

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

# Η ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΚΟΚΚΟΛΙΘΟΦΟΡΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΑΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

A.E.M.: 5009

Επιβλέπουσα: Δρ. Κουκουσιούρα Όλγα, ΕΔΙΠ

Θεσσαλονίκη, 2018

© Μιχαηλίδης Ιωάννης, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

Η ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΚΟΚΚΟΛΙΘΟΦΟΡΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΑΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ BENTHIC FORAMINIFERA AND COCCOLITHOPHORE RESPONSE AT THERMAIKOS GULF MARINE ECOSYSTEM

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.

# Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία, εκπονήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, στην κατεύθυνση Τεκτονική Γεωλογία και Στρωματογραφία. Ο σκοπός της είναι η απόκριση και η κατανομή βενθονικών τρηματοφόρων και κοκκολιθοφόρων στο θαλάσσιο οικοσύστημα του Θερμαϊκού Κόλπου. Τα αποτελέσματα συμβάλλανε στην παρουσίαση εργασιών σε δύο διεθνή συνέδρια:

- Winter-spring living coccolithophores from Thermaikos Gulf, NW Aegean Sea (INA16, 2017)
- Living benthic foraminifera from Thermaikos Gulf, NW Aegean Sea (FORAMS 2018)

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα μου Δρ. Όλγα Κουκουσιούρα, ΕΔΙΠ του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ., για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, την εμπιστοσύνη και την καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλα τα στάδια της εργασίας αυτής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον βασικό συνεργάτη της μελέτης Δρ. Μ. Σεφερλή (Βιολόγος, Ε.Κ.Β.Υ.) για τη συλλογή των δειγμάτων από τον Θερμαϊκό Κόλπο καθώς και για τον υπολογισμό των τιμών της χλωροφύλλης α.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην Καθηγήτρια Μαρία Τριανταφύλλου και στην Επίκ. Καθηγήτρια Μαργαρίτα Δήμιζα του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν και τη βοήθεια που παρείχαν για τη μελέτη των κοκκολιθοφόρων και την εκμάθηση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω και την Επίκ. Καθηγήτρια Λαμπρινή Παπαδοπούλου του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., για τη βοήθεια της κατά τη χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης. Καθώς και τον Καθηγητή Γεώργιο Συρίδη του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. για την παροχή εξοπλισμού και την εργαστηριακή επεξεργασία.

Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Βαλεντίνη Ναυροζίδου για την εργαστηριακή επεξεργασία των δειγμάτων των κοκκολιθοφόρων. Επίσης, τις μεταπτυχιακές φοιτήτριες Σοφία Γεωργίου και Βασιλική-Γρηγορία Δήμου του μεταπτυχιακού προγράμματος του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. για υποστήριξη και τις συμβουλές τους.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην οικογένειά μου την αμέριστη συμπαράσταση και στήριξη τους σε όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.

# Περιεχόμενα

Περ	οίληψ	ψη	5					
Abs	stract	ct	7					
1	Εισαγωγή9							
2	Αντικείμενο μελέτης10							
2	.1	Τρηματοφόρα						
2	.2	Κοκκολιθοφόρα - Ασβεστολιθικό Ναννοπλαγκτόν	14					
3	Περ	εριοχή μελέτης	17					
4	Me	εθοδολογία	20					
4	.1	Δειγματοληψία						
4	.2	Εργαστηριακή επεξεργασία						
	4.2.	2.1 Εργαστηριακή επεξεργασία δειγμάτων τρηματοφόρων						
	4.2.	2.2 Εργαστηριακή επεξεργασία δειγμάτων κοκκολιθοφόρων	24					
5	Απο	τοτελέσματα	27					
6	Συζήτηση							
7	Συμπεράσματα							
Βιβ	Βιβλιογραφία40							

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη της κατανομής και απόκρισης των βενθονικών τρηματοφόρων και των κοκκολιθοφόρων στον Θερμαϊκό Κόλπο. Η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης ενδείκνυται για την παρακολούθηση των θαλάσσιων οργανισμών, καθώς οι περιβαλλοντικές συνθήκες παρουσιάζουν μεγάλες ιδιαιτερότητες. Ο Θερμαϊκός Κόλπος αποτελεί μία θαλάσσια έκταση με έντονη την ανθρώπινη παρέμβαση και αλληλεπίδραση λόγω του λιμανιού της Θεσσαλονίκης, της εκτεταμένης βιομηχανικής ζώνης και του μεγάλου αστικού κέντρου. Αλλά παρουσιάζει και ιδιαίτερες φυσικές περιβαλλοντικές συνθήκες, εξαιτίας των μεγάλων μαζών γλυκέων υδάτων που εισέρχονται στον κόλπο από τα ποτάμια που εκβάλλουν σε αυτόν. Καθώς τα βενθονικά τρηματοφόρα και τα κοκκολιθοφόρα αποτελούν αξιόλογους δείκτες περιβαλλοντικής υγείας στα παράκτια οικοσυστήματα, η μελέτη τους στην περίπτωση ενός επιβαρυμένου οικοσυστήματος όπως του Θερμαϊκού Κόλπου κρίθηκε απαραίτητη.

Για τις ανάγκες της εργασίας πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία κατά το Δεκέμβριο του 2015, σε πέντε σταθμούς στον Θερμαϊκό Κόλπο. Συγκεκριμένα για τη μελέτη των βενθονικών τρηματοφόρων λήφθηκαν δείγματα επιφανειακών ιζημάτων πυθμένα και για τη μελέτη των κοκκολιθοφόρων δείγματα υδάτινης στήλης. Σε κάθε σταθμό, και σε ολόκληρη την υδάτινη στήλη πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των φυσικών παραμέτρων (θερμοκρασία, pH, διαλυμένο οξυγόνο, αιωρούμενα σωματίδια και αλατότητα) ενώ παράλληλα μετρήθηκε η διαύγεια του νερού και υπολογίστηκαν οι τιμές της χλωροφύλλης α.

Μέσω παρατήρησης σε στερεοσκόπιο καταμετρήθηκαν και προσδιορίστηκαν οι συναθροίσεις των νεκρών και ζωντανών βενθονικών τρηματοφόρων από 0 έως 4 cm του πυθμένα για κάθε σταθμό. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν διαγράμματα με τα ποσοστά συμμετοχής και τις πυκνότητες των ζωντανών και νεκρών βενθονικών τρηματοφόρων, και διερευνήθηκε η οικολογία τους. Αντίστοιχα, τα κοκκολιθοφόρα, καταμετρήθηκαν και προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο βαθμός ασβεστοποίησής τους μέσω βιομετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν σε 20 κοκκόσφαιρες του είδους *Emiliania huxleyi*.

Στον εσωτερικό Θερμαϊκό κόλπο, οι πυκνότητες των ζωντανών τρηματοφόρων και τα ποσοστά τους στα μελετηθέντα δείγματα είναι μικρές σε σύγκριση με το Αιγαίο πέλαγος. Επίσης, ο κόλπος ενώ χαρακτηρίζεται από την παρουσία πολλών διαφορετικών ειδών, τα είδη

5

αυτά είναι κυρίως τα ανθεκτικά σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, πιθανά εξαιτίας των ευτροφικών συνθηκών, της μειούμενης αλατότητας (εισροές γλυκέων υδάτων) και της εισροής οργανικής ύλης (εκφορτίσεις ποταμών) ή από το συνδυασμό όλων των παραπάνω παραγόντων. Ενώ η συνάθροιση των κοκκολιθοφόρων παρουσιάζει εξαιρετικά μικρή ποικιλότητα, χαρακτηρίζεται από υψηλή παραγωγικότητα αντανακλώντας τις ευτροφικές και ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν, επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα των βενθονικών τρηματοφόρων. Όσον αφορά τον βαθμό ασβεστοποίησης, τα κοκκολιθοφόρα του Θερμαϊκού Κόλπου κατά τον Δεκέμβριο του 2015 παρουσιάζουν περισσότερες ομοιότητες με τα κοκκολιθοφόρα της Μαύρης Θάλασσας κατά τους χειμερινούς μήνες, παρά με αυτά του Αιγαίου πελάγους. Οι παρατηρήσεις αυτές συμβάλλουν στη γνώση της εποχικότητας και βιογεωγραφίας των κοκκολιθοφόρων του Αιγαίου πελάγους

#### Abstract

The main scope of the current dissertation is the distribution and response of benthic foraminifera and coccolithophores in Thermaikos Gulf. The study area is indicative for monitoring marine organisms, due to its distinctive environmental conditions. Thermaikos Gulf is a marine area with intense human interference and interaction, as a result of several factors such as Thessaloniki's harbor, the extensive industrial zone, as well as the large urban conglomeration. It also shows great specificities according to the natural environmental conditions because of the large masses of fresh water that inflow into the Gulf from three main rivers' discharges.

Since benthic foraminifera and coccolithophores are considerable indices of environmental health in coastal ecosystems, their study has been evaluated as critical for overburdened ecosystems such as the one of Thermaikos Gulf. Sampling was conducted during December 2015, at five stations in Thermaikos Gulf. Specifically, for the study of benthic foraminifera, surface sediment samples were collected and water column samples for the study of coccolithophores. For each station and for the entire water column, the physical parameters (temperature, pH, dissolved oxygen, total dissolved solids and salinity) as well as the sea water clarity were measured while also the rates of chlorophyll a (Chl-a) were calculated.

Through observation with a stereoscope, the assemblages of living and dead benthic foraminifera from 0 until 4 cm of surface sediment were encounted and identified. Furthermore, diagrams showing the relative abundances and the densities of living and dead foraminifera were created, while also their ecology was investigated. In accordance, with the use of an electron scanning microscope, coccolithophores were counted and identified and additionally, their calcification grade was calculated through biometric analysis which has been carried out on 20 coccospheres of the species *Emiliania huxleyi*.

The inner Thermaikos gulf is characterized by low densities and low percentages of living benthic foraminifera specimens, in comparison with the rest Aegean Sea. Although a lot of different species participate in the assemblage, they are mainly stress tolerant, due to the eutrophication, the low salinities (fresh water inputs) and increased organic matter (river discharges). Coccolithophore assemblage present low diversities, but high productivity reflecting the stressful environmental conditions, in agreement with the foraminiferal findings. Concerning the *E. huxleyi* calcification, coccolithophores from Thermaikos Gulf of December

2015, show similarities with the Black Sea specimens rather than the Aegean Seas'. All the above conclusions contribute to the better understanding of the seasonality and the biogeography of benthic foraminiferal and coccolithophores species of the Aegean Sea.

## 1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, κύριο στόχο της περιβαλλοντικής έρευνας αποτελεί η μελέτη του ρόλου των θαλάσσιων οργανισμών σε ιδιαίτερες και ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της κατανομής των βενθονικών τρηματοφόρων σε επιφανειακά ιζήματα πυθμένα και των κοκκολιθοφόρων σε δείγματα υδάτινης στήλης, του Θερμαϊκού Κόλπου. Κύριο σκοπό αποτελεί ο συσχετισμός των συναθροίσεών τους με τις φυσικές παραμέτρους και τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στον Θερμαϊκό Κόλπο.

