

ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ-ΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ

**Κατανομή και απόκριση μεγέθους των σύγχρονων συναθροίσεων πλαγκτονικών
τρηματοφόρων στις υδρολογικές μεταβολές της Ανατολικής Μεσογείου**

ΧΡΥΣΑΝΘΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων: Κοντακιώτης Γεώργιος (Ε.ΔΙ.Π)

ΑΘΗΝΑ, 2020

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή
2. Ωκεανογραφική σύνθεση
3. Υλικό και μέθοδοι
 - 3.1 Ανάλυση συναθροίσεων κελυφών
 - 3.2 Ανάλυση μεγέθους
 - 3.2.1 Ισοδύναμη διάμετρος κύκλου (ECD)
4. Αποτελέσματα
 - 4.1 Μοτίβο βιογεωγραφικής κατανομής
 - 4.2 Μεταβολές των μεγεθών πληθυσμού
5. Συζήτηση
 - 5.1 Προτιμήσεις βάθους και περιβαλλοντικές παράμετροι: παράγοντες που ρυθμίζουν τις συναθροίσεις πλαγκτονικών οργανισμών στην Ανατολική Μεσόγειο
 - 5.2 Ανταπόκριση της κατανομής του μεγέθους των κελυφών των ειδών και προσαρμογή στα ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά που παρατηρούνται ανά περιοχή
 - 5.2.1 Ποιο είναι το αίτιο το οποίο προκαλεί την παρατηρούμενη ελάττωση του μέσου μεγέθους των πλαγκτονικών τρηματοφόρων συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους;
 - 5.2.1.1 Η μεταβολή του μεγέθους ως ρυθμιστικός μηχανισμός του βάθους
6. Συμπεράσματα
7. Βιβλιογραφική αναφορά

1. Εισαγωγή

Οι συναθροίσεις απολιθωμένων πλαγκτονικών τρηματοφόρων έχουν συσχετιστεί στενά με την μελέτη των συνθηκών των παλαιωκεανών και τη σχέση τους με τα κλιματικά δεδομένα (Kucera, 2007; Incarbona et al., 2013; Margaritelli et al., 2016, 2018; Antonarakou et al., 2019; Kontakiotis et al., 2019). Η κατανομή των πλαγκτονικών τρηματοφόρων θεωρείται πως επηρεάζεται από την διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών, τη θερμοκρασία, την αλατότητα, την θολότητα, το ηλιακό φως και τον ανταγωνισμό σε θηρευτική δραστηριότητα (Shiebel and Hemleben, 2017). Παρόλα αυτά, τα τρηματοφόρα δεν αντιδρούν στις περιβαλλοντικές αλλαγές, παρά μόνο με αλλαγές στην σχετική αφθονία τους, καθώς και σε αλλαγές στο μέγεθός τους ανά είδη. (Schmidt et al., 2004). Για αυτό τον λόγο η κατανόηση του θαλάσσιου οικοσυστήματος δεν είναι πλήρης όταν αυτό εξετάζεται μόνο σε επίπεδο ειδών (Des Roches et al., 2018). Στην παρούσα εργασία, για πρώτη φορά, αναφέρουμε την κατανομή μεγέθους των σύγχρονων συναθροίσεων πλαγκτονικών τρηματοφόρων κατά μήκος μιας τομής Βορρά – Νότου στην λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου.

Η Ανατολική Μεσόγειος θάλασσα (eMed) είναι ένα ιδιαίτερο κομμάτι του παγκόσμιου ωκεανού με εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες και αλατότητες οι οποίες ξεπερνιούνται μόνο στην Ερυθρά θάλασσα. Έτσι, χαρακτηρίζεται από ένα υποτροπικό κλίμα που είναι ευνοϊκό για θερμόφιλους και αλλόφυλα είδη πλαγκτονικών τρηματοφόρων, και κατ' επέκταση οι συναθροίσεις αυτές αποτελούνται από υποτροπικά στοιχεία (Thunell, 1978). Η Ανατολική Μεσόγειος στο βόρειο τμήμα της είναι μεσοτροφική, ενώ προς το νότιο χαρακτηρίζεται εξαιρετικά ολιγοτροφική (Ignatiades, 2005; Kress et al., 2014) και πλήρως εξαντλημένη σε φωσφορικά άλατα (Krom et al., 1991). Η χαμηλή συγκέντρωση σε θρεπτικά συστατικά οφείλεται στον συνδυασμό της σχετικά μικρής ηλικίας των μαζών νερού και της ασυνήθιστης αντίθετης κυκλοφορίας νερού, στην οποία νερά πτωχά σε θρεπτικά συστατικά ρέουν μέσα από τα στενά της Σικελίας ενώ νερά εμπλουτισμένα σε θρεπτικά συστατικά ρέουν προς τα έξω (Krom et al., 2014).

Υπάρχουν μόνο μερικές έρευνες που αναφέρουν την αφθονία πλαγκτονικών τρηματοφόρων στο Βόρειο και Κεντρικό Αιγαίο πέλαγος (Parker, 1995; Thunell), ενώ η πλειονότητα των ερευνών έχουν επικεντρωθεί στη θάλασσα της Λεβαντίνης και στη νότια λεκάνη του Αιγαίου

(Cifelli, 1974; Pujol and Grazzini, 1995; Mallo et al., 2017). Ωστόσο, δεν υπάρχουν καθόλου πληροφορίες για το φάσμα του μεγέθους των συναθροίσεων αυτών. Τα μεγέθη των κελυφών των πλαγκτονικών τρηματοφόρων ποικίλουν λόγω διάφορων περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η διαστρωμάτωση, η πρωτογενής παραγωγικότητα ή διαθεσιμότητα σε θρεπτικά συστατικά (Bé et al., 1973; Hecht, 1976; Schmidt et al., 2004). Εκτός από την οικολογική σκοπιά, μεταβολές μεγέθους σε αυτούς τους οργανισμούς μπορούν να επηρεάσουν παγκόσμιους βιογεωχημικούς κύκλους, καθώς το θαλάσσιο μικροπλαγκτόν συνεισφέρει κατά μεγάλο ποσοστό στην ροή ανόργανων ανθρακικών σωματιδίων στην θάλασσα (Schmidt et al., 2006).

Τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα συνεισφέρουν στην βιολογική ανθρακική καθίζηση (Schiebel, 2002), καταναλώνοντας οργανικό άνθρακα, ρυθμίζοντας τον ανόργανο και οργανικό άνθρακα και αποβάλλοντας και τα δύο στην στήλη του νερού κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας καθώς και στην ιζηματογενή απόθεση (Milliman, 1993; Schiebel and Movellan, 2012). Η ποικιλία στο μέγεθος τους επηρεάζει την παραγωγή ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Έτσι, ταυτόχρονη μελέτη της αφθονίας είδους και του μεγέθους είναι απαραίτητη για να κατανοήσουμε καλύτερα την ανθρακική ιζηματογένεση της Μεσογείου. Επιπλέον, η μεταβολή του μεγέθους στα πλαγκτονικά τρηματοφόρα έχει καταγραφεί ανάμεσα σε συγκεκριμένα είδη τόσο σε παλαιότερα όσο και σε πιο πρόσφατα θαλάσσια κυρίως παράκτια οικοσυστήματα της Μεσογείου (Brachert et al., 2015; Corbi and Soria, 2016; Corbi et al., 2016; Antonarakou et al., 2018). Τέτοιες μορφολογικές ανωμαλίες (πχ ανώμαλα ή παραμορφωμένα κελύφη, δίδυμα ή/και νανομορφές) έχουν συσχετιστεί με στρεσογόνες περιβαλλοντικές συνθήκες, στενά συνδεδεμένα με την αυξημένη αλατότητα, ολιγοτροφική και εξαντλημένη από οξυγόνο φύση της θαλάσσιας στήλης της Μεσογείου. Συνολικά, η καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων των στρεσογόνων συνθηκών στη φυσιολογία του θαλάσσιου πλαγκτόν και στη λειτουργία του ευρύτερου οικοσυστήματος κρίνεται ως επιτακτική. Σχετικά με αυτό, η παρούσα μελέτη έχει ως σκοπό την αναγνώριση της σχέσης, εάν υφίσταται, μεταξύ του μεγέθους, τη μεταβολή του γεωγραφικού πλάτους και των περιβαλλοντικών παραμέτρων στα ιζήματα της Ανατολικής Μεσογείου.

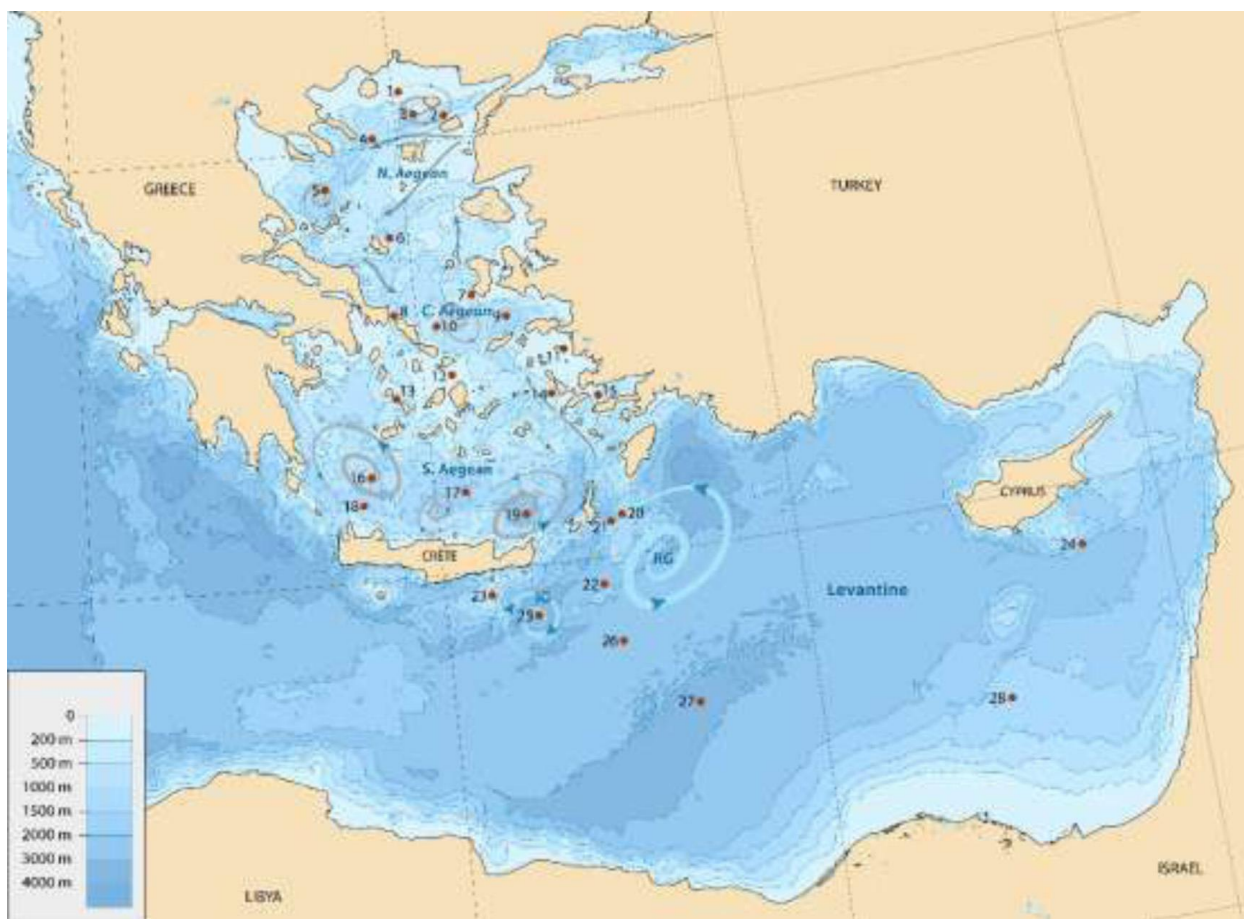
2. Ωκεανογραφικό καθεστώς

Το Αιγαίο Πέλαγος προς τα βόρεια και η Θάλασσα της Λεβαντίνης προς τα νότια συνιστούν το ανατολικότερο τμήμα της Μεσογείου Θάλασσας (Εικόνα 1). Το Αιγαίο Πέλαγος διαιρείται σε δυο διακριτές περιοχές: (α) το Βόρειο Αιγαίο το οποίο εμφανίζει μια μεταβολή όσον αφορά το υποθαλάσσιο οροπέδιο και τις βαθιές υποθαλάσσιες αύλακες, ενώ δέχεται ποσότητες νερού προερχόμενες από την Μαύρη Θάλασσα και (β) το Νότιο Αιγαίο το οποίο χαρακτηρίζεται από την παρουσία του υποθαλάσσιου Υβώματος των Κυκλάδων (Cyclades plateau) και την βαθιά Κρητική Λεκάνη. Το Νότιο Αιγαίο επικοινωνεί με την Θάλασσα της Λεβαντίνης μέσω των ανατολικών στενών του Κρητικού Τόξου. Η γενική κυκλοφορία του νερού εντός του Αιγαίου Πελάγους παρουσιάζει κυκλωνική μορφή: οι μεγάλες ποσότητες νερού υψηλής αλατότητας ($S > 38.8\%$) προερχόμενες από την Θάλασσα της Λεβαντίνης οι οποίες κυριαρχούν στο Νότιο Αιγαίο ταξιδεύουν με κατεύθυνση προς Βορρά και παράλληλα ως προς τον προσανατολισμό των δυτικών ακτών της Τουρκίας (Theocharis et al., 1999). Στο βορειοανατολικό Αιγαίο σχηματίζεται ένα επιφανειακό στρώμα νερού αρκετά ελαφρύ και υφάλμυρο ($S < 30\%$) λόγω της εισροής μιας ποσότητας τροποποιημένου Νερού της Μαύρης Θάλασσας (Black Sea Water - BSW) διαμέσου των Στενών των Δαρδανελίων. Η παρουσία της συγκεκριμένης υδάτινης μάζας επηρεάζει το ανώτατο στρώμα (20-30 m) της υδάτινης στήλης του Βόρειου Αιγαίου (Theocharis and Georgoroulos, 1993) ενώ τα χαρακτηριστικά της πρώτης μεταβάλλονται καθώς αυτή κινείται τόσο προς τα δυτικά όσο και προς νότια λόγω της πλευρικής ανάμειξης που συντελείται με τις ποσότητες νερού που προέρχονται από την Θάλασσα της Λεβαντίνης. Τα χαρακτηριστικά των τελευταίων ποσοτήτων ύδατος επίσης μεταβάλλονται εμφανίζοντας τιμές αλατότητας που αντιστοιχούν σε 38‰ λόγω της υπερκείμενης υδάτινης μάζας προερχόμενη από τη Μαύρη Θάλασσα. Οι εν λόγω ποσότητες νερού κινούνται με κατεύθυνση προς νότια και παράλληλα ως προς τον προσανατολισμό των ανατολικών ακτών της Ελληνικής Χερσονήσου έως ότου εισέλθουν τελικά στο Νότιο Αιγαίο και το Κρητικό Πέλαγος (Stergiou et al., 1997).

Η Λεκάνη της Λεβαντίνης αποτελεί την δεύτερη μεγαλύτερη λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου εμφανίζοντας μια έκταση που αντιστοιχεί στο 15% της συνολικής επιφάνειας της συγκεκριμένης θάλασσας όμως παρουσιάζει αρκετά χαμηλές τιμές βιολογικής παραγωγικότητας (Azon, 1991). Στη στήλη του νερού της παραπάνω λεκάνης εντοπίζεται η παρουσία δυο υδάτινων μαζών ιδιαίτερης σημασίας. Η πρώτη είναι το Ενδιάμεσο υδάτινη μάζα της Λεβαντίνης (Levantine Intermediate Water - LIW) η οποία επηρεάζει ολόκληρη την Μεσόγειο Θάλασσα. Η παραπάνω υδάτινη μάζα σχηματίζεται τοπικά κυρίως στο βορειότερο τμήμα της Θάλασσας της Λεβαντίνης και στην περιφέρεια δράσης του περιστροφικού ρεύματος (gyre) της Ρόδου (Nittis and Lascaratos, 1999). Σε γενικές γραμμές, η εν λόγω λεκάνη συνιστά μια περιοχή όπου συντελείται συγκλίνουσα ροή επιφανειακού νερού υψηλής αλατότητας και καταβύθιση του τελευταίου με την ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή προς τα μεγαλύτερα βάθη. Μόλις σχηματιστεί το Ενδιάμεσο Νερό της Λεβαντίνης ξεκινάει η ροή του προς την αντίθετη κατεύθυνση μεταφέροντας ποσότητες ύδατος πλούσιες σε θρεπτικά συστατικά προς τον Ατλαντικό Ωκεανό. Το Ατλαντικό Νερό (Atlantic Water - AW) το οποίο εισέρχεται στη Μεσόγειο Θάλασσα διαμέσου των Στενών του Γιβραλτάρ προκειμένου να εξισορροπηθεί το έλλειμμα μάζας της τελευταίας αποτελεί την δεύτερη υδάτινη μάζα που παρουσιάζει ιδιαίτερη σημασία. Το νερό που εισέρχεται στη Μεσόγειο Θάλασσα προερχόμενο από τον Ατλαντικό κινείται στην συνέχεια εμφανίζοντας σε γενικές γραμμές χαρακτηριστικά αριστερόστροφης κυκλοφορίας και σχηματίζοντας κυκλωνικά περιστροφικά ρεύματα πάνω από τις επιμέρους λεκάνες τόσο του ανατολικού όσο και του δυτικού τμήματος της Βόρειας Λεκάνης της Λεβαντίνης (Ozsoy et al., 1989). Τα συγκεκριμένα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά που μόλις επισημάνθηκαν τείνουν να εξασθενήσουν την επίδραση οποιασδήποτε εισροής ποσότητας θρεπτικών συστατικών προερχόμενης είτε από την ατμόσφαιρα είτε από περιβάλλον υφαλοκρηπίδας διότι οι διάφορες απορροές ύδατος χερσογενούς προέλευσης και υψηλής περιεκτικότητας σε θρεπτικά συστατικά είναι αρκετά μικρές ενώ η υφαλοκρηπίδα εντός της οποίας καθίσταται αποτελεσματική η βενθική - πελαγική σύζευξη προκειμένου να συμβεί η ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών συνίσταται από μια ζώνη αρκετά στενού πλάτους (Salihoglu et al., 1990). Συνεπώς, οι λόγοι που οδηγούν στις χαμηλές τιμές βιολογικής παραγωγικότητας της συγκεκριμένης περιοχής είναι η έλλειψη θέσεων έντονης ανάβλυσης του

νερού και οι σχετικά μικρές ποσότητες ύδατος προερχόμενου από την ξηρά οι οποίες εκφορτίζονται στον συγκεκριμένο θαλάσσιο χώρο με αποτέλεσμα τις χαμηλές συγκεντρώσεις σε θρεπτικά συστατικά εντός της εύρωτης ζώνης.

