 1993; Ganoulis 1987; Hyder et al. 2002; Kontoyiannis et al. 2003; Kourafalou 2001;

Kourafalou and Barbopoulos 2003; Kourafalou et al. 2004; Krestenitis et al. 1999; Krestenitis and Valioulis 1994; Ünlüata et al. 1990), η οποία τροφοδοτείται από ύδατα προερχόμενα από το Αιγαίο, τα οποία είναι πιο καθαρά και με περισσότερο οξυγόνο. Τα ύδατα αυτά λόγω μεγαλύτερης αλατότητας από αυτήν που επικρατεί στον εσωτερικό κόλπο είναι πιο πυκνά, οπότε καταλαμβάνουν μεγαλύτερα βάθη. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι παρόλο που ο αριθμός των ζωντανών ατόμων είναι υψηλός, η μικροπανίδα αποτελείται κυρίως από ανθεκτικά είδη τρηματοφόρων. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τον υπολογισμό του FSI που κατατάσσει τα ύδατα του Θερμαϊκού σε ελλιπούς έως μέτριας οικολογικής ποιότητας, επιβεβαιώνοντας τον χαρακτηρισμό του ως ευτροφικό κόλπος.

Τα αποτελέσματα για τον Θερμαϊκό κόλπο είναι παρόμοια και με την περιοχή του Σαρωνικού, ο οποίος είναι ρυπασμένος και επηρεασμένος από συνθήκες ανθρωπογενούς στρες. Η εφαρμογή του δείκτη FSI έδειξε πως και εκεί η οικολογική ποιότητα κυμαίνεται από ελλιπής έως μέτρια (Dimiza et al. 2016a). Ο Θερμαϊκός κόλπος, λοιπόν, και ιδιαίτερα το εσωτερικό του τμήμα είναι προφανές ότι χρειάζεται περαιτέρω μελέτη, καθώς εμφανίζει πολύπλοκα στοιχεία. Είναι ένας κόλπος ζωτικής σημασίας για την πόλη της Θεσσαλονίκης αλλά και του βορείου Αιγαίου γενικότερα και η καλύτερη κατανόησή του θα βοηθήσει στην προσπάθεια προστασίας του, αλλά και στην καλύτερευση της οικολογικής του ποιότητας. Επίσης, είναι αναγκαία η περαιτέρω μελέτη του για την καλύτερη εφαρμογή του δείκτη FORAM-AMBI, καθώς τα στοιχεία που διαθέτουμε δεν επαρκούν για ένα ασφαλές αποτέλεσμα.

Πίνακας 37. Συσχετισμός των διαφόρων παραμέτρων που μελετήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού SPSS (Spearman Correlation Coefficient).

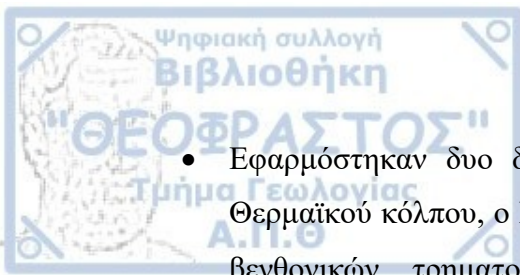
Spearman's rho	Πανιδική πικρότητα	Δείκτης επικράτησης_D	Δείκτης αφθονίας_S	Δείκτης Shannon-Wiener_H'	FSI	Αλατότητα (psu)	Chl-a (μg l ⁻¹)	Βροχόπτωση (mm)	Fe (mg/L)	Zn (mg/L)	Cr (mg/L)	A. tepida	boliviniids	buliminids	Uvigerina spp.	Haynesina spp.	N.turgida	rotaliids	millioids	L. scotti	agglutinants	TDS (g/L)	Βάθος (m)	Secchi (m)	T (oC)	pH	DO (mg/L)
Πανιδική πικρότητα	1,000	0,341	0,055	-0,226	-,566**	-0,143	-0,114	0,000	0,173	,502*	0,137	,548*	-,663**	-0,057	0,102	-0,136	0,382	-,481*	-,532*	,505*	-0,106	-0,196	-0,041	0,134	-0,131	0,102	-0,032
Δείκτης επικράτησης_D	0,341	1,000	-,618**	-,911**	-,531*	0,228	-0,030	-0,043	0,149	0,369	0,203	,590**	-0,307	-0,150	-0,391	-0,042	-0,184	-,504*	-,450*	0,047	-0,320	0,002	-0,185	0,138	0,084	0,038	-0,134
Δείκτης αφθονίας_S	0,055	-,618**	1,000	,868**	0,393	-0,104	-0,205	0,066	-0,089	-0,289	-0,197	-,490*	0,026	0,304	0,341	0,121	,526*	0,434	0,241	-0,131	0,148	-0,095	0,108	-0,275	-0,019	-0,097	-0,097
Δείκτης Shannon-Wiener_H'	-0,226	-,911**	,868**	1,000	,582**	-0,167	-0,104	0,070	-0,147	-0,408	-0,223	-,626**	0,217	0,198	0,342	0,020	0,315	,597**	0,433	-0,147	0,304	-0,067	0,167	-0,223	-0,035	-0,087	0,060
FSI	-,566**	-,531*	0,393	,582**	1,000	-0,038	-0,014	0,078	-,655**	-,910**	-,644**	-,668**	,692**	-0,313	-0,398	0,192	-0,341	,963**	,851**	-0,304	-0,239	0,026	-0,362	-,546*	-0,027	-,566**	0,332
Αλατότητα (psu)	-0,143	0,228	-0,104	-0,167	-0,038	1,000	,453*	0,202	-0,120	-0,033	0,347	0,006	0,066	0,198	0,000	-0,285	0,017	0,072	-0,181	-0,413	0,132	,689**	0,125	-0,198	,764**	-0,300	-,450*
Chl-a (μg l ⁻¹)	-0,114	-0,030	-0,205	-0,104	-0,014	,453*	1,000	0,388	-0,039	-0,011	0,173	0,008	0,186	0,009	0,030	0,139	-0,121	-0,085	0,035	-0,057	-0,047	,537*	-0,109	-0,399	0,219	-0,156	0,047
Βροχόπτωση (mm)	0,000	-0,043	0,066	0,070	0,078	0,202	0,388	1,000	0,132	0,093	0,248	0,027	-0,023	0,031	-0,194	-0,195	-0,039	0,082	0,040	-,520*	0,019	0,287	-0,043	-0,058	-0,388	0,008	,558*
Fe (mg/L)	0,173	0,149	-0,089	-0,147	-,655**	-0,120	-0,039	0,132	1,000	,817**	,776**	0,253	-,678**	,552*	-,450*	-0,353	0,355	-,632**	-,670**	-0,013	-,569**	0,020	,715**	,692**	-0,204	,845**	-0,189
Zn (mg/L)	,502*	0,369	-0,289	-0,408	-,910**	-0,033	-0,011	0,093	,817**	1,000	,798**	,566**	-,755**	,552*	-,450*	-0,352	0,373	-,859**	-,847**	0,137	0,439	-0,047	,554*	,717**	-0,119	,733**	-0,155
Cr (mg/L)	0,137	0,203	-0,197	-0,223	-,644**	0,347	0,173	0,248	,776**	,798**	1,000	0,297	-,615**	,632**	-,453*	-,506*	0,294	-,549*	-,733**	-0,268	-,603**	0,229	,764**	,559*	0,141	,651**	-0,290
A. tepida	,548*	,590**	-,490*	-,626**	-,668**	0,006	0,008	0,027	0,253	,566**	0,297	1,000	-0,339	-0,192	-0,024	-0,172	-0,235	-,711**	-0,376	0,357	-0,041	-0,126	-0,194	0,176	-0,081	0,037	0,007
boliviniids	-,663**	-0,307	0,026	0,217	,692**	0,066	0,186	-0,023	-,678**	-,755**	-,615**	-0,339	1,000	-0,402	-0,309	0,399	-,472**	,562**	,877**	-0,194	-0,345	0,121	-,577**	-,532*	0,103	-,649**	0,188
buliminids	-0,057	-0,150	0,304	0,198	-0,313	0,198	0,009	0,031	,552*	0,417	,632**	-0,192	-0,402	1,000	,630**	0,000	,535*	-0,266	-,524*	-0,292	-,489*	0,239	,775**	0,261	0,061	,559*	-0,389
Uvigerina spp.	0,102	-0,391	0,341	0,342	-0,398	0,000	0,030	-0,194	,450*	0,420	,453*	-0,024	-0,309	,630**	1,000	-0,098	,648**	-0,395	-0,394	0,202	0,417	0,136	,630**	0,308	0,142	0,404	-,495*
Haynesina spp.	-0,136	-0,042	0,121	0,020	0,192	-0,285	0,139	-0,195	-0,353	-0,352	-,506*	-0,172	0,399	0,000	-0,098	1,000	-0,102	0,030	0,361	0,132	-,524*	-0,126	-,444*	-,511**	-0,204	-0,264	0,121
N.turgida	0,382	-0,184	,526*	0,315	-0,341	0,017	-0,121	-0,039	0,355	0,373	0,294	-0,235	-,472*	,535*	-,648**	-0,102	1,000	-0,217	-,507*	0,157	0,197	0,063	,490*	0,240	0,080	0,348	-,454**
rotaliids	-,481*	-,504*	0,434	,597**	,963**	0,072	-0,085	0,082	-,632**	-,859**	-,549*	-,711**	,562**	-0,266	-0,395	0,030	-0,217	1,000	,723**	-0,347	-0,160	0,060	-0,251	-,474*	0,084	-,541*	0,235
millioids	-,532*	-,450*	0,241	0,433	,851**	-0,181	0,035	0,040	-,670**	-,847**	-,733**	-0,376	,877**	-,524*	-0,394	0,361	-,507*	,723**	1,000	-0,164	-0,337	-0,127	-,614*	-,588**	-0,098	-,627**	0,384
L. scotti	,505*	0,047	-0,131	-0,147	-0,304	-0,413	-0,057	-,520*	-0,013	0,137	-0,268	0,357	-0,194	-0,292	0,202	0,132	0,157	-0,347	-0,164	1,000	-0,259	-0,134	-0,237	0,002	-0,090	-0,093	-0,184
agglutinants	-0,106	-0,320	0,148	0,304	-0,239	0,132	-0,047	0,019	,569**	0,439	,603**	-0,041	-0,345	,489*	0,417	-,524*	0,197	-0,160	-0,337	-0,259	1,000	-0,074	,726**	,447*	0,230	,613**	-0,165
TDS (g/L)	-0,196	0,002	-0,095	-0,067	0,026	,689**	,537*	0,287	0,020	-0,047	0,229	-0,126	0,121	0,239	0,136	-0,126	0,063	0,060	-0,127	-0,134	-0,074	1,000	0,136	-0,048	0,342	-0,278	-0,284
Βάθος (m)	-0,041	-0,185	0,108	0,167	-0,362	0,125	-0,109	-0,043	,715**	,554*	,764**	-0,194	-,577**	,775**	-,630**	-,444*	,490*	-0,251	-,614**	-0,237	-,726**	0,136	1,000	,639**	0,133	,752**	-0,361
Secchi (m)	0,134	0,138	-0,275	-0,223	-,546*	-0,198	-0,399	-0,058	,692**	,717**	,559*	0,176	-,532*	0,261	0,308	-,511**	0,240	-,474*	-,588**	0,002	-,447*	-0,048	,639**	1,000	-0,180	,713**	-0,055
T (oC)	-0,131	0,084	-0,019	-0,035	-0,027	,764**	0,219	-0,388	-0,204	-0,119	0,141	-0,081	0,103	0,061	0,142	-0,204	0,080	0,084	-0,098	-0,090	0,230	0,342	0,133	-0,180	1,000	-0,266	-,727**
pH	0,102	0,038	-0,097	-0,087	-,566**	-0,300	-0,156	0,008	,845**	,733**	,651**	0,037	-,649**	,559*	0,404	-0,264	0,348	-,541*	-,627**	-0,093	-,613**	-0,278	,752**	,713**	-0,266	1,000	-0,038
DO (mg/L)	-0,032	-0,134	-0,097	0,060	0,332	-,450*	0,047	,558*	-0,189	-0,155	-0,290	0,007	0,188	-0,389	-,495*	0,121	-,454*	0,235	0,384	-0,184	-0,165	-0,284	-0,361	-0,055	-,727**	-0,038	1,000

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

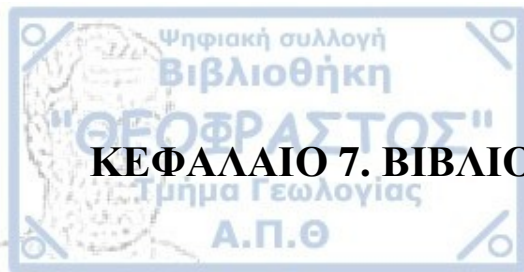
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής μελετήθηκαν τα σύγχρονα επιφανειακά ιζήματα πυθμένα από πυρηνάκια που συλλέχθηκαν από την περιοχή του εσωτερικού τμήματος του Θερμαϊκού κόλπου. Μελετήθηκαν τα 2 πρώτα εκατοστά του πυθμένα από 5 διαφορετικούς σταθμούς (S1, S2, S3, S4, S5) μέσα στον κόλπο και για 4 διαφορετικούς μήνες του έτους 2016 (Ιανουάριος, Απρίλιος, Ιούλιος, Οκτώβριος). Συλλέχθηκαν συνολικά 11.359 άτομα τρηματοφόρων τα οποία ταξινομήθηκαν σε 137 είδη που ανήκουν σε 64 γένη. Επιπλέον, υπολογίστηκαν δυο δείκτες οικολογικής ποιότητας, ο FSI και ο Foram-AMBI και πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ τους.

- Η συνολική μικροπανίδα (νεκρά+ζωντανά) παρουσιάζει παρόμοια εικόνα μέσα στους 4 μήνες μελέτης, με τα ευαίσθητα είδη (rotaliids, lageniids, elphidiids, miliolids) να παρουσιάζουν σημαντικά ποσοστά συμμετοχής στο δυτικό τμήμα του κόλπου (σταθμοί S2 και S3) σε σχέση με τον υπόλοιπο κόλπο (σταθμοί S1, S4 και S5), όπου υπερσχύουν τα ανθεκτικά είδη (*Ammonia* spp., bolivinids, buliminids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., nonioniids, *L. scottii*, agglutinants).
- Στις ζωντανές συναθροίσεις βενθονικών τρηματοφόρων παρατηρείται μια τάση στον σταθμό S2 να επικρατούν τα ευαίσθητα είδη (rotaliids, elphidiids, miliolids, *R. laevis*) και στους υπόλοιπους τα ανθεκτικά (*A. tepida*, bolivinids, buliminids, *Uvigerina* spp., *Haynesina* spp., *N. turgida*, *L. scottii* και agglutinants).
- Τα βενθονικά τρηματοφόρα παρουσιάζουν γενικά υψηλούς αριθμούς ζωντανών ατόμων και υψηλή ποικιλότητα σε έναν κόλπο που οι διάφορες φυσικοχημικές μετρήσεις τον χαρακτηρίζουν ως ευτροφικό. Παρόλα αυτά οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου είναι υψηλές και έρχονται σε αντίθεση με τον χαρακτηρισμό αυτό, γεγονός που πιθανά οφείλεται στην πολύ καλή κυκλοφορία των υδάτων που επικρατεί στον Θερμαϊκό κόλπο.
- Οι υψηλές πανιδικές πυκνότητες και ποικιλότητες αναφέρονται σε είδη τρηματοφόρων τα οποία χαρακτηρίζονται ως ανθεκτικά στην επίδραση διαφόρων στρεσογόνων παραγόντων.