Η συγκεκριμένη περιοχή έρευνας επιλέχθηκε, καθώς ο Θερμαϊκός Κόλπος φιλοξενεί το δεύτερο μεγαλύτερο λιμάνι της Ελλάδας με έντονη ανθρωπογενή δραστηριότητα (ναυσιπλοΐα, ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στη μορφολογία, βιομηχανίες, μυδοκαλλιέργειες κ.α.) και ταυτόχρονα είναι αποδέκτης γλυκών υδάτων και φερτών υλικών από τους ποταμούς Αξιό, Γαλλικό, Λουδία και Αλιάκμονα καθώς και επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων της δεύτερης μεγαλύτερης πόλης της χώρας, της Θεσσαλονίκης.

Συνεπώς, για τους παραπάνω λόγους η απόκριση αυτών των θαλάσσιων μικροοργανισμών, παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον σε ένα περιβάλλον ευτροφικό και ιδιαίτερα επιβαρυμένο.

# 2 Αντικείμενο μελέτης

### 2.1 Τρηματοφόρα

Τα τρηματοφόρα (Εικόνα 2.1.) είναι θαλάσσιοι μονοκύτταροι οργανισμοί που αποτελούν τη συνομοταξία Foraminifera (Eichwald, 1830; Margulis, 1974) οι οποίοι ζουν σε όλα τα θαλάσσια οικοσυστήματα ενώ μερικά είδη να έχουν τη δυνατότητα προσαρμογής σε περιβάλλοντα χαμηλότερης αλατότητας (υφάλμυρα). Είναι ετερότροφοι μικροπαμφάγοι οργανισμοί ενώ αρκετά είδη τρέφονται με τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης τα οποία λαμβάνουν από ενδοσυμβιωτικούς αυτότροφους οργανισμούς (π.χ., Leutenegger, 1984; Lee et al. 1991; Hallock, 2000; Lee, 2006). Στη συνέχεια αναφέρονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των τρηματοφόρων σύμφωνα με τις Τριανταφύλλου και Δήμιζα (2012).

Χαρακτηρίζονται από δίκτυο ψευδοποδίων, ετεροφασικό κύκλο ζωής και τα περισσότερα είδη φέρουν κέλυφος το οποίο καλύπτει το πρωτόπλασμα του οργανισμού.

Τα ψευδοπόδια αποτελούν προεκβολές του κυτταροπλάσματος και χρησιμεύουν στα τρηματοφόρα για την πρόσληψη τροφής, την προσκόλληση τους, τη μετακίνηση καθώς και για την κατασκευή του κελύφους.



Εικόνα 2.1. Διάφορα είδη τρηματοφόρων (φωτ. από National Geographic).

Το κέλυφος δημιουργείται από τον ίδιο τον οργανισμό ή ο οργανισμός το κατασκευάζει από εξωγενή υλικά, περιορίζει - προστατεύει το πρωτόπλασμα των τρηματοφόρων και μπορεί να είναι μονοθάλαμο ή πολυθάλαμο.

Η κατασκευή του κελύφους εμφανίζει διαφοροποιήσεις όσον αφορά τη σύσταση και τη δομή του τοιχώματος, τη συναρμογή των θαλάμων και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του. Όλα τα παραπάνω αποτελούν τους διαγνωστικούς χαρακτήρες στους οποίους στηρίζεται η ταξινόμηση των τρηματοφόρων.

Τα περισσότερα τρηματοφόρα έχουν κελύφη με διάμετρο ή μέγιστο μήκος 100 – 500 μm. Η σύσταση του τοιχώματος του κελύφους των τρηματοφόρων είναι ποικίλη (οργανική, πυριτική, αραγωνιτική, ασβεστολιθική ή συμφυρματοπαγής). Τα περισσότερα τρηματοφόρα φέρουν συμφυρματοπαγές ή ασβεστολιθικό τοίχωμα κελύφους και είναι αυτά που συνήθως βρίσκονται ως απολιθώματα.

Το συμφυρματοπαγές κέλυφος συνίσταται από ετερογενή στοιχεία που συνδέονται μεταξύ τους με συγκολλητικό υλικό το οποίο μπορεί να είναι οργανικής, ασβεστιτικής ή άλλης ορυκτολογικής σύστασης. Το ασβεστολιθικό κέλυφος διακρίνεται σε τρεις κύριους τύπους, μικροκοκκώδες, πορσελανώδες ή αδιάτρητο και υαλώδες ή διάτρητο.

Τα τρηματοφόρα παρουσιάζουν μεγάλη αφθονία ειδών, εκ των οποίων είναι γνωστά 5.000 σύγχρονα (από τα οποία μόνο 40 - 50 είναι πλαγκτονικά) και 50.000 απολιθωμένα είδη (Debenay et al., 1996). Διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τα βενθονικά και τα πλαγκτονικά.

#### <u>Βενθονικά</u>

Τα περισσότερα είδη βενθονικών τρηματοφόρων (Εικόνα 2.2.) επιλέγουν επιπανιδικό τρόπο ζωής. Ζουν ελεύθερα, προσκολλώνται μόνιμα ή περιοδικά στο υπόστρωμα, το οποίο μπορεί να είναι ζωικό (π.χ. όστρακα) οπότε ονομάζονται επιζωικά (Εικόνα 2.3.), φυτικό (π.χ. θαλάσσια μακροφύκη) οπότε ονομάζονται επιφυτικά (π.χ. Rosalina, Elphidium, κ.α.) ή το επιφανειακό ίζημα του πυθμένα. Αρκετά όμως είναι και τα είδη που προσαρμόζονται σε έναν ενδοπανιδικό τρόπο ζωής, δηλαδή ζουν βυθισμένα ή ημιβυθισμένα μέσα στο ίζημα, φθάνοντας σε ορισμένες περιπτώσεις σε βάθος μεγαλύτερο από τα ανώτερα 10 cm του ιζήματος (π.χ., Melonis, Bulimina, Bolivina, κ.α).



Εικόνα 2.2. Βενθονικά τρηματοφόρα (φωτ. από Pamela Hallock).



Εικόνα 2.3. Επιζωικά τρηματοφόρα (φωτ. από Elisabeth Alve).

Σύμφωνα με τις Τριανταφύλλου και Δήμιζα (2012) η υψηλή αφθονία και ποικιλότητα καθώς και η ευαισθησία που εμφανίζουν τα βενθονικά τρηματοφόρα στις όποιες αλλαγές των περιβαλλοντικών μεταβλητών, τα καθιστούν σημαντικούς δείκτες για:

- βιοστρωματογραφικές μελέτες όπου χρησιμοποιούνται τα μεγάλου μεγέθους
   βενθονικά τρηματοφόρα (πχ., Ozcan et al., 2009)
- παλαιοωκεανογραφικές / παλαιοκλιματικές μελέτες και συγκεκριμένα βοηθούν στον προσδιορισμό της κυκλοφορίας των παλαιότερων ωκεάνιων ρευμάτων (πχ., Triantaphyllou et al., 2009, 2016)

 παλαιοπεριβαλλοντικές μελέτες μέσω της ανάλυσης της διαφοροποίησης (ποικιλότητας) και της αφθονίας των συναθροίσεων και των τυπικών ειδών (π.χ., Di Bella et al., 2008; Carboni et al., 2010; Triantaphyllou et al., 2010a; Koukousioura et al., 2012)

#### <u>Πλαγκτονικά</u>

Τα πλαγκτονικά αποτελούν την τάξη Globigerinida (Εικόνα 2.4.), τα περισσότερα εξ αυτών φέρουν κέλυφος με διάμετρο ή μέγιστο μήκος μικρότερο από 1 mm και σύσταση ασβεστολιθική (μόνο σε ελάχιστα είδη Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού είναι αραγωνιτική). Ζουν ελεύθερα στην υδάτινη στήλη των ανοιχτών ωκεανών και παρουσιάζουν παγκόσμια γεωγραφική κατανομή. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του κελύφους των πλαγκτονικών τρηματοφόρων παίζουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της πλευστότητας του οργανισμού. Η πλειοψηφία των ειδών διαβιεί στην ευφωτική ζώνη καθώς στο κέλυφός τους φιλοξενούνται ενδοσυμβιωτικοί αυτότροφοι οργανισμοί (κυρίως δινομαστιγωτά) (Τριανταφύλλου και Δήμιζα, 2012).



Εικόνα 2.4. Πλαγκτονικά τρηματοφόρα (φωτ. από Paul Pearson).

Κατά τη βιογενή ανθρακική ιζηματογένεση, τα τρηματοφόρα μαζί με τα κοκκολιθοφόρα παίζουν το σημαντικότερο ρόλο (Loubere and Fariduddin, 1999). Σήμερα τα βενθονικά και τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα συνεισφέρουν στην απόθεση ανθρακικού ασβεστίου κατά 1,4 δισεκατομμύρια τόνους το χρόνο, κάτι που αντιστοιχεί στο 25% της συνολικής παραγωγής πελαγικών ανθρακικών ιζημάτων (Langer, 2008).

### 2.2 Κοκκολιθοφόρα - Ασβεστολιθικό Ναννοπλαγκτόν

Τα κοκκολιθοφόρα ή αλλιώς ασβεστολιθικό ναννοπλαγκτόν (Εικόνα 2.5.) είναι θαλάσσιοι, μονοκύτταροι, φωτοσυνθετικοί μαστιγοφόροι οργανισμοί που ανήκουν στην Ομοταξία Prymnesiophyceae (Hibberd, 1976 emend. Cavalier - Smith, 1996) της Συνομοταξίας Haptophyta (Hibberd, 1972 ex Edvardsen and Eikrem, 2000). Παρακάτω αναφέρονται τα χαρακτηριστικά τους σύμφωνα με τις Τριανταφύλλου και Δήμιζα (2012).



Εικόνα 2.5. Κοκκολιθοφόρα (φωτ. από Steve Gschmeissner, Science Photo Library).

Χαρακτηρίζονται από νηματοφόρο οργανίδιο (χαπτόνημα) και την κοκκόσφαιρα που είναι το περίβλημα του κυττάρου το οποίο απαρτίζεται από κοκκόλιθους. Οι κοκκόλιθοι είναι ασβεστιτικές πλάκες που αποτελούνται από κρυστάλλους ασβεστίτη με μικρή περιεκτικότητα σε Μαγνήσιο (Mg).

Ο κύκλος ζωής των κοκκολιθοφόρων χαρακτηρίζεται από τον πλεομορφισμό, δηλαδή την εναλλαγή από μη κινητήρια φάση (διπλοειδούς γονιδιώματος) σε μία ή περισσότερες κινητήριες φάσεις (απλοειδούς γονιδιώματος).

Κατά τη διάρκεια των ανωτέρω φάσεων έχουμε τη διαδικασία της κοκκολιθογένεσης, δηλαδή τη δημιουργία σχηματισμού και ανάπτυξης των κοκκολίθων. Έχουν αναγνωρισθεί δύο είδη κοκκολίθων και οι ναννόλιθοι.

- Οι ολοκοκκόλιθοι, οι οποίοι δημιουργούνται κατά την κινητήρια φάση και στους οποίους η ασβεστοποίηση γίνεται εξωτερικά του κυττάρου αλλά πάντα μέσα στον περιπλάστη.
- Οι ετεροκοκκόλιθοι, οι οποίοι δημιουργούνται κατά τη μη κινητήρια φάση στο εσωτερικό του κυττάρου και μετά εξωθούνται προς το εξωτερικό του.
- Οι ναννόλιθοι που διαχωρίζονται από τους παραπάνω κοκκόλιθους λόγω διαφορετικής ασβεστιτικής δομής και μορφολογίας.