Παρόλο το γεγονός ότι η Ανατολική Μεσόγειος μπορεί να χαρακτηριστεί στο σύνολό της ως ένα oligοτροφικό περιβάλλον, το Αιγαίο Πέλαγος εμφανίζει σημαντική μεταβλητότητα ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος αναφοράς. Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών και η αφθονία του πλαγκτόν παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές στις περιοχές που συναντώνται στο Βόρειο - Βορειοδυτικό Αιγαίο συγκριτικά με τις αντίστοιχες περιοχές του Νότιου - Νοτιοδυτικού Αιγαίου (Stergiou et al., 1997, Lykousis et al., 2002).



Εικόνα 1: Βαθυμετρικός χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου στον οποίο φαίνεται η θέση του πυρήνα δειγματοληψίας που εξετάστηκε μαζί με τα κύρια μοτίβα της κυκλοφορίας του επιφανειακού νερού (βέλη), κυκλωνικά και αντικυκλωνικά ρεύματα στην θάλασσα της Λεβαντίνης και τα σχετικά ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά του Αιγαίου (Lykousis et al., 2002; Olson et al., 2007). RG: κυκλωνικό

περιστροφικό ρεύμα της Ρόδου που προκαλεί ανάβλυση επιφανειακού νερού, IG: περιστροφικό αντικυκλωνικό ρεύμα της Ιεράπετρας που προκαλεί κατάβλυση επιφανειακού νερού. Συγκεκριμένες θέσεις των σημείων δειγματοληψίας βρίσκονται στον Πίνακα 1.

Αφ' ετέρου, η κεντρική μάζα ύδατος που υπέρκειται της Λεκάνης της Λεβαντίνης (νοτιοανατολικό τμήμα της Θάλασσας της Λεβαντίνης) εμφανίζει χαρακτηριστική στρωμάτωση, υπερ-ολιγοτροφικές συνθήκες, έντονη εξάτμιση και περιορισμένη εισροή γλυκού νερού από την χέρσο (Bethoux et al., 1999, Kress et al., 2014). Τα βαθιά νερά της Λεβαντίνης είναι φτωχά σε θρεπτικά συστατικά εξαιτίας των περιορισμένων εξωτερικών εισροών με αποδέκτη το επιφανειακό υδάτινο στρώμα. Επομένως, η πρωτογενής παραγωγικότητα στην εν λόγω περιοχή εξαρτάται από την συντελούμενη μεταφορά των θρεπτικών συστατικών από τα βαθύτερα στρώματα μέσω της κατακόρυφης ανάμειξης των υδάτων (Yacobi et al., 1995). Έχει πλέον διαπιστωθεί ότι αρκετά περιστροφικά ρεύματα κυκλωνικής και αντικυκλωνικής κυκλοφορίας επηρεάζουν την κατανομή των θρεπτικών συστατικών στην περιοχή, ωστόσο, η στρωμάτωση της υδάτινης στήλης όσον αφορά την θερμότητα η οποία συμβαίνει κατά τους θερινούς μήνες και εντοπίζεται σε εύρος βάθους 50-100 m (Ozsoy et al., 1989, Theocharis et al., 1993) αποτρέπει την παροχή θρεπτικών συστατικών από τα βαθύτερα στρώματα προς τα επιφανειακά ύδατα. Κατά την χειμερινή περίοδο, οι διεργασίες που συσχετίζονται με την κατακόρυφη ανάμειξη του νερού εμπλουτίζουν την ευφωτική ζώνη με θρεπτικά συστατικά. Συνεπώς, στις περιοχές όπου συμβαίνει κυκλωνική κυκλοφορία του νερού και το θρεπτοκλινές (nutricline) ανέρχεται πλησιάζοντας την βάση της ευφωτικής ζώνης, η βιομάζα του φυτοπλαγκτόν και η πρωτογενής παραγωγικότητα παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές συγκριτικά με αυτές που αντιστοιχούν στις περιοχές αντικυκλωνικής κυκλοφορίας, όπου το θερμοκλινές συναντάται σε μεγαλύτερα βάθη περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο την εισροή θρεπτικών συστατικών στα επιφανειακά ύδατα σε όλη την διάρκεια ανάμειξης του νερού κατά την χειμερινή περίοδο (Salihoglu et al., 1990, Souvermezoglou and Krasakoroulou, 1999).

Οι μέσες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης α (Chl - a) στην εύφωτη ζώνη (από την επιφάνεια έως το βάθος των 100 - 110 m) της συγκεκριμένης περιοχής εμφανίζουν συνήθως αρκετά χαμηλές τιμές, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για το βόρειο τμήμα της Θάλασσας της Λεβαντίνης είναι

συγκρίσιμες με αυτές που αντιπροσωπεύουν το Κρητικό Πέλαγος (Siokou-Frangou et al., 1999). Οι παραπάνω χαμηλές τιμές χλωροφύλλης α που αφορούν την Λεκάνη της Λεβαντίνης οφείλονται στις εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις των φωσφορικών αλάτων ειδικά εντός της ευφωτικής ζώνης (Azon, 1991, Krom et al., 1993). Το Βαθύ Μέγιστο της Χλωροφύλλης (Deep Chlorophyll Maximum - DCM) συνήθως παρατηρείται περίπου στα 50 m βάθος ή λίγο χαμηλότερα στο Αιγαίο Πέλαγος και το βόρειο τμήμα της Θάλασσας της Λεβαντίνης κατά την θερινή περίοδο στην οποία συμβαίνει η στρωμάτωση του νερού, όμως η δημιουργία του πρώτου δεν οφείλεται μόνο στην ένταση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών στην ευφωτική ζώνη οι οποίες διαμορφώνονται λόγω της παρουσίας των κυκλωνικών και αντικυκλωνικών περιστροφικών ρευμάτων (Siokou-Frangou et al., 1999, Lykousis et al., 2002, Maar et al., 2003). Το Βαθύ Μέγιστο της Χλωροφύλλης εντοπίζεται σε μεγαλύτερο εύρος βάθους και πιο κοντά στην επιφάνεια όταν επικρατούν χειμερινές - εαρινές συνθήκες στην υδάτινη στήλη (Ediger and Yilmaz, 1996) αντί για θερινές - φθινοπωρινές συνθήκες κατά τις οποίες συμβαίνει η στρωμάτωση του νερού (Berland et al., 1988). Το DCM σχηματίζεται συνήθως σε μικρότερα βάθη (28 - 75 m) εντός πεδίων στα οποία επικρατούν κυκλωνικές δίνες όπως είναι για παράδειγμα ο κυκλώνας της Ρόδου όπου το Βαθύ Μέγιστο της Χλωροφύλλης εντοπίζεται στο ίδιο βάθος με το θρεπτοκλινές (Ediger and Yilmaz, 1996). Αντίθετα, σε περιοχές όπου επικρατούν αντικυκλωνικά περιστροφικά ρεύματα όπως είναι για παράδειγμα αυτό της Ιεράπετρας που συναντάται στο βορειοδυτικό τμήμα της Λεκάνης της Λεβαντίνης, το Βαθύ Μέγιστο της Χλωροφύλλης εντοπίζεται σε γενικές γραμμές σε μεγαλύτερα βάθη (77 - 100 m) στη βάση της ευφωτικής ζώνης ή χαμηλότερα, αλλά ωστόσο πιο ψηλά από την θέση όπου βρίσκεται το θρεπτοκλινές καταγράφοντας σχετικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης -α (Siokou-Frangou et al., 1999).

3. Υλικό και μέθοδοι

Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την μελέτη περιλαμβάνουν μια συλλογή από τα ανώτατα τμήματα (0 - 2 cm) 28 πυρήνων οι οποίοι συλλέχθηκαν κατά την διάρκεια διαφόρων ερευνητικών αποστολών επιτρέποντας τον σχεδιασμό μιας τομής διεύθυνσης Βορρά - Νότου κατά μήκος της Ανατολικής Μεσογείου που ξεκινάει από το Βόρειο Αιγαίο και φτάνει έως την Θάλασσα της Λεβαντίνης εμφανίζοντας ένα εύρος βάθους από 119 μέχρι 3621 m (Πίνακας 1). Για περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τις ερευνητικές αποστολές και τις μεθόδους δειγματοληψίας γίνεται αναφορά στις δημοσιευμένες εργασίες των Kontakiotis et al. (2011, 2017) και Antonarakou et al. (2018). Οι θέσεις δειγματοληψίας επιλέχθηκαν με βάση τα κυριότερα αντιπροσωπευτικά χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας στις υπολεκάνες του Αιγαίου και την επίδραση που ασκεί το Ενδιάμεσο υδάτινο στρώμα της Λεβαντίνης και αυτό της Μαύρης Θάλασσας. Τα ανώτερα τμήματα των πυρήνων που συλλέχθηκαν από την Ανατολική Μεσόγειο και αναλύθηκαν επιλέχθηκαν με στρατηγικό τρόπο ώστε να ελεγχθεί η ευαισθησία των διάφορων περιβαλλοντικών παραμέτρων και να εκτιμηθεί κατά συνέπεια η προσαρμοστικότητα καθενός είδους στα διάφορα περιβαλλοντικά καθεστώτα συμπεριλαμβανομένων των μεταβολών όσον αφορά το κλάσμα μεγέθους (Εικόνα 1). Η πλειονότητα των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη είναι δείγματα καθένα εκ των οποίων συνίσταται από πολλούς πυρήνες που επηρεάστηκαν ελάχιστα από τις διεργασίες βιοαναμόχλευσης. Όλα τα ανώτερα τμήματα των πυρήνων χρονολογήθηκαν ότι ανήκουν σε σύγχρονες συνθήκες και αντιπροσωπεύουν ένα ολοκληρωμένο αρχείο καταγραφής που αντιστοιχεί σε 100 έως και μερικές χιλιάδες χρόνια ανάλογα με την θέση από την οποία συλλέχθηκε ο εκάστοτε πυρήνας (Kontakiotis et al., 2011). Η παρουσία αναλλοίωτων δειγμάτων από μικροσκοπικά είδη τα οποία έχουν κελύφη με μικρά τοιχώματα (π.χ. *Turborotalita quinqueloba*, *Globigerinita glutinata*) επιβεβαιώνει την πρόσφατη ηλικία του υλικού που αναλύθηκε ενώ υποδηλώνει την εξαιρετική διατήρηση των δειγμάτων και την δυνατότητα διατήρησης του άνθρακα εντός των λεκανών της Ανατολικής Μεσογείου, γεγονός το οποίο ενδεχομένως αποδεικνύει ότι οι εν λόγω συναθροίσεις κελυφών δεν επηρεάζονται έντονα από την διάλυση. Προκειμένου να εξεταστεί η συσχέτιση ανάμεσα στις συναθροίσεις

κελυφών των διαφόρων ειδών, τις κατανομές των μεγεθών τους και τα ωκεανογραφικά δεδομένα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις πολλαπλής παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας το μοντέλο Reduced Major Axis για βαθμούς ελευθερίας $n - 1$ (το n αντιπροσωπεύει το μέγεθος του δείγματος).

Λεκάνες	Αρ. Δείγματος	Γεωγ. Μήκος	Γεωγ. Πλάτος	Βάθος (m)	Τύπος πυρήνα
B. Αιγαίο	1. MNB 6	25.13	40.59	152	Multicore
B. Αιγαίο	2. MNB 5	25.75	40.25	520	Multicore
B. Αιγαίο	3. M51- 3#602	25.24	40.22	1466	Multicore
B. Αιγαίο	4. M51- 3#601	24.61	40.09	977	Multicore
B. Αιγαίο	5. M71- 3#SK 01	23.80	39.56	1267	Multicore
K. Αιγαίο	6. M51- 3#596	24.75	38.95	884	Gravity Core
K. Αιγαίο	7. C 38	25.83	38.21	191	Gravity Core
K. Αιγαίο	8. C 6	24.53	38.07	311	Gravity Core
K. Αιγαίο	9. M51- 3#594	26.22	37.90	991	Gravity Core
K. Αιγαίο	10. C 18	25.21	37.86	257	Gravity Core
K. Αιγαίο	11. Core 1	27.06	37.44	192	Gravity Core
N. Αιγαίο	12. Core 20	25.42	37.29	119	Gravity Core
N. Αιγαίο	13. Core 28	24.59	37.08	422	Gravity Core
N. Αιγαίο	14. M22-103	26.75	36.90	395	Gravity Core
N. Αιγαίο	15. NS 40	27.47	36.88	1078	Gravity Core

N. Αιγαίο	16. MSB 4	24.11	36.25	914	Multicore
N. Αιγαίο	17. M40- 4#65	25.56	36.15	831	Multicore
N. Αιγαίο	18. MSB 3	23.90	35.95	1194	Multicore
N. Αιγαίο	19. MSB 7	26.22	35.67	2273	Multicore
N. Αιγαίο	20. M71- 3#Rho 02	27.70	35.62	1304	Multicore
N. Αιγαίο	21. M51- 3#578	27.58	35.49	1366	Multicore
Λεβαντίνη	22. M40- 4#67	27.30	34.82	2158	Multicore
Λεβαντίνη	23. M51- 3#566	25.67	34.47	1338	Multicore
Λεβαντίνη	24. M51- 3#574	33.86	34.45	1171	Multicore
Λεβαντίνη	25. M71- 3#Ier 01	26.19	34.44	3621	Multicore
Λεβαντίνη	26. M71- 3#Her 01	27.74	33.92	2498	Multicore
Λεβαντίνη	27. M71- 3#Her 03	29.00	33.67	3084	Multicore
Λεβαντίνη	28. M51- 3#571	34.10	32.65	1465	Multicore

Πίνακας 1. Λίστα δειγμάτων, της θέσης τους, το βάθος και η μέθοδος δειγματοληψίας.

