



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ**
UNIVERSITY OF PATRAS

ΤΜΗΜΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΛΙΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΛΙΕΙΑ - ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΤΟΥ
ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΟΥ ΣΤΟΝ ΑΜΒΡΑΚΙΚΟ ΚΟΛΠΟ
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΥΠΟΞΕΙΚΩΝ/ΑΝΟΞΕΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΣ Ν. ΣΩΤΗΡΙΟΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΡΑΜΦΟΣ ΑΛΕΞΙΟΣ

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2019

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΑΤΣΕΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΡΑΜΦΟΣ ΑΛΕΞΙΟΣ

ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΜΟΥΤΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

*Σε όσους ενθάρρυναν και στήριξαν
την προσπάθεια αυτή...*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία σηματοδοτεί την ολοκλήρωση ενός φιλόδοξου και ταυτόχρονα δημιουργικού κομματιού στη ζωή μου, αυτό των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Φτάνοντας στο τέλος αυτής της προσπάθειας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με οποιαδήποτε ιδιότητα ή αιτιολογία ενθάρρυναν και στήριξαν αυτή μου την προσπάθεια.

Πρώτα απ' όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας αυτής Αναπλ. Καθηγητή Ράμφο Αλέξιο, διότι χωρίς την καθολική του συμπαράσταση η πραγματοποίησή της δεν θα ήταν δυνατή. Τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθώς και για την επιστημονική υποστήριξη που μου προσέφερε. Η συνεργασία μας αποτέλεσε για 'μένα σχολείο ηθικής και ανιδιοτέλειας.

Ευχαριστώ επίσης τον Καθηγητή Κατσέλη Γεώργιο και τον Αναπλ. Καθηγητή Μουτόπουλο Δημήτριο για το χρόνο που διέθεσαν σε αυτή την εργασία. Με τις εύστοχες παρατηρήσεις και υποδείξεις τους ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής συνέβαλλαν πολύ στην τελική της διαμόρφωση.

Τον Καθηγητή Γεώργιο Κατσέλη, ταυτόχρονα τον ευχαριστώ για τη δυνατότητα που μου προσέφερε να πραγματοποιήσω την εργασία αυτή χρησιμοποιώντας τις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Οικολογίας Υδάτινων Οικοσυστημάτων του Πανεπιστημίου Πατρών.

Επίδραση σταθερή και ανυπέβλητα ενισχυτική ήταν αυτή των φίλων μου. Ιδιαίτερα ευχαριστώ την Κατοάνη Όλγα και τη Σκαρμούτσου Μαρία και νιώθω πολύ τυχερός που ήταν δίπλα μου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου, οφείλω στην οικογένειά μου η οποία στάθηκε αρωγός αυτής της προσπάθειας, παρέχοντας μου ηθική και ψυχολογική συμπαράσταση.

Παπανικόλας Σωτήριος,
Μεσολόγγι 2019

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Θαλάσσιο ζωοπλαγκτό.....	2
1.1.1. Το ζωοπλαγκτό στη Μεσόγειο θάλασσα	2
1.1.2. Το ζωοπλαγκτό στον Αμβρακικό κόλπο	5
1.2. Οξυγόνο.....	6
1.3. Ο Αμβρακικός κόλπος.....	7
1.4. Αντικείμενο και στόχοι της παρούσας μελέτης	9
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	11
2.1. Δειγματοληψίες	12
2.2. Επεξεργασία των υδρολογικών δεδομένων	14
2.3. Επεξεργασία και ανάλυση δειγμάτων ζωοπλαγκτού	14
2.4. Σύγκριση της αφθονίας του ζωοπλαγκτού.....	15
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	17
3.1. Περίοδος 2014.....	18
3.1.1. Περιγραφή των φυσικοχημικών παραμέτρων της υδάτινης στήλης... ..	18
3.1.2. Σύνθεση ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας.....	20
3.1.3. Σύγκριση της αφθονίας του ζωοπλαγκτού	23
3.2. Περίοδος 2017.....	24
3.2.1. Περιγραφή των φυσικοχημικών παραμέτρων της υδάτινης στήλης... ..	24
3.2.2. Σύνθεση ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας.....	28
3.2.2.1. Συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού ανά θέση.....	28
3.2.2.2. Θέση Μάρτυρας - Επιφανειακό στρώμα.....	29
3.2.2.3. Θέση Μάρτυρας - Βαθύ στρώμα.....	30
3.2.2.4. Θέση Παλιόβαρκα - Επιφανειακό στρώμα.....	32
3.2.2.5. Θέση Παλιόβαρκα - Βαθύ στρώμα.....	33
3.2.3. Σύγκριση της αφθονίας του ζωοπλαγκτού	35
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	39
4.1. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της υδάτινης στήλης και συνθήκες οξυγόνωσης	40
4.2. Συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού	43
4.3. Σύνθεση των ζωοπλαγκτικών ομάδων.....	44
4.4. Ζωοπλαγκτό και οξυγόνο	46
5. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	49
6. ABSTRACT	52
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Θαλάσσιο ζωοπλαγκτό

Το ζωοπλαγκτό, στο οποίο περιλαμβάνονται μικροσκοπικοί οργανισμοί με μικρή ικανότητα ενεργητικής μετακίνησης, εξαιτίας της στρατηγικής του θέσης εντός της τροφικής αλυσίδας ενός οικοσυστήματος, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο τόσο στη δομή όσο και στη λειτουργία του (Χαλκιά, 2013). Η μετατροπή της οργανικής ύλης και η απελευθέρωση ανόργανων ουσιών, αποτελούν τους δύο βασικότερους ρόλους του ζωοπλαγκτού, σε σχέση με τη θέση του στη θαλάσσια τροφική αλυσίδα (Χρήστου, 1991).

Η σύνθεση των ειδών του θαλάσσιου ζωοπλαγκτού παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλη ποικιλότητα και περιλαμβάνει προνύμφες και ενήλικα άτομα από τα περισσότερα φύλα των ζώων και πολλά από τα φύλα των πρωτόζωων. Από το σύνολο των οργανισμών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το μεσοζωοπλαγκτό, δηλαδή οι ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί των οποίων το μέγεθος βρίσκεται μεταξύ 0,2 – 2 mm. Καθώς στην πλειοψηφία τους πρόκειται για φυτοφάγους οργανισμούς είναι από τους κύριους καταναλωτές φυτοπλαγκτού στη θάλασσα, αλλά και αποτελούν τροφή για μεγαλύτερα σαρκοφάγα ζώα και συνεπώς συνιστούν συνδετικό κρίκο για τη μεταφορά μεγάλου μέρους της ενέργειας από τους πρωτογενείς παραγωγούς στους ανώτερους καταναλωτές (Χαλκιά, 2013). Το μέγεθός τους καθιστά ευκολότερη την παρατήρησή τους αλλά και τη συλλογή των δειγμάτων, η οποία γίνεται με τη χρήση πλαγκτικών διχτύων.

Σύμφωνα με τον Nybakken (2005) χαρακτηριστικά φύλα του θαλάσσιου ζωοπλαγκτού είναι τα αρθρόποδα, τα κνιδόζωα, τα κτενοφόρα, τα τροχόζωα, οι σκώληκες (πολύχαιτοι), τα μαλάκια, τα χαιτόγναθα και τα χορδωτά.

1.1.1. Το ζωοπλαγκτό στη Μεσόγειο θάλασσα

Η Μεσόγειος θάλασσα είναι ένα από τα πιο περίπλοκα θαλάσσια περιβάλλοντα του πλανήτη, εξαιτίας των πολύπλοκων υδρολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή (Pinardi & Masetti, 2000). Η Μεσόγειος είναι μια ημίκλειστη λεκάνη που χαρακτηρίζεται από υψηλή βιοποικιλότητα, για την οποία, ωστόσο, η υπάρχουσα γνώση δεν είναι ακόμα πλήρης, κυρίως λόγω της σημαντικά υποεκτιμημένης μικροβιακής ποικιλότητας αλλά και των σχετικά άγνωστων ακόμα βαθύτερων περιοχών στην νοτιοανατολική λεκάνη. Επιπλέον, η εισβολή ξενικών ειδών προκαλεί μεταβολές στη σύνθεση των ειδών της Μεσογείου, κυρίως στην ανατολική λεκάνη. Η άνοδος της θερμοκρασίας, ωστόσο, ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, μπορεί να οδηγήσει στην ραγδαία επέκταση αυτών των μεταβολών προς τις βορειότερες και δυτικότερες περιοχές (Coll et al., 2010).

Ένα χαρακτηριστικό της Μεσογείου είναι η χωρική διαφοροποίηση στην κατανομή της χλωροφύλλης και του φυτοπλαγκτού. Οι D' Ortensio & Riberra d' Alcala (2009), βασιζόμενοι σε χρονοσειρές της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α από δορυφορικές εικόνες, πρότειναν την ύπαρξη ζωνών στη Μεσόγειο θάλασσα, οι οποίες χαρακτηρίζονται από στενά συνδεδεμένες διακυμάνσεις της δομής του εποχικού κύκλου της χλωροφύλλης-α και της συσσώρευσης του φυτοπλαγκτού. Σύμφωνα με τους παραπάνω ερευνητές, αυτά τα χωρικά πρότυπα πιθανότατα αντιστοιχούν και σε διαφορετικά τροφικά υπόβαθρα, πχ διαφορετικού τύπου τροφικές αλυσίδες.

Σημαντικό στοιχείο των πελαγικών τροφικών αλυσίδων αποτελεί το μεσοζωοπλαγκτό. Το ζωοπλαγκτό στα ανοιχτά της Μεσογείου χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές βιομάζας και αφθονίας και την γενική κυριαρχία μικρόσωμων ($\leq 1\text{mm}$) οργανισμών (Siokou-Frangou et al., 2010).

Όσον αφορά την οριζόντια χωρική κατανομή των μεσοζωοπλαγκτικών οργανισμών, γενικά αναφέρεται μείωση της βιομάζας από τα δυτικά προς τα ανατολικά της λεκάνης της Μεσογείου (Siokou-Frangou, 2004). Οι Minutoli & Guglielmo (2009) αν και δεν παρατήρησαν σημαντικές διαφορές στην συνολική μεσοζωοπλαγκτική αφθονία μεταξύ του δυτικού και του ανατολικού τμήματος, αναφέρονται σε αυξημένη κατανάλωση οργανικής ύλης στο ανατολικότερο τμήμα της Μεσογείου, η οποία συνδέεται με τις θερμοκρασιακές αλλαγές του νερού. Σε αρκετές περιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί διακριτά πρότυπα χρονικής ή/και χωρικής κατανομής σε επίπεδο είδους ή ομάδας (Hure et al., 1980 - Siokou-Frangou et al., 1997 - Gaudy et al., 2003 - Mazzocchi et al., 2003 - Brugnano et al., 2010 - Fonda Umani et al., 2010 - Nowaczyk et al., 2011).

Το ζωοπλαγκτό στην Μεσόγειο θάλασσα χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές αφθονίας, ενώ επικρατούν και χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών και χλωροφύλλης-α (Mazzocchi et al., 1997 - Moutin & Raimbault, 2002 - Mazzocchi et al., 2003 - Cassotti et al., 2003). Στο πελαγικό μέρος της Μεσογείου, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, κυρίαρχα είναι τα μικρόσωμα κωπήποδα, από διάφορα γένη όπως για παράδειγμα τα *Oithona sp.*, *Clausocalanus sp.*, *Calocalanus sp.* και *Oncaea sp.*, με σχετικά σταθερή συνολική αφθονία, εμφανίζοντας ωστόσο εποχική διαδοχή μεταξύ των ειδών (Siokou-Frangou et al., 1997 - de Puelles et al., 2003).

Σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει στο πελαγικό κομμάτι της Μεσογείου, οι μεσοζωοπλαγκτικές βιοκοινωνίες στις παράκτιες περιοχές χαρακτηρίζονται από έντονες εποχικές διακυμάνσεις τόσο στη συνολική αφθονία όσο και στη διαδοχή των ειδών (Siokou-Frangou, 1996 - Ribera d'Alcala et al., 2004). Οι επιδράσεις που δέχονται τα παράκτια οικοσυστήματα από χερσαίες απορροές αλλά και από πελαγικές υδάτινες μάζες, τα καθιστούν περιβάλλοντα υψηλής υδρολογικής και βιολογικής πολυπλοκό-

τητας, τόσο σε χωρικό όσο και σε χρονικό επίπεδο (Christou, 1998). Στα παράκτια οικοσυστήματα, οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών και της χλωροφύλλης-*a* (Friligos et al., 1985) αλλά και η ζωοπλαγκτική βιομάζα (Kouwenberg, 1994 - Stergiou et al., 1997 - Ramfos et al., 2005) έχουν αναφερθεί να είναι μέχρι και μια τάξη μεγέθους υψηλότερα από ότι στις πελαγικές περιοχές.

Στα παράκτια οικοσυστήματα, την πιο σημαντική ομάδα του μεσοζωοπλαγκτού αποτελούν τα κωπήποδα, κυρίως λόγω της ικανότητάς τους να προσαρμόζονται εύκολα σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα αλλά και λόγω του φαινομένου της εποχικής διαδοχής διαφόρων ειδών (Mazzocchi & Ribera d'Alcalà, 1995). Εξίσου κυρίαρχα αριθμητικά, το καλοκαίρι γίνονται και τα κλαδοκεραιωτά και την άνοιξη οι πολύχαιτοι, όταν οι συνθήκες που επικρατούν ευνοούν την αύξηση των πληθυσμών τους (Sioκου-Frangου, 1996). Αυτές οι ομάδες διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στα θαλάσσια οικοσυστήματα, καθώς τροφή τους αποτελεί το μικροβιακό φορτίο (Sommer & Stibor, 2002) και συμβάλλουν έτσι στην αποτελεσματικότερη μεταφορά της ενέργειας προς τα ανώτερα τροφικά επίπεδα (Sioκου-Frangου et al., 2002).

Η κατακόρυφη κατανομή των ζωοπλαγκτικών οργανισμών επηρεάζεται από τις έντονες κατακόρυφες διαβαθμίσεις διαφόρων περιβαλλοντικών και βιολογικών παραμέτρων στην υδάτινη στήλη, όπως είναι π.χ. το φως, η θερμοκρασία και η διαθεσιμότητα της τροφής. Στις εύκρατες περιοχές, η εγκατάσταση του εποχικού θερμοκλινοῦς μεταβάλλει δραστικά τη δομή της υδάτινης στήλης, μετατρέποντάς την από πλήρως αναμεμειγμένη τον χειμώνα σε έντονα στρωματωμένη κατά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο. Αυτή η στρωμάτωση της υδάτινης στήλης έχει σημαντική επίπτωση στην κατακόρυφη κατανομή του ζωοπλαγκτού (Turner & Dagg, 1983 - Farstey et al., 2002). Επιπλέον, για κάποια είδη κωπήπόδων, τα διαφορετικά πρότυπα κατακόρυφης κατανομής εμφανίζονται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκονται (Williams, 1985 - Fragorouli & Lykakis, 1990), τις ημερονύκτιες μεταναστεύσεις (Legadeuc et al., 1997), την διαθεσιμότητα τροφής Paffenhöfer & Mazzocchi, 2003 - Peralba & Mazzocchi, 2004) και την κολυμβητική τους ικανότητα (Incze et al., 2001). Τα πρότυπα της κατακόρυφης κατανομής και μετακίνησης κάθε είδους, φανερώνουν την στρατηγική που έχει αναπτύξει για την αντιμετώπιση αυτών των αλλαγών (Incze et al., 2001). Τόσο σε πελαγικά όσο και σε παράκτια νερά της ανατολικής Μεσογείου, ένας μεγάλος αριθμός από είδη κωπήπόδων του ίδιου γένους τα οποία συνυπάρχουν σε περιβάλλοντα περιορισμένης διαθεσιμότητας τροφής, έχει παρατηρηθεί να κατανέμονται σε διαφορετικά βάρη με σκοπό την ελαχιστοποίηση του ανταγωνισμού (Fragorouli et al., 2001 - Mazzocchi et al., 2003).

1.1.2. Το ζωοπλαγκτό στον Αμβρακικό κόλπο

Παρά την μεγάλη οικολογική του σημασία, το ζωοπλαγκτό στον Αμβρακικό κόλπο έχει μελετηθεί αποσπασματικά. Η πρώτη μελέτη για το ζωοπλαγκτό στον Αμβρακικό πραγματοποιήθηκε το 1980 (Nicolaidou et al., 1983) και ακολούθησαν άλλες δύο αντίστοιχες μελέτες το 1987 (Panayiotides et al., 1994) και το 2008-2009 (Kehayias & Aprosporis, 2014).

Στην πιο πρόσφατη μελέτη των Kehayias & Aprosporis (2014), αναφέρεται ότι στη ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία του Αμβρακικού κυριαρχούν τα κωπήποδα. Από αυτά μεγαλύτερη συμμετοχή έχουν τα καλανοειδή, τα οποία εμφανίζουν μέγιστη αφθονία τον Σεπτέμβριο και τον Φεβρουάριο ενώ είναι πολύ χαμηλή κατά τον χειμώνα και την άνοιξη. Τα κυκλοποειδή και τα αρπακτικοειδή κωπήποδα εμφανίζουν μέγιστη αφθονία το καλοκαίρι και ξανά τον Νοέμβριο. Οι ναύπλιοι των κωπηπόδων βρίσκονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σε χαμηλές αφθονίες, εκτός από την περίοδο από τον Δεκέμβριο έως τον Απρίλιο που η αφθονία τους αυξήθηκε στα μέγιστα επίπεδα. Για το σύνολο των κωπηπόδων, τα ενήλικα άτομα και οι κωπηποδίτες παρουσίαζαν μεγαλύτερη αφθονία στο επιφανειακό στρώμα των 0 - 5 m.

Στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι η ομάδα των κλαδοκεραιωτών απαρτίζεται από τα είδη *Evadne tergestina*, *Penilia avirostris* και *Podon polyphemoides*. Τα κλαδοκεραιωτά κατανέμονται κυρίως στο επιφανειακό στρώμα (0 - 10 m). Η βιοκοινωνία των χαιτόγναθων κυριαρχείται από το είδος *Sagitta setosa*. Τα χαιτόγναθα είναι πιο άφθονα από τον Ιανουάριο έως τον Απρίλιο, με τη μέγιστη αφθονία τους να καταγράφεται τον Μάρτιο ενώ το καλοκαίρι βρέθηκαν σε πολύ μικρούς αριθμούς. Κατά την περίοδο αφθονίας τους, τα χαιτόγναθα βρέθηκε να κατανέμονται κυρίως στα ανώτερα 15 m. Οι πολύχαιτοι είχαν μέγιστη αφθονία τον Δεκέμβριο. Η κατακόρυφη κατανομή τους χαρακτηρίζεται από μια απότομη μείωση της αφθονίας τους κάτω από τα 15 m. Οι προνύμφες διθύρων ήταν αριθμητικά η δεύτερη πιο σημαντική ομάδα μετά τα κωπήποδα, παρουσιάζοντας μέγιστη αφθονία τον Μάρτιο. Οι προνύμφες γαστεροπόδων εμφανίζουν μέγιστη αφθονία τον Αύγουστο και ξανά τον Μάιο.

Η συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού στον Αμβρακικό Κόλπο φαίνεται να είναι σημαντικά υψηλότερη συγκριτικά με την αφθονία στο Ιόνιο και Αιγαίο Πέλαγος (Ramfos et al., 2005) και αντίστοιχη με αυτή των πλέον εύτροφων παράκτιων περιοχών της Ελλάδας όπως π.χ. το εσωτερικό τμήμα του Σαρωνικού (Ramfos et al., 2005) και του Θερμαϊκού κόλπου (Siokou-Frangou & Papathanassiou, 1991)

1.2. Οξυγόνο

Έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για τη διαβίωση όλων υδρόβιων οργανισμών αποτελεί το οξυγόνο, καθώς είναι απαραίτητο για όλες τις μεταβολικές διεργασίες των οργανισμών. Σε ένα υδάτινο οικοσύστημα, η κατάσταση κατά την οποία η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου είναι μειωμένη σε τέτοιο βαθμό ώστε να επηρεάζεται η φυσιολογική διαβίωση των υδρόβιων οργανισμών χαρακτηρίζεται με τον όρο «υποξία». Η ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου διαφέρει μεταξύ των οργανισμών, ωστόσο ως κατώτερη οριακή συγκέντρωση οξυγόνου έχουν οριστεί τα 2 mg/L (ή περίπου 30% κορεσμός), κάτω από την οποία οι επιπτώσεις στην ικανότητα επιβίωσης είναι εμφανείς. Η πλήρης απουσία οξυγόνου (συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου <0.5 mg/L) καλείται «ανοξία» (Κουντουρά, 2014).

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στην υδάτινη στήλη εξαρτάται άμεσα από την ισορροπία μεταξύ των βιο-γεωχημικών διεργασιών κατά τις οποίες παράγεται ή καταναλώνεται οξυγόνο στην υδάτινη στήλη και στο ίζημα του πυθμένα, της ανταλλαγής οξυγόνου μεταξύ της ατμόσφαιρας και της θάλασσας αλλά και της φυσικής του μεταφοράς (Peña et al., 2010). Υποξικές συνθήκες είναι πιθανότερο να εμφανιστούν σε υδάτινα σώματα που έχουν χαμηλό ρυθμό ανανέωσης του νερού, ελάχιστη ανάμειξη υδάτων και αερισμό, σχετικά αυξημένη οργανική ύλη στον πυθμένα και παρουσιάζουν στρωμάτωση. Επιπλέον, η εμφάνιση υποξικών συνθηκών έχει συνδεθεί άμεσα με τον ευτροφισμό, ως αποτέλεσμα της μεγάλης παροχής θρεπτικών και της υπερβολικής ανάπτυξης της πρωτογενούς παραγωγικότητας, η οποία υπό άλλες συνθήκες θα ήταν περιορισμένη (Rabalais et al., 2010). Στις παράκτιες περιοχές, η υποξία είναι αποτέλεσμα ενός συνδυασμού διάφορων αλληλεπιδράσεων μεταξύ κλίματος, καιρικών συνθηκών, μορφολογίας λεκάνης, προτύπων κυκλοφορίας, χρόνου παραμονής του νερού, εισροών γλυκού νερού, στρωμάτωσης, ανάμειξης υδάτων και φορτίου θρεπτικών (Druon et al., 2004 - Gilbert et al., 2005).

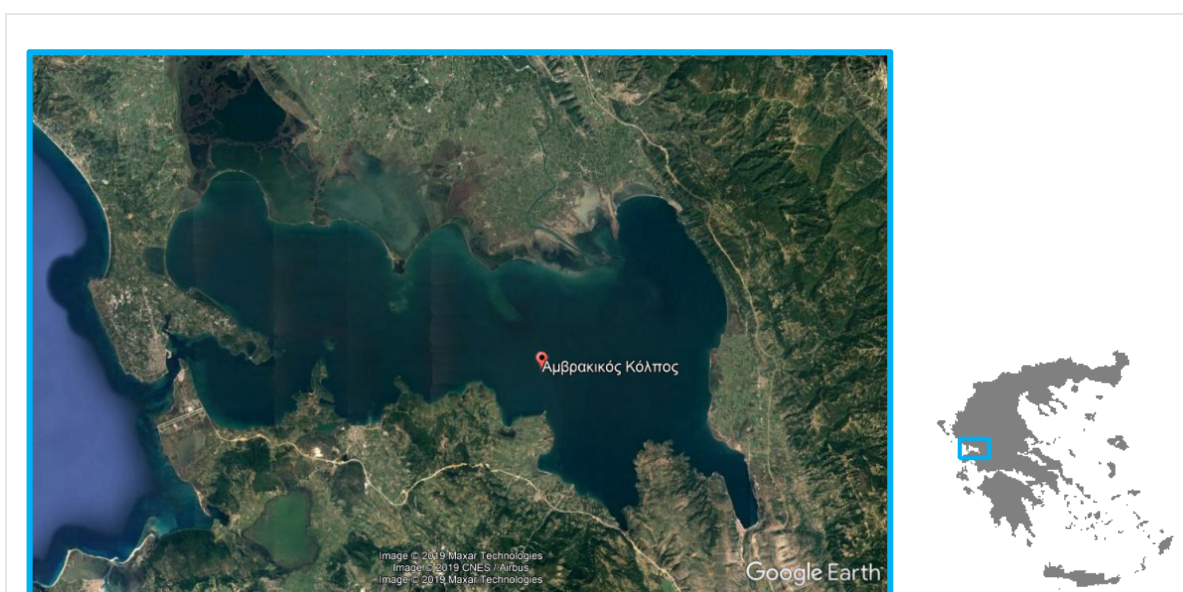
Σύμφωνα με τους Miller et al. (2002) η ανάπτυξη υποξικών συνθηκών επηρεάζει την ικανότητα επιβίωσης των υδρόβιων οργανισμών, καθώς επιφέρει ποικίλες και διαφορετικού βαθμού επιπτώσεις στις βιολογικές τους διεργασίες. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου επηρεάζουν σε ατομικό επίπεδο λειτουργίες που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής, την ανάπτυξη, την αναπαραγωγή και την ευαισθησία σε ασθένειες. Σε επίπεδο είδους, η υποξία περιορίζει την κατανομή των πληθυσμών στο χώρο και αναγκάζει τα άτομα να αποκλίνουν από τη φυσιολογική τους συμπεριφορά. Οι ελάχιστες απαιτήσεις των οργανισμών σε οξυγόνο διαφέρουν τόσο μεταξύ των ειδών όσο και μεταξύ των σταδίων ανάπτυξης. Η προσαρμογή στις διαθέσιμες συγκεντρώσεις οξυγόνου είναι ζωτικής σημασίας για την επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών ενώ η μεταβολή της διαθέσιμης συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου σε ένα υδάτινο περι-

βάλλον, μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη σύνθεση των ειδών, τις τροφικές σχέσεις και την παραγωγικότητα του οικοσυστήματος.

Μεταξύ των δυσμενών συνεπειών που απορρέουν από την επικράτηση των υποξικών/ανοξικών συνθηκών σε έναν υδάτινο οικοσύστημα συγκαταλέγονται η καταστροφή των βιοτόπων απαραίτητων για την επιβίωση πολλών βενθικών ειδών (Jørgensen, 1980) και ιχθυοπληθυσμών (Nissling & Vallin, 1996), ο περιορισμός των ενδαιτημάτων των πελαγικών ψαριών (Rabalais et al., 2010), η άμεση θνησιμότητα για πολλούς υδρόβιους οργανισμούς (Kodama et al., 2002), η αύξηση της θήρευσης για κάποιους άλλους (Eby & Crowder, 2002), οι μεταβολές στην διαδικασία της μετανάστευσης πολλών υδρόβιων οργανισμών (Cheng et al., 2002) καθώς και φυσιολογικές, αναπτυξιακές και αναπαραγωγικές ανωμαλίες πολλών ειδών (Wu et al., 2003). Επιπλέον, η υποξία/ανοξία μπορεί να μεταβάλλει ή να διακόψει βασικές λειτουργίες των οικοσυστημάτων όπως η ανακύκλωση των θρεπτικών και η βιοαναμόχλευση των επιφανειακών ιζημάτων (Wu, 2002 - Baird et al., 2004 - Breitburg et al., 2009).

1.3. Ο Αμβρακικός κόλπος

Ένας από τους σημαντικότερους υγροτόπους της Μεσογείου θεωρείται ο Αμβρακικός κόλπος (Εικόνα 1.1), ο οποίος βρίσκεται στη δυτική Ελλάδα και αποτελεί μία από τις πιο παραγωγικές παράκτιες ζώνες και μια από τις σημαντικότερες υγροτοπικές περιοχές της χώρας (Nicolaidou et al., 1983 - Panayotidis et al., 1994). Εξαιτίας της τοπογραφίας του, του σχεδόν ορθογώνιου σχήματός του, της απότομης ακτογραμμής στο νότιο κυρίως τμήμα του, αλλά κυρίως λόγω της πολύ ρηχής εγκάρσιας ράχης που απαντάται στην είσοδό του, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως το μοναδικό φιόρδ της Μεσογείου (Ferentinos et al., 2010).



Εικόνα 1.1. Δορυφορική απεικόνιση του Αμβρακικού κόλπου με το πρόγραμμα Google Earth™.

Είναι ένας μεγάλος, ημίκλειστος κόλπος με επιφάνεια 405 km², μέγιστο βάθος 65 m και μέσο βάθος 26 m. Σε αυτόν εκβάλλουν από το βορρά οι ποταμοί Αραχθός και Λούρος, των οποίων οι λεκάνες απορροής είναι 1894 km² και 785 km² αντίστοιχα. Στη δυτική πλευρά επικοινωνεί με το Ιόνιο Πέλαγος μέσω ενός στενού καναλιού πλάτους 600 m, μήκους 3 km και μέσου βάθους 8,5 m (Kapsimalis et al., 2005).

Λόγω της περιορισμένης επικοινωνίας που έχει με την ανοιχτή θάλασσα αλλά και των μεγάλων εισροών γλυκού νερού που δέχεται, ο Αμβρακικός κόλπος έχει θετικό ισοζύγιο νερού και θεωρείται υφάλμυρο περιβάλλον (Kountoura & Zacharias, 2014).

Η συγκεκριμένη περιοχή έχει μεγάλη οικολογική σημασία. Στους κόλπους της φιλοξενεί πολυάριθμο πλήθος απειλούμενων υδρόβιων θηλαστικών, αμφίβιων, πτηνών και ερπετών, αλλά και σημαντικό αριθμό φυσικών ενδιατημάτων (Nicolaidou et al., 1983). Έχει οριστεί ως Περιοχή Ειδικής Προστασίας σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 79/409/EU και συμπεριλαμβάνεται στο Δίκτυο προστασίας οικοτόπων Natura 2000 ενώ προστατεύεται και από τη συνθήκη RAMSAR (Κουντουρά, 2014). Από οικονομικής άποψης, ο Αμβρακικός κόλπος έχει μεγάλη αλιευτική αξία. Σε αυτόν αλιεύονται πολλά είδη ψαριών αλλά και η γνωστή γαρίδα του Αμβρακικού (γάμπαρη), ενώ τις τελευταίες δεκαετίες έχει εντατικοποιηθεί και η ιχθυοκαλλιέργεια στην περιοχή (Ferentinos et al., 2010 - Naeher et al., 2012 - Theodorou et al., 2017).

Λόγω της ανάπτυξης υποξικών συνθηκών, εξαιτίας της περιορισμένης επικοινωνίας του κόλπου με την ανοιχτή θάλασσα αλλά και της εντατικοποίησης της ανθρώπινης δραστηριότητας στην περιοχή, ο Αμβρακικός κόλπος δέχεται αυξημένο ρυπαντικό φορτίο με αποτέλεσμα να παρουσιάζει έντονα δείγματα υποβάθμισης (Ferentinos et al., 2010 - Kountoura & Zacharias, 2011 - Kehayias & Aprosoris, 2014).

Οι Kountoura & Zacharias (2011) αναφέρουν ότι η χαμηλή φυσική ενέργεια (low physical energy) η οποία επικρατεί κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους, η μορφολογία του πυθμένα και η στρωμάτωση αποτελούν τις κύριες αιτίες για την ανάπτυξη υποξικών ζωνών στον Αμβρακικό κόλπο. Η ανάπτυξη υποξικών/ανοξικών ζωνών είναι αποτέλεσμα της δράσης των παραπάνω παραγόντων σε συνδυασμό με την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, η οποία θεωρείται ως γενεσιουργός αιτία.

Κατά το παρελθόν, υποξικά επεισόδια συνέβαιναν λόγω φυσικών αιτιών, η κατάσταση όμως άρχισε να χειροτερεύει από τη δεκαετία του 1980 και έπειτα. Ως αποτέλεσμα αυτών των φαινομένων, έχουν καταγραφεί μαζικοί θάνατοι ψαριών, με αποκορύφωμα το θάνατο 950 τόνων ψαριών σε μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας στο βόρειο-ανατολικό τμήμα του Αμβρακικού κόλπου τον Φεβρουάριο του 2008 (Theodorou et al., 2017).

1.4. Αντικείμενο και στόχοι της παρούσας μελέτης

Η ύπαρξη του οξυγόνου είτε στο νερό είτε στον αέρα είναι πολύ σημαντική, αφού αποτελεί απαραίτητο χημικό στοιχείο για τη ζωή. Ο Αμβρακικός κόλπος, είναι ένας από τους μεγαλύτερους κλειστούς κόλπους στην παράκτια ζώνη της Ελλάδας και αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους, προστατευόμενους υγροτόπους στην περιοχή της Μεσογείου. Εξαιτίας των ιδιαίτερα υψηλών συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων στην υδάτινη στήλη και το ίζημά του, αποτελεί ένα ιδιαίτερα παραγωγικό ενδιαίτημα, φιλοξενώντας πλήθος απειλούμενων υδρόβιων θηλαστικών, αμφίβιων, πτηνών και ερπετών.

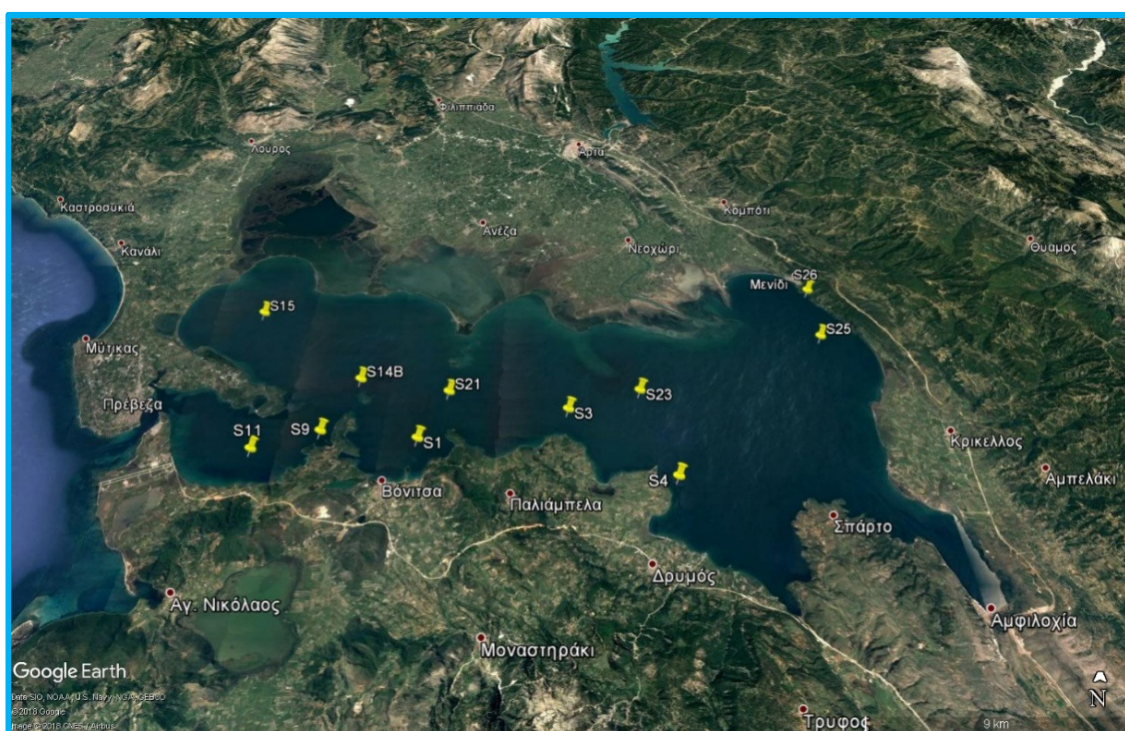
Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της βιοκοινωνίας του μεσοζωπλακτού στον Αμβρακικό κόλπο κατά την περίοδο Φεβρουαρίου - Ιουλίου όπου αναπτύσσονται υποξικές/ανοξικές συνθήκες στο δυτικό τμήμα του Κόλπου. Σε αντίθεση με το ανατολικό τμήμα του Κόλπου όπου οι ανοξικές συνθήκες επικρατούν κατά τη διάρκεια όλου του έτους, στο δυτικό τμήμα η υδάτινη στήλη παρουσιάζεται οξυγονωμένη τους χειμερινούς μήνες και η υποξία/ανοξία εμφανίζεται σταδιακά κατά την εαρινή/θερινή περίοδο στο βαθύ στρώμα της υδάτινης στήλης (Kountoura et al., 2011). Παράλληλα, αξιοποιήθηκαν δεδομένα από δείγματα που είχαν συλλεχθεί το 2014 στο επιφανειακό στρώμα του κόλπου (0 - 5 m βάθος) σε ένα δίκτυο δειγματοληψίας που κάλυπτε όλο τον κόλπο.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Δειγματοληψίες

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από δύο δειγματοληπτικές περιόδους, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του Αμβρακικού κόλπου. Η πρώτη περίοδος πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2014 και η δεύτερη την περίοδο από το Φεβρουάριο έως τον Ιούλιο του 2017. Η πρόσβαση στους δειγματοληπτικούς σταθμούς γινόταν με ταχύπλοο σκάφος, έπειτα από τον ακριβή εντοπισμό των θέσεων με GPS.