Τα κοκκολιθοφόρα βρίσκονται στη βάση της τροφικής αλυσίδας. Η διατροφή τους βασίζεται στη φωτοσύνθεση γι' αυτό και εντοπίζονται στα ανώτερα στρώματα των ωκεάνιων υδάτων, στην ευφωτική ζώνη, μέχρι 200 m βάθος της υδάτινης στήλης.

Η συμβολή τους στον κύκλο του άνθρακα είναι μεγάλη καθώς δεσμεύουν διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) για να παράγουν οργανικό υλικό μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O  $\rightarrow$  CH<sub>2</sub>O + O<sub>2</sub>) και παράγουν διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) κατά τη δημιουργία κοκκολίθων μέσω της διαδικασίας της ασβεστοποίηση (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + Ca<sup>2+</sup> $\rightarrow$  CaCO<sup>3</sup> + H<sub>2</sub>O).

Σύμφωνα με τον Milliman (1993), τα κοκκολιθοφόρα (ασβεστολιθικό ναννοπλαγκτόν) έχει υπολογισθεί ότι συνεισφέρουν στη μισή ωκεάνια παραγωγή ανθρακικών ιζημάτων.

Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά κοκκολιθοφόρα είναι το είδος *Emiliania huxleyi* (Εικόνα 2.6.) το οποίο είναι ανθεκτικό σε μεγάλο εύρος θερμοκρασίας καθώς επίσης εμφανίζεται τόσο σε ευτροφικά όσο και σε ολιγοτροφικά περιβάλλοντα. Σήμερα επικρατεί στη Μεσόγειο τόσο στα υδάτινα οικοσυστήματα όσο και στα επιφανειακά ιζήματα του πυθμένα.



Εικόνα 2.6. Emiliania huxleyi (SEM φωτ. από Jeremy R. Young).

Είναι πλαγκτονικό είδος που έχει τη δυνατότητα να κινείται σε διάφορα βάθη της υδάτινης στήλης λόγω της μεγάλης ανεκτικότητας στα διάφορα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας. Εξαιτίας των παραπάνω έχει μεγάλη εξάπλωση σε μεγάλη ποικιλία περιβαλλόντων.

Οι κοκκόσφαιρές του είναι σφαιρικού σχήματος με ένα ή περισσότερα στρώματα κοκκολίθων που σχηματίζονται στο εσωτερικό του κυττάρου και μετά εξωθούνται προς το εξωτερικό του (ετεροκοκκόλιθοι) και ανήκουν στην ομάδα των πλακόλιθων επειδή φέρουν περιθώριο με δύο ασπίδες. Τα κρυσταλλικά στοιχεία της εξωτερικής ασπίδας φέρουν σχισμές μεταξύ τους σε σχήμα Τ.

Ο ρόλος και η συμβολή των κοκκολιθοφόρων στον έλεγχο του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα τα καθιστά ιδιαίτερα ενδιαφέροντα στις κλιματικές / περιβαλλοντικές έρευνες. Ο έλεγχος και η παρακολούθηση των παγκόσμιων εποχικών αυξήσεων τυπικών ειδών, όπως το είδος *Emiliania huxley*, θεωρείται απαραίτητος δεδομένου ότι μια ενδεχόμενη εξασθένηση του φαινομένου μπορεί να συσχετισθεί με κλιματική / περιβαλλοντική διατάραξη (Τριανταφύλλου και Δήμιζα, 2012).

# 3 Περιοχή μελέτης

Ο Θερμαϊκός Κόλπος που αποτελεί την ευρύτερη περιοχή μελέτης είναι μία ημίκλειστη ρηχή λεκάνη που εντοπίζεται στο βορειοδυτικό άκρο του Αιγαίου πελάγους. Διακρίνεται σε εξωτερικό, εσωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο και στον όρμο της Θεσσαλονίκης. Η περιοχή μελέτης, που αποτέλεσε και την περιοχή δειγματοληψίας, είναι ο εσωτερικός κόλπος συμπεριλαμβάνοντας και τον όρμο της Θεσσαλονίκης (Εικόνα 3.1.). Εκτείνεται από τα παράλια της πόλης της Θεσσαλονίκης προς βορά έως τη νοητή γραμμή που συνδέει τα ακρωτήρια Μεγάλο Έμβολο και Βαρδάρι, στις εκβολές Αξιού.





Ο Κόλπο και ο όρμος της Θεσσαλονίκης χαρακτηρίζονται από εκτεταμένες αβαθείς περιοχές (βάθος < 5 m) στη δυτική πλευρά. Αυτό είναι αποτέλεσμα της προσχωσιγενούς δράσης του ποταμού Αξιού αλλά και των ποταμών Γαλλικού, Λουδία και Αλιάκμονα. Τα παραπάνω ποτάμια διασχίζουν τις υποζώνες Παιονίας, Πάικου και Αλμωπίας που αποτελούν τη ζώνη διαβρώνοντας μεταμορφωμένα πετρώματα Αξιού. τα που τη χαρακτηρίζουν (ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, σχιστόλιθοι, κ.α.) μεταφέροντας και αποθέτοντας τα υλικά στη λεκάνη (Μουντράκης, 2010). Επίσης, υλικά στη λεκάνη μεταφέρονται από τη διάβρωση του Ολοκαινικού καλύμματος της κοιλάδας του Αξιού, το οποίο σε κάποιες περιπτώσεις φτάνει ακόμα και τα 20 m (Fouache et al., 2008). Ο Θερμαϊκός Κόλπος πλημμύρισε κατά το Ολόκαινο εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας με ένα μέσο ρυθμό 4 m/1000 yr, ο οποίος μειώθηκε σε 1 m/1000 yr για τα τελευταία 4000 χρόνια (Vouvalidis et al., 2005; Pavlopoulos et al., 2011).

Σήμερα, η σημαντικότερη χρήση η οποία εξυπηρετείται στον Κόλπο της Θεσσαλονίκης είναι η ναυσιπλοΐα, ωστόσο πραγματοποιείται και εκτεταμένη μυδοκαλλιέργεια, η οποία εντοπίζεται στο δυτικό τμήμα της εισόδου του κόλπου.

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του κόλπου επηρεάζονται σημαντικά από:

- τη μεγάλη εισροή γλυκέων υδάτων από τους ποταμούς
- την κυκλοφορία των θαλάσσιων υδάτων από το Αιγαίο
- τη ρύπανση εξαιτίας της έντονης ανθρωπογενούς δραστηριότητας
- το «αποτύπωμα» των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται στο Λιμάνι της
   Θεσσαλονίκης
- τη γενικότερη συσσώρευση ρυπαντικών φορτίων στην δυτική πλευρά του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης

Επιπλέον, ο κόλπος έχει επηρεαστεί και από έργα που βρίσκονται εκτός αυτού, όπως η εκτροπή του Αξιού ποταμού και η κατασκευή φραγμάτων σε ποτάμια που καταλήγουν στον όρμο της Θεσσαλονίκης ή στο Θερμαϊκό Κόλπο. Αυτά επηρεάζουν την ποσότητα θρεπτικών / φερτών υλικών τα οποία καταλήγουν στον κόλπο είτε άμεσα, είτε έμμεσα (θαλάσσια ρεύματα).

Στα ιζήματα του πυθμένα του Θερμαϊκού αναφέρονται ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όπως ψευδάργυρου, χρωμίου και χαλκού, ιδίως κατά μήκος των ακτών (π.χ., Anagnostou et al., 1998; Christoforidis et al., 2009). Πολύ ρυπασμένα από χαλκό θεωρούνται τα ιζήματα στην παραλία Θεσσαλονίκης, Νέα παραλία, Ποσειδώνιο και Καλαμαριά. Παρατηρήθηκε πως οι συγκεντρώσεις ψευδαργύρου (Zn) μειώνονται σταδιακά από την παράκτια ζώνη προς τα ανοιχτά του κόλπου (βιομηχανικά και αστικά λύματα, Καλοχώρι και Λευκός Πύργος αντίστοιχα). Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και για τα επίπεδα του Χαλκού (Cu) στην περιοχή του Λευκού Πύργου.

Η πιθανή προέλευση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων αποδίδεται σε εκπλύσεις γεωργικών εδαφών (φυτοφάρμακα που περιέχουν χαλκό), σε απορροές ρυπασμένων χειμάρρων, λυμάτων και αποστραγγισμάτων χωματερών.

Τα παραπάνω στοιχεία προέρχονται από το Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΣΔΛΑΠ) του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (ΦΕΚ 4675/Β/29-12-17) και χρησιμεύουν στην κατανόηση των περιβαλλοντικών συνθηκών εντός των οποίων αναπτύχθηκαν τα τρηματοφόρα και κοκκολιθοφόρα που καταγράφηκαν στα δείγματα της παρούσας εργασίας.

# 4 Μεθοδολογία

### 4.1 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά τον Δεκέμβριο του 2015, στους σταθμούς SP1, SP3, SP4, SP5 και SP6 που τοποθετούνται στον εσωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο (Εικόνα 4.1.). Για τη μελέτη των βενθονικών τρηματοφόρων λήφθηκαν δείγματα επιφανειακών ιζημάτων πυθμένα, ενώ για τη μελέτη των κοκκολιθοφόρων δείγματα υδάτινης στήλης.



Εικόνα 4.1. Περιοχή έρευνας και σταθμοί δειγματοληψίας.

Η δειγματοληψία των επιφανειακών ιζημάτων πυθμένα πραγματοποιήθηκε με χρήση δειγματολήπτη τύπου Eckman (Εικόνα 4.2.) σύμφωνα με την πιστοποιημένη μεθοδολογία δειγματοληψίας FOBIMO (Schönfeld et al., 2012). Μετά την ανάδυση του δειγματολήπτη λήφθηκαν για κάθε σταθμό 3 πυρηνάκια μήκους 15 cm (Εικόνα 4.3.).

Τα δείγματα υδάτινης στήλης από κάθε σταθμό, λήφθηκαν με χρήση δειγματολήπτη (μπουκάλα) τύπου Niskin (μήκους 1 m) (Εικόνα 4.2.) και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε φιάλες χωρητικότητας 1,5 L για τη μεταφορά τους στο εργαστήριο.



Εικόνα 4.2. Δειγματολήπτης ιζημάτων πυθμένα τύπου Eckman (αριστερά) και δειγματολήπτης υδάτινης στήλης τύπου Niskin (δεξιά).

Επιπλέον, από το μέγιστο βάθος κάθε σταθμού έως την επιφάνεια των υδάτων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των φυσικών παραμέτρων, με την βοήθεια ηλεκτροδίου τύπου Aquaprobe AP-7000. Συγκεκριμένα μετρήθηκε η θερμοκρασία (T), το διαλυμένο οξυγόνο (DO), το pH, η αλατότητα (Sal) και τα αιωρούμενα σωματίδια (TDS). Τέλος μετρήθηκε η διαύγεια του νερού χρησιμοποιώντας δίσκο Secchi (Πίνακας 4.1.).