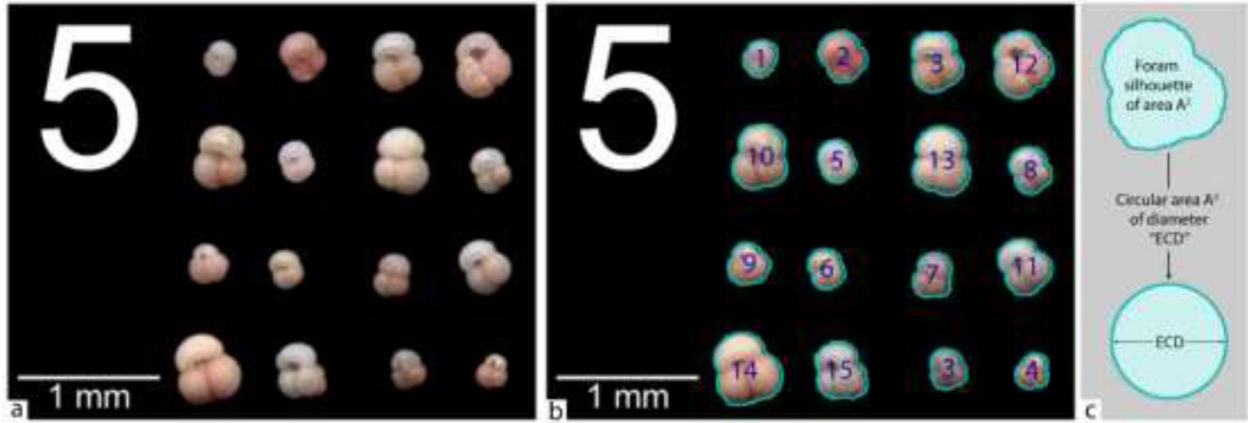
3.1 Ανάλυση συναθροίσεων κελυφών

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια λεπτομερής ποσοτική μικροπαλαιοντολογική ανάλυση επιλέχθηκαν δείγματα βάρους 3 g που εμπεριείχαν πλαγκτονικά τρηματοφόρα από ξηραμένα θαλάσσια ιζήματα τα οποία συλλέχθηκαν από τα ανώτερα 1 - 2 εκατοστά του εκάστοτε πυρήνα. Καθένα από τα δείγματα διαχωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα μέσω μιας ασθενούς διάλυσης του υπεροξειδίου του υδρογόνου, στη συνέχεια υποβλήθηκε σε υγρό κοσκίνισμα χρησιμοποιώντας κόσκινο 63 μm και αφέθηκε να στεγνώσει σε θερμοκρασία 50 °C κατά τις νυχτερινές ώρες. Τα ξηρά υπολείμματα κοσκινίστηκαν με την χρήση κόσκινου 125 μm και διαχωρίστηκαν εκ νέου χρησιμοποιώντας ένα μικροδιαχωριστή Otto σε επιμέρους κλάσματα που περιλάμβαναν τουλάχιστον 300 είδη πλαγκτονικών τρηματοφόρων τα οποία προσδιορίστηκαν μέσω της ταξινόμησης κατά Hemleben et al. (1989), Darling et al. (2003) και Andre et al. (2014). Ο αριθμός των πλαγκτονικών τρηματοφόρων που προσμετρήθηκαν είναι αξιόπιστος από στατιστικής άποψης ώστε να γίνει παλαιωκεανογραφική και παλαιοκλιματική ανασύσταση (Patterson and Fishbein, 1989). Έπειτα πραγματοποιήθηκε η μετατροπή των ανεπεξέργαστων δεδομένων σε ποσοστά επί της συνολικής αφθονίας ενώ σχεδιάστηκαν διαγράμματα τα οποία απεικονίζουν τις καμπύλες ποσοστών σχετικής αφθονίας σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος (Εικόνα 3). Τα κελύφη των *Trilobatus sacculifer* και *Trilobatus trilobus* θεωρήθηκαν ότι αντιπροσωπεύουν δυο διαφορετικούς μορφότυπους εφόσον οι μικροπαλαιοντολόγοι πιστεύουν τα δεύτερα ανήκουν στους ίδιους οργανισμούς όπως και τα πρώτα με τον τελικό θάλαμο ασκώδους μορφής να απουσιάζει. Ακολουθώντας την ταξινόμηση κατά Auerhals et al. (2009) τα κελύφη του *Globigerinoides ruber* ροζ χρώματος αναγνωρίστηκαν ως ξεχωριστός μορφότυπος. Όσον αφορά τα αντίστοιχα κελύφη λευκού χρώματος, έγινε διαχωρισμός με βάση την ταξινόμηση κατά Wang (2000) ανάμεσα στα *Globigerinoides ruber sensu stricto* (s.s.) και *Globigerinoides ruber sensu lato* (s.l.) τα οποία αντιπροσωπεύουν μορφότυπους με διαφορετικά γενετικά χαρακτηριστικά (Kuroyanagi et al., 2008) και διαφορετικές προτιμήσεις βάθους (Kuroyanagi and Kawahata, 2004, Lin and Hsieh, 2007) που αντικατοπτρίζονται στις ξεχωριστές αναλογίες Mg/Ca (Steinke et al., 2005, Antonarakou et al., 2015) και τις διακριτές ισοτοπικές καταγραφές (Wang, 2000, Lin and Hsieh, 2007). Αξίζει επίσης

να σημειωθεί ότι τα κελύφη του *Globigerinoides ruber s.s.* αντιστοιχούν σε Μορφότυπο Α (τύπος "Normal") ενώ αυτά τα οποία ανήκουν στην ομάδα του *Globigerinoides ruber s.l.* αντιπροσωπεύουν τους Μορφότυπους Β και Γ (τύποι "Platys" και "Elongatus") σύμφωνα με την τους Kontakiotis et al. (2017).

3.2 Ανάλυση μεγέθους

Αμέσως μετά την αναγνώριση των ειδών, τα κελύφη κάθε είδους ομαδοποιήθηκαν και τοποθετήθηκαν σε ξεχωριστούς θαλάμους ενός μικροσκοπίου Plumer προς δημιουργία αρχείου με την χρήσης κόλλας από ατραγακάνθα. Το αρχείο φωτογραφήθηκε προκειμένου να πραγματοποιηθεί ανάλυση του μεγέθους των συναθροισμένων κελυφών. Οι εικόνες τραβήχτηκαν χρησιμοποιώντας ένα δομοστοιχειωτό πλήρως αποχρωματικό στερεομικροσκόπιο LeicaM165 C με έγχρωμη κάμερα LeicaIC90 E 10 megapixel (σε μεγέθυνση επί 2) ενώ υπέστησαν επεξεργασία μέσω της χρήσης του λογισμικού ImageJ (έκδοση 1.50i). Το σύστημα ανάλυσης εικόνων προσδιορίζει τις δισδιάστατες σκιαγραφημένες περιοχές δοκιμών και τις διαμέτρους Feret για καθένα από τα επιμέρους κλάσματα (Εικόνα 2). Οι ακριβείς διακυμάνσεις του μεγέθους των κελυφών κάθε είδους απεικονίζονται στην Εικόνα 4 για όλες τις τομές που μελετήθηκαν. Ο αριθμός των τρηματοφόρων που μετρήθηκαν ανά είδος κυμάνθηκε από 3 έως 202 εμφανίζοντας μια μέση τιμή 25 τρηματοφόρων ανά είδος ανά δείγμα. Καθένα από τα κελύφη των τρηματοφόρων τοποθετήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να καταλαμβάνει μια σκιαγραφημένη περιοχή μέγιστου εμβαδού που αντιστοιχεί στην ομφαλική ή σπειροειδή πλευρά του εφόσον αποδείχθηκε ότι η διαφορά ανάμεσα στα δυο εμβαδά των συγκεκριμένων περιοχών ομφαλικού και σπειροειδούς προσανατολισμού είναι αμελητέα (Marshall et al., 2013). Η βαθμονόμηση των μετρήσεων που αφορούν τις σκιαγραφημένες περιοχές και τις διαμέτρους Feret επιτεύχθηκε μέσω της χρήσης μιας εικόνας μικρής κλίμακας η οποία ελήφθη στην ίδια μεγέθυνση (2x) με τις αντίστοιχες εικόνες των τρηματοφόρων.



Εικόνα 2: (a) Εικόνα κατάλληλα προσανατολισμένων δειγμάτων για αναγνώριση και μετρήσεις αφθονίας, (b) αυτόματη καταμέτρηση δειγμάτων και υπολογισμός μορφής στο ImageJ και (c) απεικόνιση της έννοιας του ECD.

3.2.1 Ισοδύναμη διάμετρος κύκλου (ECD)

Η μέγιστη διάμετρος Feret ορίζεται ως η μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα σε δυο οποιαδήποτε σημεία που βρίσκονται εντός της σκιαγραφημένης περιοχής ενός συγκεκριμένου τρηματοφόρου. Η ελάχιστη διάμετρος Feret ισοδυναμεί με το μικρότερο πλάτος δοκιμής που συναντάται σε διεύθυνση κάθετη προς την μέγιστη διάμετρο. Η μέγιστη διάμετρος δεν συνιστά ένα ισχυρό δείκτη διότι οι τελικοί θάλαμοι παρουσιάζουν την τάση να σπάνε ευκολότερα συγκριτικά με τους προηγούμενους, ενώ η ελάχιστη διάμετρος δεν αποτελεί ένα ακριβή δείκτη όσον αφορά τις δοκιμές. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ως πιο αντιπροσωπευτικό μήκος η έννοια της "ισοδύναμης διαμέτρου κύκλου" ή αλλιώς ονομαστικής διαμέτρου η οποία αντιστοιχεί στη διάμετρο ενός κύκλου το εμβαδό του οποίου ισούται με την συνολική σκιαγραφημένη επιφάνεια ενός τρηματοφόρου. Η ισοδύναμη διάμετρος κύκλου αποτελεί ένα μονοδιάστατο μέσο μέτρο του μεγέθους του κελύφους ενός τρηματοφόρου που χρησιμοποιεί ολόκληρη την δισδιάστατη εικόνα ενός δείγματος. Η τιμή του συγκεκριμένου δείκτη πέφτει ανάμεσα στις τιμές της μέγιστης και ελάχιστης διαμέτρου Feret. Επομένως, ο πρώτος συνιστά ένα πιο αξιόπιστο μέτρο καταγραφής του μεγέθους ενός κελύφους. Κατά συνέπεια αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε η ισοδύναμη διάμετρος κύκλου (ECD) ως η ορισμένη αντιπροσωπευτική παράμετρος του μεγέθους των κελυφών στους παρακάτω υπολογισμούς και τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Εφόσον η κατανομή και το μέγεθος των πλαγκτονικών τρηματοφόρων συσχετίζεται άμεσα με την αντίστοιχη κατανομή συγκεκριμένων επιφανειακών υδάτινων μαζών και επομένως με συγκεκριμένα εύρη τιμών θερμοκρασίας και αλατότητας, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων με το υδρογραφικό καθεστώς που επικρατεί ανά περιοχή. Οι τιμές των φυσικών ωκεανογραφικών παραμέτρων της θερμοκρασίας και της αλατότητας συλλέχθηκαν από την ερευνητική βάση δεδομένων EMOD net Physics η οποία προσφέρει ένα σύνολο δεδομένων μορφής πλέγματος και ανάλυσης 12 km αποτελούμενο από μέσες μηνιαίες τιμές για τα έτη από το 1900 έως το 2013 (Simoncelli et al., 2015). Το σύνολο δεδομένων είναι σε μορφή NetCDF ενώ η διαχείριση του επιτεύχθηκε μέσω της χρήσης του λογισμικού Panoply Data Viewer. Οι τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας και αλατότητας (0 m) για καθεμιά από τις θέσεις λήψης

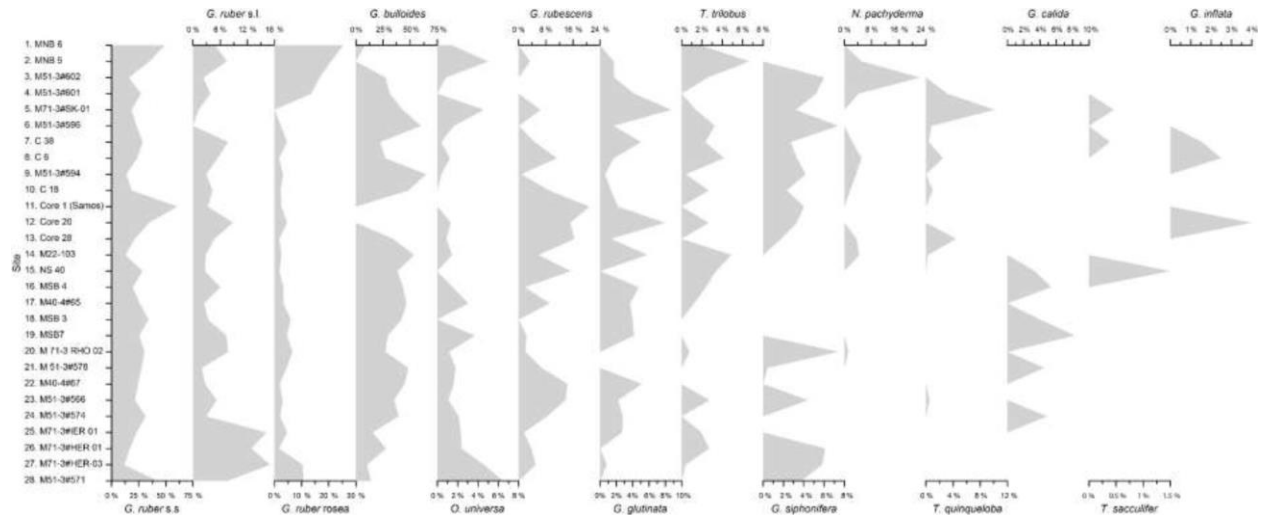
των πυρήνων εξήχθησαν από το αντίστοιχο πλέγμα δεδομένων και απεικονίζονται στην Εικόνα 5.

4. Αποτελέσματα

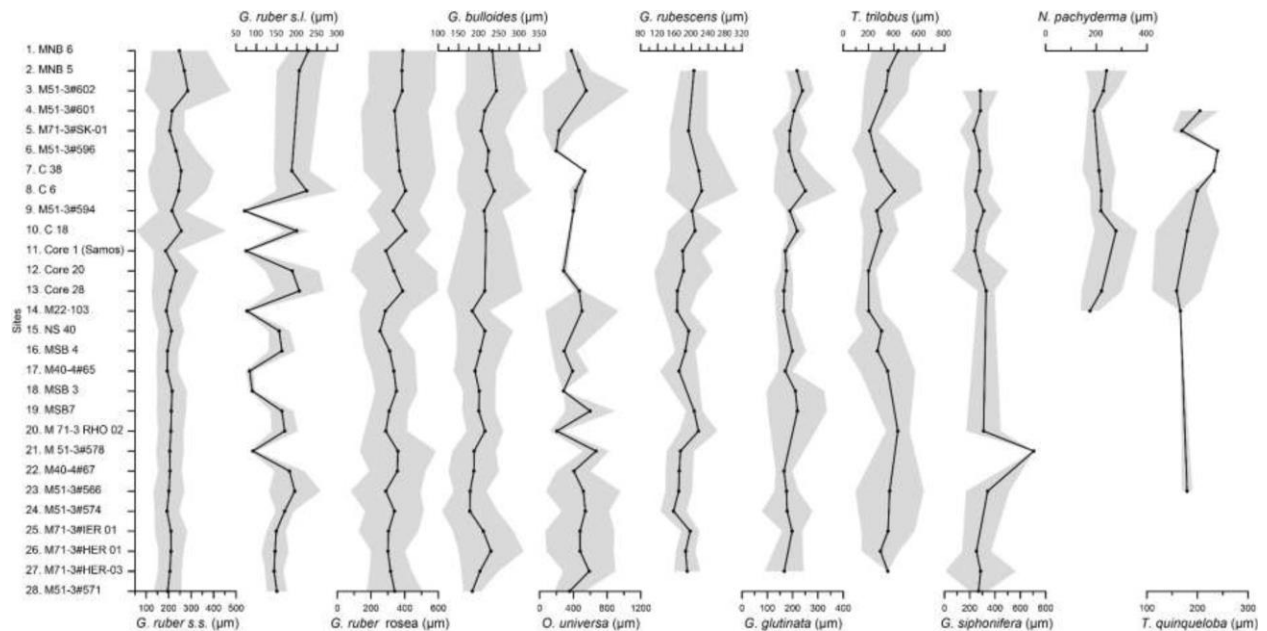
4.1 Μοτίβο βιογεωγραφικής κατανομής

Η ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των δεδομένων που σχετίζονται με τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα επέτρεψε την ταυτοποίηση 12 ειδών στα δείγματα της τομής της Ανατολικής Μεσογείου διεύθυνσης Βορρά - Νότου. Οι συνολικές μεταβολές που καταγράφονται όσον αφορά την αφθονία των τελευταίων απεικονίζονται στην Εικόνα 3. Το *Globigerinoides ruber* (*w*), τρηματοφόρο του οποίου συμπεριλαμβάνουν και τους δυο μορφότυπους (*s.s.* και *s.l.*) αποτελεί το είδος το οποίο συναντάται σε μεγαλύτερο βαθμό στην πλαγκτονική πανίδα συγκριτικά με τα υπόλοιπα διότι παρουσιάζει μια συνεχή κατανομή κατά μήκος της τομής συμβάλλοντας κατά μέσο όρο στο 42% επί του συνόλου της πρώτης. Πιο αναλυτικά, η συμβολή του συγκεκριμένου είδους είναι μεγαλύτερη από 12% σε όλες τις θέσεις με την μέγιστη τιμή να καταγράφεται στο κεντρικό τμήμα του Αιγαίου Πελάγους (61%) ενώ ο μορφότυπος *s.l.* του εν λόγω είδους δείχνει να ελαττώνεται σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος. Ωστόσο παρατηρήθηκε η εμφάνιση ενός ιδιαίτερου γεωγραφικού σήματος όσον αφορά την κατανομή των δυο μορφοτύπων του παραπάνω είδους που εντοπίζεται στα ιζήματα της Ανατολικής Μεσογείου. Με εξαίρεση τις θέσεις που βρίσκονται στο νοτιότερο τμήμα της τομής, ο μορφότυπος *s.s.* κυριαρχεί επί του μορφότυπου *s.l.* με τον πρώτο να εμφανίζει μια μέση τιμή αφθονίας κατά 15% μεγαλύτερη της αντίστοιχης τιμής του δεύτερου. Οι συγκεκριμένες παρατηρήσεις συμφωνούν με τα ευρήματα των Kontakiotis et al. (2017) τα οποία εστιάζουν στη μορφολογική μεταβλητότητα των τρηματοφόρων σε ολόκληρη την Ανατολική Μεσόγειο. Το είδος *Globigerina bulloides* παρουσιάζει την αμέσως επόμενη μεγαλύτερη αφθονία με τις μέγιστες τιμές (65%) να καταγράφονται κυρίως στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του Αιγαίου Πελάγους κατά μήκος του ανατολικού περιθωρίου (π.χ. θέσεις 6, 9 και 14) λόγω της παρουσίας ανοδικών ρευμάτων (Casford et al., 2002, Androulidakis et al., 2017). Η παρουσία του *Globigerinoides ruber rosea* εντοπίστηκε σχεδόν σε όλες τις θέσεις, όμως μόνο στις βορειότερες και νοτιότερες θέσεις καταγράφηκαν σημαντικές τιμές ποσοστών αφθονίας που υπερβαίνουν το 10%. Επιπλέον διαπιστώθηκε η παρουσία του *Orbulina universa* στις περισσότερες θέσεις της τομής. Οι τιμές ποσοστών αφθονίας του τελευταίου είναι

μεγαλύτερες στη βορειότερη και την νοτιότερη θέση, ενώ η ύπαρξη του εντοπίζεται νότια του Κρητικού Τόξου πλησιάζοντας προς την Θάλασσα της Λεβαντίνης (θέσεις 20 -28).