Κατά την πρώτη περίοδο συλλέχθηκαν συνολικά δέκα δείγματα ζωοπλαγκτού από

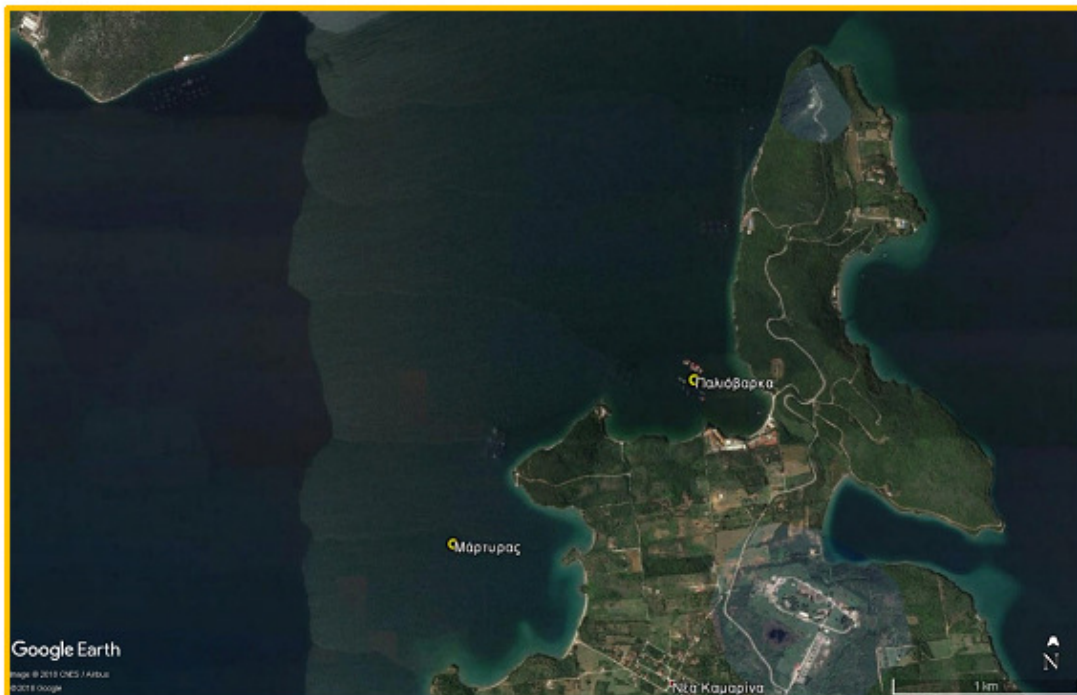


Σταθμ	Ημερομηνία	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Βάθος (m)
S3	18/7/2014	3857.277	2058.757	25
S4	18/7/2014	3855.172	2102.027	24
S9	19/7/2014	3856.558	2051.093	29.5
S11	19/7/2014	3855.997	2049.103	29.3
S14b	20/7/2014	3858.313	2052.8	34.5
S15	20/7/2014	3900.851	2048.134	24.5
S21	21/7/2014	3857.872	2054.923	33
S23	21/7/2014	3857.922	2101.054	43
S25	21/7/2014	3859.926	2107.337	47.5
S26	21/7/2014	3901.793	2107.301	17.7



Εικόνα 2.1. Περιοχή μελέτης και δειγματοληπτικοί σταθμοί την περίοδο του 2014.

το επιφανειακό στρώμα της υδάτινης στήλης (0 – 5 m) από ένα δίκτυο σταθμών που κάλυπτε όλο τον Αμβρακικό Κόλπο (Εικόνα 2.1). Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν με οριζόντια σύρση ενός πλαγκτικού δικτύου WP2 (διάμετρος στεφάνης 52 cm, άνοιγμα ματιού 200 μm) με ταχύτητα σύρσης 0,5 - 1,0 m/sec. Για τον υπολογισμό του όγκου του νερού που διήθησε το δίχτυ σε κάθε θέση χρησιμοποιήθηκε ροόμετρο που τοποθετήθηκε στο στόμιο του δικτύου. Τα δείγματα αμέσως μετά τη συλλογή τους μεταφέρθηκαν σε πλαστικά δοχεία και διατηρήθηκαν σε διάλυμα φορμαλδεΰδης 4%.



Θέση	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Βάθος (m)
Παλιόβαρκα	3856.500	2051.367	28
Μάρτιρας	3856.061	2050.631	28

Εικόνα 2.2. Περιοχή μελέτης και δειγματοληπτικοί σταθμοί την περίοδο του 2017.

Κατά τη δεύτερη περίοδο, πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες δειγματοληψίες στην περιοχή του κόλπου της Πρέβεζας (Εικόνα 2.2). Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν σε δύο θέσεις, μια πλησίον των κλωβών μιας μονάδας ιχθυοκαλλιέργειας (Παλιόβαρκα) και μια σε απόσταση 1000 m από τους κλωβούς (Μάρτυρας). Σκοπός των δειγματοληψιών ήταν η συλλογή δειγμάτων ζωοπλαγκτού.

Η συλλογή των δειγμάτων του ζωοπλαγκτού πραγματοποιούνταν με κάθετη σύρση ενός πλαγκτικού δίχτυου, με σταθερή ταχύτητα περίπου 0,5 m/sec. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε δίχτυ με μηχανισμό κλεισίματος με διάμετρο σταφάνης 30 cm, μήκος 100 cm και γάζα με άνοιγμα ματιού 100 μ m. Σε κάθε θέση δειγματοληψίας συλλέγονταν δείγματα από δύο διαφορετικά στρώματα βάρους της υδάτινης στήλης (επιφανειακό στρώμα & βαθύ στρώμα). Η επιλογή του βάρους κάθε στρώματος γινόταν ανάλογα με τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της υδάτινης στήλης και κυρίως ανάλογα με την κατανομή της θερμοκρασίας ή/και του διαλυμένου οξυγόνου. Τα δείγματα αμέσως μετά τη συλλογή τους μεταφέρονταν σε πλαστικά δοχεία και διατηρούνταν σε διάλυμα φορμαλδεΐδης 4%.

Παράλληλα με τη συλλογή των δειγμάτων του ζωοπλαγκτού, με τη χρήση ψηφιακού πολύμετρου (HACH HQ40D) λαμβάνονταν *in situ* οι μετρήσεις της θερμοκρασίας, της αλατότητας, της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου της υδάτινης στήλης. Κατά τη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο επίσης, γινόταν μέτρηση και του pH της υδάτινης στήλης. Οι μετρήσεις σε κάθε θέση πραγματοποιούνταν από την επιφάνεια μέχρι και τον πυθμένα και ανά 2 m βάθος.

2.2. Επεξεργασία των υδρολογικών δεδομένων

Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας, της αλατότητας, του διαλυμένου οξυγόνου και του pH χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία κατακόρυφων απεικονίσεων των παραμέτρων αυτών από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα του κάθε δειγματοληπτικού σταθμού. Από τα υδρολογικά δεδομένα υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις στο κάθε στρώμα δειγματοληψίας.

2.3. Επεξεργασία και ανάλυση δειγμάτων ζωοπλαγκτού

Η επεξεργασία και η ανάλυση των δειγμάτων του ζωοπλαγκτού από τις δύο δειγματοληπτικές περιόδους περιλάμβανε, την αναγνώριση και καταμέτρηση των οργανισμών, με σκοπό τον υπολογισμό της αφθονίας τους. Η διαδικασία πραγματοποιή-

θηκε στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Οικολογίας Υδάτινων Οικοσυστημάτων, του τμήματος Ζωικής Παραγωγής Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Πατρών.

Αρχικά, το κάθε δείγμα διηθούνταν σε πλαγκτικό δίχτυ (άνοιγμα ματιού 100 μm) έτσι ώστε να απομακρυνθεί το αρχικό μέσο συντήρησης και να απομονωθούν οι οργανισμοί. Οι οργανισμοί που κατακρατούνταν στο δίχτυ ξεπλένονταν και τοποθετούνταν σε νέο δοχείο το οποίο πληρώνονταν με απιονισμένο νερό μέχρι τα 500 mL. Στη συνέχεια πραγματοποιούνταν υποδειγματοληψία στο συνολικό δείγμα με τη χρήση σύριγγας. Ο όγκος κάθε υποδείγματος προσδιοριζόταν ανάλογα με την πυκνότητα του αρχικού δείγματος έτσι ώστε να μετρηθούν τουλάχιστον 500 άτομα σε κάθε υποδείγμα. Το μέγεθος των υποδειγμάτων κυμάνθηκε από 1/6 έως 1/20. Η καταμέτρηση και αναγνώριση των οργανισμών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση στερεοσκοπίου (LeicaS6D) σε διάδρομο καταμέτρησης τύπου Bogorov. Η ομάδα των κωπηπόδων και των κλαδοκεραιωτών αναγνωρίστηκε σε επίπεδο γένους ενώ τα υπόλοιπα είδη σε επίπεδο οικογένειας.

Η αφθονία των ειδών υπολογίστηκε από την Σχέση 2.1 και εκφράστηκε σε άτομα ανά m^3 (ατ./ m^3).

$$C_i = \frac{b_i * l_i}{v_i} \quad (\text{Σχέση 2.1})$$

όπου:

C_i : ο αριθμός των οργανισμών ανά m^3

b_i : ο αριθμός των οργανισμών του δείγματος i

l_i : το μήκος του σύρματος που αφέθηκε στο νερό κατά τη συλλογή του δείγματος i

v_i : ο όγκος του νερού που διήθησε το δίχτυ κατά τη σύρση στον σταθμό i

2.4. Σύγκριση της αφθονίας του ζωοπλαγκτού

Η Πολυμεταβλητή Ανάλυση της Διακύμανσης (MANOVA) χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση των μέσων τιμών της αφθονίας του ζωοπλαγκτού στα δείγματα της περιόδου του 2017 και πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πακέτο StatGraphics Centurion®. Σκοπός της ανάλυσης ήταν ο εντοπισμός στατιστικά σημαντικών διαφορών στη συνολική αφθονία και στις κυρίαρχες ταξινόμικές ομάδες μεταξύ των μηνών δειγματοληψίας, μεταξύ των θέσεων και μεταξύ των στρωμάτων βάθους. Στις περιπτώσεις όπου η ανάλυση της διασποράς έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών, ακολούθησε ο έλεγχος SNK, για να εντοπιστούν οι στατιστικά σημα-

ντικές διαφορές ανάμεσα στους μέσους όρους των προαναφερθέντων τιμών. Η ανάλυση αυτή θεωρείται από τις πλέον αξιόπιστες για τις περιπτώσεις όπου το σετ δεδομένων έχει μικρό αριθμό δειγμάτων (Zar, 1984).

Η μεταξύ των δειγμάτων σύγκριση για την εύρεση ομοιότητας της σύνθεσης της βιοκοινωνίας του ζωοπλαγκτού των δύο δειγματοληπτικών περιόδων, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της Ιεραρχικής Συσσωρευτικής Ομαδοποίησης (Hierarchical Agglomerative Clustering) (Clarke & Warwick, 1994), και το στατιστικό πακέτο PRIMER®. Για τη σύγκριση αυτή χρησιμοποιήθηκε πίνακας σταθμών-ειδών με τις τιμές της αφθονίας (άτ./m³) της καθεμίας δειγματοληπτικής περιόδου. Στον κάθε πίνακα συμπεριλήφθηκαν όλες οι ταξινομικές ομάδες που αναγνωρίστηκαν σε κάθε δειγματοληπτική περίοδο. Από τον κάθε πίνακα, έπειτα από λογαρίθμηση των δεδομένων [$\log_{10}(x+1)$] έτσι ώστε να μειωθεί η επίδραση των πιο άφθονων ειδών (Field et al., 1982) προέκυψε τριγωνικός πίνακας ομοιότητας με τη χρήση του δείκτη ομοιότητας Bray & Curtis (1957) (Σχέση 2.2). Ο δείκτης αυτός παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι δεν επηρεάζεται από την απουσία δειγμάτων ή ακραίων τιμών (Field et al., 1982). Από τον τριγωνικό πίνακα ομοιότητας δημιουργήθηκε δενδρόγραμμα με την τεχνική σύνδεσης των μέσων όρων (Group Average Linkage).

$$S_{jk} = 100 (1 - \delta_{kj}) \quad (\text{Σχέση 2.2})$$

όπου:

δ_{jk} : η ανομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων i και j η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$$\delta_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^s |Y_{ij} - Y_{ik}|}{\sum_{i=1}^s |Y_{ij} + Y_{ik}|} \quad (\text{Σχέση 2.3})$$

όπου:

s : ο αριθμός των taxa

Y_{ij} : η αφθονία του taxon i στο σταθμό j

Y_{ik} : η αφθονία του taxon i στο σταθμό k

Τα είδη που ευθύνονται για τις ομοιότητες μέσα στις ομάδες και για τις ανομοιότητες ανάμεσα στις ομάδες, εντοπίστηκαν με τη βοήθεια της ανάλυσης της ποσοστιαίας ομοιότητας (SIMilarity PERcentages, SIMPER). Η ανάλυση αυτή, χρησιμοποιεί τον τύπο που παρουσιάζεται στη Σχέση 2.4 και ο οποίος είναι μια άλλη μορφή του τύπου με τον οποίο υπολογίζεται ο δείκτης ομοιότητας Bray-Curtis.

$$S_{jk} = 100 \frac{\sum_{i=1}^p 2 \min (y_{ij}, y_{ik})}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \quad (\text{Σχέση 2.4})$$

όπου:

S_{jk} : η ομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων j και k

y_{ij} : η αφθονία του είδους i στο δείγμα j

y_{ik} : η αφθονία του είδους i στο δείγμα k

\min : η μικρότερη από τις δύο τιμές

Η ανάλυση αυτή χρησιμοποιεί την τυπική απόκλιση του πίνακα ομοιότητας του Bray-Curtis, που αποδίδεται σε ένα είδος i για κάθε ομάδα σταθμών και τη συγκρίνει με τη μέση συνεισφορά του στην ομοιομορφία που καθορίζεται από την εξίσωση του Bray-Curtis (Clarke & Warwick, 1994). Όσο πιο άφθονο είναι ένα είδος μέσα σε ένα πλήθος ομάδων δειγμάτων, τόσο πιο πολύ θα συνεισφέρει στην εσωτερική ομοιομορφία του πλήθους για το σύνολο των ομάδων που το αποτελούν. Η ανάλυση αυτή υποδεικνύει ποια είδη είναι υπεύθυνα είτε για το διαχωρισμό των ομάδων που προέκυψαν έπειτα από την εφαρμογή της πολυμεταβλητής ανάλυσης ή για τη διαφοροποίηση ανάμεσα σε ομάδες δειγμάτων τα οποία έχουν καθοριστεί εκ των προτέρων και αυθαίρετα και η διαφοροποίησή τους έχει επιβεβαιωθεί στατιστικά με άλλες αναλύσεις (Clarke & Warwick, 1994).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Περίοδος 2014

3.1.1. Περιγραφή των φυσικοχημικών παραμέτρων της υδάτινης στήλης

Στην περιοχή του Αμβρακικού Κόλπου, τον Ιούλιο του 2014, στους δέκα δειγματοληπτικούς σταθμούς και σε όλη την υδάτινη στήλη (0 - 28 m) η θερμοκρασία του νερού κυμάνθηκε από 17,2 °C έως 29,2 °C, η αλατότητα από 24,0 έως 32,9 και το διαλυμένο οξυγόνο από 0,04 mg/L έως 9,38 mg/L. Τα κατακόρυφα προφίλ (Εικόνα 3.1) της θερμοκρασίας και του οξυγόνου δεν παρουσίασαν έντονες διαφορές (βλ. Πίνακα 3.1) μεταξύ των δειγματοληπτικών θέσεων με εξαίρεση την αλατότητα στο επιφανειακό στρώμα η οποία εμφάνισε μια τάση αύξησης από το ανατολικό προς το δυτικό τμήμα του κόλπου.