7 Dec 2015							
	Secchi (m)	T (ºC)	DO (mg/L)	pН	Sal (psu)	TDS (ppt)	
SP6							
Πυθμένας (20 m)		17.2	9.14	8.76	24.49	24.96	
SP5							
Πυθμένας (25 m)		16.7	9.08	8.8	24.61	25.11	
SP1							
Πυθμένας (2.5 m)		14.9	9.44	8.54	22.52	23.23	
SP3							
Επιφάνεια	4.5	15.3	9.69	8.39	23.09	28.2	
Πυθμένας (20 m)		15.1	9.31	9	24.96	25.39	
SP4							
Πυθμένας (25 m)		16.6	9.03	9.34	23.99	23.99	

Πίνακας 4.1. Μετρήσεις Aquaprobe AP-7000 και Secchi για τους σταθμούς δειγματοληψίας.

### 4.2 Εργαστηριακή επεξεργασία

#### 4.2.1 Εργαστηριακή επεξεργασία δειγμάτων τρηματοφόρων

Αρχικά τα πυρηνάκια ιζήματος πυθμένα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο και ανοίχθηκαν (Εικόνα 4.3.). Λήφθηκαν δείγματα για την επιφάνεια ανά 2 cm και στη συνέχεια ανά 1 cm έως το μέγιστο βάθος για το κάθε πυρηνάκι. Στη συνέχεια υιοθετήθηκε ο τρόπος επεξεργασίας των δειγμάτων όπως αυτός περιγράφεται από Κουκουσιούρα (2005).



Εικόνα 4.3. Πυρηνάκι ιζήματος κατά την εργαστηριακή επεξεργασία.

Τα τμήματα διαποτίστηκαν με διάλυμα αιθυλικής αλκοόλης (70%) προκειμένου να επιτευχθεί η διατήρηση των μαλακών τμημάτων των τρηματοφόρων και χρωματίσθηκαν με διάλυμα Rose Bengal (2 gr Rose Bengal/1 lt αιθυλικής αλκοόλης) (Walton 1952). Το διάλυμα Rose Bengal είναι μια χρωστική η οποία δύναται να χρωματίσει την οργανική ουσία ώστε να είναι εφικτός ο διαχωρισμός των ζωντανών τρηματοφόρων από τα νεκρά άτομα (Debenay et al., 2001).

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυτής της μεθόδου δεν είναι πάντα η ιδανική, επειδή το Rose Bengal χρωματίζει φύκη και βακτήρια προσκολλημένα στο κέλυφος ή οργανικά στοιχεία από το ίδιο το κέλυφος (Murray, 1991; Saffert and Thomas, 1998). Έτσι, ως ζωντανά προσμετρήθηκαν τα άτομα των οποίων τα κελύφη παρουσίαζαν έντονο ερυθρό χρωματισμό στο εσωτερικό των θαλάμων. Προκειμένου να επιτευχθεί ο σωστός χρωματισμός των δειγμάτων, σε αυτά προστέθηκε διάλυμα αιθυλικής αλκοόλης και Rose Bengal και διατηρήθηκαν σε χαμηλή θερμοκρασία για εύλογο χρονικό διάστημα (μερικές εβδομάδες) (Walton, 1952).

Στη συνέχεια τα δείγματα υπέστησαν πλύση με φυσικό νερό με τη χρήση κοσκίνου διαμέτρου οπής 63 μm (Εικόνα 4.4.), και υποβλήθηκαν σε ξήρανση σε χαμηλή θερμοκρασία (60°C).



Εικόνα 4.4. Πλύση δειγμάτων σε κόσκινο οπής 63 μm.

Στη συνέχεια τα δείγματα διαχωρίστηκαν με την βοήθεια Otto Microsplitter. Με αυτόν τον τρόπο προέκυψε ένα αντιπροσωπευτικό μικρό κλάσμα με τον απαιτούμενο αριθμό τρηματοφόρων (200 - 300 άτομα όπου ήταν εφικτό). Τα άτομα συλλέχθηκαν και τοποθετήθηκαν σε πινακίδια Chapman, με ειδική κόλλα (Gome Adraganth). Η συλλογή και μελέτη των τρηματοφόρων πραγματοποιήθηκε με στερεοσκόπιο προσπίπτοντος φωτός τύπου Zeiss Jena (μεγένθυση X80) (Εικόνα 4.5. Στερεοσκόπιο προσπίπτοντος φωτός Zeiss Jena.Εικόνα 4.5.5.). Για να προκύψει ένα στατιστικά αντιπροσωπευτικό δείγμα, συλλέχθηκαν σε κάθε περίπτωση 300 άτομα ζωντανά και νεκρά (Debenay et al., 2001; Douglas, 1973). Τα ζωντανά και τα νεκρά άτομα διαχωρίστηκαν, καταμετρήθηκαν και προδιορίστηκαν. Στη συνέχεια μελετήθηκαν μόνο τα ζωντανά άτομα καθώς οι ζωντανοί αντιπρόσωποι δηλώνουν την αυτόχθονη προέλευση των ειδών (Armynot du Châtelet et al., 2004).



Εικόνα 4.5. Στερεοσκόπιο προσπίπτοντος φωτός Zeiss Jena.

#### 4.2.2 Εργαστηριακή επεξεργασία δειγμάτων κοκκολιθοφόρων

Για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής μελετήθηκε 1,5 L θαλασσινού νερού που λήφθηκε από τον σταθμό SP3. Στη συνέχεια αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία του δείγματος.

#### Προετοιμασία δειγμάτων

Το νερό της φιάλης πέρασε μέσα από φίλτρο νιτροκυτταρίνης τύπου Whatman. Για το φιλτράρισμα χρησιμοποιήθηκε σύστημα κενού αέρος. Καθ΄ όλη την διάρκεια της διαδικασίας δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη διανομή του υλικού πάνω στο φίλτρο. Τα άλατα απομακρύνθηκαν από το φίλτρο με πλύση, χρησιμοποιώντας μεταλλικό νερό. Στη συνέχεια το φίλτρο ξηράνθηκε σε φούρνο και αποθηκεύτηκε σε πλαστικό δοχείο Petri (Karatsolis et al., 2016).

#### Εξέταση στο μικροσκόπιο

Ένα τμήμα του φίλτρου, περίπου 8x8 mm<sup>2</sup>, αποκόπηκε, επιχρυσώθηκε και επικολλήθηκε με την βοήθεια κολλητικής ταινίας διπλής όψεως πάνω σε υποδοχέα χαλκού, κατάλληλο για το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Εικόνα 4.6.). Τα τμήματα αυτού του φίλτρου εξετάστηκαν σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης SEM JEOL JSM-840A (Εργαστήριο Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).



Εικόνα 4.6. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης SEM JEOL JSM-840A.

Κάθε κοκκόσφαιρα που βρέθηκε αναγνωρίσθηκε και καταμετρήθηκε σε μεγέθυνση 1200x. Η αναγνώριση πραγματοποιήθηκε βάσει κυρίως των ταξινομικών αναφορών των Young et al. (2003) και Malinverno et al. (2008). Επίσης φωτογραφήθηκαν τουλάχιστον 20 κοκκόσφαιρες του είδους *E. haxleyi*, για βιομετρικούς σκοπούς.



Εικόνα 4.7. Μελέτη και φωτογράφηση των δειγμάτων κοκκολιθοφόρων στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο.

Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας των κοκκολιθοφόρων, δηλαδή το συνολικό αριθμό των ατόμων (A) σε κάθε δείγμα παρατήρησης, εκφρασμένο σε κοκκοσφαίρες ανά λίτρο (cells/l), χρησιμοποιήθηκε ο τύπος των Jordan and Winter (2000):

#### A = N x s / V

όπου: Ν ο αριθμός των κοκκοσφαιρών στο δείγμα, s η επιφάνεια ολόκληρου του φίλτρου προς την επιφάνεια του εξεταζόμενου φίλτρου, V ο όγκος του θαλασσινού νερού που φιλτραρίστηκε, A η περιεκτικότητα των κοκκοσφαιρών στο λίτρο (cells/l).

Οι κοκκόσφαιρες που φωτογραφήθηκαν κατά τη διάρκεια της παρατήρησης στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Εικόνα 4.7.), στη συνέχεια μέσω του προγράμματος ImageJ αναλύθηκαν σύμφωνα με τη βιομετρική προσέγγιση των Young et al. (2014). Μετρήθηκε το μέγιστο μήκος κάθε κοκκοσφαίρας. Επιπρόσθετα, για κάθε κοκκόλιθο προσκολλημένο στις κοκκοσφαίρες, μετρήθηκαν το μήκος και το πλάτος του, κυκλώνοντας την περίμετρο του με μία έλλειψη, σύμφωνα με την παρατήρηση πως η γεωμετρία των κοκκόλιθων βασίζεται σε συναξονικές παράλληλες ελλείψεις (Young et al., 1996).

Για να μετρηθεί ο βαθμός ασβεστοποίησης των κοκκολίθων χρειάστηκε μια παράμετρος ανεξάρτητη του μεγέθους. Έτσι χρησιμοποιήθηκε το σχετικό πλάτος του στοιχείου του κοκκόλιθου σε συνάρτηση με το πλάτος του κοκκόλιθου (tube width = 2x tube width/coccolith width) (Young et al., 2014).

## 5 Αποτελέσματα

Με βάση τις μετρήσεις για τις φυσικές μεταβλητές του νερού που έγιναν στον πυθμένα των σταθμών δειγματοληψίας με τη βοήθεια του ηλεκτροδίου Aquaprobe AP-7000 παρατηρήθηκε ότι παρουσιάζεται ομοιογένεια με μικροδιακυμάνσεις σε όλους τους σταθμούς, για τις μετρήσεις που αφορούν:

- τα αιωρούμενα σωματίδια (TDS): 23 25,2 ppt,
- την αλατότητα (Sal): 22,5 25 psu
- το pH: 8 9
- το διαλυμένο οξυγόνο (DO): 9 9,5 mgr/L
- και τη θερμοκρασία (Τ): 15 17 °C

Η μέτρηση με το δίσκο Secchi έδειξε ότι η διαύγεια του νερού αυξάνεται με την απομάκρυνση από τον όρμο προς την είσοδο του Θερμαϊκού από 2,5 m (SP1) έως 8 m (SP6) (Εικόνα 5.1i.).

Ακόμη υπολογίστηκαν οι τιμές της χλωροφύλλης α από τον βασικό συνεργάτη της μελέτης Δρ. Μ. Σεφερλή (Ε.Κ.Β.Υ.). Η χλωροφύλλη α (Chl-a) στους σταθμούς SP6, SP5, SP4 και SP3 κυμαίνεται από 1 έως 2,5 μgr/L ενώ στο σταθμό SP1 (ο κοντινότερος στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης) εκτινάσσεται στα 9,5 μgr/L (Koukousioura et al., 2017, 2018).