- Εφαρμόστηκαν δυο δείκτες για τον καθορισμό της οικολογικής ποιότητας του Θερμαϊκού κόλπου, ο FSI και ο Foram-AMBI που βασίζονται στις συναθροίσεις των βενθονικών τρηματοφόρων. Τα αποτελέσματα βάσει του πρώτου δείκτη χαρακτηρίζουν την οικολογική κατάσταση του κόλπου από ελλιπή ως μέτρια, καθώς τα ανθεκτικά είδη ήταν αυτά τα οποία κατείχαν το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στις συναθροίσεις της μικροπανίδας. Στην περίπτωση του δεύτερου δείκτη, βάσει των τιμών του, ο κόλπος του Θερμαϊκού έχει γενικά καλή οικολογική ποιότητα. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι ο αριθμός των ειδών τα οποία μπόρεσαν να καταταχθούν στις οικολογικές ομάδες ήταν οριακά αποδεκτός, οπότε τα αποτελέσματά του χρήζουν περαιτέρω μελέτης.
- Ο Θερμαϊκός κόλπος αποτελεί μια περιοχή ζωτικής σημασίας τόσο για την πόλη της Θεσσαλονίκης όσο και για το βόρειο Αιγαίο και δεν αντιπροσωπεύει ένα κλασικό ευτροφικό περιβάλλον. Έχει παρατηρηθεί μια απορρύπανση του κόλπου κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, ιδιαίτερα όσον αφορά τη ρύπανση από βαρέα μέταλλα, αλλά η περαιτέρω παρακολούθηση, μελέτη και κατανόηση της λειτουργίας του είναι εξαιρετικής σημασίας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Afshan, S., Ali, S., Ameen, U. S., Farid, M., Bharwana, S. A., Hannan, F. and Ahmad, R., 2014. Effect of different heavy metal pollution on fish. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 2, 74-79.
- Albanakis, K., Styllas, M., Vouvalidis, K. and Syrides, G., 2005. Geomorphological changes in Thermaikos Gulf area as a result of the Holocene sea level increase. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, XXXVIII, 77-85 (in greek).
- Allison, N., Austin, W., Paterson, D. and Austin, H., 2010. Culture studies of the benthic foraminifera *Elphidium williamsoni*: Evaluating pH, $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$ and inter-individual effects on test Mg/Ca. *Chemical Geology*, 274, 87-93.
- Alve, E., 1991. Benthic foraminifera reflecting heavy metal pollution in Sørkjord, Western Norway. *Journal of Foraminiferal Research*, 34, 1641-1652.
- Alve, E., 1995. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: a review. *Journal of Foraminiferal Research*, 25, 190-203.
- Alve, E., Korsun, S., Schönfeld, J., Dijkstra, N., Golikova, E., Hess, S., Husum, K. and Panieri, G., 2016. Foram-AMBI: A sensitivity index based on benthic foraminiferal faunas from North-East Atlantic and Arctic fjords, continental shelves and slopes. *Marine Micropaleontology*, 122, 1-12.
- Anagnostou, Ch., Kaberi, H. and Karageorgis, A. P., 1997. Environmental impact on the surface sediments of the Bay and the gulf of Thessaloniki according to the Geoaccumulation Index classification. In: Rajar, J. and Brebbia, C. A. (eds) *Water Pollution IV, Measuring, Modelling and Prediction*. Computational Mechanics Publications, Southampton, 269-275.
- Anastasakis, G. C. and Dermitzakis, M. D., 1986. Upper Cenozoic connections of the Aegean to the Eastern Mediterranean: Marine Geological Evidence as compared to the fossil mammals of the region. C.I.E.S.M, Congress Mallorca, Spain, 20-25 October, Monaco. *Rapports et Procès-verbaux des Reunions*.

Anderson, O. R. and Lee, J. J., 1991. Symbiosis in Foraminifera. In: Lee, J. J. and Anderson, O. R. (eds) *Biology of Foraminifera*. Academic Press, London, UK, 157-220.

Anderson, O. R., Lee, J. J. and Faber, W. W., 1991. Collection, maintenance and culture methods for the study of living Foraminifera. In: Lee, J. J. and Anderson, O. R. (eds) *Biology of Foraminifera*. Academic Press, London, 225-358.

Andronopoulos, B., Rozos, D. and Hatzinakos, I., 1991. Subsidence phenomena in the industrial area of Thessaloniki, Greece. In: Proceedings of the fourth international symposium on land subsidence. *IAHS Publications*, 200, 59-69.

Armynot du Châtelet, A., Debenay, J. P. and Soulard, R., 2004. Foraminiferal proxies for pollution monitoring in moderately polluted harbors. *Environmental Pollution*, 127(1), 27-40.

Arnold, Z. M., 1974. Field and laboratory techniques for the study of living foraminifera. In: Hedley, R. H. and Adams, C. G. (eds), *Foraminifera*, v. 1, Academic Press, London, 153-206.

Avnaim-Katav, S., Herut, B., Rahav, E., Katz, T., Weinstein, Y., Alkalay, R., Berman-Frank, I., Zlatkin, O. and Almogi-Labin, A., 2020. Sediment trap and deep sea core-top sediments as tracers of recent changes in planktonic foraminifera assemblages in the southeastern ultra-oligotrophic Levantine Basin. *Deep-Sea Research II*, 171, 104669.

Balopoulos, E., 1986. Physical and dynamical processes in a coastal embayment of the northwestern Aegean Sea. *Thalassographica*, 9, 59-78.

Balopoulos, E. T., Chronis, G., Lykousis, V. and Papageorgiou, E., 1987. Hydrodynamical and sedimentological processes in the north Aegean Sea: Thermaikos Gulf. *Colloq. Int. Oceangr., Comm. Int. Explor. Sci. Medit.*, 24.

Balopoulos, E. Th., Collins, M. B. and James, A. E., 1986. Satellite images and their use in the numerical modelling of coastal processes. *International Journal of Remote Sensing*, 7(7), 905-19.

Balopoulos, E. and Friligos, N., 1993. Water circulation and eutrophication in the Northwestern Aegean Sea, Thermaikos Gulf. *Environmental Science & Health*, A28(6), 1311-1329.

Bandy, O. L., 1953. Ecology and paleoecology of some California foraminifera. Part 1. The frequency distribution of Recent foraminifera off California. *Journal of Paleontology*, 27, 161-182.



Banner, F. T., Sheehan, R. and Williams, E. 1973. The organic skeletons of rotaline foraminifera: a review. *Journal of Foraminiferal Research*, 3, 30-42.

Banner, F. T. and Williams, E., 1973. Test structure, organic skeleton and extrathalamic cytoplasm of *Ammonia Brunnich*. *Journal of Foraminiferal Research*, 3, 49-69.

Barmawidjaja, D. M., Jorissen, F. J., Puskaric, S. and van der Zwaan, G. J., 1992. Microhabitat selection by benthic Foraminifera in the northern Adriatic Sea. *Journal of Foraminiferal Research*, 22, 297-317.

Barmawidjaja, D. M., van der Zwaan, G. J., Jorissen, F. J. and Puskaric, S., 1995. 150 years of eutrophication in the northern Adriatic Sea: evidence from a benthic foraminiferal record. *Marine Geology*, 122, 367-384.

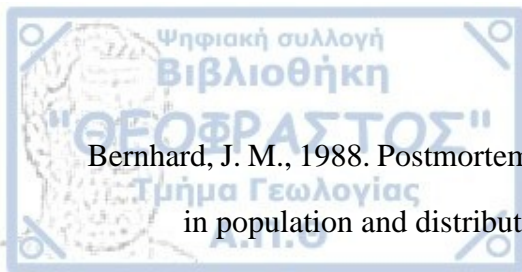
Barras, C., Jorissen, F. J., Labrune, C., Andral, B. and Boissery, P., 2014. Live benthic foraminiferal faunas from the French Mediterranean Coast: towards a new biotic index of environmental quality. *Ecological Indicators*, 36, 719-743.

Bergamin, L., Romano, E., Grazia Finioia, M., Venti, F., Bianchi, J., Colasanti, A. and Ausili, A., 2009. Benthic foraminifera from the coastal zone of Baia (Naples, Italy): assemblage distribution and modification as tools for environmental characterization. *Marine Pollution Bulletin*, 59, 234-244.

Bergin, F., Kucuksezgin, F., Uluturhan, E., Barut, I. F., Meric, E., Avsar, N. and Nazik, A., 2006. The Response of Benthic Foraminifera and Ostracoda to Heavy Metal Pollution in Gulf of Izmir (Eastern Aegean Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66, 368-386.

Berland, B. R., Benzhitski, A. G., Burlakova, Z. P., Georgieva, L. V., Izmestieva, M. A., Kholodov, V. I. and Maestrini, S. Y., 1988. Conditions hydrologiques estivales en Méditerranée, répartition du phytoplancton et de la matière organique. *Oceanologica Acta*, 9, 163-177.

Berman, T., Townsend, D. W., El Sayed, S. Z., Trees, C. C. and Azov, Y., 1984. Optical transparency, chlorophyll and primary productivity in the Eastern Mediterranean near the Israeli coast. *Oceanologica Acta*, 7(3), 367-372.



- Bernhard, J. M., 1988. Postmortem vital staining in benthic foraminifera: Duration and importance in population and distributional studies. *Journal of Foraminiferal Research*, 18, 143-146.
- Bernhard, J. M. and Bowser, S. S., 1992. Bacterial biofilms as a trophic resource for certain benthic foraminifera. *Marine Ecology Progress Series*, 83, 263-272.
- Bernhard, J. M., Sen Gupta, B. K. and Borne, P. F., 1997. Benthic foraminiferal proxy to estimate dysoxic bottom-water oxygen concentrations: Santa Barbara Basin, U.S. Pacific continental margin. *Journal of Foraminiferal Research*, 27, 301–310.
- Bizon, G. and Bizon, J. J., 1984. Distribution des foraminifères sur le plateau continental au large du Rhone. In: Bizon, J. J. and Burolet, P. F. (eds) *Ecologie des Microorganismes en Méditerranée occidentale 'ECOMED'*. Association Française des Techniciens du Pétrole (AFTP), Paris, 84-94.
- Blanc-Vernet, L., 1969. Contribution à l'étude des foraminifères de la Méditerranée. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, 64 (48), 315.
- Boltovskoy, E., 1959a. Foraminifera as biological indicators in the study of ocean currents: *Micropaleontology*, 5(4), 473-481.
- Boltovskoy, E., 1959b. La corriente de Malvinas (un estudio en base a la investigacion de foraminiferos): Argentina. Serv. Hidr. Nav., 1015, 1-96.
- Boltovskoy, E., 1964. Seasonal occurrences of some living foraminifera in Puerto Deseado (Patagonia, Argentina). *ICES Journal of Marine Science*, 29, 136-145.
- Boltovskoy, E., Giussani, G., Watanabe, S. and Wright, R.C., 1980. Atlas of Benthic Shelf Foraminifera of the Southwest Atlantic. The Hague, Dr. W. Junk by Publishers, 10-11.
- Boltovskoy, E., Scott, D. B. and Medioli, F. S., 1991. Morphological variations of benthic foraminiferal test in response to changes in ecological parameters: a review. *Journal of Paleontology*, 65, 175-185.
- Boltovskoy, E. and Wright, R., 1976. Recent Foraminifera. The Hague: Junk, 515.
- Borja, A., Franco, J. and Perez, V., 2000. A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40(12), 1100-1114.

Borja, A. and Muxika, I., 2005. Guidelines for the use of AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) in the assessment of the benthic ecological quality. *Marine Pollution Bulletin*, 50(7), 787-789.

Bouchet, M. P. V., Frontalini, F., Francescangeli, F., Sauriau, P.-G., Geslin, E., Martins, M. V. A., Almogi-Labin, A., Avnaim-Katav, S., Di Bella, L., Cearreta, A., Coccioni, R., Costelloe, A., Dimiza, M. D., Ferraro, L., Haynert, K., Martínez-Colon, M., Melis, R., Schweizer, M., Triantaphyllou, M. V., Tsujimoto, A., Wilson, B. and Armynot du Châtelet, E., 2021. Indicative value of benthic foraminifera for biomonitoring: Assignment to ecological groups of sensitivity to total organic carbon of species from European intertidal areas and transitional waters. *Marine Pollution Bulletin*, 164, 112071

Bradshaw, J. S., 1961. Laboratory experiments on the ecology of foraminifera. *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, 12, 7-102.

Braga, E. S., Bonetti, C. V. D. H., Burone, L. and Filho, J. B., 2000. Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista estuarine system -Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 40, 165-173.

Brasier, M. D., 1980. Microfossils. London, George Allen & Unwin.

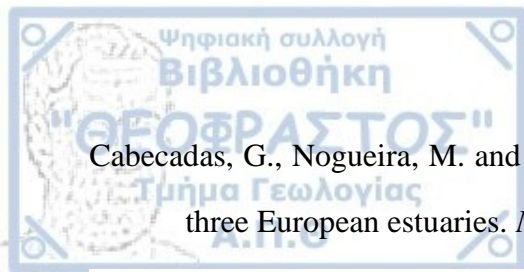
Brasier, M. D., 1986. Why do plants and animals biomineralize? *Paleobiology*, 12, 241-250.

Bresler, V. and Yanko, V., 1995. Acute toxicity of heavy metals for benthic epiphytic foraminifera *Pararotalia spinigera* (Le Calvez) and influence of seaweed-derived DOC. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 14, 1687-1695.

Buckley, D. E., Owens, E. H., Schafer, C. T., Vilks, G., Cranston, R. E., Rashid, M. A., Wagner, F. J. E. and Walker, D. A., 1974. Canso strait and Chedaucto bay: a multidisciplinary study of the impact of man on the marine environment. *Geological Survey of Canada*, 133-160.

Burone, L., Venturini, L., Sprechmann, P., Valente, P. and Muniz, P., 2006. Foraminiferal responses to polluted sediments in the Montevideo coastal zone, Uruguay. *Marine Pollution Bulletin*, 52, 61-73.

Buzas, M. A., 1978. Foraminifera as prey for benthic deposit feeders: results of predator exclusion experiments. *Journal of Marine Research*, 36, 617-625.



Cabecadas, G., Nogueira, M. and Brogueira, M. J., 1999. Nutrient dynamics and productivity in three European estuaries. *Marine Pollution Bulletin*, 38, 1092-1096.

Carboni, G. M., Bergamin, L., Di Bella, L., Iamundo, F. and Pugliese, N., 2002. Palaeoecological evidences from foraminifers and ostracods on Late Quaternary sea-level changes in the Ombrone river plain (central Tyrrhenian coast, Italy). *Geobios*, 35, 40-50.

Carnahan, E. A., Hoare, A. M., Hallock, P., Lidz, B. H. and 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(8-12), 221-233.

Charrieau, L. M., Filipsson, H. L., Nagaic, Y., Kawada, S., Ljung, K., Kritzberg, E. and Toyofuku, T., 2018. Decalcification and survival of benthic foraminifera under the combined impacts of varying pH and salinity. *Marine Environmental Research*, 138, 36-45.

Chatzidimitriadis, E. and Kiliadis, A., 1984. Paläozoisch-mesozoische Faltungsphasen im Gebietöstlich von Thessaloniki / Nordgriechenland. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, Mh.,4, 193-203.

Cherchi, A., Da Pelo, S., Ibba, A., Mana, D., Buosi, C. and Floris, N., 2009. Benthic foraminifera response and geochemical characterization of the coastal environment surrounding the polluted industrial area of Portovesme (South-Western Sardinia, Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 59, 281-296.

Chintiroglou, C.-C., Damianidis, P., Antoniadou, C., Lantzouni, M. and Vafidis, D., 2004. Macrofauna biodiversity of mussel bed assemblages in Thermaikos Gulf (northern Aegean Sea). *Helgol. Mar. Res.*, 58, 62-70.

Christophoridis, C., Dedepsidis, D. and Fytianos, K., 2009. Occurrence and distribution of selected heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators. *Journal of Hazardous Materials*, 168, 1082-1091.

Cifelli, R., 1990. Foraminiferal classification from d'Orbigny to Galloway. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication*, 27, 1-88.

Cimerman, F. and Langer, M.R., 1991. Mediterranean Foraminifera: Slovenska Akademija Znanosti, Ljubljana, 7-14.

Cita, M. and Zocchi, M., 1978. Distribution patterns of benthic foraminifera on the floor of the Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 1, 445-462.

Coccioni, R., 2000. Benthic foraminifera as bioindicators of heavy metal pollution: a case study from the Goro Lagoon (Italy). In: Martin, R. E. (eds) *Environmental Micropaleontology: The Application of Microfossils to Environmental Geology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 71-103.

Coccioni, R., Frontalini, F., Marsili, A. and Mana, D., 2009. Benthic foraminifera and trace element distribution: A case-study from the heavily polluted lagoon of Venice (Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 59, 257-267.

Coccioni, R., Frontalini, F., Marsili, A. and Troiani, F., 2005. Foraminiferi bentonici e metalli in traccia: implicazioni ambientali. In: Coccioni, R. (a cura di), *La dinamica evolutiva della fascia costiera tra le foci dei fiumi Foglia e Metauro: verso la gestione integrata di una costa di elevato pregio ambientale*. Quaderni del Centro di Geobiologia dell'Università degli Studi di Urbino, 3, 57-92.