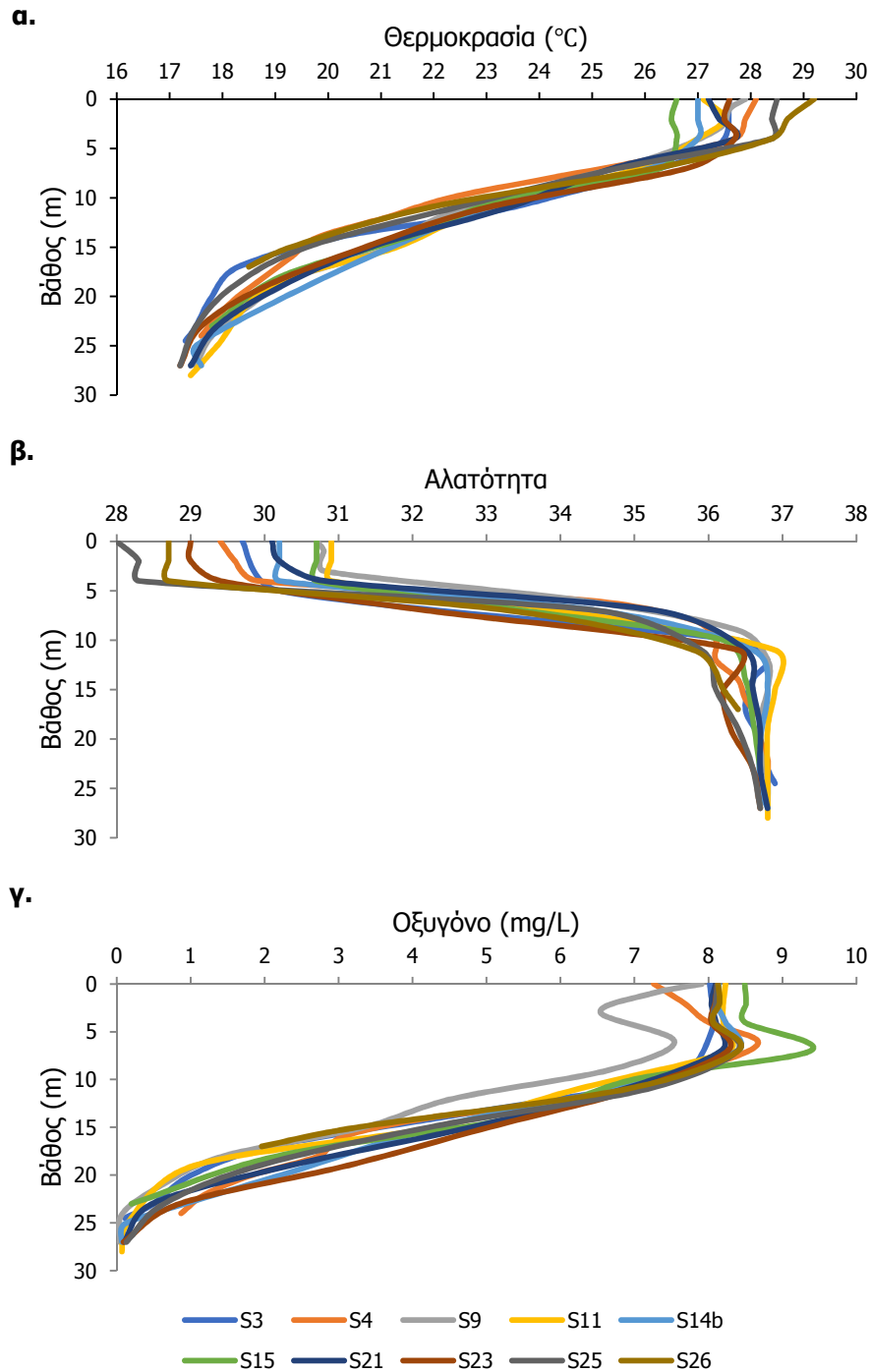
Η υδάτινη στήλη σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας εμφανίστηκε στρωματοποιημένη τόσο ως προς τη θερμοκρασία όσο και ως προς την αλατότητα. Αναλυτικότερα, το επιφανειακό στρώμα ανάμιξης της υδάτινης στήλης βρέθηκε από την επιφάνεια μέχρι τα 5 m βάθος και ανάλογα με τη θέση είχε θερμοκρασία που κυμαινόταν μεταξύ των 26,5 °C και 29,2 °C. Το επιφανειακό αυτό στρώμα είχε επίσης μικρότερη αλατότητα σε σχέση με τα βαθύτερα στρώματα η οποία κυμάνθηκε από 28,0 έως 30,9. Το ανώτερο τμήμα της υδάτινης στήλης (0 - 11 m) παρουσίασε υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (6,2 - 9,3 mg/L) και τιμές κορεσμού (71,6 - 117,0%).

Βαθύτερα από το επιφανειακό στρώμα παρατηρήθηκε θερμοκλινές, αλοκλινές και οξυκλινές. Το θερμοκλινές ξεκινούσε από τα 6 m και έφτανε έως τα 20 m βάθος και το μέγιστο θερμοκρασιακό του εύρος ήταν 7 °C (19,8 - 26,8 °C). Το βάθος του αλοκλινούς, αντίστοιχα εντοπίστηκε μεταξύ των 5 και 10 m και το εύρος του ήταν 8,6 (28,3 - 36,9). Σε βάθος από 10 m έως 25 m αναπτύχθηκε οξυκλινές το εύρος του οποίου ήταν περίπου 8mg/L (0,5 - 8,7mg/L και τιμές κορεσμού 33,3 - 72,3%).

Πίνακας 3.1. Διακύμανση (μέση τιμή ± τυπική απόκλιση) των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού στο βάθος (0 - 5 m) όπου πραγματοποιήθηκε η οριζόντια σήραξη του δικτιού στην περιοχή του Αμβρακικού κόλπου τον Ιούλιο 2014.

Σταθμός	Θερμοκρασία (°C)	Αλατότητα	Διαλυμ. Οξυγόνο (mg/L)
S11	27,20 ± 0,26	30,90 ± 0,00	8,21 ± 0,02
S14b	27,00 ± 0,00	30,20 ± 0,00	8,16 ± 0,06
S15	26,57 ± 0,06	30,70 ± 0,00	8,50 ± 0,01
S21	27,43 ± 0,25	30,37 ± 0,38	8,08 ± 0,03
S23	27,60 ± 0,10	29,13 ± 0,23	8,08 ± 0,04
S25	28,43 ± 0,06	28,20 ± 0,17	8,10 ± 0,02
S26	28,77 ± 0,40	28,70 ± 0,00	8,11 ± 0,05
S3	27,45 ± 0,21	29,95 ± 0,35	8,03 ± 0,01
S4	27,90 ± 0,20	29,63 ± 0,25	7,64 ± 0,37
S9	27,63 ± 0,25	30,77 ± 0,06	7,23 ± 0,69

Στα βαθύτερα τμήματα της υδάτινης στήλης και σε βάθος από 15 m έως 28 m η θερμοκρασία του νερού κυμάνθηκε από 17,2 °C έως 21,3 °C. Η αλατότητα από το βάθος των 9 m έως 28 m κυμάνθηκε από 35,8 έως 36,9. Το διαλυμένο οξυγόνο από το βάθος των 17 m έως 28 m κυμάνθηκε από 0,04 έως 3,12 mg/L (τιμές κορεσμού 0,16 - 33,9%).



Εικόνα 3.1. Διαγραμματική απεικόνιση της κατακόρυφης κατανομής **α.** της θερμοκρασίας, **β.** της αλατότητας και **γ.** του διαλυμένου οξυγόνου της υδάτινης στήλης σε σχέση με το βάθος ανά δειγματοληπτικό σταθμό στον Αμβρακικό κόλπο τον Ιούλιο 2014.

3.1.2. Σύνθεση ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας

Στο στρώμα (0 - 5 m) της υδάτινης στήλης όπου πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία, η συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού κυμάνθηκε από 3763 έως 9555 άτ./m³ (μέση τιμή 5571 ± 1745 άτ./m³), με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται στο σταθμό S14b και τη μέγιστη στο σταθμό S11 (Εικόνα 3.2). Στα δείγματα της περιόδου εντοπίστηκαν κωπήποδα, κλαδοκεραιωτά, δεκάποδα, μυσιδώδη, κωπηλάτες, προνύμφες πολυχαιτών και ιχθυοπλαγκτόν, των οποίων η συνολική και σχετική αφθονία παρουσιάζονται αναλυτικότερα στον Πίνακα 3.2. Τα κωπήποδα και τα κλαδοκεραιωτά αποτέλεσαν κυρίαρχο κομμάτι της συνολικής αφθονίας του ζωοπλαγκτού και στους δέκα δειγματοληπτικούς σταθμούς.

Από την ομάδα των κωπηπόδων αναγνωρίστηκαν τα *Acartia sp.*, *Paracalanus sp.* και *Centropages sp.*, των οποίων η συνολική και η σχετική αφθονία παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.3α. Αναλυτικότερα, η συνολική αφθονία του είδους *Acartia* (16,5 ± 7,3% ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο του ζωοπλαγκτού) κυμάνθηκε από 105 έως 1815 άτ./m³ (μέση τιμή 935 ± 487 άτ./m³). Η ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε στο σταθμό S4 ενώ η μέγιστη στο σταθμό S9. Η συνολική αφθονία του είδους *Paracalanus* (16,2 ± 5,1% ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο του ζωοπλαγκτού) κυμάνθηκε από 442 έως 1259 άτ./m³ (μέση τιμή 856 ± 246 άτ./m³). Η ελάχιστη τιμή να παρατηρήθηκε στο σταθμό S23 και η μέγιστη στο σταθμό S9. Η συνολική αφθονία του είδους *Centropages* (15,4 ± 5,2% ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο του ζωοπλαγκτού) κυμάνθηκε από 219 έως 1634 άτ./m³ (μέση τιμή 855 ± 364 άτ./m³). Η ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε στο σταθμό S4 και η μέγιστη στο σταθμό S9. Επίσης, η συνολική αφθονία των κωπηποδιτών (1,6 ± 1,3% ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο του ζωοπλαγκτού) κυμάνθηκε από 29 έως 385 άτ./m³ (μέση τιμή 67 ± 117 άτ./m³). Η ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε στο σταθμό S25 και η μέγιστη στο σταθμό S11 και χωρίς να εντοπίζονται άτομα στους σταθμούς S3, S4, S9 και S23.

Από την ομάδα των κλαδοκεραιωτών αναγνωρίστηκαν τα *Penilia sp.*, *Evadne sp.* και *Pseudoevadne sp.* και η συνολική και σχετική τους αφθονία παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.3β. Τη μεγαλύτερη συνολική αφθονία σε κλαδοκεραιωτά παρουσίασε ο σταθμός S11 (4101 άτ./m³) ενώ τη μικρότερη ο σταθμός S23 (1463 άτ./m³). Αναλυτικότερα, η συνολική αφθονία του είδους *Penilia* κυμάνθηκε από 670 έως 2508 άτ./m³ (μέση τιμή 1230 ± 506 άτ./m³) και 22,2 ± 5,5% ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο του ζωοπλαγκτού, με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται στο σταθμό S23 και τη μέγιστη στο σταθμό S11. Η συνολική αφθονία του είδους *Evadne* κυμάνθηκε από 327 έως 955 άτ./m³ (μέση τιμή 549 ± 221 άτ./m³) και 10,1 ± 3,4% ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο

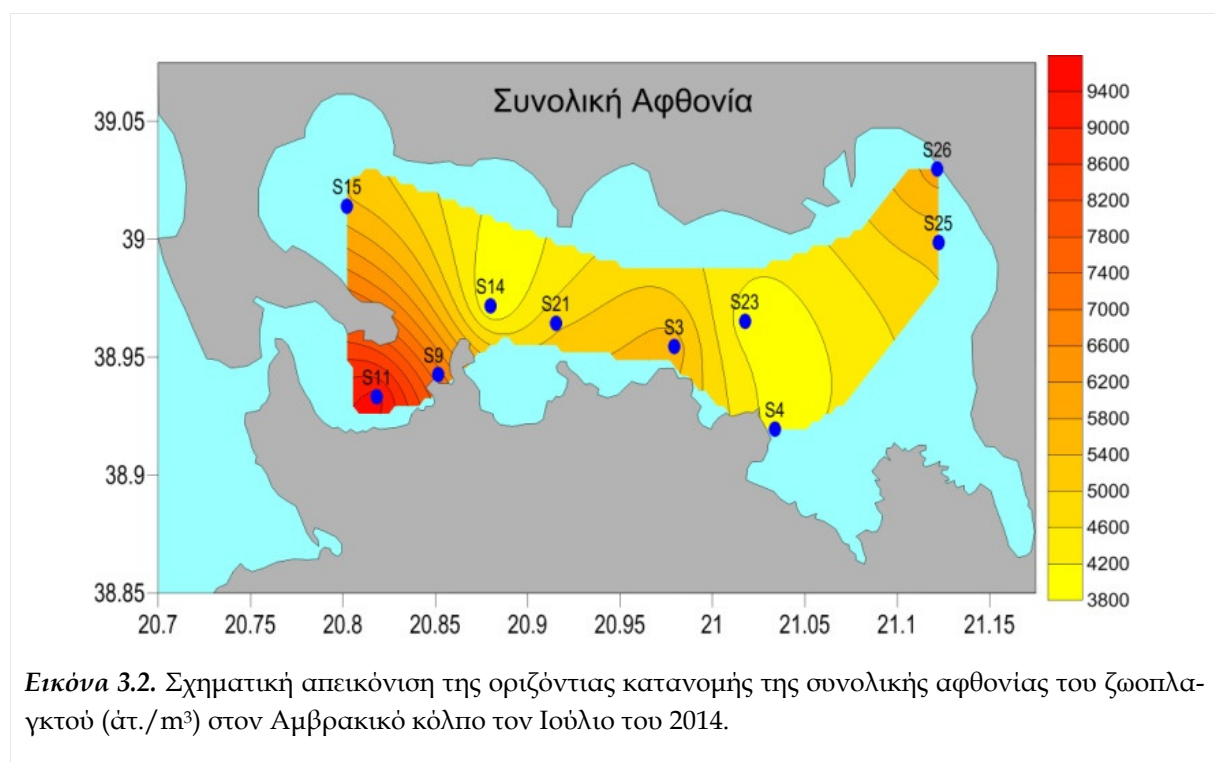
λο του ζωοπλαγκτού, με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται στο σταθμό S9 και τη μέγιστη στο σταθμό S3. Η συνολική αφθονία του είδους *Pseudoevande* κυμάνθηκε από 218 έως 717 άτ./m³ (μέση τιμή 341 ± 155 άτ./m³) και 6,2 ± 1,9% ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο του ζωοπλαγκτού, με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται στο σταθμό S9 και τη μέγιστη στο σταθμό S11.

Η συνολική και σχετική αφθονία των υπόλοιπων ειδών που αναγνωρίστηκαν στα δείγματα αυτής της περιόδου παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.3γ. Αναλυτικότερα, η συνολική αφθονία των δεκαπόδων κυμάνθηκε από 39 έως 664 άτ./m³ (μέση τιμή 168 ± 190 άτ./m³) και 2,8 ± 2,4% ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο του ζωοπλαγκτού. Η

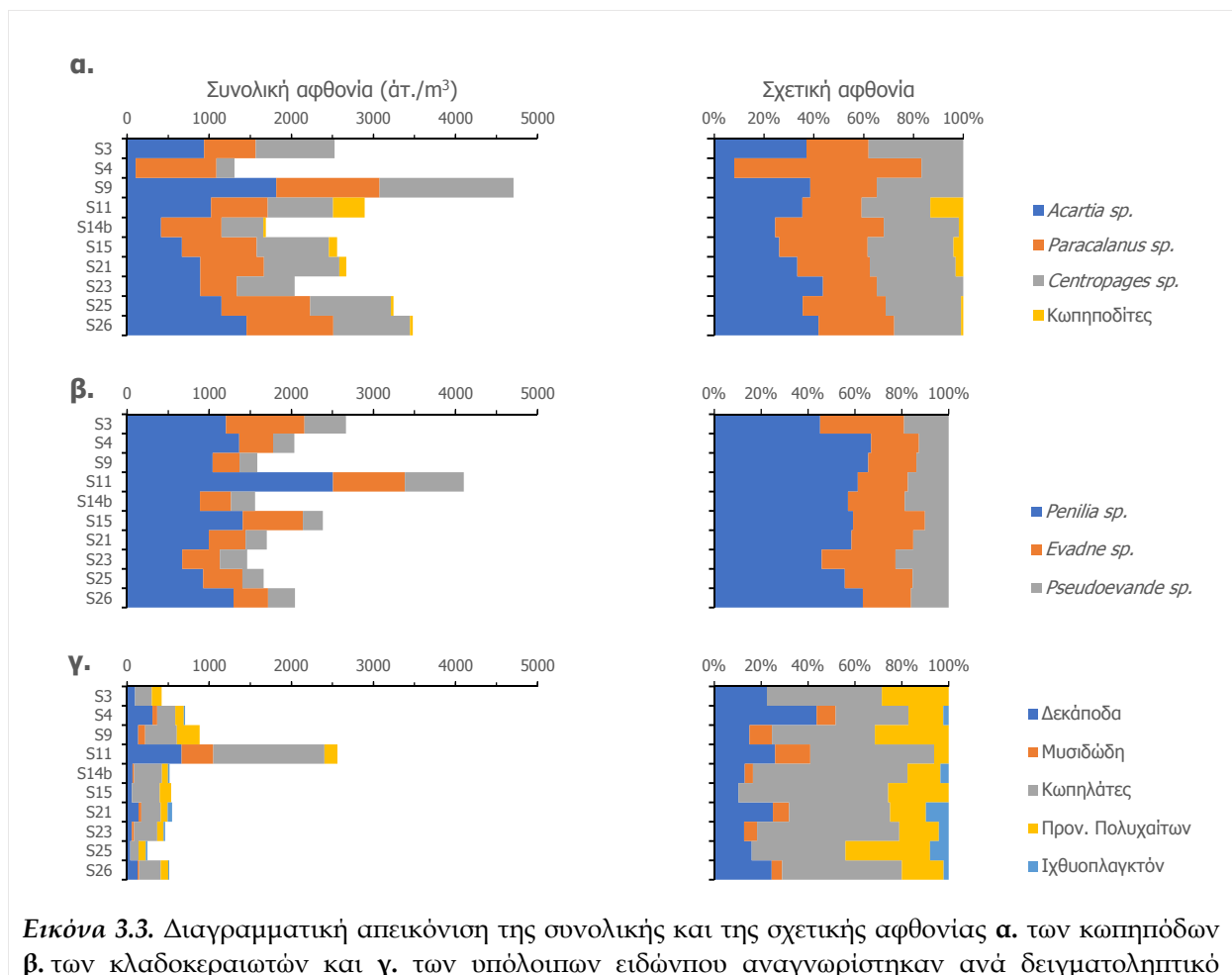
Πίνακας 3.2. Συνολική και σχετική αφθονία των ζωοπλαγκτικών ομάδων που εντοπίστηκαν στους δέκα δειγματοληπτικούς σταθμούς στον Αμβρακικό κόλπο τον Ιούλιο του 2014.