Ακολουθώντας τη μεθοδολογία της επεξεργασίας των δειγμάτων από τα επιφανειακά ιζήματα του πυθμένα που προαναφέρθηκε, προέκυψαν τα παρακάτω (Εικόνα 5.1ii.):

- Για τα πρώτα 2 cm, που εξετάστηκαν σε όλα τα δείγματα, η πυκνότητα των νεκρών τρηματοφόρων στους σταθμούς SP1, SP3, SP4 και SP5 κυμάνθηκε από 300 έως 650 ατ./10cm<sup>3</sup> ενώ στο σταθμό SP6 ανήλθε στα 1600 ατ./10cm<sup>3</sup>. Αντίστοιχα ο αριθμός των ζωντανών τρηματοφόρων στους σταθμούς SP1, SP3, SP4 και SP5 κυμάνθηκε από 21 έως 24 ατ./10cm<sup>3</sup> ενώ στο σταθμό SP6 ανήλθε στα 135 ατ./10cm<sup>3</sup>.
- Για τα 2 3cm, τα νεκρά τρηματοφόρα στον σταθμό SP1 ανήλθαν στα 1550 ατ./10cm<sup>3</sup>
   και τα ζωντανά 81 ατ./10cm<sup>3</sup>. Στους σταθμούς SP4 και SP5 τα νεκρά τρηματοφόρα κυμαίνονταν από 550 έως 620 ατ./10cm<sup>3</sup> και τα ζωντανά από 30 έως 26 ατ./10cm<sup>3</sup>.
- Για τα 3 4cm τα νεκρά τρηματοφόρα στον SP1 ήταν 1071 ατ./10cm<sup>3</sup> και τα ζωντανά 44 ατ./10cm<sup>3</sup>. Στον SP3 τα νεκρά ήταν 1786 ατ./10cm<sup>3</sup> και τα ζωντανά 60 ατ./10cm<sup>3</sup>. Στον SP4 τα νεκρά ήταν 930 ατ./10cm<sup>3</sup> και τα ζωντανά 22 ατ./10cm<sup>3</sup> και στον SP6 τα νεκρά ήταν 1160 και τα ζωντανά 89 ατ./10cm<sup>3</sup>.







Εικόνα 5.1. Από πάνω προς τα κάτω: i) Μετρήσεις Aquaprobe AP-7000, Secchi και τιμές Chl-a, ii) Πυκνότητα ζωντανών και νεκρών τρηματοφόρων στα διάφορα βάθη ιζήματος κάθε σταθμού, iii) Ποσοστό ζωντανών τρηματοφόρων στα διάφορα βάθη ιζήματος κάθε σταθμού.

Το ποσοστό των ζωντανών τρηματοφόρων στο σύνολο των μετρηθέντων ατόμων, για όλους τους σταθμούς και για τα βάθη 0-2 cm και 2-3 cm κυμάνθηκε από 5 έως 7,3%. Για το βάθος 3-4 cm το ποσοστό των ζωντανών στον σταθμό SP1 ανήλθε στα 3,9% ενώ στους υπόλοιπους σταθμούς κυμάνθηκε από 1,6 έως 1,2% σταδιακά μειούμενο προς τον SP6 (Εικόνα 5.1iii.).

Στα δείγματα που μελετήθηκαν, αναγνωρίσθηκαν 29 είδη βενθονικών τρηματοφόρων αλλά για την απεικόνιση τους σε μορφή διαγραμμάτων ορισμένα από αυτά ομαδοποιήθηκαν στις τάξεις και στα γένη στα οποία ανήκουν. Έτσι, για κάθε σταθμό, καθώς και για τα διαφορετικά βάθη δείγματος, υπολογίστηκαν οι σχετικές συναθροίσεις νεκρών και ζωντανών τρηματοφόρων, τριών τάξεων (agglutinants, milliolids, rotaliids), τεσσάρων γενών (Uvigerina spp., Buliminella spp., Bulimina spp., Bolivina spp.) και δύο ειδών (Elphidium complanatum, Ammonia tepida).



Εικόνα 5.2. Σχετικές συναθροίσεις των κύριων αντιπροσώπων βενθονικών τρηματοφόρων σε βάθος ιζήματος 0 – 2 cm στους σταθμούς SP1, SP3, SP4, SP5.

Στον σταθμό SP1 για τα 0-2 cm ως νεκρά επικρατούν τα milliolids, *A. tepida* και rotaliids, ενώ ως ζωντανά επικρατούν τα *Buliminella* spp., *A. tepida* και *Uvigerina* spp. Για τα 2-3 cm ως νεκρά επικρατούν τα milliolids, agglutinants, *Bolivina* spp. και *A. tepida* ενώ ως ζωντανά τα agglutinants και *Bulimina* spp. Για τα 3-4 cm ως νεκρά επικρατούν *A. tepida*, milliolids και *E. complanatum* ενώ ως ζωντανά τα milliolids και *Buliminella* spp.

Στον σταθμό SP3 για τα 0-2 cm ως νεκρά επικρατούν τα milliolids, agglutinants, rotaliids και *Uvigerina* spp. ενώ ως ζωντανά τα *Bulimina* spp., *Buliminella* spp., *Uvigerina* spp. και *Bolivina* spp. Για τα 3-4 cm ως νεκρά επικρατούν τα milliolids και agglutinants ενώ ως ζωντανά τα *Bulimina* spp., *Bolivina* spp. και agglutinants.

Στον σταθμό SP4 για τα 0-2 cm ως νεκρά επικρατούν τα rotaliids, Uvigerina spp., Bolivina spp. ενώ ως ζωντανά τα Bulimina spp., Bolivina spp., Uvigerina spp. και Buliminella spp. Για τα 2-3 cm ως νεκρά επικρατούν τα rotaliids και Uvigerina spp. ενώ ως ζωντανά τα Bulimina spp. και Uvigerina spp. Για τα 3-4 cm ως νεκρά επικρατούν τα Uvigerina spp., rotaliids και Bolivina spp. ενώ ως ζωντανά τα Bulimina spp., Bolivina spp., Uvigerina spp. και agglutinants.





Εικόνα 5.3. Σχετικές συναθροίσεις των κύριων αντιπροσώπων βενθονικών τρηματοφόρων σε βάθος ιζήματος 2 – 3 cm στους σταθμούς SP1, SP4, SP5.

Στον σταθμό SP5 για τα 0-2 cm ως νεκρά επικρατούν τα Uvigerina spp., rotaliids, Bolivina spp. και Bulimina spp. ενώ ως ζωντανά τα Bulimina spp., rotaliids, Bolivina spp. και agglutinants. Για τα 2-3 cm ως νεκρά επικρατούν τα rotaliids, Bolivina spp. και Bulimina spp. ενώ ως ζωντανά τα Bulimina spp., rotaliids και agglutinants.

Στον σταθμό SP6 για τα 0-2 cm ως νεκρά επικρατούν τα rotaliids, *Bolivina* spp. και *Bulimina* spp. ενώ ως ζωντανά τα *Bulimina* spp., *A. tepida* και *Uvigerina* spp. Για τα 3-4 cm ως νεκρά επικρατούν τα rotaliids, *Uvigerina* spp. και agglutinants ενώ ως ζωντανά τα *Bulimina* spp., *Uvigerina* spp. και agglutinants.



Εικόνα 5.4. Σχετικές συναθροίσεις των κύριων αντιπροσώπων βενθονικών σε βάθος ιζήματος 3-4 cm στους σταθμούς SP1, SP3, SP4, SP6.

Όσον αφορά τα δείγματα νερού, από την επιφάνεια της υδάτινης στήλης στον σταθμό SP3, μέσω της παρατήρησης στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, όπως προαναφέρθηκε, μετρήθηκαν και αναγνωρίσθηκαν 1.622 κοκκολιθοφόρα.

Από αυτά, τα 763 προσδιορίστηκαν στο είδος *Emiliania huxleyi*, τα 607 στο είδος *Gephyrocapsa oceanica*, τα 251 στο είδος *Helicosphaera carteri* και 1 κοκκόσφαιρα άνηκε στο είδος *Rabdosphaera clavigera*.

Το επικρατέστερο είδος της συνάθροισης είναι το *E. huxleyi*, με συγκεντρώσεις που έφτασαν το 49 x  $10^3$  (cells/l). Με μικρότερες αλλά σημαντικές συγκεντρώσεις συμμετέχουν στη συνάθροιση τα είδη *G. oceanica* (39 x  $10^3$  cells/l) και *H. carteri* (16 x  $10^3$  cells/l). Τέλος μικρές συγκεντρώσεις παρουσίασε το είδος *R. clavigera* (64 cells/l).



Εικόνα 5.2 Κοκκόσφαιρες του είδους Ε. huxleyi, δείγμα eh16 (αριστερά), δείγμα eh18 (δεξιά).



Εικόνα 5.3 Κοκκόσφαιρα του είδους G. oceanica.

Ταυτόχρονα με την καταμέτρηση και τον προσδιορισμό των κοκκολιθοφόρων λήφθηκαν και 20 φωτογραφίες από κοκκόσφαιρες του είδους *E. huxleyi* ώστε να αναλυθούν μέσω του προγράμματος ImageJ σύμφωνα με τη βιομετρική προσέγγιση των Young et al. (2014). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών παρουσιάζονται στον **Σφάλμα! Λανθασμένη αναφορά** σελιδοδείκτη στον εαυτό του.

photo	CS diam	DSL	DSW	elem num	Elem W	Tube width	relative tube w	rel.el. W
eh1	7.39	2.96	2.58	28	0.12	0.25	0.19379845	0.081081
eh2	7.56	3.31	2.58	30	0.1	0.19	0.147286822	0.060423
eh3	6	3.14	2.29	26	0.08	0.17	0.148471616	0.050955
eh4	7.63	3.77	2.7	33	0.11	0.19	0.140740741	0.058355
eh5	7.65	3.92	3.27	31	0.1	0.25	0.152905199	0.05102
eh6	7.96	3.42	3	31	0.11	0.23	0.153333333	0.064327
eh7	7.18	3.12	2.84	32	0.08	0.22	0.154929577	0.051282
eh8	7.73	3.12	2.53	29	0.1	0.19	0.150197628	0.064103
eh9	7.26	2.93	2.39	28	0.11	0.17	0.142259414	0.075085
eh10	6.03	3.03	2.5	32	0.1	0.19	0.152	0.066007
eh11	7.82	3.33	2.77	30	0.11	0.28	0.202166065	0.066066
eh12	7.2	2.68	2.15	25	0.11	0.13	0.120930233	0.08209
eh13	7.13	3.59	2.99	34	0.06	0.15	0.100334448	0.033426
eh14	6.71	3.59	2.77	32	0.1	0.2	0.144404332	0.05571
eh15	6.37	2.9	2.43	27	0.09	0.17	0.139917695	0.062069
eh16	6.1	3.14	2.71	27	0.1	0.17	0.125461255	0.063694
eh17	7.38	3.24	2.6	27	0.1	0.15	0.115384615	0.061728
eh18	6.78	3.8	3.03	36	0.12	0.22	0.145214521	0.063158
eh19	6.09	2.74	2.32	26	0.11	0.15	0.129310345	0.080292
eh20	5.57	2.81	2.27	26	0.09	0.17	0.149779736	0.064057

Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα βιομετρικών αναλύσεων σε 20 κοκκόσφαιρες και κοκκόλιθους του είδους *E.huxleyi*.

Οι μετρήσεις των κοκκολίθων παρουσίασαν τιμές που κυμαίνονταν από 0,1 έως και 0,2 μm για το σχετικό πλάτος των στοιχείων, φανερώνοντας μικρό βαθμό ασβεστοποίησης.