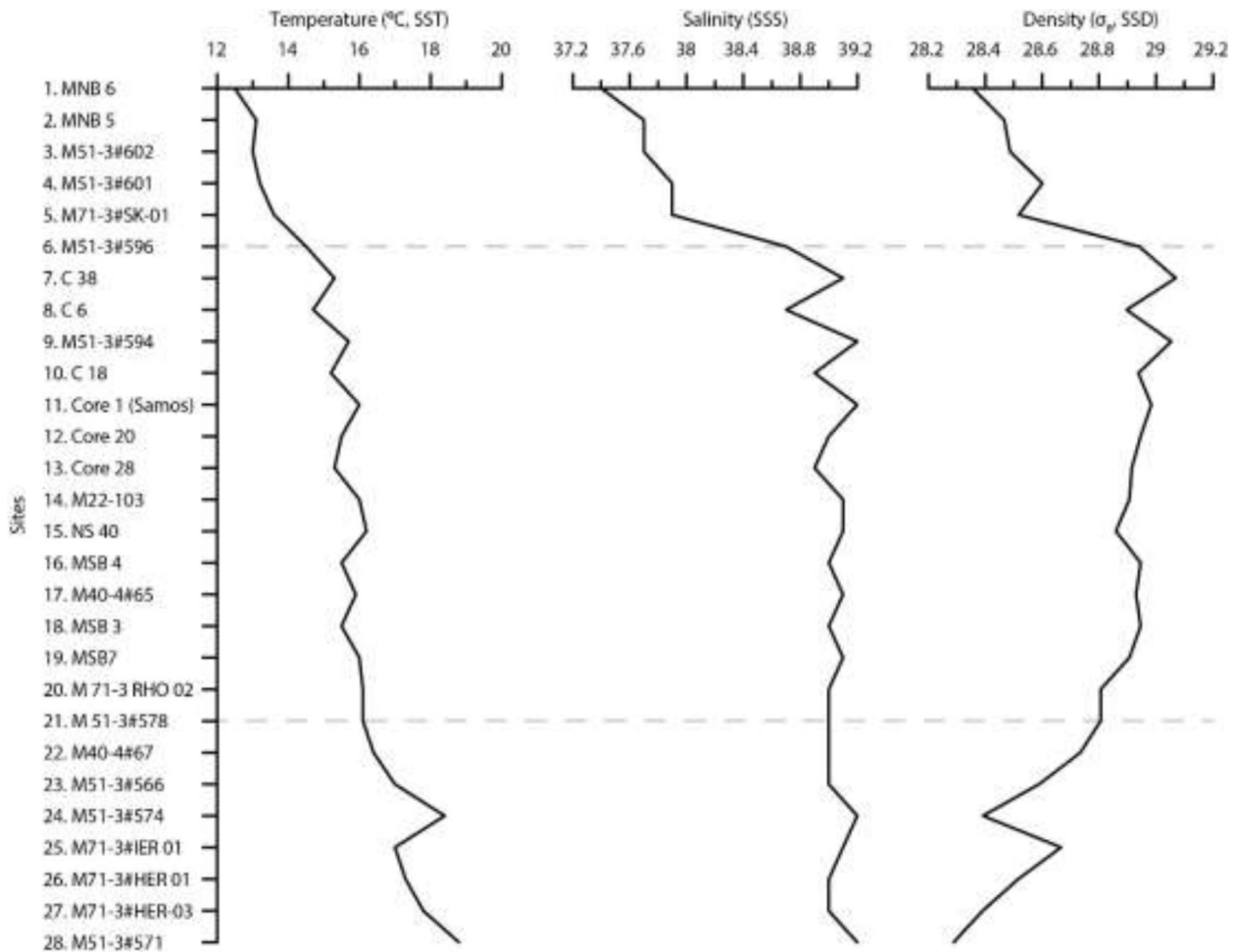


Εικόνα 3: Αφθονία των πλαγκτονικών τρηματοφόρων στα ανώτερα τμήματα των πυρήνων δειγματοληψίας από την ανατολική Μεσόγειο. Τα νούμερα στον κατακόρυφο άξονα είναι αντιπροσωπευτικά των ανώτερων τμημάτων των πυρήνων δειγματοληψίας στις θέσεις που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.



Εικόνα 4: Σχετικό μέγεθος των ειδών των πλαγκτονικών τρηματοφόρων σε σύγκριση με το συνολικό μέγεθος. Οι γκρι περιοχές υποδηλώνουν μία βασική απόκλιση. Τα νούμερα στον κατακόρυφο άξονα

είναι αντιπροσωπευτικά των ανώτερων τμημάτων των πυρήνων δειγματοληψίας στις θέσεις που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.



Εικόνα 5: Φυσικές ωκεανογραφικές παράμετροι της επιφάνειας της θάλασσας σε κάθε θέση δειγματοληψίας. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδηλώνουν τις σημαντικές οριακές περιοχές απότομων αλλαγών των υδρολογικών συνθηκών. Παρατηρείται μια σταδιακή άνοδος θαλάσσιας επιφανειακής θερμοκρασίας (SST) από Βορρά προς Νότο στην περιοχή μελέτης, ενώ η θαλάσσια επιφανειακή αλατότητα (SSS) σχεδόν σταθεροποιείται από το κεντρικό Αιγαίο και νοτιότερα. Η πυκνότητα του επιφανειακού νερού της θάλασσας της Λεβαντίνης ομοιάζει με αυτό του Β. Αιγαίου.

Το *Globoturborotalita rubescens* συναντάται κυρίως εντός του Αιγαίου Πελάγους και της περιοχής που εκτείνεται μέχρι την υπολεκάνη της Ιεράπετρας. Τα είδη *Globigerinita glutinata* και *Trilobatus trilobus* εντοπίστηκαν κυρίως στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του Αιγαίου

Πελάγους, ενώ η παρουσία του *Trilobatus sacculifer* δεν διαπιστώθηκε παρά σε ελάχιστες θέσεις οι οποίες βρίσκονται στο κεντρικό Αιγαίο. Ακριβώς το ίδιο ισχύει όσον αφορά το *Globorotalia inflata* το οποίο παρουσιάζει ένα μοτίβο σποραδικής γεωγραφικής κατανομής. Το είδος *Neogloboquadrina pachyderma* εμφανίζεται αρκετά συχνά στο Βόρειο Αιγαίο ειδικά στις θέσεις που συναντώνται κοντά στα Στενά του Βοσπόρου, όμως η παρουσία του περιορίζεται εντός των βορειοανατολικών ορίων του συγκεκριμένου πελάγους. Εντός των λεκανών του βόρειου και κεντρικού τμήματος του Αιγαίου διαπιστώθηκε η ύπαρξη αρκετών κελυφών του είδους *Turborotalita quinqueloba* ενώ το *Globigerinella calida* εμφανίζεται σε μικρές ποσότητες (τιμές αφθονίας που δεν υπερβαίνουν το 8%) στην περιοχή που εκτείνεται από το κεντρικό Αιγαίο έως το βορειοανατολικό τμήμα της Θάλασσας της Λεβαντίνης. Τέλος εντοπίστηκαν μικρές ποσότητες (τιμές αφθονίες έως 8%) κελυφών του *Globigerinella siphonifera* σχεδόν σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας της Ανατολικής Μεσογείου πλην αυτών που βρίσκονται εντός του Νότιου Αιγαίου.

4.2 Μεταβολές των μεγεθών πληθυσμού

Το μέσο μέγεθος πληθυσμού για καθένα από τα αναγνωρισμένα είδη πλαγκτονικών τρηματοφόρων παρατίθεται στον Πίνακα 2 στον οποίο τα είδη κατατάσσονται σύμφωνα με την μέση ονομαστική διάμετρό τους ενώ γίνεται περαιτέρω ανάλυση για αυτά που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες τιμές συχνότητας εμφάνισης. Το *Trilobatus sacculifer* παρουσιάζει τον μεγαλύτερο πληθυσμό πιθανότατα εξαιτίας της ακανόνιστης μορφής του ογκώδους τελικού θαλάμου με το *Orbulina universa* να ακολουθεί. Όσον αφορά τους 3 διαφορετικούς μορφότυπους του *Globigerinoides ruber*, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συμφωνούν με τις παρατηρήσεις του Hecht (1976) που εστιάζουν στον Ατλαντικό Ωκεανό και αναφέρουν ότι η ποικιλία ροζ χρώματος εμφανίζει τον μεγαλύτερο πληθυσμό ενώ οι πληθυσμοί του *sensu lato* είναι μεγαλύτεροι σε μέγεθος από τους αντίστοιχους πληθυσμούς του *sensu stricto*. Οι πληθυσμοί των *Globorotalia inflata* και *Trilobatus sacculifer* δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες αυξομειώσεις ενώ αμφότεροι χαρακτηρίζονται από την μικρότερη τυπική απόκλιση με βάση τον αριθμό των αντίστοιχων κελυφών που προσμετρήθηκαν ανά περίπτωση. Ο μικρός αριθμός κελυφών του *Trilobatus sacculifer* ο οποίος αναλύθηκε εξαιτίας της χαμηλής διαθεσιμότητας του συγκεκριμένου είδους υποδηλώνει ότι το τελευταίο εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές μεταβλητότητας όσον αφορά το μέγεθος του πληθυσμού ενώ στην συνέχεια ακολουθεί το *Globigerinella siphonifera*. Το παραπάνω γεγονός αποδίδεται τόσο στην ακανόνιστη μορφή του τελικού θαλάμου του *Trilobatus sacculifer* όσο και στον μικρό αριθμό αναγνωρισμένων κελυφών του συγκεκριμένου είδους ενώ η μεταβλητότητα του πληθυσμού του *Globigerinella siphonifera* μπορεί να αποδοθεί στην θραύση των τελικών θαλάμων η οποία παρατηρείται αρκετά συχνά. Σε ορισμένες περιπτώσεις διαπιστώθηκε ότι ο τελικός θάλαμος των κελυφών του *Globigerinella siphonifera* εμφάνισε πολύ μικρό πάχος καθιστώντας τον τελευταίο αρκετά επιρρεπή στη θραύση. Τα μοτίβα κατανομής των μεγεθών πληθυσμού για κάθε είδος ξεχωριστά αλλά και για το σύνολο των ειδών απεικονίζονται στην Εικόνα 4. Σε γενικές γραμμές διαπιστώνεται μια ελάττωση της τάξεως του 10% στο μέσο μέγεθος πληθυσμού των πλαγκτονικών τρηματοφόρων τα οποία συλλέχθηκαν στην ευρύτερη περιοχή που εκτείνεται από το Βόρειο Αιγαίο έως την Θάλασσα της Λεβαντίνης. Το

συγκεκριμένο γεγονός καθίσταται εμφανές όταν εξετάζονται οι περιπτώσεις των ειδών *Globigerinoides ruber* και *Globigerina bulloides* αμφότερα εκ των οποίων παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές αφθονίας και μια τάση ελάττωσης του μέσου μεγέθους πληθυσμού πλησιάζοντας προς την Λεκάνη της Λεβαντίνης. Τα υπόλοιπα είδη δεν εμφανίζουν μια ξεκάθαρη τάση. Τέλος μπορεί να εξαχθεί ως συμπέρασμα ότι η κατανομή των μεγεθών πληθυσμού εμφανίζει ισχυρή λοξότητα προς τις μεγάλες τιμές σε όλες τις συναθροίσεις κελυφών πλαγκτονικών τρηματοφόρων που αναλύθηκαν.

Είδος	ECD (μm)	STDV	Αρ. θέσεων	Αρ. ειδών
<i>Trilobatus sacculifer</i>	503	35%	3	6
<i>Orbulina universa</i>	427	30%	23	119
<i>Globigerinoides ruber rosea</i>	338	12%	27	352
<i>Trilobatus trilobus</i>	315	23%	19	119
<i>Globigerinella siphonifera</i>	305	35%	17	173
<i>Globigerinella calida</i>	278	13%	6	71
<i>Globorotalia inflata</i>	266	7%	3	16
<i>Globigerinoides ruber s.l.</i>	259	14%	28	919
<i>Neogloboquadrina pachyderma</i>	220	13%	10	128
<i>Globigerinoides ruber s.s.</i>	218	12%	28	1737
<i>Globigerina bulloides group</i>	207	9%	25	2351
<i>Turborotalita quinqueloba</i>	192	15%	9	49
<i>Globigerinita glutinata</i>	189	28%	22	176
<i>Globoturborotalita rubescens</i>	189	10%	22	473

Πίνακας 2. Μέσο μέγεθος των ειδών των πλαγκτονικών τρηματοφόρων που αναγνωρίστηκαν στην περιοχή μελέτης. Φαίνεται επίσης ο αριθμός της θέσης της δειγματοληψίας που βρέθηκε κάθε είδος καθώς και ο συνολικός αριθμός των ειδών που καταμετρήθηκαν.

5. Συζήτηση

5.1 Προτιμήσεις βάθους και περιβαλλοντικές παράμετροι: παράγοντες που ρυθμίζουν τις συναθροίσεις πλαγκτονικών οργανισμών στην Ανατολική Μεσόγειο

Τα δυο τρίτα της συνολικής έκτασης που καταλαμβάνουν οι λεκάνες της Ανατολικής Μεσογείου βρίσκονται νοτιότερα του γεωγραφικού πλάτους των 36° Β δηλαδή σε σχετικά χαμηλά γεωγραφικά πλάτη σε σύγκριση με τις αντίστοιχες της Δυτικής Μεσογείου. Με εξαίρεση τις λεκάνες του Βορείου Αιγαίου, οι υπόλοιπες λεκάνες της Ανατολικής Μεσογείου παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας (Kassis and Korres, 2020) συμβάλλοντας στη διαμόρφωση του υποτροπικού χαρακτήρα που επικρατεί στις τελευταίες. Η συχνότητα εμφάνισης καθενός εκ των πλαγκτονικών ειδών συμφωνεί στις περισσότερες περιπτώσεις με αυτές οι οποίες επισημαίνονται στις δημοσιευμένες εργασίες των Thunell (1978) και Parker (1955) όπου δεν γίνεται όμως διάκριση ανάμεσα στους διαφορετικούς μορφότυπους και τις αντίστοιχες ποικιλίες χρωμάτων του είδους *Globigerinoides ruber*. Παρόλο το γεγονός ότι οι υπολεκάνες του Αιγαίου και της Θάλασσας της Λεβαντίνης παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες όταν εξετάζονται υπό το πρίσμα των χαρακτηριστικών της πανίδας τους, εμφανίζουν ωστόσο ορισμένες διαφορές όσον αφορά την αφθονία των σημαντικότερων ειδών. Εντός των υπολεκανών που συναντώνται στις δυο παραπάνω ευρύτερες θαλάσσιες περιοχές κυριαρχούν τα είδη *Globigerinoides ruber* και *Globigerina bulloides* τα οποία επιδεικνύουν ένα μοτίβο κατανομής βασισμένο στην ανταγωνιστική συμπεριφορά τους (Εικόνα 3). Οι μέγιστες τιμές αφθονίας των δυο συγκεκριμένων ειδών δεν συμπίπτουν ακριβώς μεταξύ τους παρά σπάνια καθώς διαπιστώνεται ότι το *Globigerinoides ruber* (*w*) εν μέρει αντικαθιστά το *Globigerina bulloides* και αντιστρόφως. Το *Globigerinoides ruber* (*w*) συνιστά το είδος που εμφανίζει την μεγαλύτερη αφθονία στις νοτιοανατολικές λεκάνες της Ανατολικής Μεσογείου (Κρητικό Πέλαγος και Θάλασσα της Λεβαντίνης) συμβάλλοντας στο 42% επί του συνολικού πληθυσμού των πλαγκτονικών τρηματοφόρων με το *Globigerina bulloides* να ακολουθεί και να αποτελεί την κυριότερη συνιστώσα της πανίδας στις