	Συνολική αφθονία (άτ./m ³)				Σχετική αφθονία (%)			
	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.
Κλαδοκεραιωτά	2120	797	1463	4101	38,5	8,3	22,1	50,3
Κωπήποδα	2712	967	1307	4708	49,1	11,8	30,3	65,6
Δεκάποδα	168	190	39	664	2,8	2,4	0,8	7,6
Μυσιδώδη	90	132	18	385	1,3	1,3	0,4	4,0
Κωπηλάτες	373	354	98	1354	6,2	3,4	1,9	14,2
Προν. Πολυχαιτών	122	62	73	278	2,2	0,7	1,5	3,9
Ιχθυοπλαγκτόν	23	15	11	53	0,5	0,3	0,2	1,1
	5571	1746	3763	9555	100	0	100	100

*Mean: Μέση τιμή, SD: Τοπική απόκλιση, Min: Ελάχιστη τιμή, Max: Μέγιστη τιμή



ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε στο σταθμό S25 ενώ η μέγιστη στο σταθμό S11. Η συνολική αφθονία των μυσιδώδων ήταν 90 ± 132 άτ./m³ με $0,9 \pm 1,2\%$ ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο του ζωοπλαγκτού. Τη μεγαλύτερη αφθονία σε μυσιδώδη (385 άτ./m³) παρουσίασε ο σταθμός S11, τη μικρότερη (18 άτ./m³) ο σταθμός S14b ενώ στους σταθμούς S3, S15 και S25 δεν εντοπίστηκαν άτομα. Η συνολική αφθονία των κωπηλατών ήταν 373 ± 354 άτ./m³ με $6,2 \pm 3,4\%$ ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο του ζωοπλαγκτού. Η μέγιστη τιμή (1354 άτ./m³) της συνολικής αφθονίας εντοπίστηκε στο σταθμό S11 ενώ η ελάχιστη (98 άτ./m³) στο σταθμό S25. Η συνολική αφθονία των προνυμφών πολυχαίτων ήταν 122 ± 62 άτ./m³ και $2,2 \pm 0,7\%$ ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο του ζωοπλαγκτού. Η μέγιστη τιμή (278 άτ./m³) της συνολικής αφθονίας των προνυμφών πολυχαίτων παρουσιάστηκε στο σταθμό S9 ενώ η ελάχιστη (73 άτ./m³) στο σταθμό S14b. Η συνολική αφθονία των αυγών και των προνυμφών των ψαριών η οποία ήταν 23 ± 15 άτ./m³ με $0,3 \pm 0,3\%$ ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο του ζωοπλαγκτού, κυμάνθηκε από 11 έως 53 άτ./m³. Η ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε στο σταθμό S26 και η μέγιστη στο σταθμό S21 ενώ στους σταθμούς S3, S9, S11 και S15 δεν εντοπίστηκαν άτομα.

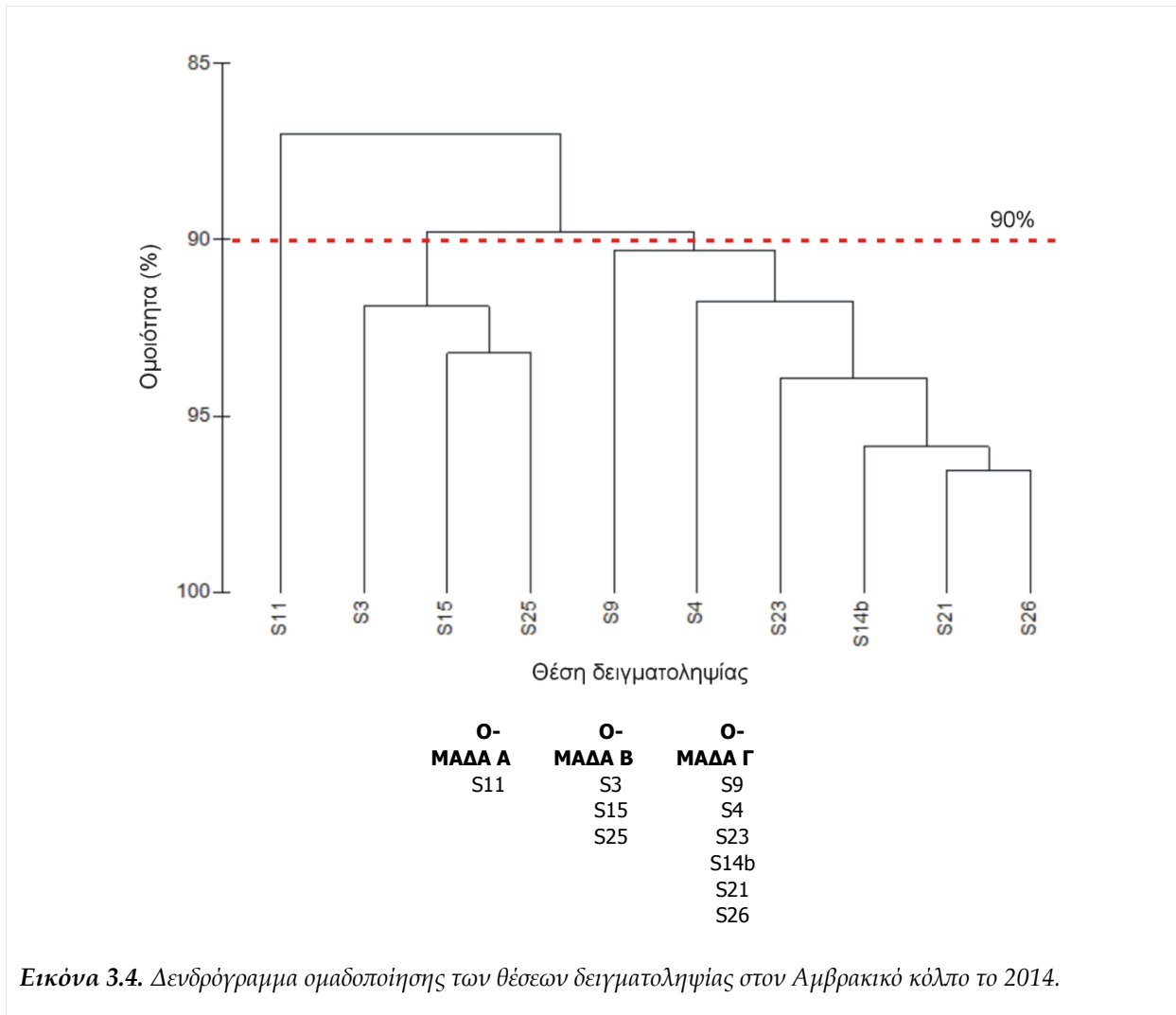


σταθμό στον Αμβρακικό κόλπο τον Ιούνιο του 2014.

3.1.3. Σύγκριση της αφθονίας του ζωοπλαγκτού

Η σύγκριση της αφθονίας του ζωοπλαγκτού μεταξύ των δέκα δειγματοληπτικών σταθμών πραγματοποιήθηκε με την τεχνική της ιεραρχικής ομαδοποίησης και παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.4. Από το δενδρόγραμμα ξεχώρισαν, σε επίπεδο ομοιότητας 90%, τρεις κύριες ομάδες σταθμών, η **Ομάδα σταθμών Α** η οποία περιλάμβανε το σταθμό S11, η **Ομάδα σταθμών Β** η οποία περιλάμβανε τους σταθμούς S3, S15, S25 και η **Ομάδα σταθμών Γ** η οποία περιλάμβανε τους σταθμούς S9, S4, S23, S14b, S21 και S26.

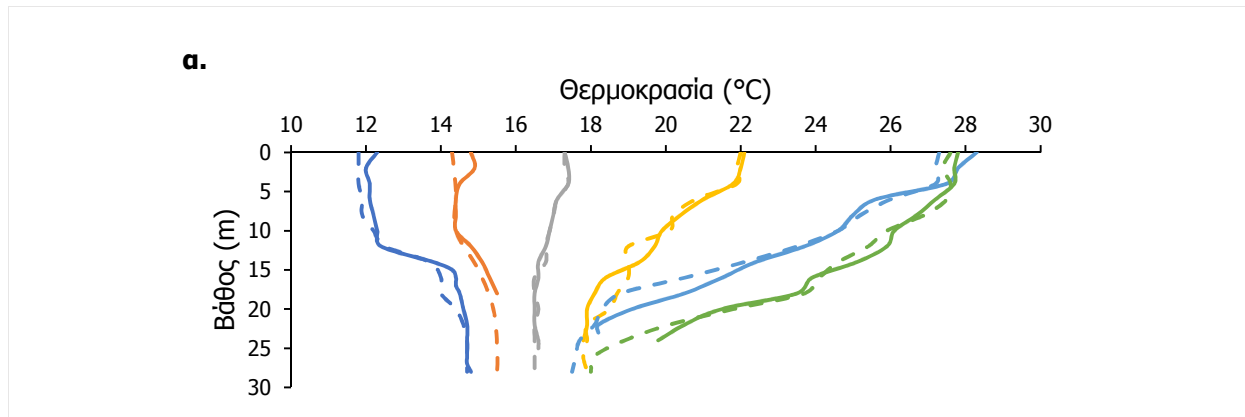
Η διαφοροποίηση της βιοκοινωνίας του ζωοπλαγκτού του σταθμού S11 από τους υπόλοιπους οφειλόταν στην υψηλότερη αφθονία του σταθμού σε δεκαπόδα, μυσιδώδη, κωπηποδιτες και ιχθυοπαγκτό. Ομοίως, η διαφοροποίηση μεταξύ των Ομάδων Β και Γ οφειλόταν κυρίως στην υψηλότερη αφθονία των μυσιδώδων, δεκαπόδων και ιχθυοπλαγκτού στην Ομάδα Γ ή κωπηποδιτών στην Ομάδα Β.



3.2. Περίοδος 2017

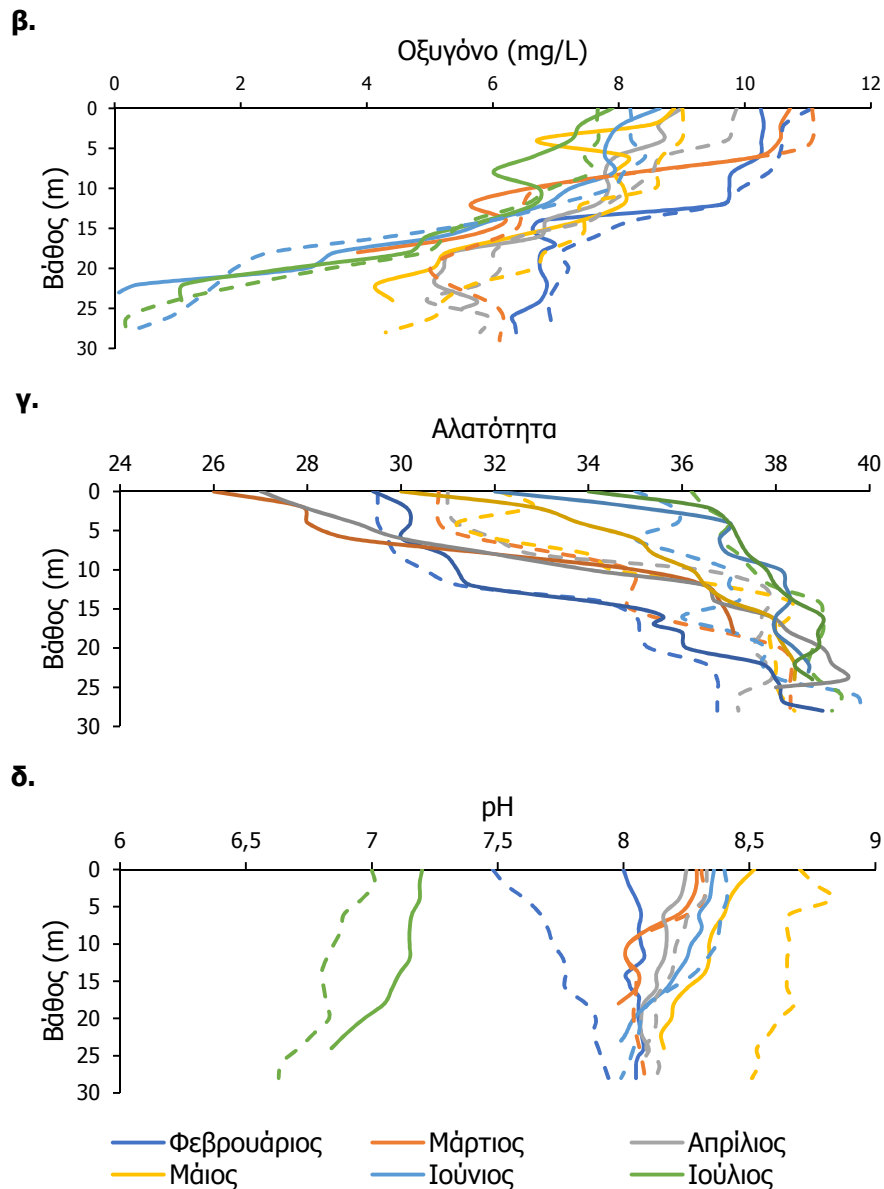
3.2.1. Περιγραφή των φυσικοχημικών παραμέτρων της υδάτινης στήλης

Κατά τη δειγματοληπτική περίοδο από το Φεβρουάριο έως τον Ιούλιο του 2017, η θερμοκρασία του νερού στη θέση Μάρτυρας κυμάνθηκε από 11,8 °C έως 27,6 °C, με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται το Φεβρουάριο σε βάθος από 0 m έως 6 m και τη μέγιστη τον Ιούλιο σε βάθος από 0 m έως 4 m. Η θερμοκρασία του νερού στη θέση Παλιόβαρκα κυμάνθηκε γενικά μεταξύ των 12,0 °C και 28,3 °C, με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται επίσης το Φεβρουάριο στο βάθος των 2 m και τη μέγιστη το μήνα Ιούνιο στην επιφάνεια. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας των δύο θέσεων, παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.5α και στον Πίνακα 3.3.



Πίνακας 3.3. Διακύμανση (μέση τιμή ± τυπική απόκλιση) των φυσικοχημικών παραμέτρων της υδάτινης στήλης σε σχέση με το στρώμα δειγματοληψίας στις δύο θέσεις στην περιοχή του Αμβρακικού κόλπου το 2017.