## 6 Συζήτηση

Η κατανομή και η εξάπλωση των βενθονικών τρηματοφόρων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι οι φυσικές μεταβλητές του νερού (θερμοκρασία, αλατότητα, pH, κ.α.). Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που είναι ευνοϊκές για κάποια γένη πολλές φορές διαφέρουν από αυτές που ευνοούν άλλα. Από τις αναλύσεις των φυσικών αυτών μεταβλητών ο Θερμαϊκός Κόλπος παρατηρήθηκε πως έχει αρκετά χαμηλή αλατότητα (Sal 22-25 psu) σε σύγκριση με το υπόλοιπο Αιγαίο (~38 psu) (Poulos et al., 1997), λόγω τις τροφοδοσίας σε γλυκά νερά από τους ποταμούς που εκβάλλουν σε αυτόν. Υψηλές τιμές χλωροφύλλης-α, (Chl-a) που έφθαναν έως και 9,5 μgr/L υπολογίστηκαν στον όρμο της Θεσσαλονίκης, μαρτυρώντας ευτροφικές συνθήκες. Οι υπόλοιπες μεταβλητές κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα ακόμα και το διαλυμένο οξυγόνο κάτι που δεν αποτελεί συχνό φαινόμενο καθώς τόσο επιβαρυμένα οικοσυστήματα στα οποία υπάρχει εισροή οργανικών υλικών, σπάνια είναι καλά οξυγονωμένα.

Η απόκριση των βενθονικών τρηματοφόρων, όταν πρόκειται για επιβαρυμένα οικοσυστήματα λόγω αστικών ή βιομηχανικών λυμάτων και αποστραγγίσεων που προέρχονται από γεωργικές δραστηριότητες, συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων ή άλλων τοξικών ουσιών, όπως στην περίπτωση του Θερμαϊκού Κόλπου, είναι σαφής και άμεση, καθώς αποτυπώνεται πρωταρχικά στη σύνθεση των συναθροίσεων. Σε διάφορες μελέτες, συγκεκριμένα γένη και είδη βενθονικών τρηματοφόρων έχουν χαρακτηρισθεί ως ανθεκτικά (opportunistic κατά Hallock et al., 2003 ή stress tolerant κατά Yanko et al.,1999 και Dimiza et al., 2016), καθώς επικρατούν έναντι άλλων σε υποβαθμισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, ενώ άλλα έχουν χαρακτηριστεί ως ευαίσθητα (stress sensitive) καθώς κατά την έκθεσή τους σε τέτοιες συνθήκες δεν μπορούν να επιβιώσουν.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα ανθεκτικών, ευρύαλων βενθονικών τρηματοφόρων αποτελούν τα γένη που φέρουν συμφυρματοπαγές κέλυφος (agglutinants), το γένος *Elphidium* καθώς και το γένος *Ammonia* (Sen Gupta, 1999).

Αρκετές μελέτες αναφέρονται εκτενώς στο Ammonia tepida ως ένα ανθεκτικό είδος, που φαίνεται να κυριαρχεί σε ρηχά θαλάσσια και παράκτια περιβάλλοντα, σε μεγάλο εύρος αλατότητας και θερμοκρασίας (Jorissen, 1988; Almogi-Labin et al., 1992; Coccioni, 2000; Melis and Violanti, 2006; Frontalini et al., 2009; Koukousioura et al., 2012). Επιπρόσθετα, το είδος *A. tepida* έχει αναφερθεί να επικρατεί σε περιοχές κοντά σε εκφορτίσεις βαρέων

μετάλλων (Yanko et al., 1992), λήμματα αποχετευτικού συστήματος (Seiglie, 1971; Koukousioura et al., 2011), χημικά και θερμικά απόβλητα (Seglie, 1975) και υπολείμματα λιπασμάτων (Setty, 1976).

Επίσης, τα γένη τρηματοφόρων με συμφυρματοπαγές κέλυφος (agglutinants) έχουν αναφερθεί να επικρατούν τόσο ως νεκρά όσο και ως ζωντανά σε περιοχές ρυπασμένες από οργανικό υλικό (π.χ., Zalesny, 1959; Resig, 1960; Watkins, 1961) καθώς και να αφθονούν κοντά σε περιοχές στις οποίες εκφορτίζονται οργανικά απόβλητα (Alve and Bernhard, 1995).

Αντίστοιχα, παραδείγματα ευαίσθητων βενθονικών τρηματοφόρων αποτελούν τα μικρά επιφυτικά είδη των rotaliids, καθώς και των miliolids (π.χ., Dimiza et al., 2016).

Τα μικρά rotaliids, που έχουν έντονη παρουσία στη Μεσόγειο, αποτελούν τυπικά είδη ρηχών θαλάσσιων περιβαλλόντων, τα οποία χαρακτηρίζονται από καλή οξυγόνωση, βλάστηση και πυθμένες με αδρομερή υλικά (Jorissen, 1987; Langer, 1988, 1993; Sgarrella and Moncharmont Zei, 1993; Frezza and Carboni, 2009; Barras et al., 2014). Αντίστοιχα τα miliolids αφθονούν σε αμμώδη, καλά οξυγονωμένα ιζήματα και δείχνουν μεγάλη ευαισθησία στην υπερβολική αύξηση της οργανικής ύλης (Bizon and Bizon, 1984; Jorissen, 1988; Schmiedl et al., 2003; Barras et al., 2014; Li et al., 2014).

Στην παρούσα εργασία τα ανθεκτικά γένη και είδη βενθονικών τρηματοφόρων που αναγνωρίστηκαν ήταν τα *Bulimina* spp., *Bolivina* spp., *Uvigerina* spp., agglutinants, *Elphidium* complanatum και Ammonia tepida ενώ τα ευαίσθητα ήταν τα miliolids και τα rotaliids.

Συγκεκριμένα, στο σταθμό SP1 (εσωτερικό τμήμα του κόλπου, όρμος Θεσσαλονίκης) (Εικόνα 4.1) από 0 έως 3 cm, στους πληθυσμούς των νεκρών επικρατούν τα ευαίσθητα γένη, ενώ στους πληθυσμούς των ζωντανών τα ανθεκτικά. Εξαίρεση αποτελεί το βάθος από 3 έως 4 cm όπου στα νεκρά άτομα επικρατεί το ανθεκτικά είδος *A. tepida*, ενώ στα ζωντανά επικρατούν τα ευαίσθητα miliolids. Στους σταθμούς SP3 και SP4 (κεντρικό τμήμα του εσωτερικού Θερμαϊκού) στα βάθη 0-2 cm και 3-4 cm στον πληθυσμό των νεκρών επικρατούν τα ευαίσθητα γένη, ενώ στον πληθυσμός των ζωντανών τα ανθεκτικά. Στο σταθμό SP5 από 0 έως 3 cm στον πληθυσμό των νεκρών επικρατούν τα ευαίσθητα γένη, ενώ στον πληθυσμό των χωντανών τα ανθεκτικά. Στο σταθμό SP5 από 0 έως 3 cm στον πληθυσμό των νεκρών και των ζωντανών ατόμων επικρατούν τα ανθεκτικά είδη των *Bulimina* και agglutinants, αλλά μαζί τους παρατηρείται έντονη παρουσία των ευαίσθητων επιφυτικών rotaliids και στους δύο πληθυσμούς. Τέλος στο σταθμό SP6 (εξωτερικό τμήμα του εσωτερικού Θερμαϊκού) στα βάθη 0-2 cm και 3-4 cm ως νεκρά επικρατούν τα ευαίσθητων επιφυτικών rotaliids και στους δύο πληθυσμούς. Τέλος στο σταθμό SP6 (εξωτερικό τμήμα του εσωτερικού Θερμαϊκού) στα βάθη 0-2 cm και 3-4 cm ως νεκρά επικρατούν τα ευαίσθητα γειφυτικών rotaliids ενώ ως ζωντανά τα ανθεκτικά *β* μο στο βάθη 0-2 cm και 3-4 cm ως νεκρά επικρατούν τα ευαίσθητα το εσωτερικού θερμαϊκού) στα βάθη 0-2 cm και 3-4 cm ως νεκρά επικρατούν τα ευαίσθητα γ

Γενικά η πυκνότητα των ζωντανών τρηματοφόρων παρουσιάζει μικρές τιμές, συγκριτικά με έναν επίσης ημίκλειστο επιβαρυμένο κόλπο όπως ο Σαρωνικός και συγκεκριμένα ο Κόλπος της Ελευσίνας (Dimiza et al., 2016), κάτι αναμενόμενο σε ένα περιβάλλον ευτροφικό (Schönfeld et al., 2012) όπως του Θερμαϊκού Κόλπου. Επίσης μικρά ήταν και τα ποσοστά των ζωντανών ατόμων σε σχέση με τα νεκρά συγκριτικά με άλλες μελέτες για την περιοχή του Αιγαίου (Dimiza et al., 2016; Koukousioura et al., 2012).

Γενικά, λοιπόν, παρατηρείται πώς στον εσωτερικό Θερμαϊκό κόλπο, στους πληθυσμούς των νεκρών βενθονικών τρηματοφόρων επικρατούν τα ευαίσθητα γένη, ενώ στους πληθυσμούς των ζωντανών τα ανθεκτικά. Είναι γνωστό πως κατά την έρευνα του συνόλου του πληθυσμού συσχετίζονται πληροφορίες που αφορούν τις συνθήκες που επικρατούν, για μία χρονική περίοδο ασαφή και πιθανά μεγαλύτερη (Alve and Nagy, 1986). Επίσης, παρόλο που στοιχεία του ρυθμού ιζηματογένεσης για τον εσωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο δεν είναι διαθέσιμα, εξαιτίας του μεταβαλλόμενου ρυθμού εισροής φερτών υλικών από τους ποταμούς που απορρέουν σε αυτόν, έγινε η υπόθεση ότι τα ανώτερα εκατοστά (0-4 cm) του επιφανειακού ιζήματος του πυθμένα που συλλέχθηκαν, αποτέθηκαν σε χρονική περίοδο που καλύπτει σίγουρα διάστημα κάποιων μηνών. Αντίθετα, η κατανομή μόνο της πανίδας των ζωντανών ατόμων αντικατοπτρίζει, σε αυτό το μικροενδιαίτημα, τις οικολογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες κατά το γρόνο της δειγματοληψίας (Buzas et al., 2002). Έτσι, γενικά ο κόλπος ενώ χαρακτηρίζεται από την παρουσία πολλών διαφορετικών ειδών (καλή οξυγόνωση), τα είδη αυτά είναι κυρίως τα ανθεκτικά στις ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, πιθανά εξαιτίας των ευτροφικών συνθηκών, της μειούμενης αλατότητας (εισροές γλυκέων υδάτων) και της εισροής οργανικής ύλης (εκφορτίσεις ποταμών) ή από το συνδυασμό όλων των παραπάνω παραγόντων.

Όσον αφορά τα κοκκολιθοφόρα η ποικιλότητα των ειδών και η παραγωγικότητα αποτελούν τις αποτελεσματικές παραμέτρους που οδηγούν στον προσδιορισμό της διακύμανσης μεταξύ σταθερών και διαταραγμένων περιβαλλόντων. Για παράδειγμα σε πολικές περιοχές ή σε ρηχές λεκάνες ή ακόμη και σε περιοχές με υψηλές ή ασυνήθιστα χαμηλές τιμές αλατότητας τα κοκκολιθοφόρα εμφανίζουν μεγάλη παραγωγικότητα αλλά με χαμηλή ποικιλότητα. Σε ευτροφικά και αυστηρώς ολιγοτροφικά περιβάλλοντα οι βιοκοινωνίες των κοκκολιθοφόρων χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη χαμηλή ποικιλότητα ενώ σε ενδιάμεσα και ολιγοτροφικά περιβάλλοντα χαρακτηρίζονται από σχετικά υψηλή και υψηλή ποικιλότητα αντίστοιχα (Τριανταφύλλου και Δήμιζα, 2012).