Coccioni, R. and Marsili, A., 2005. Monitoring in polluted transitional marine environments using foraminifera as bioindicators: a case study from the Venice Lagoon (Italy). In: Lasserre, P., Viaroli, P. and Campostrini, P. (eds) *Lagoons and Coastal Wetlands in the Global Change Context: Impacts and Management Issues*. Proceedings of the International Conference Venice, 26-28 April 2004, IOC Integrated Coastal Area Management (ICAM), Dossier 3, UNESCO, 250-256.

Coccioni, R., Marsili, A. and Venturati, A., 2003. Foraminiferi e stress ambientale. In: Coccioni, R. (a cura di), *Verso la gestione integrata della costa del Monte San Bartolo: risultati di un progetto pilota*. Quaderni del Centro di Geobiologia dell'Università degli Studi di Urbino, 1, 99-118.

Coffin, M. R. S., Courtenay, S. C., Pater, C. C. and van den Heuvel, M. R., 2018. An empirical model using dissolved oxygen as an indicator for eutrophication at a regional scale. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 261-270.



Colom, G., 1974. Foraminiferos Ibericos. Introduccion a l' studio de las especies benthonicas recientes. *Investigacion Pesquera*, 38, 245.

Corliss, B. H., 1991. Morphology and habitat preferences of benthic foraminifera from the northwest Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology*, 17, 195-236.

Debenay, J.-P., Bicchi, E., Goubert, E. and Armynot du Châtelet, E., 2006. Spatio-temporal distribution of benthic foraminifera in relation to estuarine dynamics (Vie estuary, Vendée, W France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67, 181-197.

Debenay, J. P. and Fernandez, J. M., 2009. Benthic foraminifera records of complex anthropogenic environmental changes combined with geochemical data in a tropical bay of New Caledonia (SW Pacific). *Marine Pollution Bulletin*, 59, 311-322.

Debenay, J.-P., Geslin, E., Eichler, B. B., Duleba, W., Sylvestre, F. and Eichler, P., 2001. Foraminiferal assemblages in a hypersaline lagoon, Araruama (RJ) Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*, 31(2), 133-151.

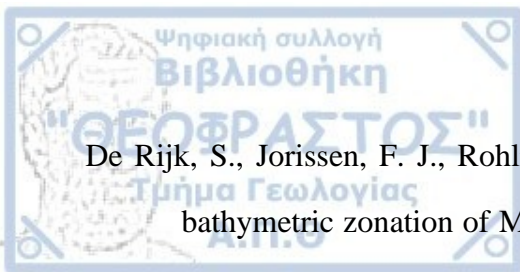
Debenay, J.-P., Millet, B. and Angelidis, M. O., 2005. Relationships between foraminiferal assemblages and hydrodynamics in the Gulf of Kalloni, Greece. *Journal of Foraminiferal Research*, 35, 327-343.

Debenay, J. P., Pawlowski, J. and Decrouez, D., 1996. *Les Foraminifères actuels*. Masson, Paris, 329.

Degobbi, D., 1989. Increased eutrophication of the Northern Adriatic Sea, Second Act. *Marine Pollution Bulletin*, 20(9), 452-457.

de Jonge, V. N., 2000. Importance of temporal and spatial scales in applying biological and physical process knowledge in coastal management, an example for the Ems estuary. *Continental Shelf Research*, 20, 1655-1686.

Denoyelle, M., Jorissen, F. J., Martin, D., Galgani, F. and Mine, J., 2010. Comparison of benthic foraminifera and macrofaunal indicators of the impact of oil-based drill mud disposal. *Marine Pollution Bulletin*, 60(11), 2007-2021.



De Rijk, S., Jorissen, F. J., Rohling, E. J. and Troelstra, S. R., 2000. Organic flux control on bathymetric zonation of Mediterranean benthic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 40 (3), 151-166.

de Stigter, H. C., 1996. Recent and fossil foraminifera in the Adriatic Sea: distribution patterns in relation to organic carbon flux and oxygen concentration at the seabed. *Geologica Ultraiectina*.

Dieckman, G. S., Spindler, M., Lange, M. A., Ackley, S. F. and Eicken, H., 1991. Antarctic Sea ice: a habitat for the foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma*. *Journal of Foraminiferal Research*, 21, 182-189.

Dimiza, M., Koukousioura, O., Triantaphyllou, M. and Dermitzakis, M., 2016b. Live and dead benthic foraminiferal assemblages from coastal environments of the Aegean Sea (Greece): Distribution and diversity. *Revue de Micropaléontologie*, 59 (1), 19-32.

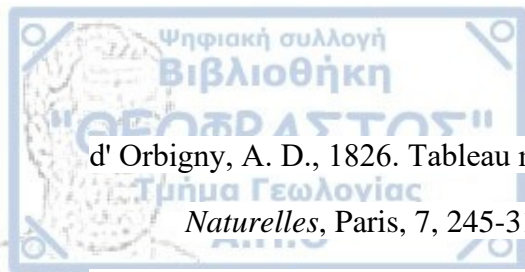
Dimiza, M. D., Ravani, A., Kapsimalis, V., Panagiotopoulos, I. P., Skampa, E. and Triantaphyllou, M. V., 2019. Benthic foraminiferal assemblages in the severely polluted coastal environment of Drapetsona- Keratsini, Saronikos Gulf (Greece). *Revue de Micropaléontologie*, 62 (1), 33-44.

Dimiza, M., Triantaphyllou, M., Koukousioura, O., Hallock, P., Simboura, N., Karageorgis, A. P. and Papathanasiou, E., 2016a. The Foram Stress Index: A new tool for environmental assessment of soft-bottom environments using benthic foraminifera. A case study from the Saronikos Gulf, Greece, Eastern Mediterranean. *Ecological Indicators*, 60, 611-621.

Dimiza, M. D., Koukousioura, O., Michailidis, I., Dimou, V.-G., Navrozidou, V., Aligizaki, K. and Seferlis, M., 2020. Seasonal living coccolithophore distribution in the enclosed coastal environments of the Thessaloniki Bay (Thermaikos Gulf, NW Aegean Sea). *Revue de micropaléontologie*, 69, 100449.

Dinter, K. R. and Royden, L., 1993. Late Cenozoic extension in northeastern Greece: Strymon valley detachment system and Rodope metamorphic core complex. *Geology*, 21, 45-48.

Dobell, C., 1932. Antony van Leeuwenhoek and his "Little Animals". Harcourt, Brace and Company, New York.



d'Orbigny, A. D., 1826. Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes. *Annals des Sciences Naturelles*, Paris, 7, 245-316.

Dorgham, M. M., Abdel-Aziz, N. E., El-Deeb, K. Z. and Okbah, M. A., 2004. Eutrophication problems in the Western Harbour of Alexandria, Egypt. *Oceanologia*, 46, 25-44.

Elberling, B., Knudsen, K. L., Kristensen, P. H. and Asmund, G., 2003. Applying foraminiferal stratigraphy as a biomarker for heavy metal contamination and mining impact in a fiord in West Greenland. *Marine Environmental Research*, 55, 235-256.

El-Kahawy, R., El-Shafeiy, M., Helal, S. A., Aboul-Ela, N. and Abd El-Wahab, M., 2018. Morphological deformities of benthic foraminifera in response to nearshore pollution of the Red Sea, Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 312.

Escobar, J., Brenner, M., Whitmore, T. J., Kenney, W. F. and Curtis J. H., 2008. Ecology of testate amoebae (thecamoebians) in subtropical Florida lakes. *Journal of Paleolimnology*, 40, 715-731.

Estournel, C., Zervakis, V., Marsaleix, P., Papadopoulos, A., Auclair, F., Perivoliotis, L. and Tragou, E., 2005. Dense water formation and cascading in the Gulf of Thermaikos (North Aegean), from observations and modeling. *Continental Shelf Research*, 25(19-20), 2366-2386.

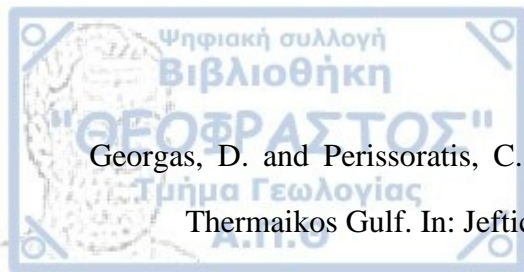
ETOME Co., 1974. Preliminary study for development of the area of installation of the International fair of Thessaloniki. Detailed Report. Ministry of Public Works/Hydraulic Works Service, 96 pp and Annexes.

Fatela, F., Moreno, J., Moreno, F., Araújo M. F., Valente, T., Antunes, C., Taborda, R., Andrade, C. and Drago, T., 2009. Environmental constraints of foraminiferal assemblages distribution across a brackish tidal marsh (Caminha, NW Portugal). *Marine Micropaleontology*, 70, 70-88.

Faugères, L., 1978. Recherches géomorphologiques en Grèce septentrionale: Macédoine centrale et occidentale. Service de reproduction des thèses de l'Université de Lille, 2, 849.

Ferraro, L., Sprovieri, M., Alberico, I., Lirer, F., Prevedello, L. and Marsella, E., 2006. Benthic foraminifera and heavy metals distribution: a case study from the Naples Harbour (Tyrrhenian Sea, Southern Italy). *Environmental Pollution*, 142, 274-287.

- Fontanier, C., Jorissen, F. J. and Licari, L., 2002. Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay: faunal density, composition, and microhabitats. *Deep-Sea Research*, 49, 751-785.
- Fouache, E., Ghilardi, M., Vouvalidis, K., Syrides, G., Kunesch, S., Styllas, M. and Stiros, S., 2008. Contribution on the Holocene reconstruction of Thessaloniki plain, north central Greece. *Journal of Coastal Research*, 24(5), 1161-1173.
- Frezza, V. and Carboni, M. G., 2009. Distribution of recent foraminiferal assemblages near the Ombrone River mouth (Northern Tyrrhenian Sea, Italy). *Revue de Micropaleontologie*, 52, 43-66.
- Friligos, N. and Barbetseas, S., 1990. Water masses and eutrophication in a Greek anoxic marine bay. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 28(1), 11-23.
- Friligos, N., Kondylakis, J. C. and Psyllidou-Giouranovits, R., 1997. Eutrophication and phytoplankton abundance in the Thermaikos Gulf, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 6, 27-31.
- Friligos, N., Theocharis, A. and Georgopoulos, D., 1985. Preliminary chemical and physical observations during summer 1980 on a silled embayment in the Ionian Sea. *Vie et Milieu*, 35 (2), 115-125.
- Frontalini, F. and Coccioni, R., 2008. Benthic foraminifera for heavy metal pollution monitoring: a case study from the central Adriatic Sea coast of Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76, 404-417.
- Fursenko, A.V., 1978. Introduction to the study of Foraminifera. Nauka, Novosibirsk, (in Russian).
- Fytianos, K., Evgenidou, E. and Zachariadis, G., 1999. Use of Macroalgae as Biological Indicators of Heavy Metal Pollution in Thermaikos Gulf, Greece. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 62, 630-637.
- Ganoulis, J., 1987. Oceanographic Elements and Environmental Investigation of the Impacts of the Draining Project of Thessaloniki Gulf. Dept. of Hydraulics. Univ. Thessaloniki, Rep. Minist. of Environment, (in Greek).
- Gaździck, A. and Majewski, W., 2003. Recent foraminifera from Goulden Cove of King George Island, Antarctica. *Polish Polar Research*, 24(1), 3-12.



Georgas, D. and Perissoratis, C., 1993. Implications of future climatic changes on the inner Thermaikos Gulf. In: Jetic, J., Milliman, J. and Sestini, G. (eds) *Climatic Change and the Mediterranean*. UNEP, 495-534.

Geslin, E., Debenay, J. P. and Lesourd, M., 1998. Abnormal wall textures and test deformation in *Ammonia beccarii* (hyaline foraminifer). *Journal of Foraminiferal Research*, 28, 148-156.

Geslin, E., Debenay, J. P., Duleba, W. and Bonetti, C., 2002. Morphological abnormalities of foraminiferal tests in Brazilian environments: a comparison between polluted and non-polluted areas. *Marine Micropaleontology*, 45, 151-168.

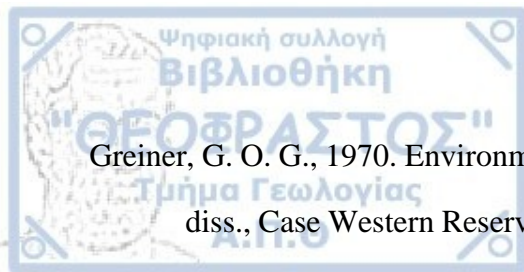
Geslin, E., Stouff, V., Debenay, J. P. and Lesourd, M., 2000. Environmental variation and foraminiferal test abnormalities. In: Martin, R. E. (eds) *Environmental Micropaleontology: The Application of Microfossils to Environmental Geology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 191-215.

Ghilardi, M., Fouache, E., Queyrel F., Syrides, G., Vouvalidis, K., Kunesch, S., Styllas, M. and Stiros, S., 2008a. Human occupation and geomorphological evolution of the Thessaloniki Plain (Greece) since mid Holocene. *Journal of Archaeological Science*, 35, 111-125.

Ghilardi, M., Genç, A., Syrides, G., Bloemendal, J., Psomiadis, D., Paraschou, T., Kunesch, S. and Fouache, E., 2010. Reconstruction of the landscape history around the remnant arch of the Klidhi Roman Bridge, Thessaloniki plain, north central Greece. *Journal of Archaeological Science*, 37(1), 178-191.

Ghilardi, M., Kunesch, S., Styllas, M. and Fouache, E., 2008b. Reconstruction of Mid -Holocene sedimentary environments in the central part of the Thessaloniki Plain (Greece) based on microfaunal identification, magnetic susceptibility and grainsize analyses. *Geomorphology*, 97(3-4), 617-630.

Ghilardi, M., Psomiadis, D., Cordier, S., Delanghe-Sabatier, D., Demorya, F., Hamidi, F., Paraschou, T., Dotsika, E. and Fouache, E., 2012. The impact of rapid early- to mid-Holocene palaeoenvironmental changes on Neolithic settlement at Nea Nikomideia, Thessaloniki Plain, Greece. *Quaternary International*, 266, 47-61.



Greiner, G. O. G., 1970. Environmental factors causing distributions of recent foraminifera. Ph.D. diss., Case Western Reserve, reproduced by University Microfilms, Ann Arbor, Michigan, 194 p. + charts (unpublished manuscript).

Goldstein, S. T., 1999. Foraminifera: a biological overview. In: Sen Gupta B. K., (eds.), *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, Great Britain, 37-55.

Goldstein, S. T., Watkins, G. T. and Kuhn, R. M. 1995. Microhabitats of salt marsh foraminifera: St. Catherines Island, Georgia, USA. *Micropaleontology*, 26, 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. *Deep-Sea Research*, 33, 1345-1373.

Gooday, A., 2002. Organic-walled allogromiids: Aspects of their occurrence, diversity and ecology in marine habitats. *Journal of Foraminiferal Research*, 32, 384-399.

Gooday, A.J. and Alve, E., 2001. Morphological and ecological parallels between sublittoral and abyssal foraminiferal species in the NE Atlantic: a comparison of *Stainforthia fusiformis* and *Stainforthia* sp. *Progress in Oceanography*, 50, 261-283.

Gotsis-Skretas, O. and Friligos, N., 1990. Contribution to eutrophication and phytoplankton ecology in the Thermaikos Gulf. *Thalassographica*, 13, 1-12.

Hallock, P., 1985. Why are larger Foraminifera large?. *Paleobiology*, 11, 195-208.

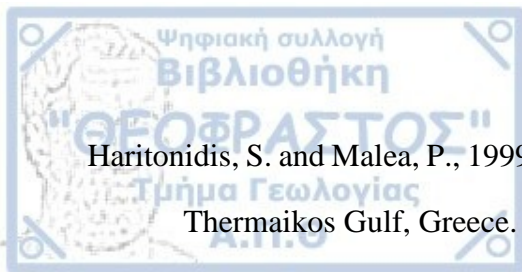
Hallock, P., 1999. Symbiont-bearing foraminifera. In: Sen Gupta, B. K., (eds) *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, Great Britain, 123-139.

Hallock, P., 2000. Symbiont-bearing foraminifera: harbingers of global change. *Micropaleontology*, 46, 95-104.