	Μήνας	Μάρτυρας		Παλιόβαρκα	
		Επιφάνεια	Βάθος	Επιφάνεια	Βάθος
Θερμοκρασία (°C)	Φεβ	12,2±0,65	14,44±0,32	12,4±0,58	14,59±0,16
	Μαρ	14,37±0,06	15,35±0,24	14,6±0,23	15,02±0,43
	Απρ	17,08±0,24	16,51±0,04	17,13±0,24	16,56±0,05
	Μαϊ	20,61±1,25	18,24±0,48	20,78±1,11	18,02±0,24
	Ιουν	25,39±1,91	18,36±1,05	25,61±2,1	19,5±1,46
	Ιουλ	26,61±1,16	20,67±2,56	26,78±1	21,84±1,81
Διαλυμ. Οξυγόνο (mg/L)	Φεβ	10,13±0,88	7,1±0,26	9,63±1,18	6,64±0,22
	Μαρ	9,57±2,46	5,9±0,61	10,06±1,02	5,57±1,04
	Απρ	8,77±0,92	5,86±0,46	8,22±0,54	5,79±0,72
	Μαϊ	8,47±0,67	5,88±1,11	7,97±0,67	5,05±0,86
	Ιουν	7,74±0,84	1,82±1,35	7,54±0,83	2,43±2,17
	Ιουλ	7,14±0,73	2,44±2,13	6,81±0,68	2,91±1,87
Αλατότητα	Φεβ	30,51±1,63	36,02±0,84	30,91±1,43	37,03±1,39
	Μαρ	32,23±2,31	37,4±1,67	28,56±2,19	36,48±0,86
	Απρ	33,75±3,06	37,57±0,28	30,91±3,44	38,37±0,96
	Μαϊ	33,96±2,49	38,09±0,2	34,59±2,32	38,18±0,23
	Ιουν	36,11±0,88	38,03±1,36	36,55±2,13	38,36±0,35
	Ιουλ	37,25±0,86	39±0,24	37,04±1,36	38,8±0,23
pH	Φεβ	7,66±0,11	7,88±0,06	8,05±0,03	8,05±0,02
	Μαρ	8,21±0,16	8,06±0,02	8,23±0,08	8,02±0,03
	Απρ	8,26±0,06	8,13±0,02	8,2±0,04	8,1±0,03
	Μαϊ	8,7±0,07	8,59±0,06	8,4±0,07	8,19±0,04
	Ιουν	8,37±0,05	8,07±0,06	8,3±0,05	8,06±0,07
	Ιουλ	6,9±0,08	6,74±0,08	7,16±0,03	6,97±0,1



Εικόνα 3.5. Διαγραμματική απεικόνιση της μηνιαίας κατακόρυφης κατανομής α. της θερμοκρασίας, β. του διαλυμένου οξυγόνου, γ. της αλατότητας και δ. του pH της υδάτινης στήλης σε σχέση με το βάθος, στη θέση Μάρτυρας (διακεκομμένη γραμμή) και στη θέση Παλιόβαρκα (συμπαγής γραμμή) στον Αμβρακικό κόλπο το 2017.

Στο βάθος της υδάτινης στήλης, η οποία εμφανίστηκε στρωματοποιημένη, η θερμοκρασία στα επιφανειακά στρώματα ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τα βαθύτερα κατά τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο. Το επιφανειακό στρώμα ανάμειξης το Φεβρουάριο βρέθηκε από την επιφάνεια μέχρι τα 12 m και είχε θερμοκρασία που κυμάνθηκε από 11,8 °C έως 12,4 °C. Από τα 12 m μέχρι τα 14 m εντοπίστηκε αντίστροφο θερμοκλινές (13,7 - 13,8 °C) βάθους 2 m. Από τα 15 m μέχρι και τον πυθμένα (28 m) η θερμοκρασία αυξήθηκε και κυμάνθηκε από 14,0 °C έως 14,8 °C. Παρόμοια ήταν η διακόμανση της θερμοκρασίας, χωρίς να εντοπίζεται έντονο θερμοκλινές το Μάρτιο, η

οποία από την επιφάνεια μέχρι τα 12 m κυμάνθηκε από 14,3 °C έως 14,8 °C και από τα 12 m μέχρι τον πυθμένα από 15,1 °C έως 15,5 °C.

Αντίθετη τάση ακολούθησε η διακύμανση της θερμοκρασίας από τον Απρίλιο και έπειτα όπου το επιφανειακό στρώμα είχε υψηλότερη θερμοκρασία από τα βαθύτερα όπου άρχισε να εμφανίζεται το εποχικό θερμοκλινές. Τον Απρίλιο η θερμοκρασία από την επιφάνεια μέχρι το βάθος των 28 m κυμάνθηκε από 16,5 °C έως 17,4 °C. Η αλλαγή της θερμοκρασίας παρατηρήθηκε στο βάθος των 8 m και όπως και το Μάρτιο, έτσι και τον Απρίλιο δεν εντοπίστηκε έντονο θερμοκλινές. Η τάση αυτή ακολούθησε τους υπόλοιπους μήνες κατά τους οποίους το επιφανειακό στρώμα ανάμειξης βρέθηκε από την επιφάνεια μέχρι τα 8 m βάθος με θερμοκρασιακό εύρος από 20,2 °C έως 22,1 °C τον Μάιο, 25,0 °C έως 28,3 °C τον Ιούνιο και από 26,7 °C έως 27,8 °C τον Ιούλιο. Από τα 8 m έως τα 14 m εντοπίστηκε θερμοκλινές το εύρος του οποίου κυμάνθηκε από 19 °C έως 20,4 °C τον Μάιο, 22,1 °C έως 25,2 °C τον Ιούνιο και 24,6 °C έως 26,9 °C τον Ιούλιο. Στα χαμηλότερα στρώματα η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 17,5 °C έως 19,3 °C τον Μάιο, 17,5 °C έως 21,5 °C τον Ιούνιο και 18,0 °C έως 24,1 °C τον Ιούλιο.

Το διαλυμένο οξυγόνο την περίοδο αυτή στη θέση Μάρτυρας, κυμάνθηκε από 0,1 mg/L έως 11,0 mg/L με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Ιούνιο στο βάθος 28 m και τη μέγιστη τιμή το Μάρτιο στην επιφάνεια. Στη θέση Παλιόβαρκα κυμάνθηκε από 0,0 mg/L έως 10,7 mg/L, με την ελάχιστη τιμή να εντοπίζεται τον Ιούνιο στο βάθος των 23 m και τη μέγιστη τιμή το Μάρτιο στην επιφάνεια. Το επιφανειακό στρώμα ανάμειξης από το Φεβρουάριο μέχρι τον Ιούλιο εντοπίστηκε μέχρι το βάθος των 10 m και το εύρος των τιμών του διαλυμένου οξυγόνου ήταν 6,0 mg/L έως 11,0 mg/L. Από τα 10 m μέχρι τα 17 m βάθος εντοπίζεται οξυκλινές βάθους 7 m και εύρους 4,3 mg/L έως 9,6 mg/L, ενώ στα βαθύτερα στρώματα της υδάτινης στήλης το διαλυμένο οξυγόνο κυμάνθηκε από 0,0 mg/L έως 7,2 mg/L. Οι διακυμάνσεις του διαλυμένου οξυγόνου στις δύο θέσεις, παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.5β και στον Πίνακα 3.3.

Η αλατότητα του νερού στη θέση Μάρτυρας, γενικά, κυμάνθηκε από 29,5 έως 39,7 με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται το Φεβρουάριο στο βάθος των 2 m και τη μέγιστη τον Ιούνιο στο βάθος των 25 m. Στη θέση Παλιόβαρκα η αλατότητα κυμάνθηκε από 27,9 έως 38,8, η ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε το Μάρτιο στο βάθος των 2 m ενώ η μέγιστη τον Ιούνιο στο βάθος των 15 m. Η αλατότητα του νερού και στους δύο σταθμούς στα επιφανειακά στρώματα της υδάτινης ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τα βαθύτερα. Οι διακυμάνσεις της αλατότητας στις δύο θέσεις, παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.5γ και στον Πίνακα 3.3.

Η κατακόρυφη κατανομή της τιμής του pH του νερού, η οποία παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.5δ και στον Πίνακα 3.3, τόσο στη θέση Μάρτυρας όσο και στη θέση

Παλιόβαρκα ήταν ομοιόμορφη σε σχέση με το βάθος και τους έξι μήνες δειγματοληψίας. Αναλυτικότερα, από το Φεβρουάριο μέχρι και τον Ιούνιο η τιμή του pH στη θέση Μάρτυρας κυμάνθηκε από 7,48 έως 8,83 και στη θέση Παλιόβαρκα από 7,98 έως 8,52, ενώ τον Ιούλιο η τιμή του pH εμφανίστηκε μειωμένη και στους δύο σταθμούς, όπου στη θέση Μάρτυρας κυμάνθηκε από 6,63 έως 7,01 και στη θέση Παλιόβαρκα από 6,84 έως 7,20.

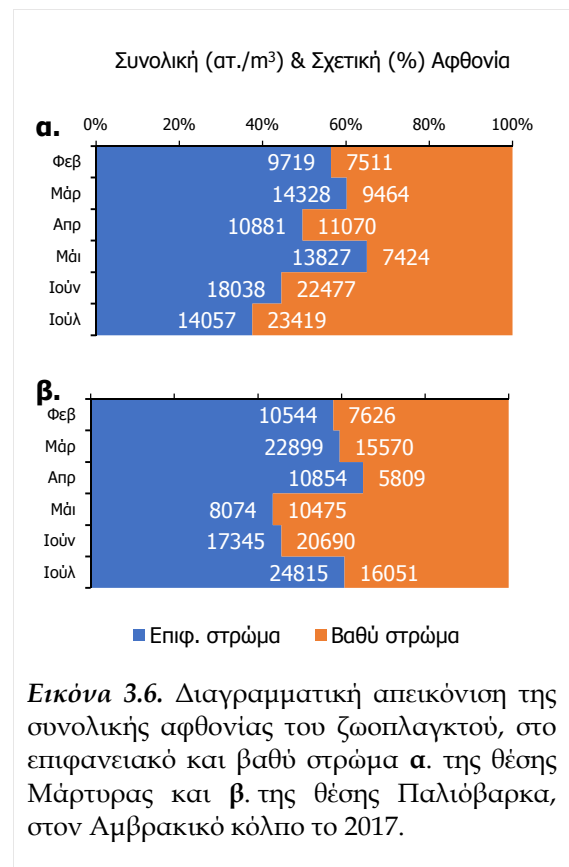
3.2.2. Σύνθεση ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας

3.2.2.1. Συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού ανά θέση

Κατά τη δειγματοληπτική περίοδο από το Φεβρουάριο μέχρι και τον Ιούλιο του 2017 στη θέση Μάρτυρας, η συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού στο επιφανειακό στρώμα κυμάνθηκε από 9719 έως 18038 άτ./m³ (μέση τιμή 13475 ± 2927 άτ./m³). Η ελάχιστη συνολική αφθονία παρατηρήθηκε το Φεβρουάριο και η μέγιστη τον Ιούνιο. Στο βαθύ στρώμα της θέσης αυτής, η συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού (μέση τιμή 13561 ± 7401 άτ./m³) κυμάνθηκε από 7424 έως 23419 άτ./m³. Η ελάχιστη συνολική αφθονία παρατηρήθηκε τον Φεβρουάριο ενώ η μέγιστη τον Ιούλιο (Εικόνα 3.6α).

Στη θέση Παλιόβαρκα και στο επιφανειακό στρώμα, η συνολική αφθονία (μέση τιμή 15755 ± 7012 άτ./m³) του ζωοπλαγκτού, κυμάνθηκε από 8074 έως 24815 άτ./m³. Η ελάχιστη συνολική αφθονία παρατηρήθηκε τον Μάιο ενώ η μέγιστη τον Ιούλιο. Στο βαθύ στρώμα της θέσης, η συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού (μέση τιμή 12704 ± 5683 άτ./m³) κυμάνθηκε από 5809 έως 20690 άτ./m³. Η ελάχιστη συνολική αφθονία παρατηρήθηκε τον Απρίλιο ενώ η μέγιστη τον Ιούλιο (Εικόνα 3.6β).

Στα δείγματα αυτής της περιόδου εντοπίστηκαν κωπήποδα, κλαδοκεραιωτά, μεροπλαγκτόν, κωπηλάτες και εξωσκελετοί. Ακολουθεί η περιγραφή της κατακόρυφης κατανομής και της χρονικής διακύμανσης της αφθονίας του ζωοπλαγκτού καθώς και των επιμέρους ζωοπλαγκτικών ομάδων και ειδών.



3.2.2.2. Θέση Μάρτυρας – Επιφανειακό στρώμα

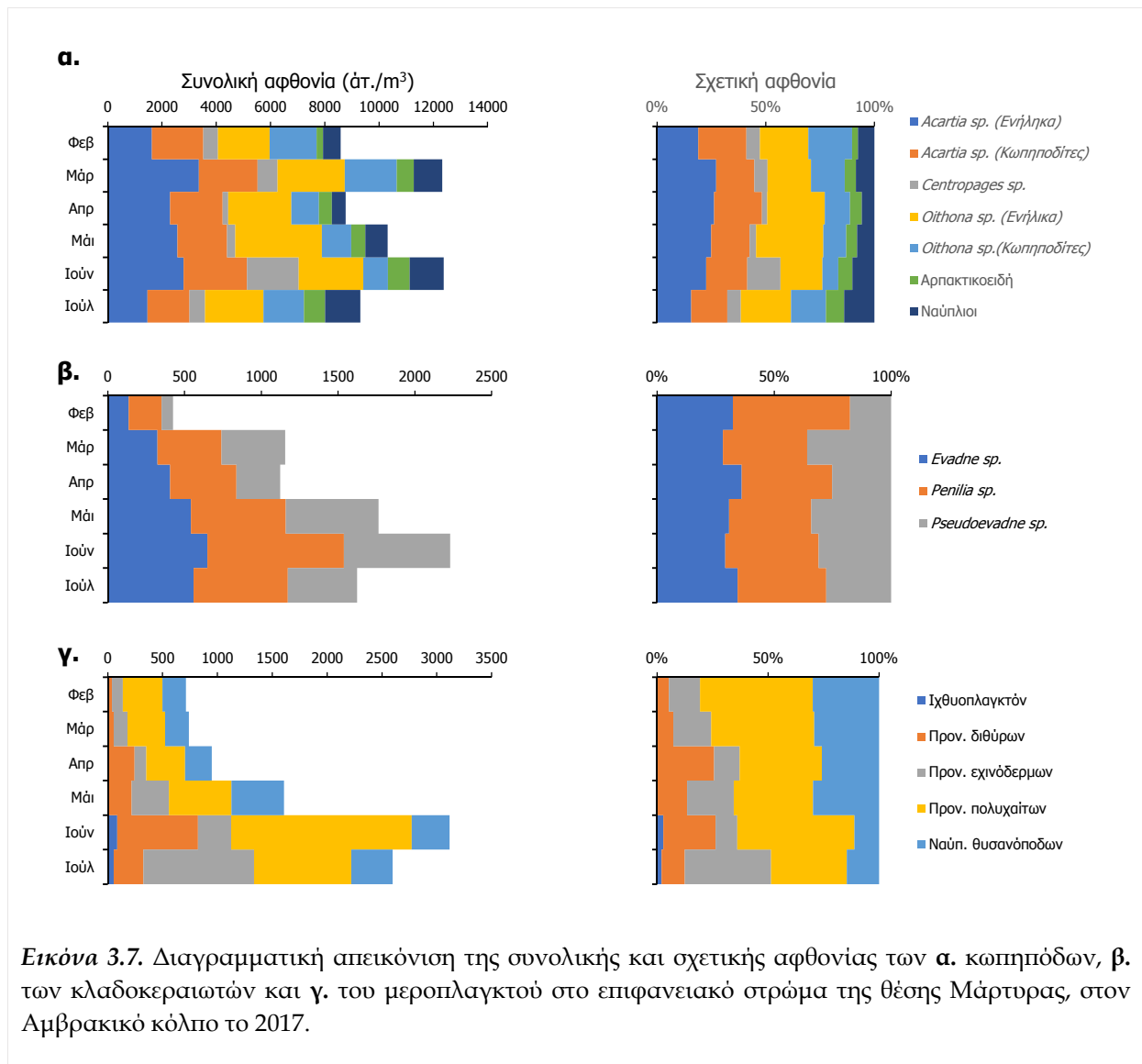
Στο επιφανειακό στρώμα της θέσης Μάρτυρας η συνολική αφθονία των κωπηπόδων (μέση τιμή 10282 ± 1716 άτ./m³) κυμάνθηκε από 8582 έως 12386 άτ./m³ με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται το Φεβρουάριο και τη μέγιστη τον Ιούνιο, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.7α. Τα κωπήποδα αποτέλεσαν την επικρατέστερη ομάδα του συνολικού ζωοπλαγκτού στο επιφανειακό στρώμα της θέσης αυτής και η παρουσία τους ήταν συνεχής σε όλη τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου. Η σχετική αφθονία των κωπηπόδων (μέση τιμή $77,4 \pm 9,1\%$), κυμάνθηκε από 66,2 έως 88,3%. Από την ομάδα των κωπηπόδων, τα καλανοειδή και πιο συγκεκριμένα είδη του γένους *Acartia* και *Centropages* με σχετική αφθονία 32,6% και 4,9% αντίστοιχα ήταν τα περισσότερα άφθονα. Ακολούθησαν τα κυκλοποειδή (*Oithona* sp.), οι ναύπλιοι των κωπηπόδων και τα αρπακτικοειδή κωπήποδα με σχετική αφθονία 29,0%, 6,8% και 4,2% αντίστοιχα.

Τα κλαδοκεραιωτά, αποτέλεσαν δεύτερη ομάδα, και η συνολική τους αφθονία (μέση τιμή 1387 ± 6256 άτ./m³) κυμάνθηκε από 425 έως 2230 άτ./m³ με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται το Φεβρουάριο και τη μέγιστη τον Ιούνιο, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.7β. Η σχετική τους αφθονία, κυμάνθηκε μεταξύ 4,4% και 13,3% (μέση τιμή $9,9 \pm 3,3\%$). Τη σχετική αφθονία των κλαδοκεραιωτών συμπλήρωσαν είδη του γένους *Penilia*, *Evadne* και *Pseudoevadne* με σχετική αφθονία 3,8%, 3,2% και 2,9% αντίστοιχα.

Τρίτη ομάδα, αποτέλεσε το μεροπλαγκτό, με συνολική αφθονία (μέση τιμή 1621 ± 1025 άτ./m³) που κυμάνθηκε μεταξύ 712 και 3118 άτ./m³ με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Φεβρουάριο και τη μέγιστη τον Ιούνιο, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.7γ. Η σχετική αφθονία του μεροπλαγκτού κυμάνθηκε μεταξύ 5,2% και 18,5% (μέση τιμή $11,4 \pm 5,4\%$). Το ποσοστό αυτό συμπληρώθηκε από προνύμφες πολυχαίτων (4,8%), προνύμφες εχινόδερμων (2,4%), ναυπλίους θυσανοπόδων (2,3%), προνύμφες δίθυρων (1,8%) και ένα μικρό ποσοστό από αυγά ή προνύμφες ψαριών (0,4%) με παρουσία μόνο τον Ιούνιο και τον Ιούλιο.