υπολεκάνες του Αιγαίου Πελάγους ειδικά στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη (Βόρειο Αιγαίο) όπου το εν λόγω είδος παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές αφθονίας. Η σχετική συμβολή των δυο παραπάνω ειδών επί της πλαγκτονικής πανίδας εκφρασμένη ως αναλογία αφθονίας *Globigerina bulloides* / *Globigerinoides ruber* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης στρωμάτωσης υποδηλώντας τον αυξημένο βαθμό της τελευταίας στο ανώτερο τμήμα της υδάτινης στήλης που υπέρκειται των λεκανών της Θάλασσας της Λεβαντίνης συγκριτικά με τον αντίστοιχο βαθμό στρωμάτωσης της στήλης του νερού στο Αιγαίο Πέλαγος. Οι μέγιστες τιμές αφθονίας που εμφανίζει το ευκαιριακό είδος *Globigerina bulloides* κυρίως εντός των λεκανών του Αιγαίου οφείλονται στην άνθηση του φυτοπλαγκτόν και την αύξηση του πληθυσμού των ζωοπλαγκτονικών οργανισμών (Rujol and Grazzini, 1995). Επομένως οι πρώτες συμπίπτουν με τις υψηλές τιμές συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών οι οποίες αποδίδονται με την σειρά τους στις διάφορες εισροές ποσοτήτων γλυκού νερού προερχόμενων από την Μαύρη Θάλασσα στην περίπτωση του Βόρειου Αιγαίου και τις ζώνες όπου επικρατούν ανοφικά ρεύματα (upwelling) στην περίπτωση του κεντρικού τμήματος του ίδιου πελάγους (Stergiou et al., 1997, Ignatiades, 2005). Η σχεδόν συνεχής παρουσία (με εξαίρεση το ανώτερο τμήμα ενός συγκεκριμένου πυρήνα) του *Globigerina bulloides* σε όλη την έκταση της Ανατολικής Μεσογείου ενδεχομένως οφείλεται στην ικανότητα του συγκεκριμένου είδους να ανθίσταται στις τεράστιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της πυκνότητας του θαλασσινού νερού (Rohling et al., 1993). Ωστόσο, οι έντονες χωρικές διακυμάνσεις οι οποίες διαπιστώνονται όσον αφορά την συμβολή του *Globigerina bulloides* επί του συνόλου της πλαγκτονικής πανίδας ίσως μπορούν να αποδοθούν επίσης στις πιθανές διαφορές της ηλικίας ανάμεσα στα ανώτερα τμήματα των πυρήνων που αναλύθηκαν λόγω του διαφορετικού χρονολογικού ελέγχου που χαρακτηρίζει καθεμία από τις θέσεις στις οποίες συλλέχθηκαν τα δείγματα (Kontakiotis et al., 2011), γεγονός το οποίο μπορεί να εξηγήσει εν μέρει την παρατηρούμενη μεταβολή του πληθυσμού των αυτότροφων και ετερότροφων ειδών που συντελέστηκε κατά την διάρκεια της τελευταίας χιλιετίας (Lirer et al., 2014).

Οι τρεις μορφότυποι του *Globigerinoides ruber* (w) επιβιώνουν σε ένα αρκετά μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος (13.3 - 29.5 οC, Tolderlund and Bé, 1971) γεγονός το οποίο θα μπορούσε να εξηγήσει την συνεχή παρουσία του τελευταίου σε όλη την έκταση της Ανατολικής

Μεσογείου. Η κυριαρχία του συγκεκριμένου είδους στις νοτιοανατολικές θέσεις ενδεχομένως αποδίδεται στις ευνοϊκές συνθήκες που εκδηλώνονται προκειμένου να συμβεί η άνθηση του φυτοπλαγκτόν στην έντονα στρωματοποιημένη υδάτινη στήλη η οποία εμφανίζει ολιγοτροφικό χαρακτήρα και επιφανειακή θερμοκρασία μεγαλύτερη από 21.3 °C (Rohling et al., 1993). Η ισχυρή επικράτηση του *Globigerinoides ruber s.s.* (Μορφότυπος A; Normal) λόγω της ανάγκης του τελευταίου για ένα πολύ σταθερό βάθος ενδιαιτήματος (ανώτερα 50 m της στήλης του νερού, Numberger et al., 2009) πιθανότατα οφείλεται στην παρουσία του εποχικού θερμοκλινούς με τα τρηματοφόρα του συγκεκριμένου μορφότυπου να προτιμούν τις συνθήκες περιβάλλοντος έντονης στρωμάτωσης όσον αφορά την θερμοκρασία και την αλατότητα (Wejnert et al., 2010). Οι παραπάνω συνθήκες παρατηρούνται τόσο στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του Αιγαίου Πελάγους όπου διαπιστώνεται η ύπαρξη έντονου αλοκλινούς, εξαιτίας των ποτάμιων εισροών που προέρχονται από την Μαύρη Θάλασσα όσο και στο Νότιο Αιγαίο και την Θάλασσα της Λεβαντίνης λόγω της θέρμανσης του επιφανειακού νερού η οποία συντελείται από τα τέλη της άνοιξης έως τις αρχές του φθινοπώρου. Αντιθέτως, οι δυο μορφότυποι του *Globigerinoides ruber s.l.* συναντώνται σε πιο μεταβλητό βάθος ενδιαιτήματος ανάλογα με τις ωκεανογραφικές συνθήκες που επικρατούν ανά περιοχή (όπως για παράδειγμα τον βαθμό ετερογένειας της βαθυμετρίας και την απόσταση από την ακτή, Kontakiotis et al., 2017). Σύμφωνα με την εργασία των Kuroyanagi et al. (2008), η κατανομή που εμφανίζουν οι δυο παραπάνω μορφότυποι εξαρτάται κυρίως από την αφθονία της διαθέσιμης ποσότητας τροφής, ενώ η παρουσία των τελευταίων δεν εντοπίζεται σε γενικές γραμμές εντός του επιφανειακού τμήματος της υδάτινης στήλης των ωκεανών όταν αυτό παρουσιάζει χαμηλή περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη α. Τα μέγιστα ποσοστά αφθονίας για τους συγκεκριμένους μορφότυπους καταγράφονται στο βορειοδυτικό τμήμα της Θάλασσας της Λεβαντίνης το οποίο εκτείνεται από την περιοχή εκδήλωσης του κυκλωνικού περιστροφικού ρεύματος της Ρόδου μέχρι το νοτιοανατολικό περιθώριο της Κρητικής Λεκάνης. Ο τρόπος με τον οποίο συντελείται η ανάδυση των υδάτων λόγω της ύπαρξης του παραπάνω κυκλωνικού περιστροφικού ρεύματος μαζί με την έντονη ροή σκόνης που παρατηρείται στην περιοχή εξαιτίας της πνοής των ανέμων (Kouvarakis et al., 2001, Markaki et al., 2003) προκαλούν την δημιουργία ιδανικών συνθηκών για αυξημένη πρωτογενή βιολογική παραγωγικότητα (Salihoglu et al., 1990, Siokou

– Frangou et al., 1999, Souvermezoglou and Krasakopoulou, 1999) οδηγώντας στην άνθηση των Μορφοτύπων Β και Γ (τύποι “Platys” και “Elongate”) οι οποίοι παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά αφθονίας συγκριτικά με τις υπόλοιπες θέσεις δειγματοληψίας (Numberger et al., 2009, Kontakiotis et al., 2017).

Εκτός από τα είδη που αναφέρθηκαν, αρκετά σημαντικές συνιστώσες όσον αφορά τις συναθροίσεις πλαγκτονικών τρηματοφόρων της Ανατολικής Μεσογείου αποτελούν τα είδη *Neogloboquadrina pachyderma*, *Turborotalita quinqueuloba*, *Globigerinita glutinata*, *Trilobatus trilobus* και *Orbulina universa* τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν ως δείκτες παραγωγικότητας και στρωμάτωσης του νερού, ενώ καθένα από αυτά εμφανίζει ποσοστά αφθονίας που φθάνουν κατά θέσεις το 10%. Πιο συγκεκριμένα, το *Neogloboquadrina pachyderma* ευδοκμεί στις θαλάσσιες περιοχές όπου το θερμοκλινές εντοπίζεται σε μικρά βάθη ευνοώντας με αυτό τον τρόπο την δημιουργία του Βαθιού Μέγιστου της Χλωροφύλλης (DCM) στη βάση της ευφωτικής ζώνης (Fairbanks and Wiebe, 1980). Επομένως τα υψηλά ποσοστά αφθονίας τα οποία καταγράφονται στο τμήμα της στήλης του νερού που αντιστοιχεί στα παραπάνω βάθη και υπέρκειται των λεκανών που συναντώνται στο Βόρειο Αιγαίο (Maar et al., 2003) υποδηλώνουν την ανάπτυξη ενός περιβάλλοντος με συνθήκες έντονης στρωμάτωσης, χαμηλής αλατότητας και υψηλών συγκεντρώσεων σε θρεπτικά συστατικά (Geraga et al., 2010, Kontakiotis, 2016, Giamali et al., 2019). Το *Turborotalita quinqueuloba* είναι επίσης ανθεκτικό τόσο στα αρκετά χαμηλά επίπεδα της αλατότητας όσο και στην αυξημένη βιολογική παραγωγικότητα που μπορεί να παρατηρηθεί στα επιφανειακά ύδατα (Rohling et al., 1993). Όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις των υπολοίπων περιοχών της Μεσογείου (Rohling et al., 1995, Casford et al., 2002, Geraga et al., 2008), η ταυτόχρονη εμφάνιση του συγκεκριμένου είδους στις θέσεις δειγματοληψίας του Βορείου Αιγαίου πιθανότατα συσχετίζεται με τον σχηματισμό ψυχρής βαθιάς υδάτινης μάζας και τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας μικρότερες από 15°C (Rohling et al., 1993). Το παραπάνω είδος κάνει ελάχιστα αισθητή την παρουσία του στα δείγματα τα οποία συλλέχθηκαν από τις περιοχές του Βορείου Αιγαίου όπου λαμβάνει χώρα ο σχηματισμός νερού μεγάλης πυκνότητας (Theocharis and Georgopoulos, 1993) με την ταυτόχρονη επικράτηση ευνοϊκής θερμοκρασίας. Το *Globorotalia inflata* εντοπίζεται εντός της ηπίως ψυχρής και καλά αναμεμιγμένης υδάτινης

στήλης μεσοτροφικού χαρακτήρα των κεντρικών περιοχών του Αιγαίου, ενώ ουσιαστικά απουσιάζει από τα θερμότερα και έντονα στρωματοποιημένα νερά ολιγοτροφικού χαρακτήρα που υπέρκεινται των λεκανών οι οποίες συναντώνται στο ανατολικό τμήμα του ίδιου πελάγους. Η παρουσία του εν λόγω είδους μπορεί να θεωρηθεί ως ενδεικτική της έντονης ανάμειξης του νερού, της μετάδοσης της θερμότητας με συναγωγή και της επακόλουθης ανάπτυξης ίδιας θερμοκρασίας σε όλο το τμήμα της υδάτινης στήλης που αντιστοιχεί στην ευφωτική ζώνη (Pujol and Grazzini, 1995).

Το κοσμοπολίτικο είδος *Globigerinita glutinata* επίσης παρουσιάζει σημαντικά ποσοστά αφθονίας (έως και 10%) σε διάφορες υπολεκάνες που συναντώνται κατά μήκος της τομής λόγω της ικανότητάς του να επιβιώνει όταν επικρατούν είτε ευτροφικές είτε ολιγοτροφικές συνθήκες (Schiebel and Hemleben, 2000), ενώ παράλληλα εμφανίζει εξάπλωση σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος θερμοκρασίας και αλατότητας (Hemleben et al., 1989). Η παρουσία του συγκεκριμένου είδους εντός των περιοχών του Αιγαίου Πελάγους έχει συσχετιστεί κατά το παρελθόν με την εαρινή άνθηση του φυτοπλαγκτόν η οποία σηματοδοτείται τόσο από την νέα ποσότητα θρεπτικών συστατικών που είναι διαθέσιμη μετά την ανάμειξη του νερού που συμβαίνει ως το τέλος της χειμερινής περιόδου όσο και από τα αυξημένα ποσοστά της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας (Casford et al., 2002). Τα είδη *Trilobatus sacculifer*, *Globigerinoides ruber rosea*, *Globigerinella siphonifera* και *Orbulina universa* ανήκουν στην ομάδα SPRUDTS (Rohling et al., 1993, 1997) και διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της πλαγκτονικής πανίδας του Νοτίου Αιγαίου (Triantaphyllou et al., 2009, Kontakiotis et al., 2013) υποδηλώνοντας την ύπαρξη υδάτινης στήλης με χαρακτηριστικά υψηλής θερμοκρασίας και έντονης στρωμάτωσης. Τόσο τα ποσοστά αφθονίας του *Globoturborotalita rubescens* το οποίο αποτελεί την βασικότερη συνιστώσα της ομάδας SPRUDTS όσο και τα αντίστοιχα ποσοστά των υπολοίπων ειδών που ανήκουν στην ίδια ομάδα καθορίζονται κυρίως από την στρωμάτωση της στήλης του νερού (Rohling et al., 1997). Η παρουσία των προαναφερθέντων ειδών διαπιστώνεται κοντά στην επιφάνεια όπου παρατηρούνται τα μέγιστα ποσοστά εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και εντός του στρώματος ανάμειξης όπου καταγράφονται χαμηλές τιμές βιολογικής παραγωγικότητας και λαμβάνει χώρα η έντονη κατακόρυφη στρωμάτωση του επιφανειακού νερού κατά την

διάρκεια των θερινών μηνών (Hemleben et al., 1989). Τα αυξημένα ποσοστά αφθονίας που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα είδη στις θέσεις του κεντρικού και νότιου τμήματος του Αιγαίου Πελάγους πιθανότατα συσχετίζονται με μια σημαντική αύξηση του βάθους και του κατακόρυφου πλάτους εμφάνισης του θερμοκλινούς. Η συνάθροιση των παραπάνω ειδών υποδηλώνει ότι η στρωμάτωση του νερού που παρατηρείται στο Νότιο Αιγαίο δεν περιορίζεται μόνο κοντά στην επιφάνεια όπως συμβαίνει στην περίπτωση του Βόρειου Αιγαίου αλλά συνεχίζεται σε όλο το εύρος βάθους στο οποίο εκτείνεται η ευφωτική ζώνη.

5.2 Ανταπόκριση της κατανομής του μεγέθους των κελυφών των ειδών και προσαρμογή στα ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά που παρατηρούνται ανά περιοχή

Σε επίπεδο εξέτασης καθενός είδους ξεχωριστά, τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας συμφωνούν με τις προηγούμενες μελέτες. Το *Globigerinoides ruber rosea* εμφανίζει μεγαλύτερο μέγεθος κελύφους από το *Globigerinoides ruber alba* ενώ ο συνολικός πληθυσμός του *Globigerinoides ruber s.l.* παρουσιάζει μεγαλύτερο μέγεθος κελυφών από τον αντίστοιχο Μορφότυπο A (Hecht, 1976). Συγκρίνοντας με τα αποτελέσματα της εργασίας των Schmidt et al. (2004) που αφορούν την κατανομή του μεγέθους των κελυφών των τροπικών/υποτροπικών ειδών κατά φθίνουσα σειρά διαπιστώνεται ότι προηγείται το *Trilobatus sacculifer* και ακολουθεί το *Orbulina universa* (Πίνακας 2). Επιπλέον έχει παρατηρηθεί ότι τα κελύφη του *Globigerinoides ruber* έχουν μεγαλύτερο μέγεθος από αυτά του *Globigerina bulloides* πιθανότατα εξαιτίας του γεγονότος ότι το δεύτερο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα είδος της εύκρατης ζώνης ενώ οι συνθήκες οι οποίες επικρατούν στην Ανατολική Μεσόγειο ευνοούν την εξάπλωση των τροπικών ειδών όπως το *Globigerinoides ruber*. Η μέση μέγιστη διάμετρος των συναθροισμένων κελυφών που συλλέχθηκαν από το ανατολικότερο τμήμα της Μεσογείου είναι ίση με 297 μm, τιμή η οποία είναι συγκρίσιμη με αυτή της εργασίας που δημοσιεύτηκε στο παρελθόν και αφορά στις συναθροίσεις κελυφών στην τροπική και υποτροπική ζώνη σε παγκόσμιο επίπεδο (309 μm, Schmidt et al., 2004). Επομένως, η σύγκριση του μεγέθους των κελυφών όλων των ειδών της παρούσας μελέτης με το αντίστοιχο μέσο μέγεθος που καταγράφεται ανά την υφήλιο υποδηλώνει ότι τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα είναι μικρότερα κατά 4% εντός της Ανατολικής Μεσογείου.