36

Στο δείγμα νερού που λήφθηκε από τον σταθμό SP3 αναγνωρίσθηκαν και μετρήθηκαν 1622 άτομα προερχόμενα κυρίως από τρία είδη, τα *E. huxleyi*, *G. oceanica* και *H. carteri*, και με πολύ μικρή συμμετοχή στη συνάθροιση του είδους *R. clavigera*. Ενώ λοιπόν η συνάθροιση των κοκκολιθοφόρων παρουσιάζει εξαιρετικά μικρή ποικιλότητα, οι συγκεντρώσεις των ειδών (*E. huxleyi* 49 x 10<sup>3</sup> cells/l, *G. oceanica* 39 x 10<sup>3</sup> cells/l, *H. carteri* 16 x 10<sup>3</sup> cells/l) είναι εξαιρετικά μεγαλύτερες σε σύγκριση με τον αντίστοιχα επιβαρυμένο ημίκλειστο Κόλπο της Ελευσίνας. Εκεί η ποικιλότητα ήταν πολύ μεγαλύτερη, αλλά η παραγωγικότητα πολύ μικρότερη με συγκεντρώσεις στα είδη *E. huxleyi* 17-20 x 10<sup>2</sup> cells/l, *G. oceanica* 1,9-2,9 x 10<sup>2</sup> cells/l και *H. carteri* 27,5-27,9 x 10<sup>2</sup> cells/l (Dimiza et al., 2014). Η υψηλή παραγωγικότητα των κοκκολιθοφόρων σε συνδυασμό με τη χαμηλή ποικιλότητα στον Θερμαϊκό Κόλπο αντανακλούν τις ευτροφικές και ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν, επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα των βενθονικών τρηματοφόρων.

Τέλος, σύμφωνα με τις βιομετρικές μετρήσεις στους κοκκόλιθους του είδους *E. huxleyi*, και συγκεκριμένα στο πλάτος των στοιχείων των κοκκόλιθων, φαίνεται πως πρόκειται για ελαφρά ασβεστοποιημένα άτομα. Οι τιμές του πλάτους των στοιχείων των κοκκόλιθων για τον Δεκέμβριο του 2015 κυμαίνονται από 0,1-0,2 μm, ενώ αντίθετα για τους χειμερινούς μήνες στο Αιγαίο πέλαγος παρατηρούνται ισχυρά ασβεστοποιημένα άτομα (Triantaphyllou et al., 2010b). Άτομα με αντίστοιχα ελαφρά ασβεστοποιημένα κελύφη όπως του εσωτερικού Θερμαϊκού Κόλπου έχουν βρεθεί στην Μαύρη Θάλασσα (Karatsolis et al., 2016). Οι παρατηρήσεις αυτές συμβάλλουν στη γνώση της εποχικότητας και βιογεωγραφίας των κοκκολιθοφόρων του Αιγαίου πελάγους.

### 7 Συμπεράσματα

Η μελέτη των βενθονικών τρηματοφόρων και κοκκολιθοφόρων που πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά στον εσωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο οδήγησε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Προσδιορίστηκαν 29 είδη βενθονικών τρηματοφόρων και τέσσερα είδη κοκκολιθοφόρων
- Οι φυσικές μεταβλητές (T, Sal, pH, DO, TDS, Secchi), παρουσιάζουν ομοιογένεια σε όλους τους σταθμούς με τις τιμές της αλατότητας να κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με το Αιγαίο πέλαγος, τις τιμές του οξυγόνου σε φυσιολογικά επίπεδα, ενώ οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι υψηλές εξαιτίας των εισροών των γλυκέων υδάτων αλλά ταυτόχρονα και φερτών υλικών των ποταμών που εκβάλλουν στον κόλπο.
- Οι τιμές της χλωροφύλλης-α (Chl-a) ήταν αρκετά υψηλές σε έναν τουλάχιστον σταθμό κατά την εποχή δειγματοληψίας, υποδηλώνοντας ευτροφικές συνθήκες στον κόλπο.
- Οι πυκνότητες των νεκρών τρηματοφόρων είναι πολύ μεγαλύτερες από τις πυκνότητες των ζωντανών. Οι πυκνότητες των ζωντανών τρηματοφόρων αλλά και τα ποσοστά των ζωντανών τρηματοφόρων στα μελετηθέντα δείγματα είναι μικρές σε σύγκριση με αντίστοιχων συνθηκών περιοχές του Αιγαίου, όπως ήταν αναμενόμενο σε ένα περιβάλλον με ευτροφικές συνθήκες.
- Στον εσωτερικό Θερμαϊκό κόλπο, στους πληθυσμούς των νεκρών βενθονικών τρηματοφόρων επικρατούν τα ευαίσθητα γένη, ενώ στους πληθυσμούς των ζωντανών τα ανθεκτικά. Γενικά ο κόλπος ενώ χαρακτηρίζεται από την παρουσία πολλών διαφορετικών ειδών (καλή οξυγόνωση), τα είδη αυτά είναι κυρίως τα ανθεκτικά στις ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, πιθανά εξαιτίας των ευτροφικών συνθηκών, της μειούμενης αλατότητας (εισροές γλυκέων υδάτων) και της εισροής οργανικής ύλης (εκφορτίσεις ποταμών) ή από το συνδυασμό όλων των παραπάνω παραγόντων.
- Ενώ η συνάθροιση των κοκκολιθοφόρων παρουσιάζει εξαιρετικά μικρή ποικιλότητα, οι συγκεντρώσεις των ειδών (*E. huxleyi* 49 x 10<sup>3</sup> cells/l, *G. oceanica* 39 x 10<sup>3</sup> cells/l, *H. carteri* 16 x 10<sup>3</sup> cells/l) είναι εξαιρετικά μεγαλύτερες σε σύγκριση με τον αντίστοιχα επιβαρυμένο ημίκλειστο Κόλπο της Ελευσίνας. Η υψηλή παραγωγικότητα των κοκκολιθοφόρων σε συνδυασμό με τη χαμηλή ποικιλότητα στον Θερμαϊκό Κόλπο αντανακλούν τις ευτροφικές και ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν, επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα των βενθονικών τρηματοφόρων.

- Όσον αφορά τον βαθμό ασβεστοποίησης του είδους Ε. huxleyi, τα κοκκολιθοφόρα του Θερμαϊκού Κόλπου κατά τον Δεκέμβριο του 2015 παρουσιάζουν περισσότερες ομοιότητες με τα κοκκολιθοφόρα της Μαύρης Θάλασσας κατά τους χειμερινούς μήνες, παρά με αυτά του Αιγαίου πελάγους.
- Τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας συμβάλλουν στη γνώση της εποχικότητας και βιογεωγραφίας των βενθονικών τρηματοφόρων και των κοκκολιθοφόρων του Αιγαίου πελάγους.

### Βιβλιογραφία

- 4675/B/29-12-17, ΦΕΚ. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΣΔΛΑΠ) του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας.
- Almogi-Labin, A., Perelis-Grossovicz, L., Raab, M., 1992. Living Ammonia from a hypersaline inland pool, Dead Sea area, Israel. Journal of Foraminiferal Research 22, 257-266.
- Alve, E., Nagy, J., 1986. Estuarine foraminiferal distribution in Sandebukta, a branch of the Oslo Fjord. *Journal of Foraminiferal Research* 16, 261-284.
- Alve, E., 1995. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution. *Journal of Foraminiferal Research* 25, 190-203.
- Alve, E., Bernhard, J.M., 1995. Vertical migratory response of benthic foraminifera to controlled oxygen concentrations in an experimental mesocosm. *Marine Ecology Progress Series* 116, 137-151.
- Anagnostou, Ch., Kaberi, H., Karageorgis, A., 1998. Horizontal and vertical distribution of heavy metals in sediments from Thermaikos Gulf. Agios Kosmas, 16604 Elliniko, Athens: National Centre of Marine Research.
- Armynot du Châtelet, A., Debenay, J.P., Soulard, R., 2004. Foraminiferal proxies for pollution monitoring in moderately polluted harbors. *Environmental pollution* 127(1), 27-40.
- Barras, C., Jorissen, F.J., Labrune, C., Andral, B., 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.
- Bizon, G., Bizon, J.J., 1984. Distribution des foraminifères sur le plateau continental aularge du Rhône. In: *Ecologie des Microorganismesen Méditerranée occidentale 'ECOMED'*, J.J. Bizon, P.F. Burollet eds., 84-94. Paris: Association Francaise des Techniciens du Pétrole (AFTP).
- Carboni, G.M., Bergamin, L., Di Bella, L., Esu, D., Pisegna Cerone, E., Antonioli, F., Verrubbi,
   V. 2010. Palaeoenvironmental reconstruction of late Quaternary fonaminifera and
   mollusks from the ENEA borehole (Versilian plain, Tuscany, Italy). *Quaternary Research* 74, 265-276.
- Christophoridis, C., Dedepsidis, D., Fytianos, K., 2009. Occurence 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.

- Coccioni, R., 2000. Benthic foraminifera as bioindicators of heavy metal pollution a case study from the Goro Lagoon (Italy). In: *Environmental Micropaleontology: The Application of Microfossils to Environmental Geology*, R.E. Martin, pp. 71-103. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Debenay, J.P., Tsakirides, E., Soulard, R., Grossel, H., 2001. Factors determining the distribution of foraminiferal assemblages in Port Joinville Harbor (Ile d' Yeu, France): the influence of pollution. *Marine Micropaleontology* 43, 75-118.
- Debenay, J.P., Pawlowski, J., Decrouez, D., 1996. Les Foraminifères actuels. 329 pp. Paris: Masson.
- Di Bella, L., Casieri, S., Carboni, G.M.. 2008. Late Quaternary paleoenvironmental reconstruction of the Tremiti structural high (Central Adriatic Sea) from benthic foraminiferal assemblages. *Geobios* 41, 729-742.
- Dimiza, M.D., Triantaphyllou, M.V., Malinverno, E., 2014. New evidence for the ecology of *Helicosphaera carteri* in polluted coastal environments (Elefsis Bay, Saronikos Gulf, Greece). Coccolithophores 2014, Abstracts, 38-43.
- Dimiza, M.D., Triantaphyllou, M.V., Koukousioura, O., Hallock, P., Simboura, N., Karageorgis, A.P., Papathanasiou, E., 2016. The Foram Stress Index: A new tool for environmental assessment of soft-bottom environments using benthic foraminifera. A case study from the Saronikos Gulf, Greece, Eastern Mediterranean. *Ecological Indicators* 60, 611-621.
- Douglas, R.G., 1973. Benthonic foraminiferal biostratigraphy in the central North Pacific, Leg 17, Deep Sea Drilling Project. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, XVII, 607-671.
- Fouache, E., Ghilardi, M., Vouvalidis, K., Syrides, G., Styllas, M., Kunesch, S., Stiros, S., 2008. Contribution of the Holocene Reconstruction of Thessaloniki Coastal Plain. *Journal of Coastal Research* 24(5), 1161-1173.
- Frezza, V., Carboni, M.G., 2009. Distribution of recent foraminiferal assemblages near the Ombrone River mouth (Northern Tyrrhenian Sea, Italy). *Revue de Micropaleontologie* 52, 43-66.
- Frontalini, F., Buosi, C., Da Pelo, S., Coccioni, R., Cherchi, A., Bucci, C., 2009. Benthic foraminifera as bio-indicators of trace element pollution in the heavily contaminated Santa Gilla lagoon (Cagliari, Italy). *Marine Pollution Bulletin* 58, 858-877.
- Hallock, P., 2000. Symbiont-bearing foraminifera: harbringers of global change. *Micropaleontology* 46, 95-104.