Η συνολική αφθονία των κωπηλατών κυμάνθηκε από 65 έως 217 άτ./m³ (μέση τιμή 115 ± 70 άτ./m³) με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Ιούνιο ενώ η μέγιστη τον Ιούλιο και χωρίς να εντοπίζονται άτομα το Φεβρουάριο και τον Απρίλιο. Η σχετική τους αφθονία κυμάνθηκε από 0,4% έως 1,5%.

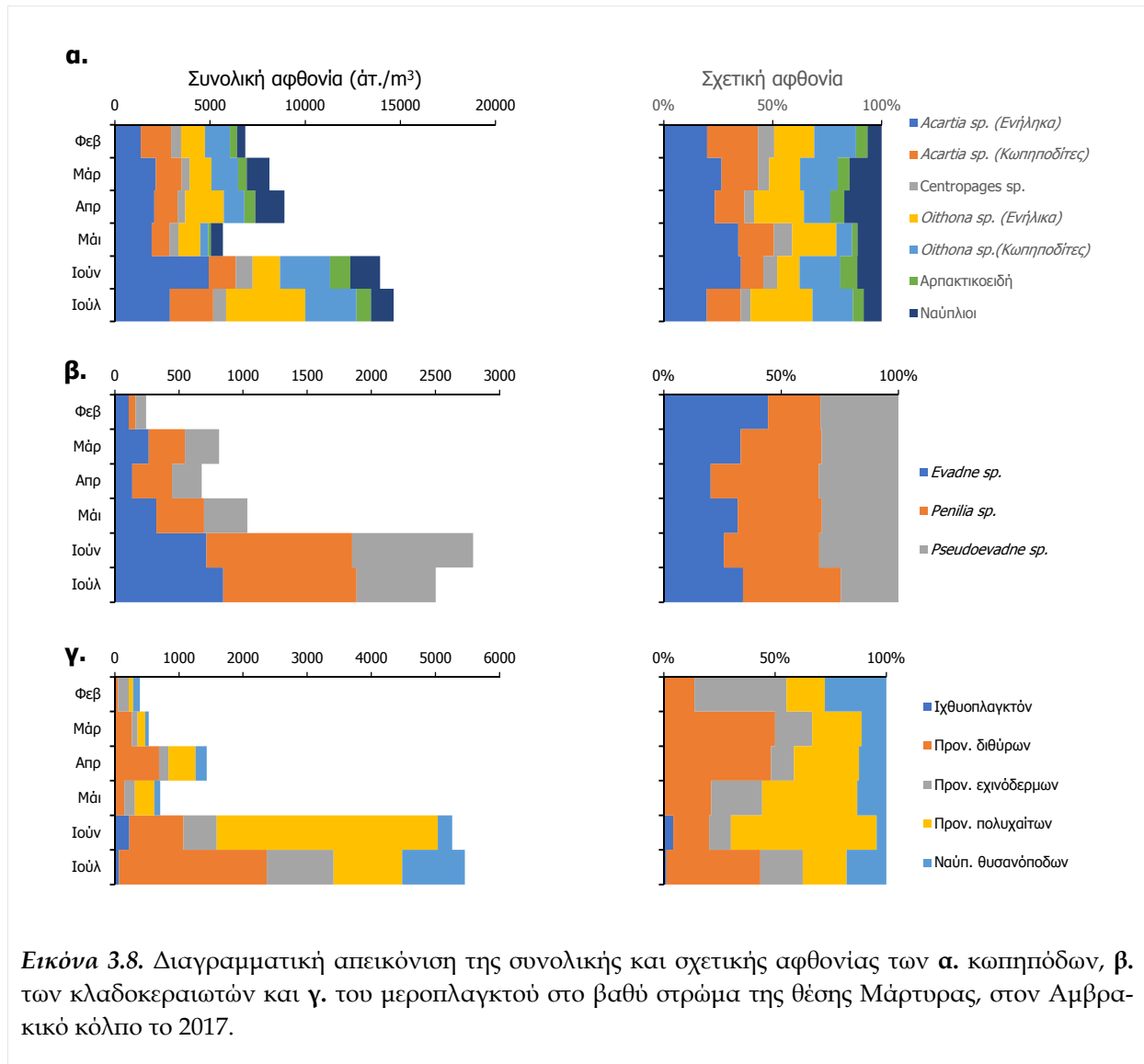
Η συνολική αφθονία των εξωσκελετών, οι οποίοι ξεκίνησαν να εμφανίζονται το Μάρτιο, κυμάνθηκε από 31 έως 307 άτ./m³ (μέση τιμή 131 ± 132 άτ./m³) με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται το Μάιο και τη μέγιστη τιμή τον Ιούλιο. Η σχετική τους αφθονία κυμάνθηκε μεταξύ του 0,2% και 2,2%.



3.2.2.3. Θέση Μάρτυρας – Βαθύ στρώμα

Στο βαθύ στρώμα της θέσης Μάρτυρας η συνολική αφθονία των κωπηπόδων (μέση τιμή 9690 ± 3737 άτ./m³) κυμάνθηκε από 5673 έως 14649 άτ./m³ με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Μάιο ενώ τη μέγιστη τον Ιούλιο, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.8α. Τα κωπήποδα και στο στρώμα αυτό, αποτέλεσαν την επικρατέστερη ομάδα με σχετική αφθονία η οποία κυμάνθηκε από 62,0% έως 91,4% (μέση τιμή $76,4 \pm 12,1\%$). Τα καλανοειδή κωπήποδα ήταν τα επικρατέστερα από την ομάδα των κωπηπόδων με σχετική αφθονία 32,6% για τα είδη του γένους *Acartia* και 4,7% για τα είδη του γένους *Centropages*. Τα κυκλοποειδή κωπήποδα (*Oithona* sp.) ακολούθησαν με σχετική αφθονία 26,3%, ενώ οι ναύπλιοι των κωπηπόδων με σχετική αφθονία 8,8% και τα αρπακτικοειδή κωπήποδα με αφθονία 4,1%, ολοκλήρωσαν τη σχετική αφθονία της ομάδας αυτής.

Τα κλαδοκεραιωτά, των οποίων η συνολική αφθονία (μέση τιμή 1343 ± 1046 άτ./m³) κυμάνθηκε από 244 έως 2793 άτ./m³ με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Φεβρουάριο και τη μέγιστη τον Ιούνιο, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.8β. Η σχετική τους αφθονία κυμάνθηκε από 3,2% έως 13,9% (μέση τιμή $9,2 \pm 4,0\%$), αποτελώντας μία δεύτερη ομάδα στο σύνολο του ζωοπλαγκτού στο βαθύ στρώμα της θέσης αυτής. Το ποσοστό αυτό συμπληρώθηκε από είδη του γένους *Penilia* με σχετική αφθονία 3,5% και είδη του γένους *Pseudoevadne* και *Evadne* με σχετική αφθονία 2,9% και 2,8% αντίστοιχα.



Τρίτη ομάδα του ζωοπλαγκτού και στο στρώμα αυτό, αποτέλεσε το μεροπλαγκτό με συνολική αφθονία (μέση τιμή 2297 ± 2400 άτ./m³) η οποία κυμάνθηκε μεταξύ 392 και 5457 άτ./m³, με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Φεβρουάριο και τη μέγιστη τον Ιούνιο, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.8γ. Η σχετική αφθονία του μεροπλαγκτού κυμάνθηκε μεταξύ 5,2% και 23,4% (μέση τιμή $13,3 \pm 8,3\%$), ποσοστό που συμπληρώθηκε από προνύμφες πολυχαίτων (5,0%), προνύμφες

δίθυρων (4,2%), προνύμφες εχινόδεσμων (2,2%), ναυπλίους θυσανόποδων (1,7%) και ένα μικρό ποσοστό (0,6%) από αυγά και προνύμφες ψαριών με παρουσία μόνο τον Ιούνιο και τον Ιούλιο.

Οι κωπηλάτες, στο στρώμα αυτό εμφανίστηκαν μονό τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο και η σχετική τους αφθονία κυμάνθηκε από 1,4% έως 2,1%. Η αφθονία τους ήταν 325 άτ./m³ τον Ιούνιο και 487 άτ./m³ τον Ιούλιο (μέση τιμή 406 ± 115 άτ./m³).

Η παρουσία εξωσκελετών ήταν συνεχής σε όλους τους μήνες με εξαίρεση τον Μάρτιο, με σχετική αφθονία η οποία κυμάνθηκε μεταξύ 0,2 και 1,4%. Η συνολική τους αφθονία κυμάνθηκε μεταξύ 12 και 325 άτ./m³ (μέση τιμή 113 ± 133 άτ./m³), με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Μάιο και την μέγιστη τον Ιούλιο.

3.2.2.4. Θέση Παλιόβαρκα – Επιφανειακό στρώμα

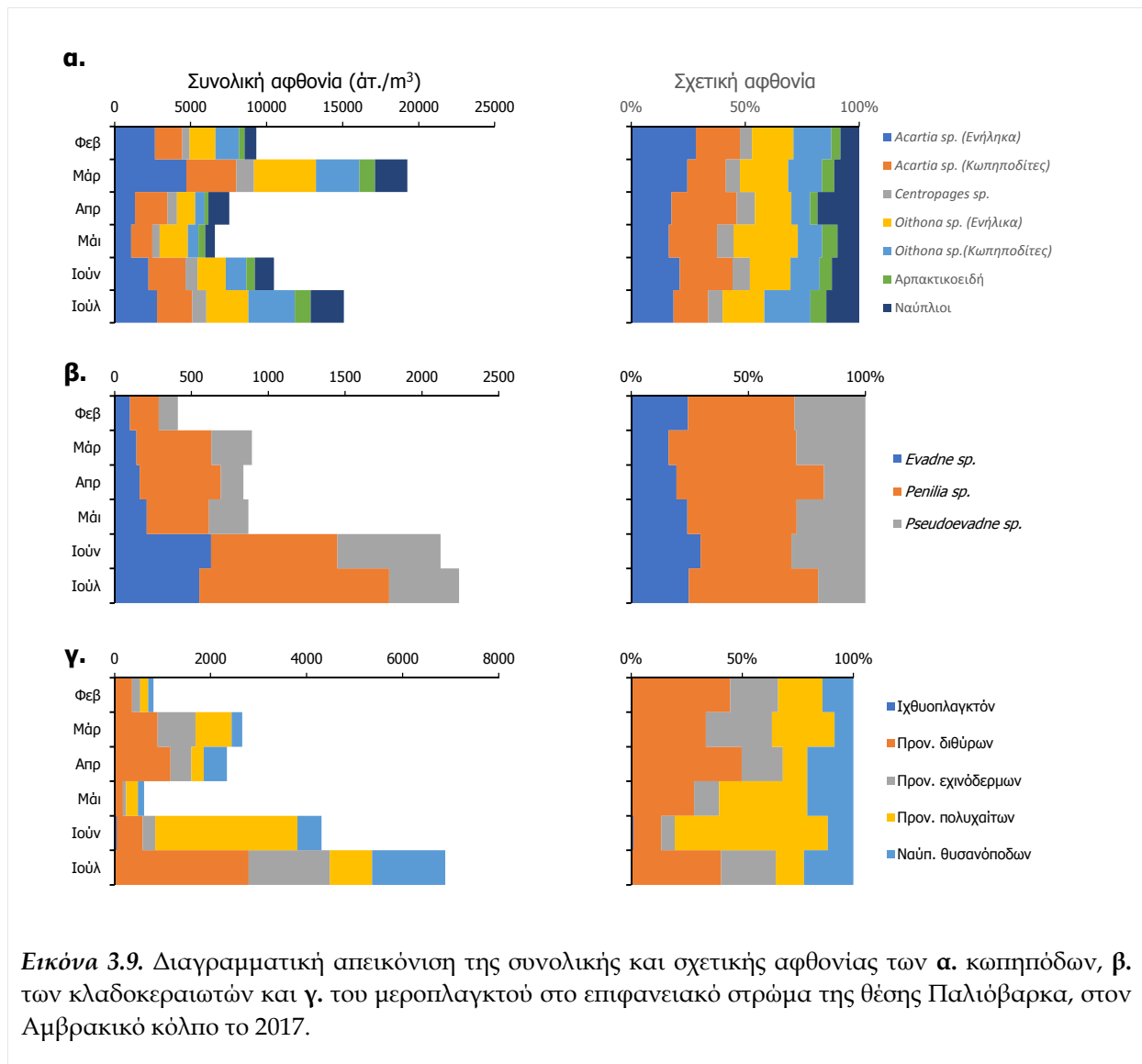
Στο επιφανειακό στρώμα της θέσης Παλιόβαρκα, η συνολική αφθονία των κωπηπόδων (μέση τιμή 11376 ± 4861 άτ./m³) κυμάνθηκε από 6589 έως 19245 άτ./m³, με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Μάιο και τη μέγιστη τον Μάρτιο, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.9α. Τα κωπήποδα στο στρώμα αυτό, αποτέλεσαν την επικρατέστερη ομάδα του ζωοπλαγκτού. Η σχετική τους αφθονία κυμάνθηκε από 60,4% έως 88,4% (μέση τιμή 74,1 ± 12,2%). Από την ομάδα αυτή, τα καλανοειδή (*Acartia sp.* και *Centropages sp.*) και τα κυκλοποειδή (*Oithona sp.*) κωπήποδα ήταν τα περισσότερο άφθονα με σχετική αφθονία 31,2%, 4,9% και 25,3% αντίστοιχα. Η σχετική αφθονία των κωπηπόδων συμπληρώθηκε από τους ναυπλίους των κωπηπόδων (8,8%) και τα απακτικοειδή κωπήποδα (3,8%).

Τα κλαδοκεραιωτά με συνολική αφθονία από 412 έως 2241 άτ./m³ (μέση τιμή 1230 ± 759 άτ./m³), με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Φεβρουάριο και τη μέγιστη τον Ιούλιο, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.9β, αποτέλεσαν δεύτερη ομάδα στο σύνολο του ζωοπλαγκτού. Η σχετική τους αφθονία κυμάνθηκε μεταξύ 3,9% και 12,2% (μέση τιμή 7,9 ± 3,5%), ποσοστό που συμπληρώθηκε από είδη του γένους *Penilia* (3,9%), *Pseudoevadne* (2,1%) και *Evadne* (1,9%).

Το μεροπλαγκτόν αποτέλεσε τρίτη ομάδα του συνολικού ζωοπλαγκτού, με συνολική αφθονία που κυμάνθηκε από 615 έως 6886 άτ./m³ (μέση τιμή 2937 ± 2359 άτ./m³), με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Μάιο και τη μέγιστη τον Ιούνιο, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.9γ. Η σχετική αφθονία των μεροπλαγκτικών οργανισμών κυμάνθηκε από 7,6% έως 27,7% (μέση τιμή 16,8 ± 9,0%), ποσοστό που συμπληρώθηκε από προνύμφες δίθυρων (5,8%), προνύμφες πολυχαιτών (5,1%), προνύμφες εχινόδεσμων (3,0%), ναυπλίους θυσανόποδων (2,9%) και ένα μικρό ποσοστό από αυγά ή προνύμφες ψαριών (με παρουσία μόνο τον Ιούνιο).

Οι κωπηλάτες σε αυτό το στρώμα, εμφανίστηκαν τον Ιούνιο με αφθονία 260άτ./m³ και τον Ιούλιο με αφθονία 227άτ./m³. Γενικά, η συνολική τους αφθονία ήταν 487 άτ./m³ (μέση τιμή 244 ± 23 άτ./m³) ενώ η σχετική τους αφθονία ήταν 1,2 ± 0,4%.

Η συνολική αφθονία των εξωσκελετών σε αυτό το στρώμα, κυμάνθηκε από 102 έως 390 άτ./m³ με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Μάρτιο και τη μέγιστη τον Ιούλιο, ενώ τον Φεβρουάριο και τον Μάιο δεν εντοπίστηκαν εξωσκελετοί. Η σχετική τους αφθονία κυμάνθηκε από 0,4 έως 1,6% (μέση τιμή 1,0 ± 0,5%).