Σύμφωνα με τις περισσότερες εργασίες παρατηρείται μια μεταβολή του μεγέθους των κελυφών σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του θαλασσινού νερού (Bé et al., 1973, Aldridge et al., 2012, Marshall et al., 2013, Weinkauff et al., 2016). Παρόλο το γεγονός ότι αυξάνεται η επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας πλησιάζοντας από το Βόρειο Αιγαίο προς την Θάλασσα της Λεβαντίνης (Εικόνα 5), στην παρούσα μελέτη το μέσο μέγεθος των συναθροισμένων κελυφών που ανήκουν κυρίως σε υποτροπικά και τροπικά είδη βρέθηκε ότι

ελαττώνεται κατά 10% στην κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο. Η παραπάνω ελάττωση ήταν περισσότερο εμφανής στα κυρίαρχα είδη ωστόσο δεν διαπιστώθηκε οποιαδήποτε στατιστικά σημαντική αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στο μέγεθος των κελυφών και την επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας ($R^2 = 0.12$, $p > 0.05$). Επιπλέον, καταγράφηκε μια ελάττωση της μέγιστης διαμέτρου των κελυφών της τάξεως του 24% πλησιάζοντας σε ολόενα και χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη (Εικόνα 4). Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα δεν επαληθεύουν την θεωρία ότι τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα εμφανίζουν μέγιστο μέγεθος στη βέλτιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος (Hecht, 1976, Schmidt et al., 2004, 2006) όμως επιβεβαιώνουν τα πρόσφατα ευρήματα (Rillo et al., 2018) που αναφέρουν ότι η εξέταση της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας δεν επαρκεί πάντοτε ώστε να εξηγηθούν οι μεταβολές του μεγέθους των κελυφών.

Παρόλο το γεγονός ότι συμφωνούν τα ευρήματα αναφορικά με την θερμοκρασία στην οποία τα διάφορα είδη προσεγγίζουν το μέγιστο μέγεθός τους και τα υψηλότερα ποσοστά της σχετικής τους αφθονίας (Schmidt et al., 2004), η υποστήριξη της ιδέας ότι τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα εμφανίζουν μέγιστο μέγεθος κελυφών στις βέλτιστες οικολογικές συνθήκες για το κάθε είδος (Hecht, 1976) δεν υιοθετείται σε αυτή την εργασία εφόσον δεν παρατηρήθηκε οποιαδήποτε στατιστικά σημαντική συσχέτιση δεδομένων ανάμεσα στο μέσο μέγεθος κελυφών και τα σχετικά ποσοστά αφθονίας καθενός είδους (ισχύει ότι $p > 0.05$ για όλες τις συγκρίσεις που έγιναν). Η συγκεκριμένη εργασία βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τις προηγούμενες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν (Beer et al., 2010, Weinkauff et al., 2016) στο θέμα της έλλειψης στοιχείων όσον αφορά μια πιθανή θετική συσχέτιση ανάμεσα στο μέγεθος των κελυφών και την αφθονία του πληθυσμού αμφισβητώντας την ιδέα ότι οι μεταβολές του μεγέθους των πλαγκτονικών τρηματοφόρων μπορούν να προβλεφθούν με βάση την αφθονία του τελευταίου. Το μέγεθος των συναθροισμένων κελυφών έχει συσχετισθεί θετικά με τον πλούτο των ειδών (αριθμός των ειδών σε μια περιοχή ή βιοκοινότητα, species richness, Schmidt et al., 2004). Η απουσία ή ελάττωση του πλούτου των ειδών για τρηματοφόρα τα οποία είναι γνωστό ότι αποκτούν μεγάλο μέγεθος μπορεί να επηρεάσει με έμμεσο τρόπο το μέγεθος των συναθροισμένων κελυφών. Με βάση τα δείγματα που εξετάστηκαν διαπιστώθηκε ότι ο πλούτος των ειδών είναι σχεδόν σταθερός κατά μήκος της τομής (10 - 12

είδη) συνεπώς οι μεταβολές του μεγέθους των πλαγκτονικών τρηματοφόρων δεν μπορούν να εξηγηθούν μέσω των μεταβολών των συναθροίσεων των ειδών. Τα ποσοστά σχετικής αφθονίας που παρουσιάζουν τα είδη μεγαλύτερου μεγέθους όπως είναι για παράδειγμα το *Trilobatus trilobus* ή το *Globigerinoides ruber rosea* ελαττώνονται προς όφελος του μικρότερου σε μέγεθος *Globigerinoides ruber s.s.* πλησιάζοντας προς την Θάλασσα της Λεβαντίνης, παρόλο το γεγονός ότι αυξάνεται η σχετική αφθονία του *Orbulina universa* (είδος με το δεύτερο μεγαλύτερο μέγεθος).

5.2.1 Ποιο είναι το αίτιο το οποίο προκαλεί την παρατηρούμενη ελάττωση του μέσου μεγέθους των πλαγκτονικών τρηματοφόρων συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους;

Οι μεταβολές του μεγέθους των πλαγκτονικών τρηματοφόρων έχουν συνδεθεί με διάφορες μεταβολές που καταγράφονται όσον αφορά ορισμένους παράγοντες όπως είναι για παράδειγμα η βιολογική παραγωγικότητα και η διαθεσιμότητα της υδάτινης στήλης σε θρεπτικά συστατικά ενώ στην περίπτωση των πολικών ειδών διαπιστώνεται μια ισχυρή θετική συσχέτιση ανάμεσα στο μέγεθός τους και τις συγκεντρώσεις των φωσφορικών αλάτων (Schmidt et al., 2004). Σε παγκόσμιο επίπεδο, τόσο η στρωμάτωση του επιφανειακού νερού όσο και η μέγιστη πρωτογενής παραγωγικότητα αμφότερες παρουσιάζουν μια ισχυρή θετική συσχέτιση με το μέγεθος των πλαγκτονικών τρηματοφόρων. Σε γενικές γραμμές, το μέγιστο μέγεθος καθενός από τα είδη που εντοπίστηκαν στα δείγματα εμφάνισε μια τάση προς αύξηση καθώς αυξανόταν η πρωτογενής παραγωγικότητα μέχρι την τιμή των $150 \text{ gCm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$. Πάνω από αυτή την οριακή τιμή - κατώφλι, το μέγεθος κάθε είδους ελαττώνεται καθώς αυξάνεται η πρωτογενής παραγωγικότητα εντός της στήλης του νερού (Schmidt et al., 2004) όμως εφόσον η Μεσόγειος Θάλασσα αποτελεί ένα τεράστιο οικοσύστημα χαμηλής παραγωγικότητας εντός του οποίου καταγράφονται τιμές μικρότερες των $150 \text{ gCm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (Stambler, 2004) θα αναμενόταν το μέγεθος των πλαγκτονικών τρηματοφόρων να αυξάνεται αναλογικά της τελευταίας. Ωστόσο έχει παρατηρηθεί ότι στην περίπτωση των συναθροίσεων των τροπικών ειδών, το μέγεθός των τελευταίων συσχετίζεται αρνητικά με την πρωτογενή παραγωγικότητα (Schmidt et al., 2004).

Τόσο τα δορυφορικά δεδομένα όσο και οι τιμές οι οποίες καταγράφηκαν στις επιτόπιες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αποκαλύπτουν την ύπαρξη μιας αυξητικής βαθμίδας κατεύθυνσης Βορρά – Νότου όσον αφορά τον ολιγοτροφικό χαρακτήρα της υδάτινης στήλης (Siokou-Frangou et al., 2004). Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης α ελαττώνονται πλησιάζοντας από το Βόρειο Αιγαίο προς την Θάλασσα της Λεβαντίνης (Antoine et al., 1995, D'Ortenzio and Riberad' Alcala, 2009), γεγονός το οποίο μπορεί να αποδοθεί κυρίως στις περιορισμένες συγκεντρώσεις του φυτοπλαγκτόν και των θρεπτικών συστατικών. Ο παραπάνω ισχυρισμός φαίνεται να επιβεβαιώνεται με βάση την αντίστροφη σχέση που καταγράφεται

ανάμεσα στις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης α και την επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας με την πρώτη να αντιπροσωπεύει όλες τις λεκάνες της Ανατολικής Μεσογείου (Kotta and Kitsiou, 2019) ενώ παρατηρήθηκαν πράγματι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βιομάζας φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν στο Βόρειο Αιγαίο συγκριτικά με το Νότιο Αιγαίο (Ignatiades et al., 2002). Παρόλο το γεγονός ότι το Βόρειο Αιγαίο εμφανίζει μεγαλύτερη πρωτογενή παραγωγή σε σύγκριση με το Νότιο Αιγαίο, τα επίπεδα παραγωγικότητας που μετρήθηκαν στο δεύτερο (Κρητικό Πέλαγος) συμφωνούν με αυτά τα οποία έχουν κατά καιρούς δημοσιευθεί και αφορούν την Θάλασσα της Λεβαντίνης που επιδεικνύει υπερ-ολιγοτροφικό χαρακτήρα (Πίνακας 3). Επομένως, το μοτίβο κατανομής της πρωτογενούς παραγωγής στην ευρύτερη περιοχή δεν επαρκεί ώστε να εξηγηθεί η παρατηρούμενη βαθμιαία ελάττωση του μέσου μεγέθους των τρηματοφόρων συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους η οποία ενδεχομένως συσχετίζεται με τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών που συνιστούν τον κυριότερο παράγοντα ανάπτυξης των πλαγκτονικών τρηματοφόρων.

Στην εργασία των Schmidt et al. (2004) γίνεται αναφορά σε μια ισχυρή θετική συσχέτιση η οποία διαπιστώνεται ανάμεσα στο μέγεθος των πλαγκτονικών τρηματοφόρων και τις συγκεντρώσεις των φωσφορικών αλάτων που καταγράφονται εντός των συναθροίσεων των κελυφών. Η Ανατολική Μεσόγειος μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα σύστημα εντός του οποίου υπάρχουν περιορισμένες ποσότητες φωσφόρου και άλλων θρεπτικών συστατικών συνεπώς το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής παραγωγής που συντελείται καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις των φωσφορικών αλάτων (Krom et al., 2014). Το Αιγαίο Πέλαγος εμφανίζει υψηλότερες συγκεντρώσεις σε φωσφορικά άλατα σε σχέση με την Θάλασσα της Λεβαντίνης (Lazzari et al., 2016). Επομένως, οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών αλάτων ελαττώνονται πλησιάζοντας από το Βόρειο Αιγαίο προς το Νότιο Αιγαίο και την Θάλασσα της Λεβαντίνης (Varkitzi et al., 2020) ενώ η συγκεκριμένη βαθμιαία ελάττωση παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με τα αποτελέσματα που αφορούν το μέσο μέγεθος των πλαγκτονικών τρηματοφόρων. Εντός του επιφανειακού στρώματος νερού του Αιγαίου Πελάγους, το ετήσιο εύρος των συγκεντρώσεων των φωσφορικών αλάτων ισούται περίπου με 0.05 μM (Krasakourou et al., 1999) σε αντίθεση με το ίδιο στρώμα νερού της Θάλασσας της Λεβαντίνης όπου η αντίστοιχη τιμή είναι σχεδόν ίση με το ήμισυ της προηγούμενης ($\approx 0.025 \mu\text{M}$, Yilmaz and Tugrul, 1998,

Kress and Herut, 2001). Τα υποεπιφανειακά νερά που υπέρκεινται των λεκανών της Θάλασσας της Λεβαντίνης, παρόλο το γεγονός ότι μπορούν να χαρακτηριστούν ως σχετικά φτωχά σε φωσφορικά άλατα, είναι ωστόσο πλουσιότερα με σύγκριση με τα επιφανειακά ύδατα (Krom et al., 1991).

Με εξαίρεση το κυκλωνικό περιστροφικό ρεύμα της Ρόδου το οποίο προκαλεί φαινόμενα ανοδικών ρευμάτων (upwelling) βαθιού νερού πλούσιου σε θρεπτικά συστατικά αποτελώντας μια "όαση θρεπτικών συστατικών" εντός της βόρειου τμήματος της Θάλασσας της Λεβαντίνης, οι υπόλοιπες περιοχές της συγκεκριμένης θάλασσας χαρακτηρίζονται από την εκδήλωση ρευμάτων αντικυκλωνικής κυκλοφορίας (Gerin et al., 2009). Τα συγκεκριμένα αντικυκλωνικά ρεύματα προξενούν την καταβύθιση του επιφανειακού νερού (downwelling) το οποίο πιέζει τα υποκείμενα στρώματα της υδάτινης στήλης συμπεριλαμβανομένου του στρώματος όπου εντοπίζεται το Βαθύ Μέγιστο της Χλωροφύλλης (Salihoglu et al., 1990). Το πάχος του στρώματος εντός του οποίου παρατηρείται εξάντληση των θρεπτικών συστατικών εκτείνεται μέχρι το βάθος όπου εντοπίζεται το Βαθύ Μέγιστο της Χλωροφύλλης δηλαδή περίπου στα 75 m στο Βόρειο Αιγαίο, 100 - 150 m στο Νότιο Αιγαίο και χαμηλότερα από τα 150 m στη Θάλασσα της Λεβαντίνης. Κάτω από το στρώμα όπου διαπιστώνεται η εξάντληση των θρεπτικών συστατικών, οι τιμές συγκεντρώσεων των τελευταίων αυξάνονται συνεχώς διασχίζοντας το κατακόρυφο πλάτος εμφάνισης του θρεπτοκλινούς (Varkitzi et al., 2020). Ένα περιβάλλον τέτοιου τύπου υποδηλώνει ότι προκειμένου να αυξηθεί η διαθέσιμη ποσότητα τροφής και να καταστεί εφικτή η ευδοκίμηση των πλαγκτονικών τρηματοφόρων, οι εν λόγω οργανισμοί οφείλουν να προσαρμοστούν σε μεγαλύτερα βάθη νερού εντός της Θάλασσας της Λεβαντίνης.

Τοποθεσία	Παραγωγικότητα	Αναφορά
Ανατολική Μεσόγειος	10-20	Berman et al. (1984)
Ανατολική Μεσόγειος	25	Murdoch and Onuf (1973)
Β. Λεκάνη της Λεβαντίνης (κεντρικό τμήμα κυκλωνικού ρεύματος Ρόδου)	60	Salihoğlu et al. (1990)
Β. Λεκάνη της Λεβαντίνης (κεντρικό τμήμα των αντικυκλώνων)	33	Salihoğlu et al. (1990)
Αιγαίο Πέλαγος	36	Yllmaz (1986)
Κρητικό Πέλαγος	25	Ignatiades (1998)
Λεβαντίνη	24	Krom et al. (1992)

Πίνακας 3. Μέση ετήσια πρωτογενής παραγωγικότητα σε διαφορετικές τοποθεσίες της Μεσογείου θάλασσας ($\text{g C m}^{-2} \text{yr}^{-1}$).

5.2.1.1 Η μεταβολή του μεγέθους ως ρυθμιστικός μηχανισμός του βάθους

Παρόλο το γεγονός ότι στην παρούσα μελέτη δεν βρέθηκε κάποια ικανοποιητική σχέση ανάμεσα στα ποσοστά αφθονίας των πλαγκτονικών τρηματοφόρων και το μέσο μέγεθος καθενός είδους, είναι ωστόσο δυνατή η εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων με βάση τις παλαιότερες δημοσιευμένες εργασίες αναφορικά με τις συνδέσεις που υπάρχουν ανάμεσα στην αφθονία των ζωοπλαγκτονικών οργανισμών και το μέσο μέγεθός τους (Bé et al., 1973, Hecht, 1976, Schmidt et al., 2004). Ενώ καταγράφονται αυξημένα ποσοστά αφθονίας όσον αφορά τα ζωοπλαγκτονικά είδη στο Βόρειο Αιγαίο συγκριτικά με το Νότιο Αιγαίο και την Θάλασσα της Λεβαντίνης (Siokou-Frangou et al., 1999), ο αριθμός των συγκεκριμένων οργανισμών εμφανίζεται αυξημένος στις νότιες θάλασσες που μελετήθηκαν σε σχέση με τις υπόλοιπες στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιήθηκαν δίχτυα με μάτια λεπτότερου μεγέθους (Moraitou-Apostolopoulou, 1985, Kovalev et al., 1999), γεγονός το οποίο υποδηλώνει ότι οι πλαγκτονικοί οργανισμοί μικρότερου μεγέθους παρουσιάζουν μεγάλη αφθονία πλησιάζοντας από τις βόρειες προς τις νότιες θαλάσσιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου. Εκτός από την ελάττωση της απαιτούμενης ενέργειας η οποία επιτυγχάνεται μέσω της διατήρησης σωμάτων μικρότερου μεγέθους σε περιοχές που εμφανίζουν ολιγοτροφικό χαρακτήρα, οι μικρότεροι όγκοι των κελυφών εξασφαλίζουν στους οργανισμούς αρνητική πλευστότητα (Zarkogiannis et al., 2019) προκειμένου να καταφέρουν είτε να κατέλθουν σε βάθη όπου τα στρώματα του νερού παρουσιάζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε θρεπτικά συστατικά είτε να εισέλθουν εντός του Βαθιού Μέγιστου της Χλωροφύλλης (120 m βάθος, Berland et al., 1988, Siokou – Frangou et al., 2010, Varkitzi et al., 2020). Το γεγονός ότι το επιφανειακό στρώμα νερού χαρακτηρίζεται από σχεδόν ίδιες τιμές πυκνότητας (Εικόνα 5) στο Βόρειο Αιγαίο και την Θάλασσα της Λεβαντίνης μπορεί να αιτιολογήσει μόνο τις μικρές μεταβολές του μεγέθους των πλαγκτονικών τρηματοφόρων όσον αφορά την κάθοδο των τελευταίων στα μεγαλύτερα βάθη της δεύτερης θάλασσας όπου εντοπίζονται τα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά στρώματα της υδάτινης στήλης.

Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας δεν συμφωνούν πλήρως με παλαιότερα ευρήματα αναφορικά με την εξάρτηση του μεγέθους των τρηματοφόρων από την θερμοκρασία, ωστόσο

τα πρώτα επιβεβαιώνουν τον κανόνα θερμοκρασίας - μεγέθους (TSR) με βάση τον οποίο ισχύει ότι το μέγεθος του σώματος ενός εξωθερμικού οργανισμού παρουσιάζει την τάση να ελαττώνεται καθώς αυξάνεται η τελευταία (Atkinson and Sibly, 1997). Ο συγκεκριμένος κανόνας προβλέπει μια αρνητική επίδραση των υψηλότερων θερμοκρασιών στο μέγεθος των πλαγκτονικών τρηματοφόρων κατά το στάδιο της ωριμότητας αλλά μια θετική επίδραση στον ρυθμό ανάπτυξής τους. Το παραπάνω γεγονός έχει ως συνέπεια η θέρμανση να οδηγεί σε μικρότερα μεγέθη στα μετέπειτα στάδια της οντογένεσης και σε μεγαλύτερα μεγέθη στα αρχικά στάδια της τελευταίας (Daufresne et al., 2009). Τα ελάχιστα μεγέθη των πλαγκτονικών τρηματοφόρων τα οποία παρατηρήθηκαν στα πλαίσια των δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν μέσω της χρήσης διχτύων με μέγεθος ματιών που αντιστοιχεί σε 125 μm αντιπροσωπεύουν μια τεχνητή (μη πραγματική) αποκοπή της φυσικής κατανομής του μεγέθους καθενός είδους δίχως να συμπεριλαμβάνονται οποιεσδήποτε μεταβολές των κελυφών που λαμβάνουν χώρα πριν από το στάδιο της ενηλικίωσης των συγκεκριμένων οργανισμών. Ωστόσο είναι γνωστό ότι εντός της Λεκάνης της Λεβαντίνης παρατηρείται μια μετατόπιση προς μικρότερα μεγέθη όσον αφορά το φυτοπλαγκτόν καθώς συμβαίνει η μετάβαση από την εαρινή προς την θερινή περίοδο (Azon, 1986, Kimor et al., 1987). Η εν λόγω μετατόπιση μπορεί να συνεχίσει να υφίσταται στην περίπτωση της ταχύτατης αναγέννησης των θρεπτικών συστατικών διότι τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα αξιοποιούν με αποτελεσματικό τρόπο τα πιο σπάνια από αυτά, ενώ εμφανίζουν επίσης την ικανότητα προς ταχύτατη ανάπτυξη. Τέλος σε άλλες περιοχές έχει παρατηρηθεί μια ανάλογη μετατόπιση της σύστασης των κελυφών των ειδών όταν μεταβάλλεται ο βαθμός διαθεσιμότητας των θρεπτικών συστατικών στην υδάτινη στήλη προκειμένου να διατηρηθούν οι μέγιστοι ρυθμοί ανάπτυξης (Hutchings et al., 1995, Thingstad and Rassoulzadegan, 1995).

6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αναλύσαμε την κατανομή μεγέθους και αφθονίας των συναθροίσεων πλαγκτονικών τρηματοφόρων στην Ανατολική Μεσόγειο. Τα αποτελέσματα μας υποστηρίζουν τις προηγούμενες έρευνες, οι οποίες δηλώνουν ότι η θερμοκρασία από την στρωματοποίηση των επιφανειακών υδάτων και η διαθεσιμότητα τροφής είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή των πλαγκτονικών τρηματοφόρων στην Ανατολική Μεσόγειο. Η πανίδα έδειξε να αποτελείται από τροπικά/υποτροπικά είδη, επιβεβαιώνοντας τις προηγούμενες μελέτες και το μέσο μέγεθος φαίνεται να μειώνεται ελαφρώς από το Βόρειο Αιγαίο προς την θάλασσα της Λεβαντίνης. Δικαιολογούμε αυτή την μείωση μεγέθους στην προοδευτική μείωση των φωσφορικών στα επιφανειακά νερά ανά γεωγραφικό πλάτος ή σε έναν μηχανισμό καθίζησης σε πλούσια σε θρεπτικά συστατικά υποεπιφανειακά στρώματα. Επιπλέον, συγκρίναμε σε χωρικό επίπεδο τα μορφομετρικά δεδομένα με την δυναμική των πληθυσμών και τα τοπικά δεδομένα θαλάσσιας επιφανειακής θερμοκρασίας (SST). Με την ενσωμάτωση της μεταβολής του μεγέθους, συμπεραίνουμε ότι στην Ανατολική Μεσόγειο η σχέση μεταξύ του μεγέθους των κελυφών των πλαγκτονικών τρηματοφόρων και της αφθονίας ή του SST δεν υφίσταται ή είναι πολύ μικρής σημασίας.

7. Βιβλιογραφία

- Aldridge, D., Beer, C.J., Purdie, D.A., 2012. Calcification in the planktonic foraminifera *Globigerina bulloides* linked to phosphate concentrations in surface waters of the North Atlantic Ocean. *Biogeosciences* 9, 1725–1739.
- André, A., Quillévéré, F., Morard, R., Ujié, Y., Escarguel, G., de Vargas, C., de Garidel-Thoron, T., Douady, C.J., 2014. SSU rDNA divergence in planktonic foraminifera: molecular taxonomy and biogeographic implications. *PLOS ONE* 9, e104641.
- Androulidakis, Y.S., Krestenitis, Y.N., Psarra, S., 2017. Coastal upwelling over the North Aegean Sea: observations and simulations. *Cont. Shelf Res.* 149, 32–51.
- Antoine, D., Morel, A., André, J.-M., 1995. Algal pigment distribution and primary production in the eastern Mediterranean as derived from coastal zone color scanner observations. *J. Geophys. Res.: Oceans* 100, 16193–16209.
- Antonarakou, A., Kontakiotis, G., Karageorgis, A.P., Besiou, E., Zarkogiannis, S., Drinia, H., Mortyn, G.P., Tripsanas, E., 2019. Eco-biostratigraphic advances on late Quaternary geochronology and palaeoclimate: the marginal Gulf of Mexico analogue. *Geol. Quart.* 63, 178–191.
- Antonarakou, A., Kontakiotis, G., Mortyn, P.G., Drinia, H., Sprovieri, M., Besiou, E., Tripsanas, E., 2015. Biotic and geochemical ($\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$, Mg/Ca, Ba/Ca) responses of *Globigerinoides ruber* morphotypes to upper water column variation during the last deglaciation Gulf of Mexico. *Geochim. Cosmochim. Acta* 170, 69–93.
- Antonarakou, A., Kontakiotis, G., Zarkogiannis, S., Mortyn, P.G., Drinia, H., Koskeridou, E., Anastasakis, G., 2018. Planktonic foraminiferal abnormalities in coastal and open marine eastern Mediterranean environments: a natural stress monitoring approach in recent and early Holocene marine systems. *J. Mar. Syst.* 181, 63–78.

- Atkinson, D., Sibly, R.M., 1997. Why are organisms usually bigger in colder environments? Making sense of a life history puzzle. *Trends Ecol. Evol.* 12, 235–239.
- Aurahs, R., Grimm, G.W., Hemleben, V., Hemleben, C., Kucera, M., 2009. Geographical distribution of cryptic genetic types in the planktonic foraminifer *Globigerinoides ruber*. *Mol. Ecol.* 18, 1692–1706.
- Azov, Y., 1986. Seasonal patterns of phytoplankton productivity and abundance in nearshore oligotrophic waters of the Levant Basin (Mediterranean). *J. Plankton Res.* 8, 41–53.
- Azov, Y., 1991. Eastern Mediterranean—a marine desert? *Mar. Pollut. Bull.* 23, 225–232.
- Bé, A.W.H., Harrison, S.M., Lott, L., 1973. *Orbulina universa* d'Orbigny in the Indian Ocean. *Micropaleontology* 19, 150–192.
- Beer, C.J., Schiebel, R., Wilson, P.A., 2010. Testing planktic foraminiferal shell weight as a surface water [CO₂] proxy using plankton net samples. *Geology* 38, 103–106.
- Berland, B.R., Benzhitski, A.G., Burlakova, Z.P., Georgieva, L., Izmestreva, M., Kholodov, V., Maestrini, S., 1988. Conditions hydrologiques estivales en Méditerranée, répartition du phytoplancton et de la matière organique. *Oceanol. Acta* 163–177.
- Berman, T., Townsend, D., Elsayed, S., Trees, C., Azov, Y., 1984. Optical transparency, chlorophyll and primary productivity in the eastern Mediterranean near the Israeli coast. *Oceanol. Acta* 7, 367–372.
- Bethoux, J.P., Gentili, B., Morin, P., Nicolas, E., Pierre, C., Ruiz-Pino, D., 1999. The Mediterranean Sea: a miniature ocean for climatic and environmental studies and a key for the climatic functioning of the North Atlantic. *Prog. Oceanogr.* 44, 131–146.
- Brachert, T.C., Bornemann, A., Reuter, M., Galer, S.J., Grimm, K.I., Fassoulas, C., 2015. Upwelling history of the Mediterranean Sea revealed by stunted growth in the planktic foraminifera *Orbulina universa* (early Messinian, Crete, Greece). *Int. J. Earth Sci.* 104, 263–276.
- Casford, J.S.L., Rohling, E.J., Abu-Zied, R., Cooke, S., Fontanier, C., Leng, M., Lykousis, V., 2002. Circulation changes and nutrient concentrations in the late Quaternary Aegean Sea: a nonsteady state concept for sapropel formation. *Paleoceanography* 17 14-11.

- Cifelli, R., 1974. Planktonic foraminifera from the Mediterranean and adjacent Atlantic waters (Cruise 49 of the ATLANTIS II, 1969). *J. Foraminiferal Res.* 4, 171–183.
- Corbí, H., Soria, J.M., 2016. Late Miocene–early Pliocene planktonic foraminifer event stratigraphy of the Bajo Segura basin: a complete record of the western Mediterranean. *Mar. Pet. Geol.* 77, 1010–1027.
- Corbí, H., Soria, J.M., Lancis, C., Giannetti, A., Tent-Manclús, J.E., Dinarès-Turell, J., 2016. Sedimentological and paleoenvironmental scenario before, during, and after the Messinian Salinity Crisis: the San Miguel de Salinas composite section (western Mediterranean). *Mar. Geol.* 379, 246–266.
- D’Ortenzio, F., Ribera d’Alcalà, M., 2009. On the trophic regimes of the Mediterranean Sea: a satellite analysis. *Biogeosciences* 6, 139–148.
- Darling, K.F., Kucera, M., Wade, C.M., von Langen, P., Pak, D., 2003. Seasonal distribution of genetic types of planktonic foraminifer morphospecies in the Santa Barbara Channel and its paleoceanographic implications. *Paleoceanography* 18, 1032.
- Daufresne, M., Lengfellner, K., Sommer, U., 2009. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 106, 12788–12793.
- Des Roches, S., Post, D.M., Turley, N.E., Bailey, J.K., Hendry, A.P., Kinnison, M.T., Schweitzer, J.A., Palkovacs, E.P., 2018. The ecological importance of intraspecific variation. *Nat. Ecol. Evol.* 2, 57–64.
- Ediger, D., Yilmaz, A., 1996. Characteristics of deep chlorophyll maximum in the Northeastern Mediterranean with respect to environmental conditions. *J. Mar. Syst.* 9, 291–303.
- Fairbanks, R.G., Wiebe, P.H., 1980. Foraminifera and chlorophyll maximum: vertical distribution, seasonal succession, and paleoceanographic significance. *Science* 209, 1524–1526.
- Geraga, M., Ioakim, C., Lykousis, V., Tsaila-Monopolis, S., Mylona, G., 2010. The high-resolution palaeoclimatic and palaeoceanographic history of the last 24,000 years in the central Aegean Sea, Greece. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 287, 101–115.

- Geraga, M., Mylona, G., Tsaila-Monopoli, S., Papatheodorou, G., Ferentinos, G., 2008. Northeastern Ionian Sea: Palaeoceanographic variability over the last 22 ka. *J. Mar. Syst.* 74, 623–638.
- Gerin, R., Poulain, P.M., Taupier-Letage, I., Millot, C., Ben Ismail, S., Sammari, C., 2009. Surface circulation in the Eastern Mediterranean using drifters (2005–2007). *Ocean Sci.* 5, 559–574.
- Giamali, C., Koskeridou, E., Antonarakou, A., Ioakim, C., Kontakiotis, G., Karageorgis, A. P., Roussakis, G., Karakitsios, V., 2019. Multiproxy ecosystem response of abrupt Holocene climatic changes in the northeastern Mediterranean sedimentary archive and hydrologic regime. *Quatern. Res.* 92, 665–685.
- Hecht, A.D., 1976. An ecologic model for test size variation in recent planktonic foraminifera: applications to the fossil record. *J. Foraminiferal Res.* 6, 295–311.
- Hemleben, C., Anderson, O.R., Spindler, M., 1989. *Modern Planktonic Foraminifera*. Springer-Verlag, New York.
- Hutchings, L., Pitcher, G.C., Probyn, T.A., Bayley, G.W., 1995. The chemical and biological consequences of coastal upwelling. In: Summerhayes, C.P., Emeis, K.-C., Angel, M.V., Smith, R.L., Zeitzschel, B. (Eds.), *Upwelling in the Ocean: Modern Processes and Ancient Records*. Wiley, England, pp. 64–81.
- Ignatiades, L., 1998. The productive and optical status of the oligotrophic waters of the Southern Aegean Sea (Cretan Sea), Eastern Mediterranean. *J. Plankton Res.* 20, 985–995.
- Ignatiades, L., 2005. Scaling the trophic status of the Aegean Sea, eastern Mediterranean. *J. Sea Res.* 54, 51–57.
- Ignatiades, L., Psarra, S., Zervakis, V., Pagou, K., Souvermezoglou, E., Assimakopoulou, G., Gotsis-Skretas, O., 2002. Phytoplankton size-based dynamics in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean). *J. Mar. Syst.* 36, 11–28.
- Incarbona, A., Dinarès-Turell, J., Di Stefano, E., Ippolito, G., Pelosi, N., Sprovieri, R., 2013. Orbital variations in planktonic foraminifera assemblages from the Ionian Sea during the Middle Pleistocene Transition. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 369, 303–312.

- Kassis, Dimitris, Korres, Gerasimos, 2020. Hydrography of the Eastern Mediterranean basin derived from argo floats profile data. *Deep Sea Res. Part II: Top. Stud. Oceanogr.* 171, 104712. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2019.104712>.
- Kimor, B., Berman, T., Schneller, A., 1987. Phytoplankton assemblages in the deep chlorophyll maximum layers off the Mediterranean coast of Israel. *J. Plankton Res.* 9, 433–443.
- Kontakiotis, G., 2016. Late Quaternary paleoenvironmental reconstruction and paleoclimatic implications of the Aegean Sea (eastern Mediterranean) based on paleoceanographic indexes and stable isotopes. *Quatern. Int.* 401, 28–42.
- Kontakiotis, G., Antonarakou, A., Mortyn, P.G., Drinia, H., Anastasakis, G., Zarkogiannis, S., Möbius, J., 2017. Morphological recognition of *Globigerinoides ruber* morphotypes and their susceptibility to diagenetic alteration in the eastern Mediterranean Sea. *J. Mar. Syst.* 174, 12–24.
- Kontakiotis, G., Antonarakou, A., Zachariasse, W.J., 2013. Late Quaternary Palaeoenvironmental Changes in the Aegean Sea: Interrelations and Interactions Between North and South Aegean Sea, Vol. 47. , pp. 11.
- Kontakiotis, G., Besiou, E., Antonarakou, A., Zarkogiannis, S.D., Kostis, A., Mortyn, P.G., Moissette, P., Cornée, J.J., Schulbert, C., Drinia, H., Anastasakis, G., Karakitsios, V., 2019. Decoding sea surface and paleoclimate conditions in the eastern Mediterranean over the Tortonian-Messinian Transition. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 534, 109312.
- Kontakiotis, G., Mortyn, P.G., Antonarakou, A., Martínez-Botí, M.A., Triantaphyllou, M. V., 2011. Field-based validation of a diagenetic effect on *G. ruber* Mg/Ca paleothermometry: core top results from the Aegean Sea (eastern Mediterranean). *Geochem. Geophys. Geosyst.* 12.
- Kotta, D., Kitsiou, D., 2019. Chlorophyll in the Eastern Mediterranean Sea: correlations with environmental factors and trends. *Environments* 6, 98.