Hallock, P., Lidz, B. H., Cockey-Burkhard, E. M. and Donnelly, K. B., 2003. Foraminifera as bioindicators in coral reef assessment and monitoring: the FORAM Index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 81(1-3), 221-238.

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

Haq, U. B. and Boersma, A., 1998. Introduction to marine Micropaleontology. *Elsevier Science*.



Haritonidis, S. and Malea, P., 1999. Bioaccumulation of metals by the green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf, Greece. *Environmental Pollution*, 104(3), 365-372.

Harloff., J. and Mackensen, A., 1997. Recent benthic foraminiferal associations and ecology of the Scotia Sea and Argentine Basin. *Marine Micropaleontology*, 31, 1-29.

Hayek, L. A. C. and Buzas, M. A., 1997. Surveying Natural Populations. New York: Columbia.

Haynes, J. R., 1965. Symbiosis, wall structure and habitat in foraminifera. *Contribution to the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, 16, 40-43.

Haynes, J. R., 1981. Foraminifera. New York: John Wiley and Sons, 433.

Herodotus, 485-421/415B.C.VIII123-124/ <http://www.bostonleadershipbuilders.com/herodotus/book07.htmS>.

Hooke, R., 1665. *Micrographia; or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses, with Observations and Inquiries Thereupon*: John Martyn and James Allestry, Printers, London.

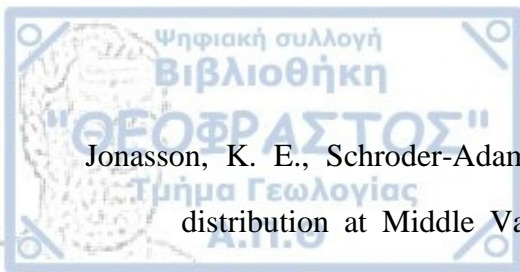
Hottinger, L., Halicz, E. and Reiss, Z., 1993. Recent Foraminiferida from the Gulf of Aquaba, Red Sea. *Slovenska Akademija Znanosti in Umetnosti, Ljubljana*, 33, 1-179.

Hunt, A. S. and Corliss, B. H., 1993. Distribution and microhabitats of living (stained) benthic foraminifera from the Canadian Arctic Archipelago. *Marine Micropaleontology*, 20, 321-345.

Hyams, O., Almogi-Labin, A. and Benjamini, C., 2002. Larger foraminifera of the southeastern Mediterranean shallow continental shelf of Israel. *Israel Journal of Earth Sciences*, 51, 169-179.

Hyams-Kaphzan, O., Almogi-Labin, A., Benjamini, C. and Herut, B., 2009. Natural oligotrophy vs. pollution-induced eutrophy on the SE Mediterranean shallow shelf (Israel): environmental parameters and benthic foraminifera. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 1888-1902.

Hyder, P., Simpson, J. H., Christopoulos, S. and Krestenitis, Y., 2002. The seasonal cycles of stratification and circulation in the Thermaikos Gulf Region of Freshwater Influence (ROFI), north-west Aegean. *Continental Shelf Research*, 22, 2573-02597.



Jonasson, K. E., Schroder-Adams, C. J. and Patterson, R. T., 1995. Benthic foraminiferal distribution at Middle Valley, Juan de Fuca Ridge, a northeast Pacific hydrothermal venting site. *Marine Micropaleontology*, 25, 151-167.

Jones, T. R. and Parker, W. K., 1860. On the rhizopodal fauna of Mediterranean compared with that of the Italian and other Tertiary deposits. *Quaternary Journal of the Geological Society*, 16, 292-307.

Jorissen, F. J., 1987. The distribution of benthic foraminifera in the Adriatic Sea. *Marine Micropaleontology*, 12, 21-48.

Jorissen, F. J., 1988. Benthic foraminifera from the Adriatic Sea: principles of phenotypic variation. *Utrecht Micropaleontological Bulletins*, 37, 1-174.

Jorissen, F. J., Barmawidjaja, D. M., Puskaric, S. and van der Zwaan, G. J., 1992. Vertical distribution of benthic foraminifera in the northern Adriatic Sea: the relation with the organic flux. *Marine Micropaleontology*, 19, 131-146.

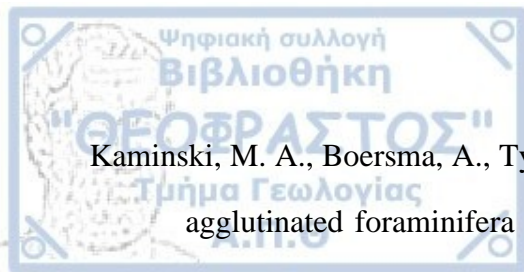
Jorissen, F. J., de Stigter, H. C. and Widmark, J. G. V., 1995. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology*, 22, 3-15.

Jorissen, F., Nardelli, M. P., Almogi-Labin, A., Barras, C., Bergamin, L., Bicchi, E., El Kateb, A., Ferraro, L., McGann, M., Morigi, C., Romano, E., Sabbatini, A., Schweizer, M. and Spezzaferri, S., 2018. Developing Foram-AMBI for biomonitoring in the Mediterranean: Species assignments to ecological categories. *Marine Micropaleontology*, 140, 33-45.

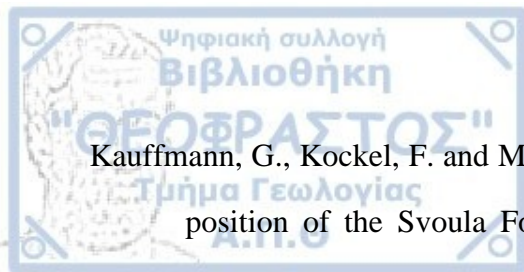
Jorissen, F. J., Wittling, I., Peypouquet, J. P., Rabouille, C. and Relexans, J. C., 1998. Live benthic foraminiferal faunas off Cap Blanc, NW Africa: community structure and microhabitats. *Deep-Sea Research*, 45, 2157-2188.

Ignatiades, L., 2005. Scaling the trophic status of the Aegean Sea, eastern Mediterranean, *Journal of Sea Research*, 54, 51-57.

Ignatiades, L., Georgopoulos, D. and Karydis, M., 1995. Description of a phytoplanktonic community of the oligotrophic waters of SE Aegean Sea (Mediterranean). *P.S.Z.I. Marine Ecology*, 16, 13-26.



- Kaminski, M. A., Boersma, A., Tyszka, J. and Holbourn, A. E. L., 1995. Response of deep-water agglutinated foraminifera to dysoxic conditions in the California Borderland basins. In: Kaminski, M. A. Geroch, S. and Gasinski, M. A. (eds) *Proceedings of the Fourth International Workshop on Agglutinated Foraminifera*, Kraków Poland, September 12-19, 1993. Grzybowski Foundation Special Publication, 3, 131-140.
- Kaminski, M. A. and Gradstein, F. M., 2005. Atlas of Paleogene Cosmopolitan Deep-Water Agglutinated Foraminifera. Grzybowski Foundation, Krakow, Poland, Special Publication, 10, 548.
- Karageorgis, A. P. and Anagnostou, Ch., 2001. Particulate matter spatial-temporal distribution and associated surface sediment properties: Thermaikos Gulf and Sporades Basin, NW Aegean Sea. *Continental Shelf Research*, 21, 2141-2153.
- Karageorgis, A. P., Anagnostou, C. L. and Kaberi, H., 2005b. Geochemistry and mineralogy of the NW Aegean Sea surface sediments: implications for river runoff and anthropogenic impact. *Applied Geochemistry*, 20, 69-88.
- Karageorgis, A. P., Skourtos, M. S., Kapsimalis, V., Kontogianni, A. D., Skoulikidis, N. Th., Pagou, K., Nikolaidis, N. P., Drakopoulou, P., Zanou, B., Karamanos, H., Levkov, Z. and Anagnostou, Ch., 2005a. An integrated approach to watershed management within the DPSIR framework: Axios River catchment and Thermaikos Gulf. *Regional Environmental Change*, 5, 138-160.
- Karydis, M., 1999. Evaluation report on the eutrophication level in coastal Greek areas. University of the Aegean, Mytilini, February 1999 (in Greek).
- Karydis, M., 2009. Eutrophication assessment of coastal waters based on indicators: a literature review. *Global NEST Journal*, 11(4), 373-390.
- Karydis, M. and Kitsiou, D., 2013. Marine water quality monitoring: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 77, 23-36.
- Katsiou, K., Kontaxopoulos, G., Petrou, M. F. and Trezos, C. G., 1989. Snow loading in Greece a statistical analysis. *Techn. Chron.*, 9(1), 37-70.



Kauffmann, G., Kockel, F. and Mollat, H., 1976. Notes on the stratigraphic and paleogeographic position of the Svoula Formation in the Innermost Zone of the Hellenides (Northern Greece). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 18, 225-230.

Khayatzadeh, J. and Abbasi, E., 2010. The Effects of Heavy Metals on Aquatic Animals. *The 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University - Mashad Branch, 26-28 April 2010, Iran.*

Khan, F. A. and Ansari, A. A., 2005. Eutrophication: An Ecological Vision. *The Botanical Review*, 71, 449-482.

Kitazato, H., Shirayama, Y., Nakatsuka, T., Fujiwara, S., Shimanaga, M., Kato, Y., Okada, Y., Kanda, J., Yamaoka, A., Masuzawa, T. and Suzuki, K., 2000. Seasonal phytodetritus deposition and responses of bathyal benthic foraminiferal populations in Sagami Bay, Japan: preliminary results from "Project Sagami 1996-1999". *Marine Micropaleontology*, 40, 135-149.

Kombiadou, K. and Krestenitis, Y. N., 2012. Fine sediment transport model for river influenced microtidal shelf seas with application to the Thermaikos Gulf (NW Aegean Sea). *Continental Shelf Research*, 36, 41-62.

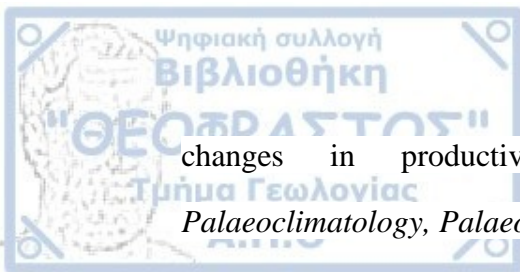
Kontoyiannis, H., Kourafalou, V. H. and Papadopoulos, V., 2003. Seasonal characteristics of the hydrology and circulation in the northwest Aegean Sea (eastern Mediterranean): observations and modeling. *Journal of Geophysical Research*, 108.

Kossmat, F., 1924. Geologie der zentralen Balkanhalbinsel. Die Kriagschauplatze geol. gargestellt, Verl. Gebruder Borntraeger, Berlin.

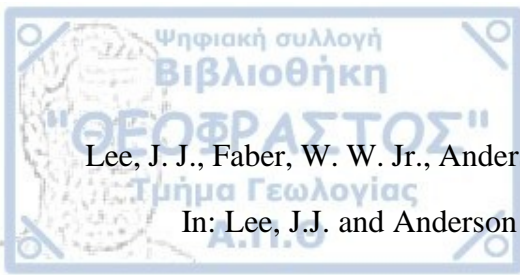
Koukousioura, O., Dimiza, M. D., Kyriazidou, E., Triantaphyllou, M. V., Syrides, G., Aidona, E., Vouvalidis, K., Panagiotopoulos, I. P. and Papadopoulou, L., 2019. Environmental evolution of the Paliouras coastal lagoon in the eastern Thermaikos gulf (Greece) during Holocene. *Environmental Earth Sciences*, 78, 313.

Koukousioura, O., Dimiza, M. D. and Triantaphyllou, M. V., 2010a. Alien foraminifers from Greek coastal areas (Aegean Sea, eastern Mediterranean). *Mediterranean Marine Science*, 11(1), 155-172.

- Koukousioura, O., Dimiza, M. D. and Triantaphyllou, M. V., 2010b. Expansion of warm- water symbiont -bearing foraminiferal species in coastal ecosystems of the Aegean Sea (Greece, E. Mediterranean): evidence for climatic fluctuations? *International Symposium on Foraminifera, FORAMS 2010, 5-10 September 2010, Bonn, Germany, Abstracts Volume with Program*, 124.
- Koukousioura, O., Dimiza, M. D., Triantaphyllou, M. V. and 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, 489-501.
- Koukousioura, O., Triantaphyllou, M. V., Dimiza, M. D. and Pavlopoulos, K., 2012. Benthic foraminiferal evidence and paleoenvironmental evolution of Holocene coastal plains in the Aegean Sea (Greece). *Quaternary International*, 261, 105-117.
- Kourafalou, V. H., 2001. River Plume development in semi-enclosed Mediterranean regions: North Adriatic Sea and Northwestern Aegean Sea. *Journal of Marine Systems*, 30, 181-205.
- Kourafalou, V. H. and Barbopoulos, K., 2003. High resolution simulations on the North Aegean Sea seasonal circulation. *Annals Geophysics*, 21(1), 251-265.
- Kourafalou, V. H., Savvidis, Y. G., Krestenitis, Y. N. and Koutitas, Ch. G., 2004. Modelling studies on the processes that influence matter transfer on the Gulf of Thermaikos (NW Aegean Sea). *Continental Shelf Research*, 24(2), 203-222.
- Krestenitis, Y., Christopoulos, S., Valioulis, I. and Hyder, P., 1999. The study of the region of freshwater influence of Thermaikos Gulf. *Proc. 5th Hel. Symp. Oceanogr. and Fish*, I, 47-49 (in Greek, with English abstract).
- Krestenitis, Y. N., Kombiadou, K. D. and Androulidakis, Y. S., 2012. Interannual variability of the physical characteristics of North Thermaikos Gulf (NW Aegean Sea). *Journal of Marine Systems*, 96-97, 132-151.
- Krestenitis, Y. and Valioulis, I., 1994. Investigation of the deep water formation in the N. Aegean Sea Basin. *HYDROSOFT 94, Hydraulics Engineering Software*, 2, 107-114.
- Kuhnt, T., Schmiedl, G., Ehrmann, W., Hamann, Y. and Andersen, N., 2008. Stable isotopic composition of Holocene benthic foraminifers from the Eastern Mediterranean Sea: Past



- changes in productivity and deep-water oxygenation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 268, 106-115.
- Lamb, T., Bickham, J. W., Gibbons, J. W., Smolen, M. J. and McDowell, S., 1991. Genetic damage in a population of slider turtles (*Trachemys scripta*) inhabiting a radioactive reservoir. *Archive of Environmental Contamination and Toxicology*, 20, 138-142.
- Langer, M., 1988. Recent epiphytic foraminifera from Vulcano (Mediterranean Sea). *Revue de Paléobiologie*, 2 (Special Volume), 827-832.
- Langer, M. R., 1993. Epiphytic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 20, 235-265.
- Langer, M., 2008. Assessing the contribution of Foraminiferan protists to global ocean carbonate production. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 55(3), 163-169.
- Langer, M. R., Frick, H. and Silk, M. T., 1998. Photophile and sciaphile foraminiferal assemblages from marine plant communities of Lavezzi Islands (Corsica, Mediterranean Sea). *Revue de Paleobiologie*, 17, 525-530.
- Langer, M. R. and Hottinger, L., 2000. Biogeography of selected “larger” foraminifera. *Micropaleontology*, 46, 105-126.
- Lattos, A., Giantsis, I. A., Karagiannis, D. and Michaelidis, B., 2020. First detection of the invasive Haplosporidian and Mycobacteria parasites hosting the endangered bivalve *Pinna nobilis* in Thermaikos Gulf, North Greece. *Marine Environmental Research*, 155, 104889.
- Lee, J. J., 1980. Nutrition and physiology of the foraminifera. In: Levandowsky, M. and Hutner, S. H. (eds) *Biochemistry and Physiology of Protozoa*, v. 3, Academic Press, New York, 43-66.
- Lee, J. J., 1998. Living sands: Larger foraminifera and their endosymbiotic algae. *Symbiosis*, 25, 71-100.
- Lee, J. J., 2006. Algal symbiosis in larger foraminifera. *Symbiosis*, 42, 63-75.
- Lee, J. H. W. and Arega, F., 1999. Eutrophication dynamics of Tolo Harbour, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 39, 187-192.
- Lee, J. J. and Anderson, O. R., 1991. *Biology of Foraminifera*. Academic Press, London, San Diego and New York, 368.