- Hallock, P., Lidz, B., Cockey-Burkhard, E.M., Donnelly, K.B., 2003. Foraminifera as Bioindicators in Coral Reef Assessment and Monitoring: The FORAM Index. *Environmental monitoring and assessment* 81, 38-221.
- Jorissen, F.J., 1988. Benthic foraminifera from the Adriatic Sea: principles of phenotypic variation. *Utrecht Micropaleontological Bulletin* 37, 1-174.
- Jorissen, F.J., 1987. The distribution of benthic foraminifera in the Adriatic Sea. Mar. *Micropaleontology* 12, 21-48.
- Jordan, R.W., Winter, A., 2000. Living microplankton assemblages off the coast of Puerto Rico during January-May 1995. *Marine Micropaleontology* 39, 113-130.
- Karatsolis, B.Th., Triantaphyllou, M.V., Dimiza, M.D., Malinverno, E., Lagaria, A., Mara, P.,
  Archontikis, O., Psarra, S., 2016. Coccolithophore assemblage response to Black Sea
  Water inflow into the North Aegean Sea (NE Mediterranean). *Continental Shelf Research*, Elsevier.
- Koukousioura, O., Dimiza, M.D., Triantaphyllou, M.V., Hallock, P., 2011. Living benthic foraminifera as an environmental proxy in coastal ecosystems: a case study from the Aegean Sea (Greece, NE. Mediterranean). *Journal of Marine Systems* 88(4), 489-501.
- Koukousioura, O., Triantaphyllou, M.V., Dimiza, M.D., Pavlopoulos, K., Syrides, G., Vouvalidis, K., 2012. Benthic foraminiferal evidence and Paleoenvironmental evolution of Holocene coastal plains in the Aegean Sea (Greece). *Quaternary International* 261, 105-117.
- Koukousioura, O., Georgiou, S., Triantaphyllou, M., Dimiza, M., Michailidis, I., Aidona, E., Seferlis, M., Christoforidis, C., Evgenakis, M., 2018. Living benthic foraminifera from Thermaikos Gulf, NW Aegean Sea. FORAMS 2018, 17-22 June, Edinburgh, Scotland.
- Koukousioura, O., Dimiza, M.D., Triantaphyllou, M.V., Michailidis, I., Dimou, V.G., Navrozidou, V., Seferlis, M., 2017. Winter-spring living coccolithophores from Thermaikos Gulf, NW Aegean Sea. *Journal of Nannoplankton Research*, INA16, Abstracts, v. 37, special issue, p. 100.
- Langer, M.R., 2008. Assessing the contribution of Foraminiferan protists to global ocean carbonate production. *Journal of Eukaryotic Microbiology* 55(3), 163-169.
- Langer, M.R., 1993. Epiphytic foraminifera. Marine Micropaleontology 20, 235-265.
- Langer, M.R., 1988. Recent epiphytic foraminifera from Vulcano (Mediterranean Sea). *Revue Paleobiologie* 2 (Special Volume), 827-832.
- Lee, J.J., 2006. Algal symbiosis in larger foraminifera. Symbiosis 42, 63-75.

- Lee, J.J., Faber, W.W.Jr., Anderson, O.R., Pawlowski, J., 1991. Life-cycles of foraminifera. In: *Biology of foraminifera*, J.J. Lee, O.R. Anderson eds., London, Academic Press, 285-334 pp.
- Leutenegger, S., 1984. Symbiosis in benthic foraminifera: specificity and host adaptation. Journal of Foraminiferal Research 14, 16-35.
- Li, T., Xiang, R., Li, T., 2014. Influence of trace metals in recent benthic foraminifera distribution in the Pearl River Estuary. *Marine Micropaleontology* 108, 13-27.
- Loubere, P., Fariduddin, M., 1999. Benthic Foraminifera and the flux of organic carbon to the seabed. In: *Modern Foraminifera*, B. Sen Gupta, Great Britain, Kluwer Academic Publishers, 181-199 pp.
- Malinverno, E., Dimiza, M.D., Triantaphyllou, M.V., Dermitzakis, M.D., Corselli, C., 2008. *Coccolithophores of the eastern Mediterranean Sea: a look into the marine world.* Athens: ION Publications.
- Melis, R., Violanti, D., 2006. Foraminiferal biodiversity and Holocene evolution of the Phetchaburi coastal area (Thailand Gulf). *Marine Micropaleontology* 61, 94-115.
- Murray, J.W., 1991. Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. Harlow: Longman.
- Ozcan, E., Less, G., Okay, I.A., Baldi-Beke, M., Kollanyi, K., Yilmaz, O., 2009. Stratigraphy and Larger Foraminifera of the Eocene shallow-marine and Olistostromal Units of the Southern part of the Thrace Basin, NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 19, 27-77.
- Pavlopoulos, K., Kapsimalis, V., Theodorakopoulou, K., Panagiotopoulos, I.P., 2011. Vertical displacement trends in the Aegean coastal zone (NE Mediterranean) during the Holocene assessed by geo-archaeological data. *The Holocene* 22(6), 717-728.
- Pavlopoulos, K., Koukousioura, O., Triantaphyllou, M., Vandarakis, D., Marion de Procé, S., Chondraki, V., Fouache, E., Kapsimalis, V., (in press). Geomorphological changes in the coastal area of Farasan Al-Kabir Island (Saudi Arabia) since mid Holocene based on a multi-proxy approach. *Quaternary International*.
- Poulos, S.E., Drakopoulos, P.G., Collins, M.B., 1997. Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean): an overview. *Journal of Marine Systems* 13, 225-244.
- Resig, J.M., 1960. Foraminiferal ecology around ocean outfalls off Southern California. In: *Waste Disposal in the Marine Environment*, London: Pergamon Press, 104-121.

- Saffert, H., Thomas, E., 1998. Living foraminifera and total populations in salt marsh peat cores: Kelsey Marsh (Clinton, CT) and the Great Marshes (Barnstable, MA). *Marine Micropaleontologie* 46, 111-130.
- Schmiedl, G., Mitschele, A., Beck, S., Emeis, K., Hemleben, C., Schulz, H., Sperling, M.,
   Weldeab, S., 2003. Benthic foraminiferal record of ecosystem variability in the eastern
   Mediterranean Sea during times of sapropel S5 and S6 deposition. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 190, 139-164.
- Schönfeld, J., Alve, E., Geslin, E., Jorissen, F., Korsun S., Spezzaferri, S., Abramovich, S., et al., 2012. The FOBIMO (FOraminiferal BIo-MOnitoring) initiative-Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*.
- Seiglie, G.A., 1975. Foraminifers Guayanilla Bay and their use as environmental indicators. *Revista Española de Micropaleontologia* 7, 453-487.
- Seiglie, G.A., 1971. A preliminary note on the relationships between foraminifers and pollution in two Puerto Rican bays. *Carribean Journal of Science* 11, 93-98.
- Sen Gupta, B.K., 1999. Foraminifera in marginal marine environments. In: *Modern Foraminifera*, B. Sen Gupta, Boston, Kluwer Academic Publishers, 141-159.
- Setty, M.G.A.P., 1976. The relative sensitivity of benthonic foraminifera in the polluted marine environment of Cola Bay, Goa. *Proceedings from the VI Indian Colloquium on Micropaleontology an Stratigraphy*, 225-234.
- Sgarrella, F., Moncharmont Zei, M., 1993. Benthic foraminifera of the Gulf of Naples. *Boll. Soc. Paleontol. Ital.* 32, 145-264.
- Triantaphyllou, M.V., Ziveri, P., Gogou, A., Marino, G., Lykousis, V., Bouloubassi, I., Emeis, K.C., et al., 2009. Late Glacial - Holocene climate variability at the south-eastern margin of the Aegean Sea. *Marine Geology* 266, 182-197.
- Triantaphyllou, M.V., Kouli, K., Tsourou, T., Koukousioura, O., Pavlopoulos, K., Dermitzakis, M.D., 2010a. Paleoenvironmental changes since 3000 BC in the coastal marsh of Vravron. *Quaternary International* 216, 14-22.
- Triantaphyllou, M.V., Dimiza, M.D., Krasakopoulou, E., Malinverno, E., Lianou, V., Souvermezoglou, E., 2010a. Seasonal control on *Emiliania huxleyi* coccolith morphology and calcification in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean). *Geobios* 43, 99-110.
- Triantaphyllou , M.V., Gogou, A., Dimiza, M.D., Kostopoulou, S., Parinos, C., Roussakis, G.,
  Geraga, M., et al., 2016. Holocene Climatic Optimum centennial-scale
  paleoceanography in the NE Aegean (Mediterranean Sea). *Geo Mar. Lett.* 36, 51-66.

- Vouvalidis, K., Syrides, G., Albanakis K.S., 2005. Holocene morphology of the Thessaloniki Bay: impact of sea-level rise. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 137, 147-158.
- Walton, W.R., 1952. Techniques for recognition of living foraminifera. *Contribution of Cushman Foundation for Foraminiferal Research* 3, 56-60.
- Watkins, J.G., 1961. Foraminiferal ecology around the Orange County, California, ocean sewer outfall. *Micropaleontology* 7, 199-206.
- Yanko, V., Flexer, A., Kress, N., Hornung, H., Kronfeld, J., 1992. Benthic foraminifera as indicators of heavy metal pollution in Israel's eastern Mediterranean margin. *Scientific Program and Abstracts*, 73-79.
- Yanko, V., Arnold, A.J., Parker, W.C., 1999. Effects of marine pollution on benthic foraminifera. In: *Modern Foraminifera*, B.K. Sen Gupta, Boston, MA, Kluwer Academic Publishers, 217-235.
- Young, J.R., Poulton, A.J., Tyrell, T., 2014. Morphology of *Emiliania huxleyi* coccoliths on the Northwestern European Shelf- is there an influence of carbonate chemistry? *Biogeosciences* 11, 4771-4782.
- Young, J.R., Geisen, M., Cros, L., Kleijne, A., Sprengel, C., Probert, I., Østergaard, J.B., 2003. A guide to extant calcareous nannoplankton taxonomy. J. Nannoplankton Res (Special issue 1), 1-125.
- Young, J.R., Kucera, M., Chung, H.W., 1996. Automated biometrics on captured light microscope images of coccoliths of Emiliania huxleyi. In: *Microfossils and oceanic environments*, A. Moguilevsky, R. Whatley, Aberystwyth Press, 261-277.
- Zalesny, E.R., 1959. Foraminiferal ecology of Santa Monica Bay, California. *Micropaleontology* 5, 101-126.
- Κουκουσιούρα, Ο., 2005. Μικροπαλαιοντολογική μελέτη των σύγχρονων βενθονικών τρηματοφόρων από τα θαλάσσια οικοσυστήματα της Ν.Άνδρου, και διερεύνηση του ρόλου τους ως νέων περιβαλλοντικών δεικτών. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, ΕΚΠΑ, Αθήνα.
- Μουντράκης, Δ.Μ., 2010. Γεωλογία και Γεωτεκτονική της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη, University Studio Press.
- Τριανταφύλλου, Μ.Β., Δήμιζα, Μ.Δ., 2012. Μικροπαλαιοντολογία και Γεωπεριβάλλον. Εκδοτικός Όμιλος Ίων.