- Kouvarakis, G., Mihalopoulos, N., Tselepidis, A., Stavrakakis, S., 2001. On the importance of atmospheric inputs of inorganic nitrogen species on the productivity of the Eastern Mediterranean Sea. *Glob. Biogeochem. Cycles* 15, 805–817.
- Kovalev, A.V., Kideys, A.E., Pavlova, E.V., Shmeleva, A.A., Skryabin, V.A., Ostrovskaya, N.A., Uysal, Z., 1999. Composition and abundance of zooplankton of the Eastern Mediterranean Sea. In: Malanotte-Rizzoli, P., Eremeev, V.N. (Eds.), *The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 81–95.
- Krasakopoulou, E., Souvermezoglou, E., Pavlidou, A., Kontoyiannis, H., 1999. Oxygen and nutrient fluxes through the Straits of the Cretan Arc (March 1994–January 1995). *Prog. Oceanogr.* 44, 601–624.
- Kress, N., Gertman, I., Herut, B., 2014. Temporal evolution of physical and chemical characteristics of the water column in the Easternmost Levantine basin (Eastern Mediterranean Sea) from 2002 to 2010. *J. Mar. Syst.* 135, 6–13.
- Kress, N., Herut, B., 2001. Spatial and seasonal evolution of dissolved oxygen and nutrients in the Southern Levantine Basin (Eastern Mediterranean Sea): chemical characterization of the water masses and inferences on the N:P ratios. *Deep Sea Res. Part 1: Oceanogr. Res. Pap.* 48, 2347–2372.
- Krom, M., Kress, N., Berman-Frank, I., Rahav, E., 2014. Past, present and future patterns in the nutrient chemistry of the Eastern Mediterranean. In: Goffredo, S., Dubinsky, Z. (Eds.), *The Mediterranean Sea: Its History and Present Challenges*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 49–68.
- Krom, M.D., Brenner, S., Kress, N., Neori, A., Gordon, L.I., 1992. Nutrient dynamics and new production in a warm-core eddy from the Eastern Mediterranean Sea. *Deep Sea Res. Part A. Oceanogr. Res. Pap.* 39, 467–480.
- Krom, M.D., Brenner, S., Kress, N., Neori, A., Gordon, L.I., 1993. Nutrient distributions during an annual cycle across a warmcore eddy from the E. Mediterranean Sea. *Deep Sea Res. Part 1: Oceanogr. Res. Pap.* 40, 805–825.

- Krom, M.D., Kress, N., Brenner, S., Gordon, L.I., 1991. Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Limnol. Oceanogr.* 36, 424–432.
- Kucera, M., 2007. Planktonic foraminifera as tracers of past oceanic environments. In: Hillaire–Marcel, C., De Vernal, A. (Eds.), *Developments in Marine Geology*. Elsevier, pp. 213–262 (Chapter 6).
- Kuroyanagi, A., Kawahata, H., 2004. Vertical distribution of living planktonic foraminifera in the seas around Japan. *Mar. Micropaleontol.* 53, 173–196.
- Kuroyanagi, A., Tsuchiya, M., Kawahata, H., Kitazato, H., 2008. The occurrence of two genotypes of the planktonic foraminifer *Globigerinoides ruber* (white) and paleoenvironmental implications. *Mar. Micropaleontol.* 68, 236–243.
- Lazzari, P., Solidoro, C., Salon, S., Bolzon, G., 2016. Spatial variability of phosphate and nitrate in the Mediterranean Sea: a modeling approach. *Deep Sea Res. Part 1: Oceanogr. Res. Pap.* 108, 39–52.
- Lin, H.-L., Hsieh, H.-Y., 2007. Seasonal variations of modern planktonic foraminifera in the South China Sea. *Deep Sea Res. Part II: Top. Stud. Oceanogr.* 54, 1634–1644.
- Lirer, F., Sprovieri, M., Vallefucio, M., Ferraro, L., Pelosi, N., Giordano, L., Capotondi, L., 2014. Planktonic foraminifera as bio-indicators for monitoring the climatic changes that have occurred over the past 2000 years in the southeastern Tyrrhenian Sea. *Integr. Zool.* 9, 542–554.
- Lykousis, V., Chronis, G., Tselepidis, A., Price, N.B., Theocharis, A., Siokou-Frangou, I., Van Wambeke, F., Danovaro, R., Stavrakakis, S., Duineveld, G., Georgopoulos, D., Ignatiades, L., Souvermezoglou, A., Voutsinou-Taliadouri, F., 2002. Major outputs of the recent multidisciplinary biogeochemical researches undertaken in the Aegean Sea. *J. Mar. Syst.* 33-34, 313–334.
- Maar, M., Nielsen, T.G., Stips, A., Visser, A., 2003. Microscale distribution of zooplankton in relation to turbulent diffusion. *Limnol. Oceanogr.* 48, 1312–1325.

- Mallo, M., Ziveri, P., Mortyn, P.G., Schiebel, R., Grelaud, M., 2017. Low planktic foraminiferal diversity and abundance observed in a spring 2013 west-east Mediterranean Sea plankton tow transect. *Biogeosciences* 14, 2245–2266.
- Margaritelli, G., Cisneros, M., Cacho, I., Capotondi, L., Vallefucio, M., Rettori, R., Lirer, F., 2018. Climatic variability over the last 3000 years in the central – western Mediterranean Sea (Menorca Basin) detected by planktonic foraminifera and stable isotope records. *Global Planet. Change* 169, 179–187.
- Margaritelli, G., Vallefucio, M., Di Rita, F., Capotondi, L., Bellucci, L.G., Insinga, D.D., Petrosino, P., Bonomo, S., Cacho, I., Cascella, A., Ferraro, L., Florindo, F., Lubritto, C., Lurcock, P.C., Magri, D., Pelosi, N., Rettori, R., Lirer, F., 2016. Marine response to climate changes during the last five millennia in the central Mediterranean Sea. *Global Planet. Change* 142, 53–72.
- Markaki, Z., Oikonomou, K., Kocak, M., Kouvarakis, G., Chaniotaki, A., Kubilay, N., Mihalopoulos, N., 2003. Atmospheric deposition of inorganic phosphorus in the Levantine Basin, eastern Mediterranean: spatial and temporal variability and its role in seawater productivity. *Limnol. Oceanogr.* 48, 1557–1568.
- Marshall, B.J., Thunell, R.C., Henehan, M.J., Astor, Y., Wejnert, K.E., 2013. Planktonic foraminiferal area density as a proxy for carbonate ion concentration: a calibration study using the Cariaco Basin ocean time series. *Paleoceanography* 28, 363–376.
- Milliman, J.D., 1993. Production and accumulation of calcium carbonate in the ocean: budget of a nonsteady state. *Glob. Biogeochem. Cycles* 7, 927–957.
- Moraitou-Apostolopoulou, M., 1985. The zooplankton communities of the Eastern Mediterranean (Levantine Basin, Aegean Sea): influence of man-made factors. In: Moraitou-Apostolopoulou, M., Kiortsis, V. (Eds.), *Mediterranean Marine Ecosystems*. Springer US, Boston, MA, pp. 303–331.
- Murdoch, W.W., Onuf, C.P., 1973. The Mediterranean as a system. *Int. J. Environ. Stud.* 5, 275–284.
- Nittis, K., Lascaratos, A., 1999. Intermediate water formation in the Levantine Sea: the response to interannual variability of atmospheric forcing. In: Malanotte-Rizzoli, P.,

- Eremeev, V.N. (Eds.), The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 441–446.
- Numberger, L., Hemleben, C., Hoffmann, R., Mackensen, A., Schulz, H., Wunderlich, J.-M., Kucera, M., 2009. Habitats, abundance patterns and isotopic signals of morphotypes of the planktonic foraminifer *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny) in the eastern Mediterranean Sea since the Marine Isotopic Stage 12. *Mar. Micropaleontol.* 73, 90–104.
- Olson, D.B., Kourafalou, V.H., Johns, W.E., Samuels, G., Veneziani, M., 2007. Aegean surface circulation from a satellite-tracked drifter array. *J. Phys. Oceanogr.* 37, 1898–1917.
- Özsoy, E., Hecht, A., Ünlüata, Ü., 1989. Circulation and hydrography of the Levantine Basin. Results of POEM coordinated experiments 1985–1986. *Prog. Oceanogr.* 22, 125–170.
- Parker, F.L., 1955. Distribution of planktonic foraminiferal in some Mediterranean sediments. *Pap. Mar. Biol. Oceanogr.* 3, 204–211.
- Patterson, Timothy R., Fishbein, Evan, 1989. Re-examination of the statistical methods used to determine the number of point counts needed for micropaleontological quantitative research. *J. Paleontol.* 63 (2), 245–248. <https://doi.org/10.1017/S0022336000019272>.
- Pujol, C., Grazzini, C.V., 1995. Distribution patterns of live planktic foraminifers as related to regional hydrography and productive systems of the Mediterranean Sea. *Mar. Micropaleontol.* 25, 187–217.
- Rillo, M.C., Miller, C.G., Kucera, M., Ezard, T.H.G., 2018. Predictability of intraspecific size variation in extant planktonic foraminifera. *bioRxiv* 468165.
- Rohling, E.J., Den Dulk, M., Pujol, C., Vergnaud-Grazzini, C., 1995. Abrupt hydrographic change in the Alboran Sea (western Mediterranean) around 8000 yrs BP. *Deep Sea Res. Part 1: Oceanogr. Res. Pap.* 42, 1609–1619.
- Rohling, E.J., Jorissen, F.J., De Stigter, H.C., 1997. 200 Year interruption of Holocene sapropel formation in the Adriatic Sea. *J. Micropalaeontol.* 16, 97–108.

- Rohling, E.J., Jorissen, F.J., Grazzini, C.V., Zachariasse, W.J., 1993. Northern Levantine and Adriatic Quaternary planktic foraminifera; Reconstruction of paleoenvironmental gradients. *Mar. Micropaleontol.* 21, 191–218.
- Salihoğlu, _I., Saydam, C., Baştürk, Ö., Yılmaz, K., Göçmen, D., Hatipoğlu, E., Yılmaz, A., 1990. Transport and distribution of nutrients and chlorophyll-a by mesoscale eddies in the northeastern Mediterranean. *Mar. Chem.* 29, 375–390.
- Schiebel, R., 2002. Planktic foraminiferal sedimentation and the marine calcite budget. *Glob. Biogeochem. Cycles* 16, 1065.
- Schiebel, R., Hemleben, C., 2000. Interannual variability of planktic foraminiferal populations and test flux in the eastern North Atlantic Ocean (JGOFS). *Deep Sea Res. Part II: Top. Stud. Oceanogr.* 47, 1809–1852.
- Schiebel, R., Hemleben, C., 2017. *Planktic Foraminifers in the Modern Ocean*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Schiebel, R., Movellan, A., 2012. First-order estimate of the planktic foraminifer biomass in the modern ocean. *Earth Syst. Sci. Data* 4, 75–89.
- Schmidt, D.N., Lazarus, D., Young, J.R., Kucera, M., 2006. Biogeography and evolution of body size in marine plankton. *Earth-Sci. Rev.* 78, 239–266.
- Schmidt, D.N., Renaud, S., Bollmann, J., Schiebel, R., Thierstein, H.R., 2004. Size distribution of Holocene planktic foraminifer assemblages: biogeography, ecology and adaptation. *Mar. Micropaleontol.* 50, 319–338.
- Simoncelli, S., Schaap, D., Schlitzer, R., 2015. *Mediterranean Sea – Temperature and Salinity Climatology V1.1*. .
- Siokou-Frangou, I., Christaki, U., Mazzocchi, M.G., Montresor, M., Ribera d’Alcalá, M., Vaqué, D., Zingone, A., 2010. Plankton in the open Mediterranean Sea: a review. *Biogeosciences* 7, 1543–1586.
- Siokou-Frangou, I., Gotsis-Skretas, O., Christou, E.D., Pagou, K., 1999. Plankton characteristics in the Aegean, Ionian and NW Levantine Seas. In: Malanotte-Rizzoli, P., Eremeev, V.N. (Eds.), *The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 205–223.

- Souvermezoglou, E., Krasakopoulou, E., 1999. The effect of physical processes on the distribution of nutrients and oxygen in the NW Levantine Sea. In: Malanotte-Rizzoli, P., Eremeev, V.N. (Eds.), *The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 225–240.
- Stambler, N., 2014. The Mediterranean Sea – primary productivity. In: Goffredo, S., Dubinsky, Z. (Eds.), *The Mediterranean Sea: Its History and Present Challenges*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 113–121.
- Steinke, S., Chiu, H.-Y., Yu, P.-S., Shen, C.-C., Löwemark, L., Mii, H.-S., Chen, M.-T., 2005. Mg/Ca ratios of two *Globigerinoides ruber* (white) morphotypes: Implications for reconstructing past tropical/subtropical surface water conditions. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 6.
- Stergiou, K.I., Christou, E.D., Georgopoulos, D., Zenetos, A., Souvermezoglou, C., 1997. The Hellenic seas: physics, chemistry, biology and fisheries. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu.Rev.* 35, 415– 538.
- Theocharis, A., Balopoulos, E., Kioroglou, S., Kontoyiannis, H., Iona, A., 1999. A synthesis of the circulation and hydrography of the South Aegean Sea and the Straits of the Cretan Arc (March 1994–January 1995). *Prog. Oceanogr.* 44, 469–509.
- Theocharis, A., Georgopoulos, D., 1993. Dense water formation over the Samothraki and Limnos Plateaux in the north Aegean Sea (Eastern Mediterranean Sea). *Cont. Shelf Res.* 13, 919–939.
- Theocharis, A., Georgopoulos, D., Lascaratos, A., Nittis, K., 1993. Water masses and circulation in the central region of the Eastern Mediterranean: Eastern Ionian, South Aegean and Northwest Levantine, 1986-1987. *Deep Sea Res. Part II: Top. Stud. Oceanogr.* 40, 1121–1142.
- Thingstad, T.F., Rassoulzadegan, F., 1995. Nutrient limitations, microbial food webs and biological C-pump: suggested interactions in a P-limited Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 117, 299–306.

- Thunell, R.C., 1978. Distribution of recent planktonic foraminifera in surface sediments of the Mediterranean Sea. *Mar. Micropaleontol.* 3, 147–173.
- Tolderlund, Douglas S., Bé, Allan W.H., 1971. Seasonal Distribution of Planktonic Foraminifera in the Western North Atlantic. *Micropaleontology* 17 (3), 297–329. <https://doi.org/10.2307/1485143>.
- Triantaphyllou, M.V., Antonarakou, A., Kouli, K., Dimiza, M., Kontakiotis, G., Papanikolaou, M.D., Ziveri, P., Mortyn, P.G., Lianou, V., Lykousis, V., Dermitzakis, M. D., 2009. Late Glacial–Holocene ecostratigraphy of the south-eastern Aegean Sea, based on plankton and pollen assemblages. *Geo-Mar. Lett.* 29, 249–267.
- Varkitzi, I., Psarra, S., Assimakopoulou, G., Pavlidou, A., Krasakopoulou, E., Velaoras, D., Papathanassiou, E., Pagou, K., 2020. Phytoplankton dynamics and bloom formation in the oligotrophic Eastern Mediterranean: field studies in the Aegean, Levantine and Ionian seas. *Deep Sea Res. Part II: Top. Stud. Oceanogr.* 171, 104662.
- Wang, L., 2000. Isotopic signals in two morphotypes of *Globigerinoides ruber* (white) from the South China Sea: implications for monsoon climate change during the last glacial cycle. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 161, 381–394.
- Weinkauff, M.F.G., Kunze, J.G., Waniek, J.J., Ku9cera, M., 2016. Seasonal variation in shell calcification of planktonic foraminifera in the NE Atlantic reveals species-specific response to temperature, productivity, and optimum growth conditions. *PLOS ONE* 11, e0148363.
- Wejnert, K.E., Pride, C.J., Thunell, R.C., 2010. The oxygen isotope composition of planktonic foraminifera from the Guaymas Basin, Gulf of California: seasonal, annual, and interspecies variability. *Mar. Micropaleontol.* 74, 29–37.
- Yacobi, Y.Z., Zohary, T., Kress, N., Hecht, A., Robarts, R.D., Waiser, M., Wood, A.M., Li, W.K.W., 1995. Chlorophyll distribution throughout the southeastern Mediterranean in relation to the physical structure of the water mass. *J. Mar. Syst.* 6, 179–190.
- Yilmaz, A., Tugrul, S., 1998. The effect of cold- and warm-core eddies on the distribution and stoichiometry of dissolved nutrients in the northeastern Mediterranean. *J. Mar. Syst.* 16, 253–268.

Yllmaz, A., 1986. The Origin and the Nature of Humic Substances in the Marine Environment. Institute of Marine Sciences (METU), Erdemli.

Zarkogiannis, S.D., Antonarakou, A., Tripathi, A., Kontakiotis, G., Mortyn, P.G., Drinia, H., Greaves, M., 2019. Influence of surface ocean density on planktonic foraminifera calcification. *Sci. Rep.* 9, 533.