Lee, J. J., Faber, W. W. Jr., Anderson, O. R. and Pawlowski, J., 1991. Life-cycles of foraminifera. In: Lee, J.J. and Anderson O.R., (eds) *Biology of Foraminifera*, London, Academic Press, 285-334.

Lee, J. J., McEnery, M., Pierce, S., Freudenthal, H. D. and Muller, W. A., 1966. Tracer experiments in feeding littoral foraminifera. *Journal of Protozoology*, 13, 659-670.

Lei, Y. and Li, T., 2016. Atlas of Benthic Foraminifera from China Seas: The Bohai Sea and the Yellow Sea. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Leiter, C., 2008. Benthos-Foraminiferen in Extremhabitaten: Auswertung von Meteor-Expedition vor Namibia. Dissertation, LMU München: Faculty of Geosciences.

LeKieffre, C., Bernhard, J. M., Mabilieu, G., Filipsson, H. L., Meibom, A. and Geslin, E., 2018. An overview of cellular ultrastructure in benthic foraminifera: New observations of rotalid species in the context of existing literature. *Marine Micropaleontology*, 138, 12-32.

Leutenegger, S., 1984. Symbiosis in benthic foraminifera; specificity and host adaptations. *Journal of Foraminiferal Research*, 14, 16-35.

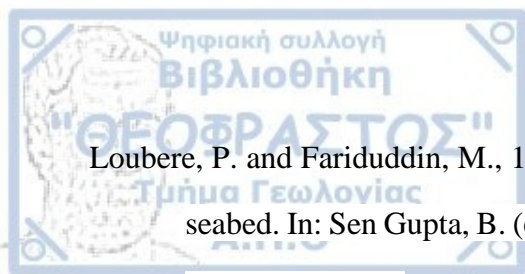
Li, T., Xiang, R. and Li, T., 2014. Influence of trace metals in recent benthic foraminifera distribution in the Pearl River Estuary. *Marine Micropaleontology*, 108, 13-27.

Lipps, J. H., 1983. Biotic interactions in benthic foraminifera. In: Tevez, M. J. J. and McCall, P. L. (eds) *Biotic Interactions in Recent and Fossil Benthic Communities*, Plenum, New York. 331-376.

Lipps, J. H. and Langer, M. R., 1999. Benthic foraminifera from the meromictic Mecherchar Jellyfish Lake, Palau (western Pacific). *Micropaleontology*, 45(3), 278-284.

Loeblich, A. R., and Tappan, H., 1964. Sarcodina, chiefly "thecamoebians" and foraminiferida. In: Moore, R. C. (eds) *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part C, Protista 2*. Geological Society of America and University of Kansas Press.

Loeblich, A. R and Tappan, H., 1987. Foraminiferal Genera and Their Classification. New York, Van Nostrand Rienhold Co.



Loubere, P. and Fariduddin, M., 1999. Benthic foraminifera and the flux of organic carbon to the seabed. In: Sen Gupta, B. (eds) *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, Great Britain, 181-199.

Lutze, G. F. and Altenbach, A., 1991. Technik und Signifikanz der Lebendfärbung benthischer Foraminiferen mit Bengalrot. *Geologisches Jahrbuch*, A128, 251-265.

Lutze, G. F. and Colbourn, W. T., 1984. Recent benthic foraminifera from the continental margin of Northwest Africa, community structure and distribution. *Marine Micropaleontology*, 8, 361-401.

Lykousis, V. and Chronis, G., 1989. Mechanisms of sediment transport and deposition: sediment sequences and accumulation during the Holocene on the Thermaikos plateau, the continental slope, and basin (Sporades basin), northwestern Aegean Sea, Greece. In: Makris, J. (eds) *Geological Aspects and Tectonic Evolution of Mediterranean Seas*, *Marine Geology*, 87, 15-26.

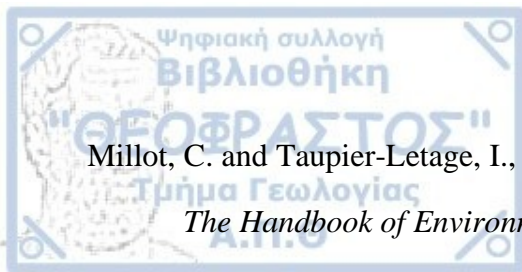
Lykousis, V., Collins, M. B. and Ferentinos, G., 1981. Modern sedimentation in the NW Aegean Sea. *Marine Geology*, 43, 111-130.

Mackensen, A., Grobe, H., Hubberten, H. W. and Kuhn, G., 1994. Benthic Foraminiferal Assemblages and the $\delta^{13}\text{C}$ -Signal in the Atlantic Sector of the Southern Ocean: Glacial-to-Interglacial Contrasts. In: Zahn, R., Pedersen, T. F., Kamminski, M. A. and Labeyrie, L. (eds) *Carbon Cycling in the Glacial Ocean: Constraints on the Ocean's Role in Global Change: Quantitative Approaches in Paleoceanography*. NATO ASI Series I: Global Environmental Change, 17, 105-135.

Magurran, A. E., 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, Princeton, N J., 177.

Martins, V. A., Frontalini, F., Tramonte, K. M., Figueira, R. C. L., Miranda, P., Sequeira, C., Fernandez-Fernandez, S., Dias, J. A., Yamashita, C., Reno, R., Laut, L. L. M., Silva, F. S., Rodrigues, M. A. da C., Bernardes, C., Nagai, R., Sousa, S. H. M, Mahiques, M., Rubio, B., Bernabeu, A., Rey, D. and Rocha F., 2013. Assessment of the health quality of Ria de Aveiro (Portugal): Heavy metals and benthic foraminifera. *Marine Pollution Bulletin*, 70, 18-33.

- Martins, V. A., Silva, F., Laut, L. L. M., Frontalini, F., Clemente, I. M. M., Miranda, P., Figueira, R., Sousa, S. H. M. and Dias, J. M. A., 2015. Response of Benthic Foraminifera to Organic Matter Quantity and Quality and Bioavailable Concentrations of Metals in Aveiro Lagoon (Portugal). *PLoS ONE*, 10(2), e0118077.
- Masque, P., Fabres, J., Canals, M., Sanchez-Cabeza, J. A., Sanchez-Vidal, A., Cacho, I., Calafat, A. M. and Bruach J. M., 2003. Accumulation rates of major constituents of hemipelagic sediments in the deep Alboran Sea: a centennial perspective of sedimentary dynamics. *Marine Geology*, 193, 207-233.
- McCrone, A. W. and Schafer, C. T., 1966. Geochemical and sedimentary environments of foraminifera in the Hudson River estuary, New York. *Micropaleontology*, 12, 505-509.
- Melis, R., Celio, M., Bouchet, V. M. P., Varagona, G., Bazzaro, M., Crosera, M. and Pugliese, N., 2019. Seasonal response of benthic foraminifera to anthropogenic pressure in two stations of the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea, Italy): the marine protected area of Miramare versus the Servola water sewage outfall. *Mediterranean Marine Science*, 20(1), 120-141.
- Melis, R. and Violanti, D., 2006. Foraminiferal biodiversity and Holocene evolution of the Phetchaburi coastal area (Thailand Gulf). *Marine Micropaleontology*, 61, 94-115.
- Mendes, I., Gonzalez, R., Dias, J. M. A., Lobo, F. and Martins, V., 2004. Factors influencing recent benthic foraminifera distribution on the Guadiana shelf (Southwestern Iberia). *Marine Micropaleontology*, 51, 171-192.
- Mercier, J. L., 1966. Etude geologique des zones internes des Hellenides en Macedoine centrale. Contribution a l'etude du metamorphisme et de l'evolution magmatique des zones internes des Hellenides. *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 20, 1-735.
- Meriç, E., Yokeş, M. B., Avşar, N. and Bircan, C., 2010. An oasis for alien benthic Foraminifera in the Aegean Sea. *Aquatic Invasions*, 5(2), 191-195.
- Michelakaki, M. and Kitsiou, D., 2005. Estimation of anisotropies in chlorophyll α spatial distributions based on satellite data and variography. *Global Nest Journal*, 7, 204-211.
- Milliman, J. D. and Syvitski, P. M., 1992. Geomorphic tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *The Journal of Geology*, 100, 525-544.



Millot, C. and Taupier-Letage, I., 2005. Circulation in the Mediterranean Sea. In: Saliot, A. (eds) *The Handbook of Environmental Chemistry*, Springer Verlag, Heidelberg, 29-66.

Mojtahid, M., Jorissen, F., Durrieu, J., Galgani, F., Howa, H., Redois, F. and Camps, R., 2006. Benthic foraminifera as bio-indicators of drill cutting disposal in tropical east Atlantic outer shelf environments. *Marine Micropaleontology*, 61, 58-75.

Mojtahid, M., Jorissen, F. and Pearson, T. H., 2008. Comparison of benthic foraminiferal and macrofaunal responses to organic pollution in the Firth of Clyde (Scotland). *Marine Pollution Bulletin*, 56, 42-76.

Moncheva, S., Gotsis-Skretas, O., Pagou, K. and Krastev, A., 2001. Phytoplankton blooms in Black Sea and Mediterranean coastal ecosystems subjected to anthropogenic eutrophication: similarities and differences. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53, 281-295.

Mouratidis, A., Briole, P., Ilieva, M., Astaras, T., Rolandone, F. and Baccouche, M., 2010. Subsidence and deformation phenomena in the vicinity of Thessaloniki (N. Greece) monitored by ENVISAT/ASAR interferometry. *Proceedings "Fringe 2009 Workshop", Frascati, Italy*.

Mpimpas, H., Anagnostopoulos, P. and Ganoulis, J., 2000. Modeling of water pollution in the Thermaikos Gulf with fuzzy parameters. *Ecological Modeling*, 142, 91-104.

Mullineaux, L. S., 1987. Organisms living on manganese nodules and crusts: distribution and abundance at three north Pacific sites. *Deep-Sea Research*, 34, 165-184.

Murray, J. W., 1991. *Ecology and Paleocology of Benthic Foraminifera*. London: Longman Scientific and Technical, 397.

Murray, J. W., 2006. *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge University Press, New York.

Murray, J. W. and Alve, E., 2002. Benthic foraminifera as indicator of environmental change: marginal-marine, shelf and upper slope environments. In: Haslett, S. K. (eds) *Quaternary Environmental Micropaleontology*. Arnold, London, 59-90.

Naeher, S., Geraga, M., Papatheodorou, G., Ferentinos, G., Kaberi, H. and Schubert, C. J., 2012. Environmental variations in a semi-enclosed embayment (Amvrakikos Gulf, Greece) -



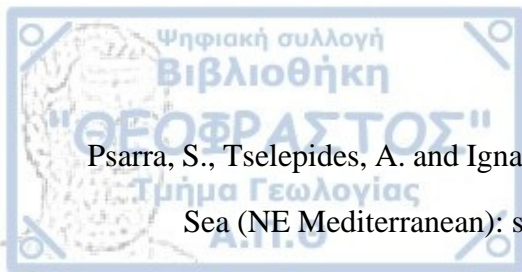
- reconstructions based on benthic foraminifera abundance and lipid biomarker pattern. *Biogeosciences*, 9, 5081-5094.
- Nagy, J. and Alve, E., 1987. Temporal changes in foraminiferal faunas and impact of pollution in Sandebukta, Oslo Fjord. *Marine Micropaleontology*, 12, 109-128.
- Nee, S. and May, R. M., 1992. Dynamics of metapopulations: habitat destruction and competitive coexistence. *Journal of Animal Ecology*, 61, 37-40.
- Nikolaides, G. and Moustaka-Gouni, M., 1990. The structure and dynamics of phytoplankton assemblage from the inner part of the Thermaikos Gulf, Greece. I. Phytoplankton composition and biomass from May 1988 to April 1989. *Helgolader Meeresuntersuchungen*, 44, 487-501.
- Nikolaïdis, N. P., Karageorgis, A. P., Kapsimalis, V., Marconis, G., Drakopoulou, P., Kontoyiannis, H., Krasakopoulou, E., Pavlidou, A. and Pagou, K., 2006. Circulation and nutrient modeling of Thermaikos Gulf, Greece. *Journal of Marine Systems*, 60, 51-62.
- Norse, E. A., 1993. Global Marine Biological Diversity, Island Press, Washington, D. C.
- O'Malley, B. J., Schwing, P. T., Martinez-Colon, M., Spezzaferri, S., Machain-Castillo, M. L., Larson, R. A., Brooks, G. R., Ruiz-Fernandez, A. C. and Hollander, D. J., 2021. Development of a benthic foraminifera based marine biotic index (Foram-AMBI) for the Gulf of Mexico: A decision support tool. *Ecological Indicators*, 120, 106916.
- Osswald, K., 1938. Geologische Geschichte von Griechisch-Nord-Macedonien. Athen, Denkschr. Geol. Land. Griechenland., 3.
- Pagou, K., 2000. Evaluation of trophic status of Inner Thermaikos Gulf. Technical Report for the Ministry of Environment, Planning and Public Works. *NCMR, Athens. December 11* (in Greek and English edition).
- Pagou, K., 2005. Eutrophication in Hellenic coastal areas. In: Papathanassiou, E. and Zenetos, A. (eds) *State of the Hellenic Marine Environment*. HCMR Publ. Inst. Oceanography, 311-317.
- Pagou, K., Siokou-Frangou, I. and Papathanassiou, E., 2002. Nutrients and their ratios in relation to eutrophication and HAB occurrence. The case of Eastern Mediterranean coastal waters.



Second Workshop on 'Thresholds of Environmental Sustainability: The Case of Nutrients',
18-19 June, Brussels, Belgium.

- Panayotidis, P., Feretopoulou, J. and Montesanto, B., 1999. Benthic vegetation as an ecological quality descriptor in an Eastern Mediterranean Coastal Area (Kalloni Bay, Aegean Sea, Greece). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 48(2), 205-214.
- Papanikolaou, D., Alexandri, M., Nomikou, P. and Ballas, D., 2002. Morphotectonic structure of the western part of the North Aegean Basin based on swath bathymetry. *Marine Geology*, 190, 465-492.
- Papp, A. and Schmid, M. E., 1985. The Fossil Foraminifera of the Tertiary Basin of Vienna. Revision of the monograph by Alcide d'Orbigny (1846). Wien, Austria, 311.
- Parisi, E., 1981. Distribuzione dei Foraminiferi bentonici nelle zone batiali del Tirreno e del Canale di Sicilia. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 87, 293-328.
- Parker, F. L., 1958. Eastern Mediterranean Foraminifers. Reports of the Swedish Deep-Sea Expedition 1947-1948, vol. VIII. Sediment cores from the Mediterranean Sea and the Red Sea, 4, 219-283.
- Parker, W. C. and Arnold, A. J., 1999. Quantitative methods of data analysis in foraminiferal ecology. In: Sen Gupta, B. K. (eds) *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers. Great Britain, 71-89.
- Patterson, R. T. and Kumar, A., 2000. Assessment of Arcellacean (Thecamoebian) assemblages, species, and strains as contaminant indicators in James Lake, northeastern Ontario, Canada. *Journal of Foraminiferal Research*, 30(4), 310-320.
- Pavlidou, A., Kontoyiannis, H. and Psyllidou-Giouranovits, R., 2004. Trophic conditions and stoichiometric nutrient balance in the inner Saronikos Gulf (Central Aegean). *Fresenius Environmental Bulletin*, 13(12b), 1509-1514.
- Pavlidou, A., Simboura, N., Rousselaki, E., Tsapakis, M., Pagou, K., Drakopoulou, P., Assimakopoulou, G., Kontoyiannis, H. and Panayotidis, P., 2015. Methods of eutrophication assessment in the context of the water Framework directive: Examples from the Eastern Mediterranean coastal areas. *Continental Shelf Research*, 108, 156-168.

- Pavlidou, A. and Souvermezoglou, E., 2006. Nutrients in the Mediterranean Sea. In: Karageorgis, A. (eds) *Pollution in the Mediterranean Sea: An overview from IASON SSA.HCMR*, 5-12.
- Pavlopoulos, K., Kapsimalis, V., Theodorakopoulou, K. and Panagiotopoulos, I. P., 2011. Vertical displacement trends in the Aegean coastal zone (NE Mediterranean) during the Holocene assessed by geoarchaeological data. *The Holocene*, 22(6), 717-728.
- Pawlowski, J., Holzmann, M., Berney, C., Fahrni, J. F., Gooday, A. J., Cedhagen, T., Habura, A. and Bowser, S. S., 2003. The evolution of early Foraminifera. *Proceedings of the Natural Academie of Science of the United States of America* 100, 11494-11498.
- Pielou, E. C., 1984. *The Interpretation of Ecological Data*, Wiley, New York, 263.
- 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(16), 2045-2060.
- Poulos, S. and Chronis, G., 1997. The importance of the Greek River Systems in the evolution of the Greek coastline. In: Briand, F. and Maldolado, A. (eds) *Transformations and Evolution of the Mediterranean coastline*. Bull. Inst. Oceanogr. special no. 18, CIESM Science Series, 3, 75-96.
- Poulos, S. E., Chronis, G. Th., Collins, M. B. and Lykousis, V., 2000. Thermaikos Gulf Coastal System, NW Aegean Sea: an overview of water/sediment fluxes in relation to air-land-ocean interactions and human activities. *Journal of Marine Systems*, 25, 47-76.
- Poulos, S. E., Drakopoulos, P. G. and Collins, M. B., 1997. Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean): an overview. *Journal of Marine Systems*, 13, 225-244.
- Poulos, S., Papadopoulos, A. and Collins, M. B., 1994. Deltaic Progradation in Thermaikos Bay, Northern Greece and its Socio-Economical Implications. *Ocean & Coastal Management*, 22, 229-247.
- Prazeres, M. and Renema, W., 2018. Evolutionary significance of the microbial assemblages of large benthic Foraminifera: Microbiome and Foraminifera evolution. *Biological Reviews*, 94.



Psarra, S., Tselepides, A. and Ignatiades, L., 2000. Primary productivity in the oligotrophic Cretan Sea (NE Mediterranean): seasonal and interannual variability. *Progress in Oceanography*, 46, 187-204.

Psimoulis, P., Ghilardi, M., Fouache, E. and Stiros, S., 2007. Subsidence and evolution of the Thessaloniki Plain, Greece, based on historical leveling and GPS data. *Engineering Geology*, 90(1-2), 55-70.

Psomiadis, D., Ghilardi, M., Demory, F., Delanghe-Sabatier, D., Bloemendal, J. and Yiu, C., 2013. Late Pleistocene to Mid Holocene landscape reconstruction in the western part of the Thessaloniki Plain, Greece: evidence for environmental changes, and implications for human occupation. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 58(2), 67-87.

Psyliou Giouranovits, R., Pavlidou, A. and Georgakopoulou Gregoriadou, E., 1998. Waste disposal and rivers discharge effects on the eutrophication conditions of Thermaikos Gulf (N.W. Aegean). *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, 35, 576-577.

Raptakis, D. and Makra, K., 2010. Shear wave velocity structure in western Thessaloniki (Greece) using mainly alternative SPAC method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30, 202-214.

Resig, J. M., 1960. Foraminiferal ecology around ocean outfalls off southern California. In: Person, E. (eds) *Disposal in the Marine Environment*. Pergamon Press, London, 104-121.

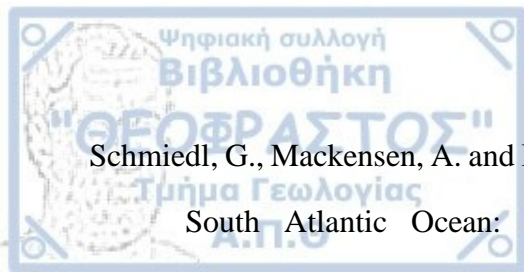
Rixen, M., Beckers, J. M., Levitus, S., Antonov, J., Boyer, T., Maillard, C., Fichaut, M., Balopoulos, E., Iona, S., Dooley, H., Garcia, M. J., Manca, B., Giorgetti, A., Manzella, G., Mikhailov, N., Pinardi, N., Zavatarelli, M. and the Medar Consortium, 2005. The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change. *Geophysical Research Letters*, 32(12), 1-9.

Robinson, A. R., Leslie, W. G., Theocharis, A. and Lascaratos, A., 2001. Mediterranean Sea Circulation. *Encyclopedia of Ocean Science*, 3, 1689-1705.

Robles, F. L. E., Collins, M. B. and Ferentinos, G., 1983. Water masses in Thermaikos Gulf, North western Aegean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16, 363-378.

Rozos, D., Apostolidis, E. and Xatzinakos, I., 2004. Engineering-geological map of the wider Thessaloniki area Greece. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 63, 103-108.

- Rupp, C., 1986. Paläoökologie der Foraminiferen in der Sandschalerzone (Badenien, Miozän) des Wiener Beckens. *Beiträge zur Paläontologie Österreich*, 12, 1-180.
- Saffert, H. and Thomas, E., 1998. Living foraminifera and total populations in salt marsh peat cores: Kelsey Marsh (Clinton, CT) and the Great Marshes (Barnstable, MA). *Marine Micropaleontology*, 33(3-4), 175-202.
- Samir, A. M., 2000. The response of benthic foraminifera and ostracods to various pollution sources: a study from two lagoons in Egypt. *Journal of Foraminiferal Research*, 30, 83-98.
- Samir, A. M. and El-Din, A. B., 2001. Benthic foraminiferal assemblages and morphological abnormalities as pollution proxies in two Egyptian bays. *Marine Micropaleontology*, 41, 193-22.
- Sardar, K., Ali, S., Hameed, S., Afzal, S., Fatima, S., Shakoor, M. B., Bharwana, S. A. and Tauqeer, H. M., 2013. Heavy Metals Contamination and what are the Impacts on Living Organisms. *Greener Journal of Environmental Management and Public Safety*, 2(4), 172-179.
- Schafer, C. T., 1970. Studies of benthonic foraminifera in Restigouche Estuary: I. Faunal distribution patterns near pollution sources. *Maritime Sediments*, 6, 121-134.
- Schafer, C. T., 1973. Distribution of foraminifera near pollution sources in Chaleur Bay. *Water, Air and Soil Pollution*, 2, 219-233.
- Schafer, C. T., Collins, E. S. and Smith, N. J., 1991. Relationship of foraminifera and thecamoebian distribution to sediments contaminated by pulp mill effluent: Saguenary Fjord. Quebec, Canada. *Marine Micropaleontology*, 17, 255-283.
- Schafer, C. T., Wagner, F. J. E. and Ferguson, C., 1975. Occurrence of foraminifera, molluscs and ostracods adjacent to the industrialized shoreline of Canso Strait, Nova Scotia. *Water, Air and Soil Pollution*, 5, 79-96.
- Shannon, C. B. and Weaver, W., 1963. The mathematical theory of communication. Urbana (Illinois): Univ. of Illinois Press, 127.
- Schmiedl, G., de Bovée, F., Buscail, R., Charrière, B., Hemleben C., Medernach, L. and Picon, P., 2000. Trophic control of benthic foraminiferal abundance and microhabitat in the bathyal Gulf of Lions, western Mediterranean Sea. *Marine Micropaleontology*, 40, 167-188.



Schmiedl, G., Mackensen, A. and Müller, P. J., 1997. Recent benthic foraminifera from the eastern South Atlantic Ocean: Dependence on food supply and water masses. *Marine Micropaleontology*, 32, 249-287.

Schmiedl, G., Mitschele, A., Beck, S., Emeis, K., Hemleben, C., Schulz, H., Sperling, M. and Weldeab, S., 2003. Benthic foraminiferal record of ecosystem variability in the eastern Mediterranean Sea during times of sapropel S5 and S6 deposition. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 190, 139-164.

Schönfeld, J., 2002. Recent benthic foraminiferal assemblages in deep high-energy environments from the Gulf of Cadiz (Spain). *Marine Micropaleontology*, 44, 141-162.

Schönfeld, J., Alve, E., Geslin, E., Jorissen, F., Korsun, S., Spezzaferri, S. and Members of the FOBIMO group, 2012. The FOBIMO (FORaminiferal BIO-MONitoring) initiative - Towards a standardized protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*, 94-95, 1-13.

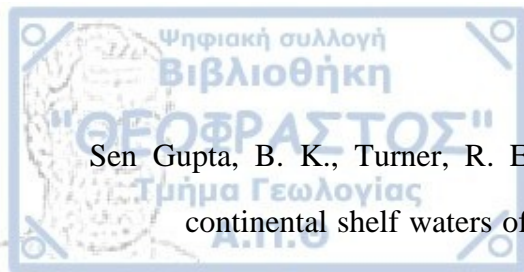
Schönfeld, J. and Numberger, L., 2007. The benthic foraminiferal response to the 2004 spring bloom in the western Baltic Sea. *Marine Micropaleontology*, 65, 78-95.

Schroder, C. J., Scott, D. B., Medioli, F. S., Bernstein, B. B. and Hessler, R. R., 1988. Larger agglutinated foraminifera: comparison of assemblages from central North Pacific and western North Atlantic (Nares Abyssal Plain). *Journal of Foraminiferal Research*, 18, 25-41.

Scott, D. B., Medioli F. S. and Schafer, C. T., 2001. *Monitoring in Coastal Environments Using Foraminifera and Thecamoebian Indicators*. Cambridge University Press, UK, 1-5.

Scott, D. B., Collins, E. S., and Tobin, R., 1997. Historical reconstruction of impact histories from several sites on the east coast of North America using benthic foraminifera as indicators. *Abstract to Estuarine Research Federation (ERF) Annual Meeting, Providence, R.I. (October)*.

Seiglie, G. A., 1968. Foraminiferal assemblages as indicators of high organic carbon content in sediments and of polluted waters. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52, 2231-2241.



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

Sgarrella, F. and Moncharmont Zei, M., 1993. Benthic foraminifera of the Gulf of Naples (Italy): systematic and autoecology. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 32, 145-264.

Shannon, C. E. and Weaver, W. W., 1963. The mathematical theory of communications. University of Illinois Press, Urbana, 117.

Shapiro, G. I., Huthnance, J. M. and Ivanov, V. V., 2003. Dense water cascading off the continental shelf. *Journal of Geophysical Research*, 108 (C12).

Sharifi, A. R., Croudace, T. W. and Austin, R. L., 1991. Benthonic foraminiferids as pollution indicators in Southampton water, Southern England, UK. *Journal of Micropaleontology*, 10, 109-113.

Siemensma, F., Apothéloz-Perret-Gentil, L., Holzmann, M., Clauss, S., Völcker, E. and Pawlowski, J., 2017. Taxonomic revision of freshwater foraminifera with the description of two new agglutinated species and genera. *European Journal of Protistology*, 60, 28-44.

Simboura, N., Panayotidis, P. and Papathanassiou, E., 2005. A synthesis of the biological quality elements for the implementation of the European Water Framework Directive in the Mediterranean ecoregion: the case of Saronikos Gulf. *Ecological Indicators*, 5, 253-266.

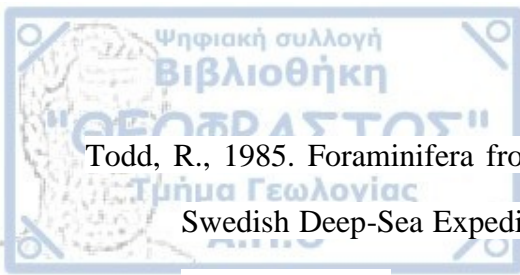
Simboura, N. and Reizopoulou, S., 2007. A comparative approach of assessing ecological status in two coastal areas of Eastern Mediterranean. *Ecological Indicators*, 7, 455-468.

Simboura, N., Tsapakis, M., Pavlidou, A., Assimakopoulou, G., Pagou, K., Kontoyiannis, H., Zeri, C., Krasakopoulou, E., Rousselaki, E., Katsiaras, N., Diliberto, S., Naletaki, M., Tsiamis, K., Gerakaris, V., Drakopoulou, P. and Panayotidis, P., 2015. Assessment of the environmental status in the Hellenic coastal waters (Eastern Mediterranean): from the Water Framework Directive to the Marine Strategy Framework Directive. *Mediterranean Marine Science*, 16(1), 46-64.

Skoulikidis, N. T., 1993. Significance evaluation of factors controlling river water composition. *Environmental Geology*, 22, 178-185.



- Stiros, S., 2001. Rapid subsidence of the Thessaloniki (Northern Greece) coastal plain, 1960-1999. *Engineering Geology*, 61, 243-256.
- Stouff, V., Geslin, E., Debenay, J. P. and Lesourd, M., 1999. Origin of morphological abnormalities in Ammonia (Foraminifera): studies in laboratory and natural environments. *Journal of Foraminiferal Research*, 29, 152-170.
- Stulpinaite, R., Hyams-Kaphzan, O. and Langer, M., 2020. Alien and cryptogenic Foraminifera in the Mediterranean Sea: A revision of taxa as part of the EU 2020 Marine Strategy Framework Directive. *Mediterranean Marine Science*, 21(3), 719-758.
- Sturrock, S. and Murray, J. W., 1981. Comparison of low energy middle shelf foraminiferal faunas: Celtic Sea and western English Channel. In Neale, J. W. and Brasier, M. D., (eds) *Microfossils from Recent and Fossil Shelf Seas*. Chichester: Ellis Horwood, 250-260.
- Syrides, G., 1990. Lithostratigraphic, Biostratigraphic and Palaeogeographic Study of the Neogene - Quaternary Sedimentary Deposits of Chalkidiki Peninsula, Macedonia, Greece. Ph D Thesis. *Scientific Annals School of Geology*. Thessaloniki (in Greek). I (11), 243.
- Syrides, G., Albanakis, K., Vouvalidis, K., Pilali, A., Papasteriou, A., Papaefthimiou- Papanthimou, A., Ghilardi, M., Fouache, E., Paraschou, T. and Psomiadis, D., 2009. Holocene palaeogeography of the northern margins of Giannitsa plain in relation to the prehistoric site of Archontiko (Macedonia, Greece). *Zeichrift für Geomorphologie*, 53(1), 71-82.
- Tendal, O. S., 1979. Aspects of the biology of Komokiacea and Xenophyophorea. *Sarsia*, 64, 13-17.
- Theocharis, A. and Georgopoulos, D., 1993. Dense water formation over the Samothraki and Limnos Plateaux in the north Aegean Sea (Eastern Mediterranean Sea). *Continental Shelf Research*, 13(8/9), 919-939.
- Theodorou, A. J., 1997. Ecological implications of raw sewage sea disposal in Elefsis Bay (Saronikos Gulf, Greece). *Fresenius Environmental Bulletin*, 6(7-8), 397-402.
- Therianos, A. D., 1974. The geographical distribution of the river water supply in Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 11, 28-58, (in Greek).



Todd, R., 1985. Foraminifera from the Western Mediterranean deep-sea cores. Reports of the Swedish Deep-Sea Expedition. Sediment Cores from the Mediterranean Sea and the Red Sea, 8, 167-215.

Todo, Y., Kitazato, H., Hashimoto, J. and Gooday, A. J., 2005. Simple foraminifera flourish at the ocean's deepest point. *Science*, 307, 689.

Tosk, T., 1988. Foraminifers in the fossil record: Implications for an ecological zonation model. *Origins*, 15(1).

Triantaphyllou, M. V., Baumann, K. H., Karatsolis, B. T., Dimiza, M. D., Psarra, S., Skampa, E., Patoucheas, P., Vollmar, N. M., Koukousioura, O., Katsigera, A, Krasakopoulou, E. and Nomikou, P., 2018. Coccolithophore community response along a natural CO₂ gradient off Methana (SW Saronikos Gulf, Greece, NE Mediterranean). *Plos One*, 13, 7.

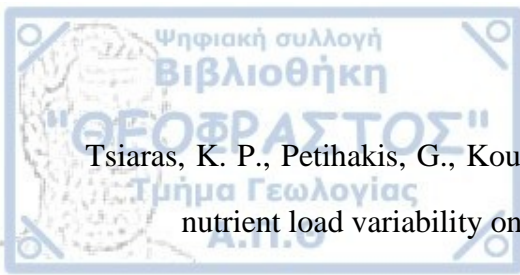
Triantaphyllou, M. V., Dimiza, M. D., Koukousioura, O. and Hallock, P., 2012. Observations on the life cycle of the symbiont-bearing foraminifer *Amphistegina lobifera* Larsen, an invasive species in coastal ecosystems of the Aegean Sea (Greece, E. Mediterranean). *Journal of Foraminifera Research*, 42(2), 154-161.

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

Triantaphyllou, M. V., Kouli, K., Tsourou, T., Koukousioura, O. and Pavlopoulos, K., 2010. Paleoenvironmental changes since 3000 BC in the coastal marsh of Vravron (Attica, SE Greece). *Quaternary International*, 216(1-2), 14-22.

Triantaphyllou M. V., Tsourou T., Koukousioura O. and Dermitzakis, M. D., 2005. Comparative ecological studies of epiphytal ostracods and benthic foraminifers in the middle Aegean Sea, Greece. *Revue de Micropaleontologie*, 48, 279-302.

Triantaphyllou, M. V., Ziveri, P. and Tselepidis, A., 2004. Coccolithophore export production and response to seasonal surface water variability in the oligotrophic Cretan Sea (Mediterranean). In: Triantaphyllou, M. V. (eds) *Advances in the biology, ecology and taphonomy of extant calcareous nannoplankton*. *Micropaleontology*, 50, 127-144.



Tsiaras, K. P., Petihakis, G., Kourafalou, V. H. and Triantafyllou, G., 2014. Impact of the river nutrient load variability on the North Aegean ecosystem functioning over the last decades.

Journal of Sea Research, 86, 97-109.

Ünlüata, U., Latif, M. and Ozsoy, E., 1990. On the Physical Oceanography of Turkish Straits. In: Pratt, L. J. (eds) *The Physical Oceanography of Sea Straits: NATO ASI Series*. Pratt, 25-60.

Uthicke, S., Momigliano, P. and Fabricius, K. E., 2013. High risk of extinction of benthic foraminifera in this century due to ocean acidification. *Scientific Reports*, 3, 1769.

Varkitzi, I., Pagou, K., Graneli, E., Hatzianestis, I., Pyrgaki, Ch., Pavlidou, A., Montesanto, B. and Economou-Amilli, A., 2010. Unbalanced N:P ratios and nutrient stress controlling growth and toxin production of the harmful dinoflagellate *Prorocentrum lima* (Ehrenberg) Dodge. *Harmful Algae*, 9(3), 304-311.

Vermeij, G.J., 1993. Biogeography of recently existing marine species: implications for conservation. *Conservation Biology*, 7, 391-397.

Vikerman, K., 1992. The diversity and ecological significance of Protozoa. *Biodiversity and Conservation*, 1, 334-341.

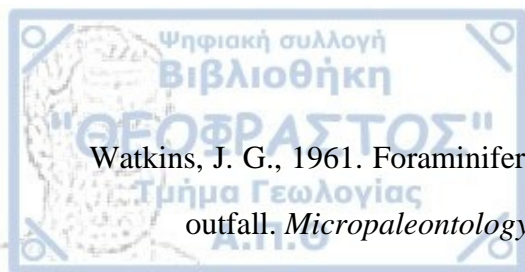
Vilks, G., Schafer, C. T. and Walker, D. A., 1975. Influence of a causeway on oceanography and foraminifera in the Strait of Canso, Nova Scotia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 12, 2086-2102.

Vouvalidis, K. G., Syrides, G. E. and Albanakis, K. S., 2005. Holocene morphology of the Thessaloniki Bay: Impact of sea level rise. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 137, 147-158.

Voutsinou-Taliadouri, F. and Varnavas, S. P., 1995. Geochemical and sedimentological patterns in the Thermaikos gulf, north-west Aegean Sea, formed from a multisource of elements. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40, 295-320.

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

Walton, W. R., 1964. Recent foraminiferal ecology and paleoecology. In: Imbrie, J. and Newell, N. D. (eds) *Approaches to Paleoecology*, John Wiley, New York, 151-237.



Watkins, J. G., 1961. Foraminiferal ecology around the Orange County, California, ocean sewer outfall. *Micropaleontology*, 7, 199-206.

Weinmann, A. E., Goldstein, S. T., Triantaphyllou, M. V. and Langer, M. R., 2019. Ecology and community structure of modern intertidal foraminifera from Corfu Island (Greece): Insights from propagule experiments. *GSA Annual Meeting in Phoenix, Arizona, USA*.

Wüst, G., 1961. On the vertical circulation of the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 66(20), 3261-3271.

Yacobi, Y. Z., Zohary, T., Kress, N., Hecht, A., Robarts, R. D., Waiser, M., Wood, A. M. and Li, W. K. W., 1995. Chlorophyll distribution throughout the southeastern Mediterranean in relation to the physical structure of the water mass. *Journal of Marine Systems*, 6, 179-190.

Yanko, V., Ahmad, M. and Kaminski, M., 1998. Morphological deformities of benthic foraminiferal tests in response to pollution by heavy metals: implications for pollution monitoring. *Journal of Foraminiferal Research*, 28, 177-200.

Yanko, V., Arnold, J. A. and Parker, C. W., 1999. Effects of Marine Pollution on Benthic Foraminifera. In: Sen Gupta, B. K. (eds) *Modern Foraminifera*, Kluwer Academic Publishers, Great Britain, 217-235.

Yanko, V., Kronfeld, J. and Flexer, A., 1994. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: implications for pollution monitoring. *Journal of Foraminiferal Research*, 24, 1-17.

Yurkovskis, A., Wulff, F., Rahm, L., Andruzaitis, A. and Rodriguez- Medina, M., 1993. A nutrient budget of the Gulf of Riga; Baltic Sea, Estuarine. *Coastal and Shelf Science*, 37, 113-127.

Zervakis, V., Karageorgis, A. P., Kontoyiannis, H., Papadopoulos, V. and Lykousis, V., 2005. 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), 2332-2349.

Ελληνική βιβλιογραφία

Ι.Γ.Ε.Υ., 1969. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, 1:50.000, Φύλλο Επανωμή.

Ι.Γ.Μ.Ε., 1978. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, 1:50.000, Φύλλο Θεσσαλονίκη.



Ι.Γ.Μ.Ε., 1986a. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, 1:50.000, Φύλλο Κατερίνη.

Ι.Γ.Μ.Ε., 1986b. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, 1:50.000, Φύλλο Πλατύ.

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.

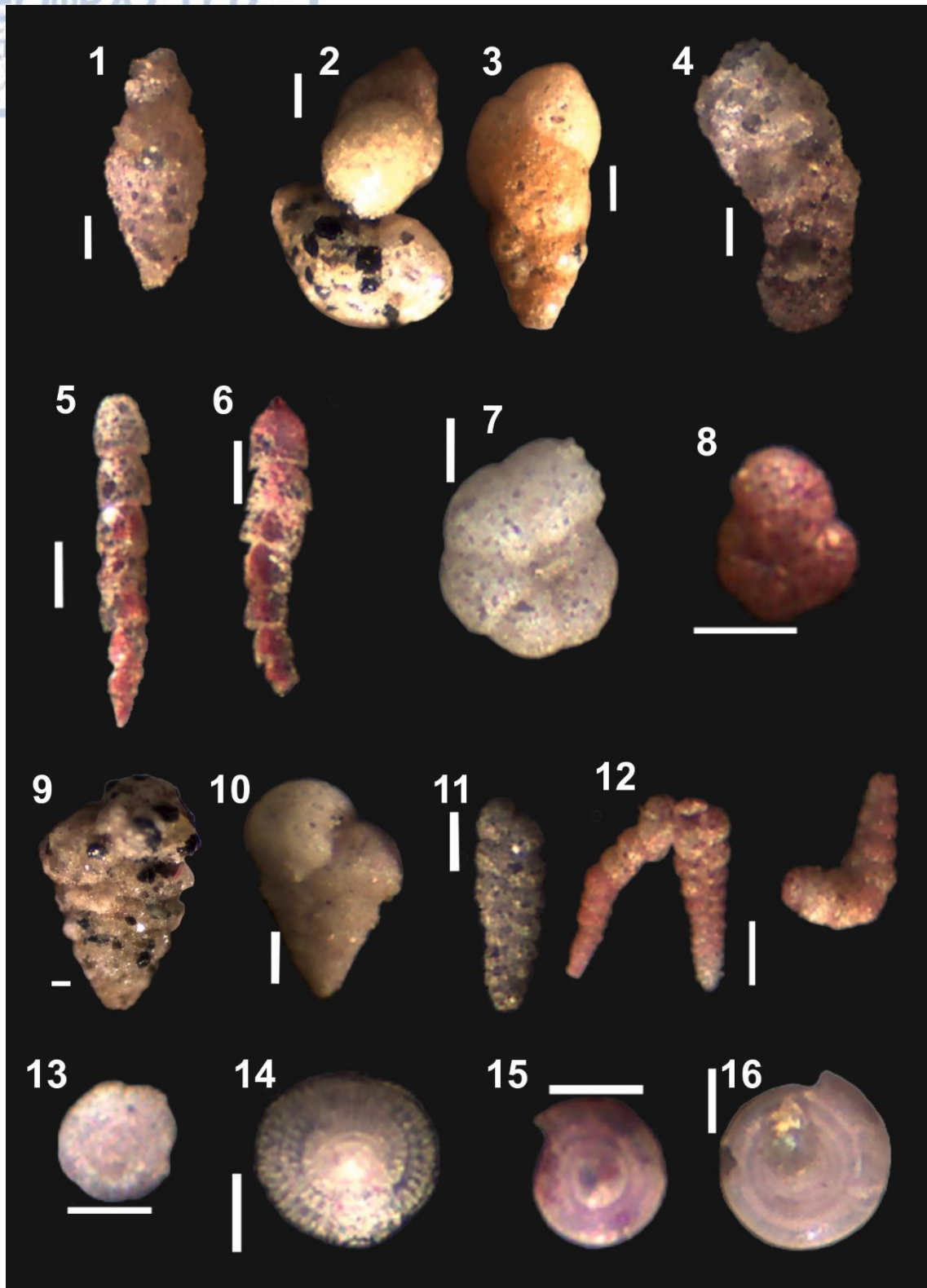
Μουντράκης, Δ. Μ., 2010. Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Διαδικτυακές Πηγές

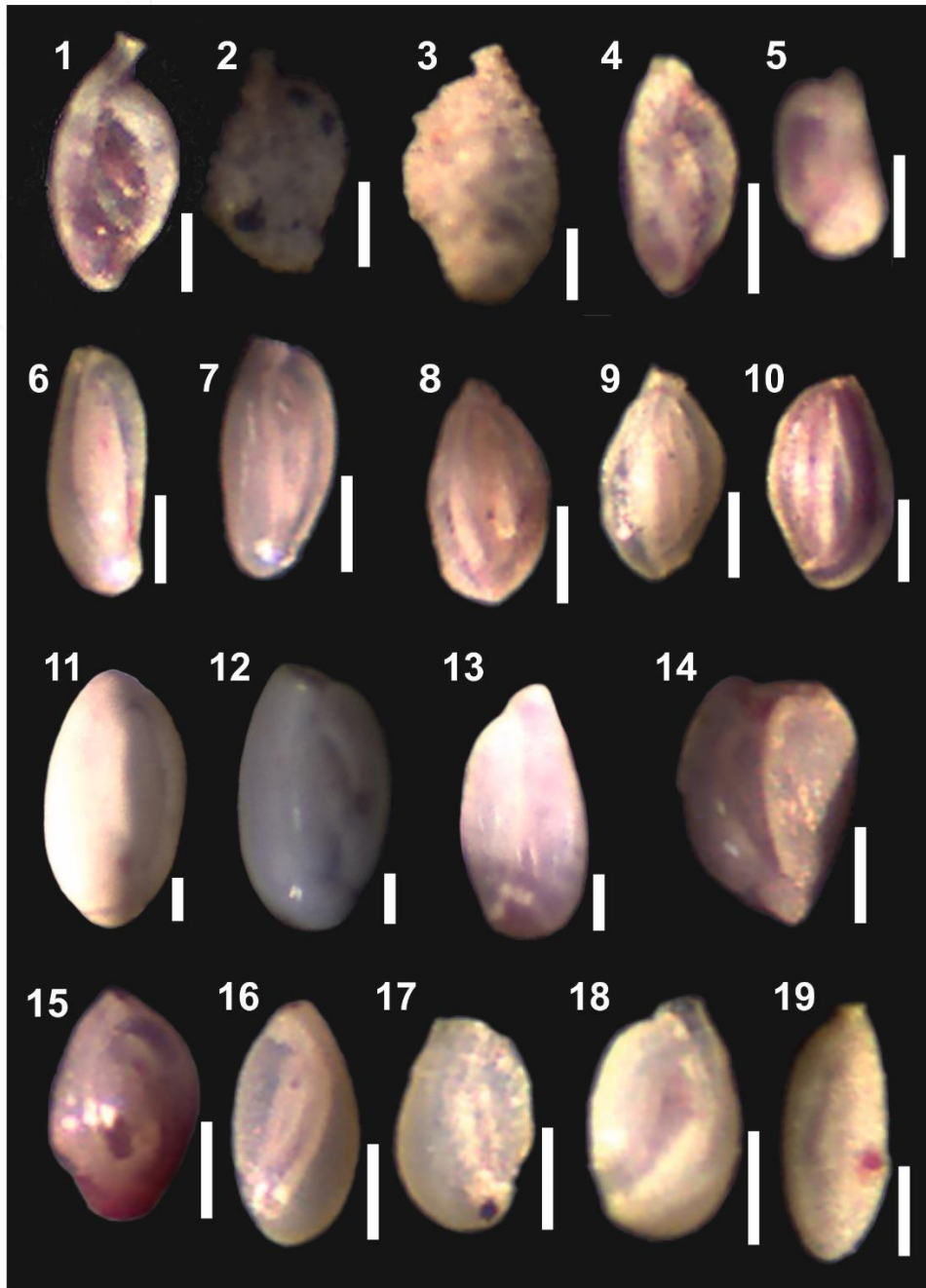
World Register of Marine Species (WoRMS), marinespecies.org



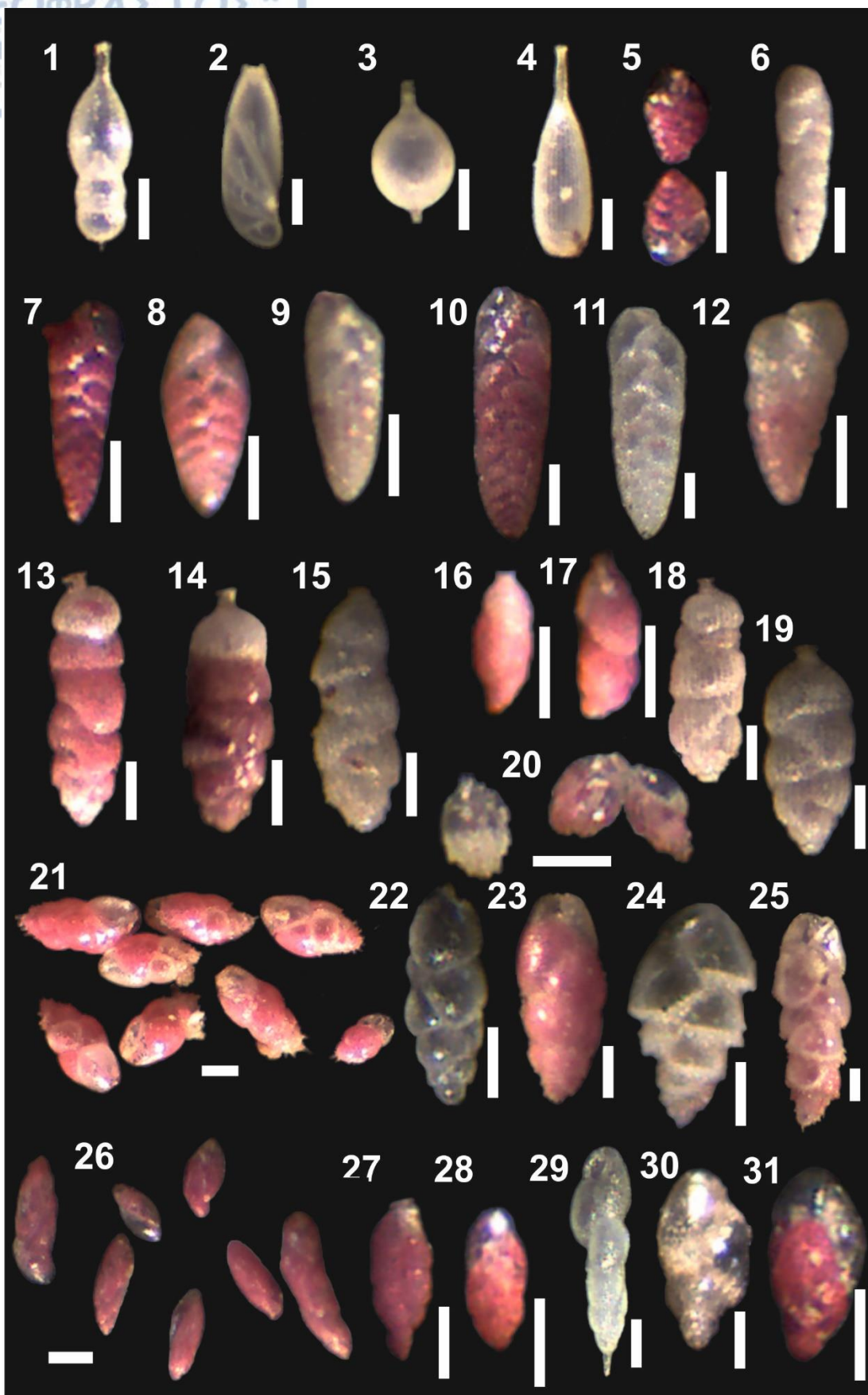
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Πίνακας 38. 1. *Reophax subfusiformis* Earland 1933, 2-3. *Eggereloides scaber* (Williamson 1858), 4. *Eratidus foliaceus* (Brady 1881), 5-6. *Leptohalysis scottii* (Chaster 1892), 7-8. *Haplophragmoides canariensis* (d'Orbigny 1839), Em. Höglund 1947, 9. *Textularia agglutinans* d'Orbigny 1839, 10. *Textularia bocki* Höglund, 1947, 11-12. *Textularia sagittula* Defrance 1824. 13. *Spirillina vivipara* Ehrenberg 1841, 14. *Patelina corrugata* (Williamson 1858), 15-16. *Cornuspira involvens* (Reuss 1850). (Κλίμακα: 100μm).

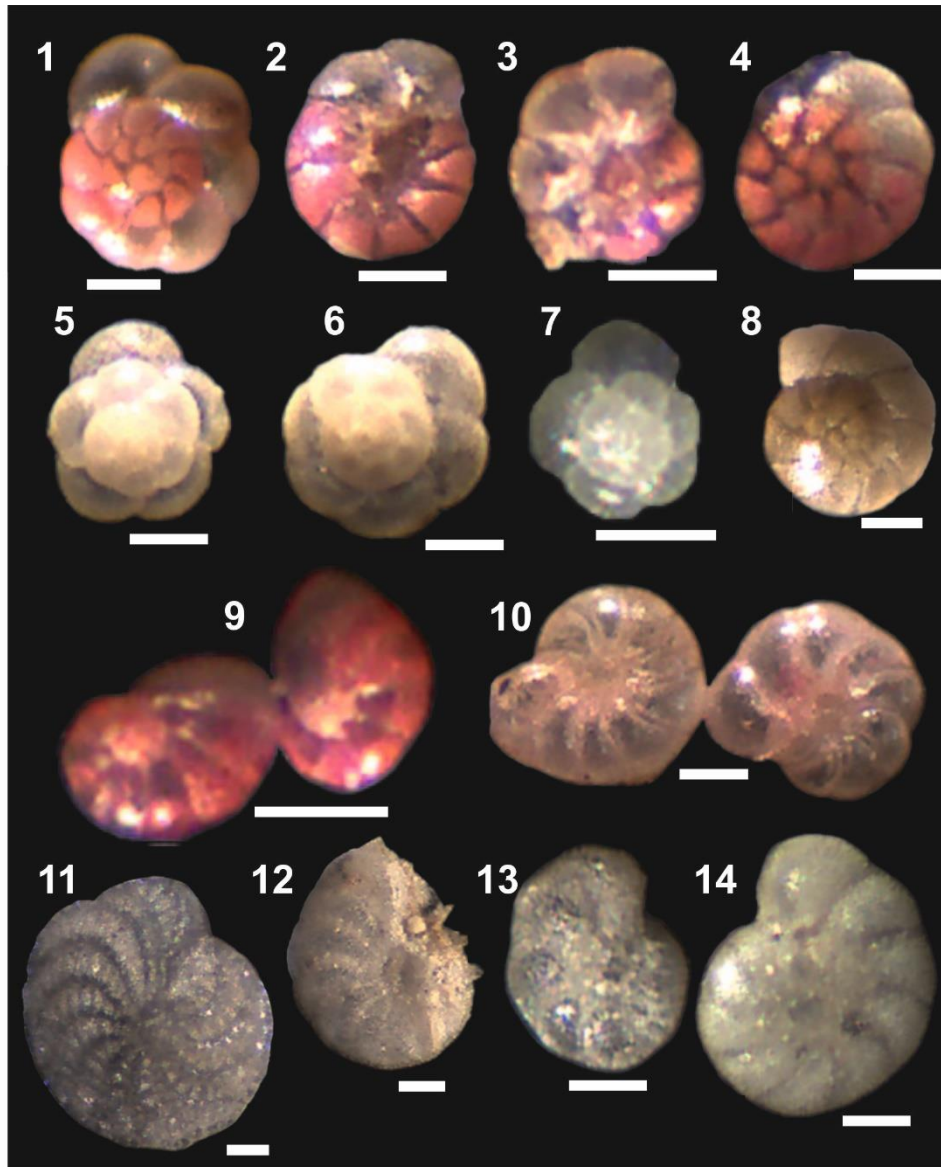


Πίνακας 39. 1. *Spiroloculina excavata* (d'Orbigny 1846), 2-3. *Cycloforina tenuicollis* (Wiesner 1923), 4-5. *Quinqueloculina berthelotiana* d'Orbigny 1839, 6-7. *Quinqueloculina laevigata* d'Orbigny 1839, 8-10. *Quinqueloculina stelligera* Schlumberger 1893, 11-13. *Quinqueloculina seminulum* (Linnaeus 1758), 14. *Triloculina tricarinata* d'Orbigny 1826, 15. *Triloculina trigonula* (Lamarck 1804), 16. *Sinuloculina consobrina* (d'Orbigny 1846), 17-18. *Sinuloculina inflata* (d'Orbigny 1846), 19. *Sigmoilinita* sp. (Κλίμακα: 100μm).

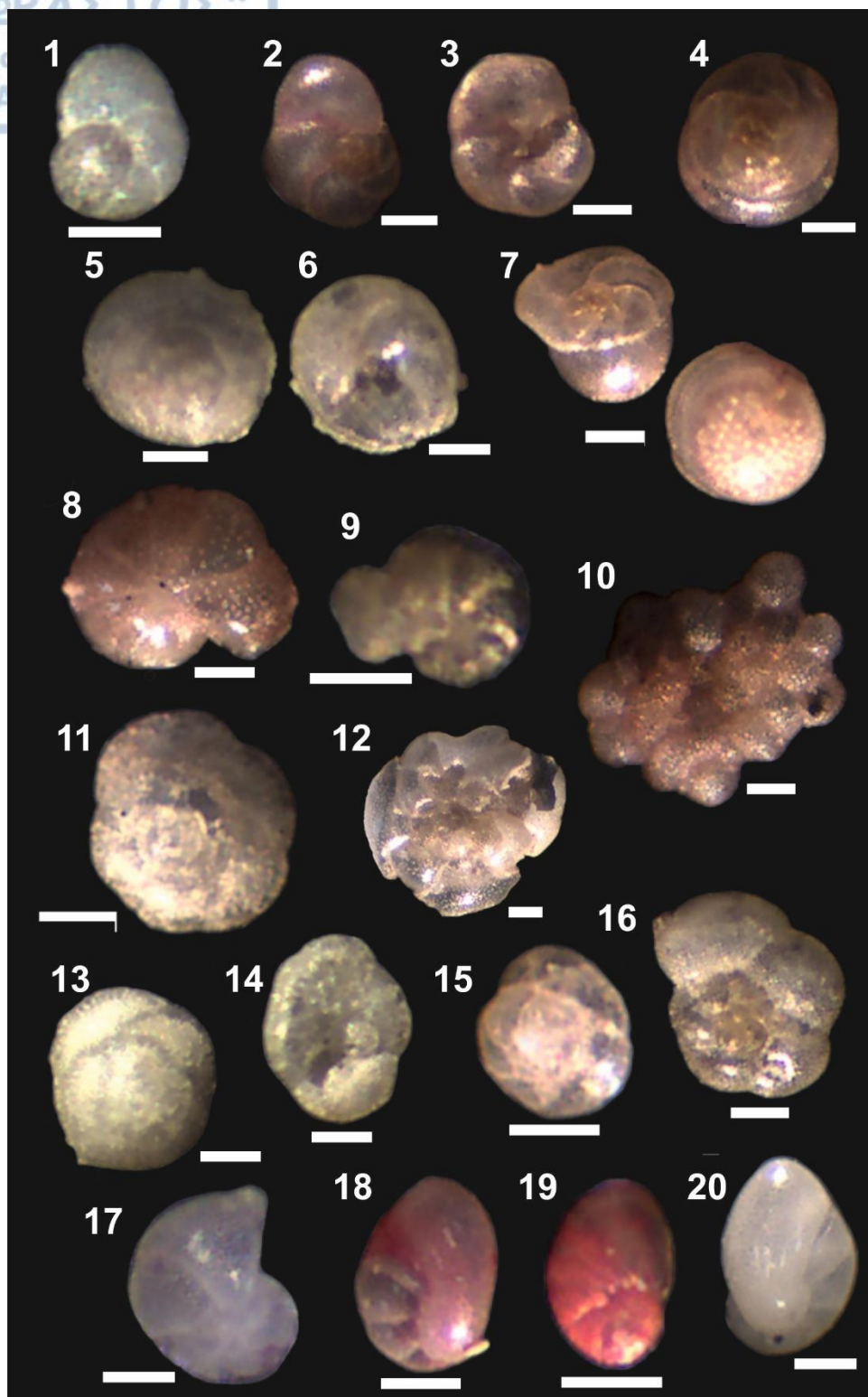


Πίνακας 40. 1. *Amphicorina scalaris* (Batsch 1791), 2. *Astacolus crepidulus* (Fichtel & Moll 1798), 3. *Lagena striata* (d'Orbigny 1839), 4. *Lagena caudata* (d'Orbigny 1839), 5. *Bolivina dilatata* Reuss 1850,

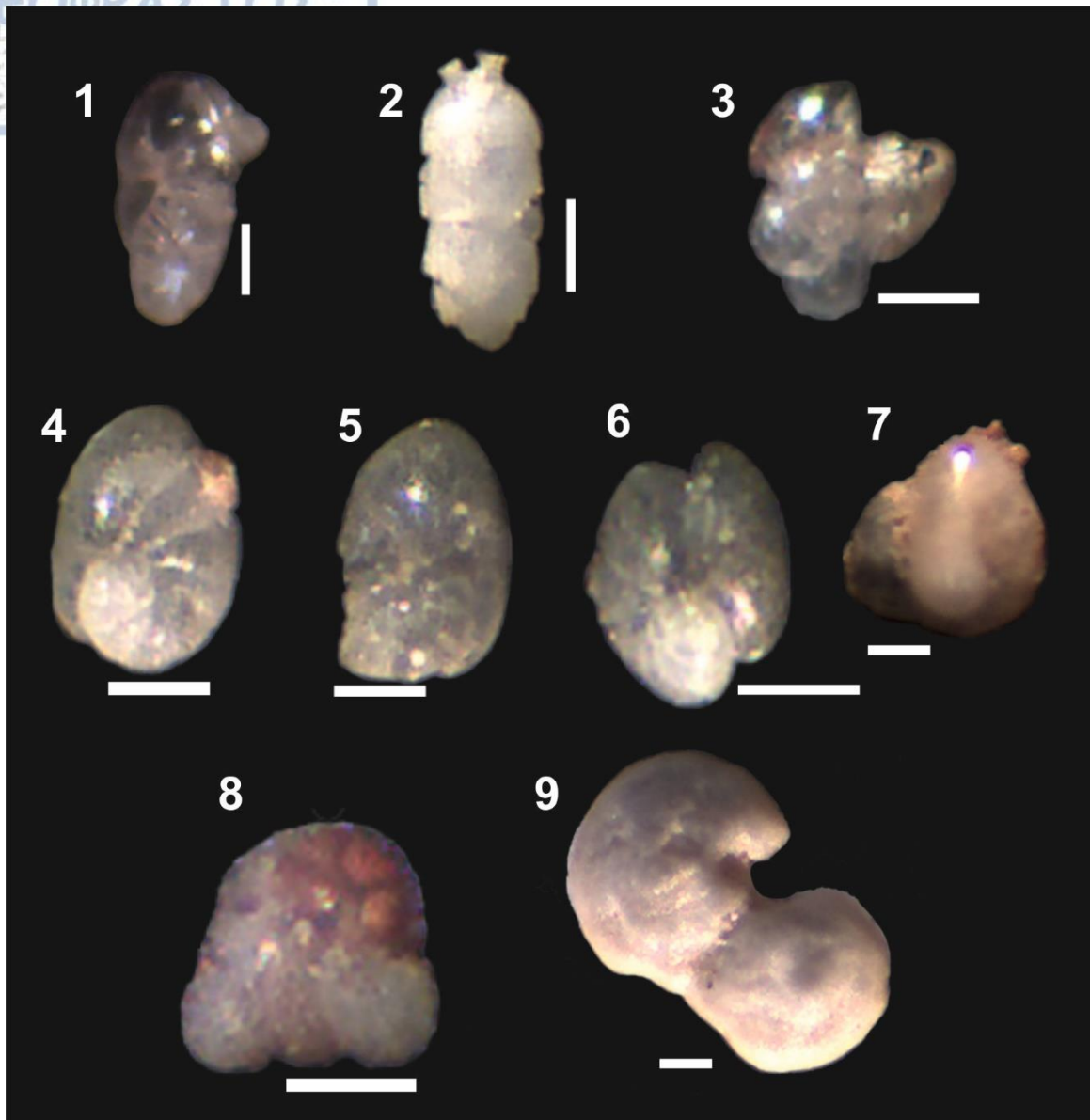
6. *Bolivina seminuda* Cushman 1911, 7-8. *Bolivina spathulata* (Williamson 1858), 9-11. *Bolivina striatula* Cushman 1922, 12. *Bolivina* sp., 13-15. *Rectuvigerina phlegeri* Le Calvez 1959, 16-17. *Uvigerina proboscidea* Schwager 1866, 18-19. *Uvigerina* sp., 20. *Uvigerina mediterranea* Hofker 1932, 21. *Bulimina aculeata* d'Orbigny 1826, 22-23. *Bulimina elongata* d'Orbigny 1846, 24-25. *Bulimina marginata* d'Orbigny 1826, 26. *Buliminella elegantissima* (d'Orbigny 1839), 27-28. *Fursencoina acuta* (d'Orbigny 1846), 29. *Stainforthia concava* (Höglund, 1947), 30-31. *Virgulinea fragilis* Grindell & Collen 1976. (Κλίμακα: 100μm).



Πίνακας 41. 1-8. *Ammonia tepida* (Cushman 1926), 9. *Haynesina depressula* (Walker & Jacob 1798), 10. *Haynesina germanica* (Ehrenberg 1840), 11. *Elphidium crispum* (Linné 1758), 12. *Elphidium complanatum* (d'Orbigny 1839), 13. *Elphidium gunteri* Cole 1931, 14. *Elphidium granosum* (d'Orbigny 1846). (Κλίμακα: 100μm).



Πίνακας 42. 1. *Rosalina floridensis* (Cushman 1922), 2-3. *Rosalina globularis* d'Orbigny 1826, 4. *Rosalina macropora* (Hofker 1951). 5-6. *Neoconorbina terquemi* (Rzehak 1888), 7. *Cymbaloporeta plana* (Cushman 1924), 8-9. *Lobatula lobatula* (Walker & Jacob 1798), 10-12. *Planorbulina mediterranensis* d'Orbigny 1826, 11, 13-14. *Asterigerinata mammila* (Williamson 1858), 15. *Buccella frigida* (Cushman 1921), 16. *Aubignyna perlucida* (Heron-Allen & Earland 1913), 17. *Lenticulina gibba* (d'Orbigny 1826), 18-20. *Nonionella turgida* (Williamson 1858). (Κλίμακα: 100μm).



Πίνακας 43. 1. *Buliminella elegantissima*-abnormal (d'Orbigny 1839), 2. *Rectuvigerina phlegeri*-abnormal Le Calvez 1959, 3. *Virgulinella fragilis*-abnormal Grindell & Collen 1976, 4-7. *Nonionella turgida*-abnormal (Williamson 1858), 8. *Ammonia tepida*-abnormal (Cushman 1926), 9. miliolid-abnormal. (Κλίμακα: 100μm).



“When something so micro-small makes such a big foramini-fference.....”

“Foraminifera-holic”