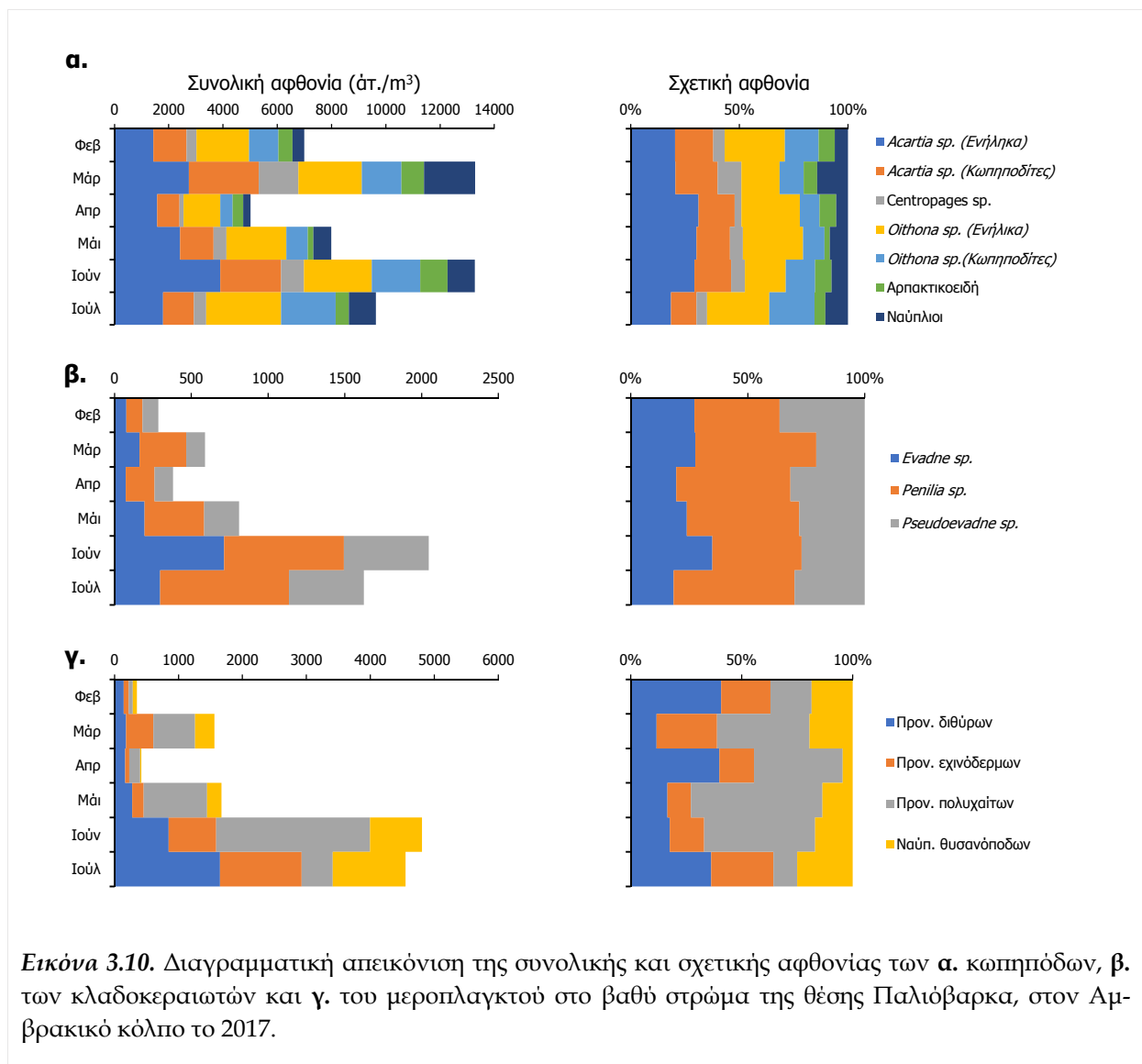
Εικόνα 3.9. Διαγραμματική απεικόνιση της συνολικής και σχετικής αφθονίας των **α.** κωπηπόδων, **β.** των κλαδοκεραιωτών και **γ.** του μεροπλαγκτού στο επιφανειακό στρώμα της θέσης Παλιόβαρκα, στον Αμβρακικό κόλπο το 2017.

3.2.2.5. Θέση Παλιόβαρκα – Βαθύ στρώμα

Στο βαθύ στρώμα της θέσης Παλιόβαρκα, η συνολική αφθονία των κωπηπόδων (μέση τιμή 9368 ± 3388 άτ./m³) κυμάνθηκε από 5011 έως 13297 άτ./m³, με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Απρίλιο ενώ τη μέγιστη τον Ιούνιο, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.10α, αποτελώντας την επικρατέστερη ομάδα του

ζωοπλαγκτού στη θέση αυτή. Η σχετική τους αφθονία (μέση τιμή $77,3 \pm 12,8\%$) κυμάνθηκε μεταξύ $60,0\%$ και $91,7\%$. Τα καλανοειδή κωπήποδα ήταν τα πιο άφθονα, της ομάδας αυτής, με αφθονία $32,1\%$ και $4,7\%$ σε *Acartia sp.* και *Centropages sp.* αντίστοιχα, ενώ με αφθονία $29,0\%$ ακολούθησαν τα κυκλοποειδή κωπήποδα (*Oithona sp.*). Η σχετική αφθονία των κωπηπόδων συμπληρώθηκε από τους ναυπλίους ($6,6\%$) και τα αρπακτικοειδή κωπήποδα ($4,8\%$).

Δεύτερη ομάδα αποτέλεσαν τα κλαδοκεραιωτά, με συνολική αφθονία (μέση τιμή 956 ± 717 άτ./ m^3) που κυμάνθηκε από 286 έως 2046 άτ./ m^3 με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Φεβρουάριο και τη μέγιστη τον Ιούνιο, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.10β. Τα είδη του γένους *Penilia* με συνολική αφθονία $3,2\%$ ήταν τα πιο άφθονα, ακολούθησαν τα είδη του γένους *Pseudoevadne* και *Evadne* με συνολική αφθονία $2,0\%$ και $1,8\%$ αντίστοιχα, συμπληρώνοντας τη σχετική αφθονία των κλαδοκεραιωτών η οποία κυμάνθηκε από $3,7\%$ έως $10,1\%$ (μέση τιμή $7,0 \pm 2,8\%$).



Εικόνα 3.10. Διαγραμματική απεικόνιση της συνολικής και σχετικής αφθονίας των α. κωπηπόδων, β. των κλαδοκεραιωτών και γ. του μεροπλαγκτού στο βαθύ στρώμα της θέσης Παλιόβαρκα, στον Αμβρακικό κόλπο το 2017.

Την τρίτη ομάδα του συνολικού ζωοπλαγκτού αποτέλεσε το μεροπλαγκτόν, με συνολική αφθονία που κυμάνθηκε από 351 έως 4807 άτ./m³ (μέση τιμή 2226 ± 1979 άτ./m³), με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται το Φεβρουάριο και τη μέγιστη τον Ιούνιο, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.10γ. Οι προνύμφες πολυχαίτων (5,3%), οι προνύμφες διθύρων (3,8%), οι προνύμφες εχινόδερμων (3,0%) και οι ναυπλίοι θυσανόποδων (2,7%), συμπλήρωσαν τη σχετική αφθονία του μεροπλαγκτού, η οποία κυμάνθηκε από 4,6% έως 28,3% (μέση τιμή 14,9 ± 9,4%).

Η συνολική αφθονία των κωπηλατών, με παρουσία μόνο τον Μάρτιο, τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, κυμάνθηκε από 61 έως 162 άτ./m³ (μέση τιμή 120 ± 53 άτ./m³), με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Μάρτιο και τη μέγιστη τον Ιούνιο. Η σχετική τους αφθονία κυμάνθηκε από 0,4% έως 0,8% (μέση τιμή 0,7 ± 0,2%).

Η συνολική αφθονία των εξωσκελετών, επίσης με παρουσία τον Μάρτιο, τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, κυμάνθηκε από 61 έως 390 άτ./m³ (μέση τιμή 186 ± 178 άτ./m³) με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται το Μάρτιο και τη μέγιστη τον Ιούνιο. Η σχετική τους αφθονία κυμάνθηκε από 0,4% έως 1,9% (μέση τιμή 1,0 ± 0,8%).

3.2.3. Σύγκριση της αφθονίας του ζωοπλαγκτού

Από τη στατιστική σύγκριση που πραγματοποιήθηκε (MANOVA) για τη συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού στα δεδομένα του 2017, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο μεταξύ των μηνών δειγματοληψίας και όχι μεταξύ των θέσεων ή των στρωμάτων βάθους. Ο στατιστικός έλεγχος (SNK Multiple range test) έδειξε ότι οι χαμηλότερες τιμές της συνολικής αφθονίας στην περιοχή μελέτης εμφανίστηκαν τους μήνες Φεβρουάριο και Απρίλιο ενώ οι υψηλότερες τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο.

Ομοίως, για τα περισσότερα από τα είδη του ζωοπλαγκτού στα δείγματα αυτής της περιόδου, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο μεταξύ των μηνών δειγματοληψίας και όχι μεταξύ των θέσεων ή των στρωμάτων βάθους (Πίνακας 3.4). Εξαιρεση αποτέλεσαν δύο είδη κλαδοκεραιωτών, τα *Euvadne sp.* και *Pseudoeuvadne sp.* για τα οποία παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές και μεταξύ των θέσεων δειγματοληψίας.

Από το δένδρογραμμα που προέκυψε με την τεχνική της ιεραρχικής ομαδοποίησης ξεχώρισαν, σε επίπεδο ομοιότητας 89%, δύο κύριες ομάδες θέσεων δειγματοληψίας, όπως απεικονίζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.11.

Πίνακας 3.4. Μέση τιμή αφθονίας (άτ./m³), ανάλυση διασποράς (F) και SNK test των επικρατέστερων γενών/ειδών του ζωοπλαγκτού κατά την περίοδο του 2017.

Είδος	Μήνας						F	P
	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ		
<i>Acartia</i> sp.	3396 ^b	5588^a	3356 ^b	3348 ^b	5573 ^a	4050 ^{a,b}	3.67	0.02
<i>Centropages</i> sp.	466 ^b	1057^a	442 ^b	474 ^b	830 ^a	756 ^{a,b}	5.22	0.00
<i>Oithona</i> sp.	3117 ^{b,c}	4414 ^{a,b}	2520 ^c	2850 ^{b,c}	3710 ^{a,b,c}	5269^a	3.13	0.04
Αρπακτικοειδή κωπ.	371 ^b	735 ^a	419 ^b	325 ^b	861^a	762 ^a	4.96	0.01
Ναύπλιοι κωπ.	575	1560	923	685	1269	1420	-	-
<i>Evadne</i> sp.	105 ^c	224 ^{b,c}	194 ^{b,c}	317 ^b	676^a	563 ^a	17.00	0.00
<i>Penilia</i> sp.	139 ^c	372 ^{b,c}	364 ^{b,c}	446 ^b	907 ^a	931^a	16.75	0.00
<i>Pseudoevadne</i> sp.	96 ^e	266 ^{c,d}	195 ^{d,e}	355 ^{b,c}	715^a	503 ^b	20.87	0.00
Ιχθυοπλαγκτόν	0	0	0	0	89	30	-	-
Προν. διθύρων	149	349	566	204	742	1755	-	-
Προν. εχινόδεσμων	129	358	189	188	457	1253	-	-
Προν. Πολυχαιτών	164 ^c	465 ^{b,c}	298 ^{b,c}	527 ^{b,c}	2615^a	831 ^b	20.07	0.00
Ναύπ. Θυσανόποδων	125	201	231	232	471	1004	-	-
Κωπηλάτες	0	33	0	27	203	267	-	-
Εξωσκελετοί	3 ^b	50 ^b	54 ^b	11 ^b	241 ^a	282^a	11.09	0.00
Συνολική αφθονία	8850 ^c	15565 ^{a,b}	9653 ^c	9949 ^{b,a}	19637^a	19585 ^a	7.07	0.00

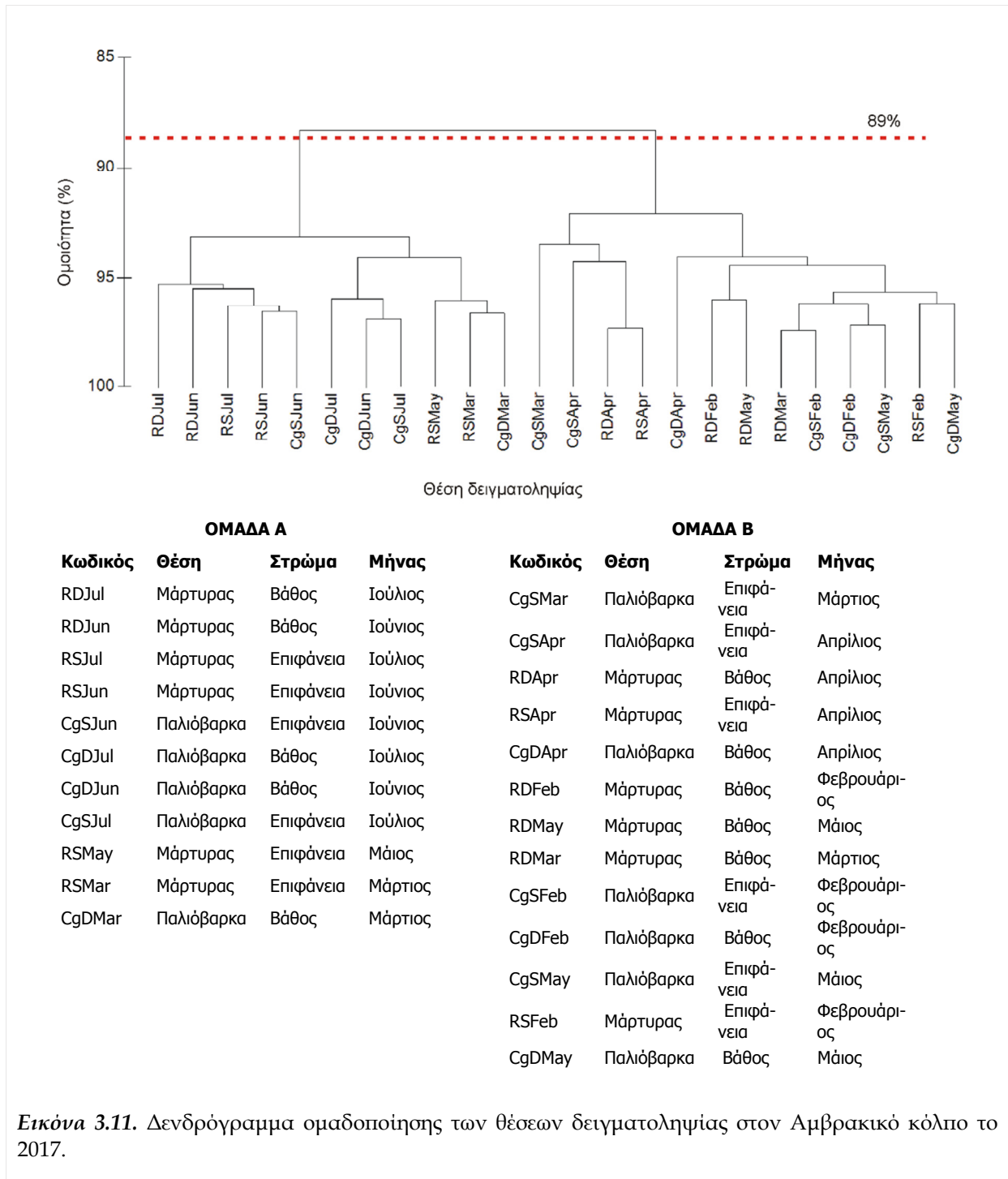
Είδος	Θέση				Στρώμα			
	Μάρτυρας	Παλιόβ.	F	P	Επιφ.	Βαθό	F	P
<i>Acartia</i> sp.	4166	4271	0.05	0.82	4499	3938	1.47	0.24
<i>Centropages</i> sp.	654	689	0.15	0.70	749	594	2.98	0.10
<i>Oithona</i> sp.	3607	3687	0.03	0.86	3846	3449	0.68	0.42
Αρπακτικοειδή κωπ.	565	593	0.11	0.75	594	564	0.13	0.72
Ναύπλιοι κωπ.	1012	1132	-	-	1159	985	-	-
<i>Evadne</i> sp.	417^a	276 ^b	10.08	0.00	368	326	0.86	0.36
<i>Penilia</i> sp.	531	522	0.02	0.89	570	483	1.87	0.19
<i>Pseudoevadne</i> sp.	416^a	294 ^b	9.25	0.00	370	340	0.54	0.47
Ιχθυοπλαγκτόν	36	4	-	-	15	24	-	-
Προν. διθύρων	489	766	-	-	624	631	-	-
Προν. εχινόδεσμων	342	515	-	-	451	407	-	-
Προν. Πολυχαιτών	798	835	0.05	0.83	785	849	0.15	0.70
Ναύπ. Θυσανόποδων	293	462	-	-	404	350	-	-
Κωπηλάτες	106	70	-	-	79	98	-	-
Εξωσκελετοί	102	112	0.12	0.73	120	94	0.76	0.39
Συνολική αφθονία	13518	14229	0.21	0.65	14615	13132	0.92	0.35

P=0.05

a,b,c: Ομάδες τιμών όπως προκύπτουν από το SNK test (a>b>c...)

- : δεν πραγματοποιήθηκε έλεγχος λόγω περιστασιακής παρουσίας στα δείγματα

Με έντονα γράμματα τονίζεται ο μήνας, η θέση και το στρώμα με την υψηλότερη αφθονία



Εικόνα 3.11. Δενδρόγραμμα ομαδοποίησης των θέσεων δειγματοληψίας στον Αμβρακικό κόλπο το 2017.

Η Ομάδα Α, αποτελείται κυρίως από τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο και η ομοιότητα μεταξύ των θέσεων ήταν 85,43%. Κυρίαρχο ρόλο στην ομοιότητα μεταξύ των θέσεων της ομάδας είχαν τα κοπήποδα (*Acartia sp.* και *Oithona sp.*) και ακολούθησαν οι προνύμφες πολυχαιτών, οι προνύμφες εχινοδέρμων, οι προνύμφες θυσανόποδων και οι προνύμφες δίθυρων.

Η Ομάδα Β, αποτελείται κυρίως από τους μήνες Φεβρουάριο, Μάιο και Απρίλιο, με ομοιότητα μεταξύ των θέσεων 88,36%. Κυρίαρχο ρόλο και εδώ είχαν τα κωπήποδα (*Acartia sp.* και *Oithona sp.*), οι προνύμφες πολυχαίτων και οι προνύμφες δίθυρων.

Οι ομάδες των σταθμών, ξεχωριστά, διαφοροποιήθηκαν και ως προς την αφθονία και ως προς τη σύνθεση των ειδών. Η ανομοιομορφία μεταξύ τους οφείλονταν είτε στον χαμηλό δείκτη ποικιλότητας (υψηλή κυριαρχία κάποιων ειδών, μικρός αριθμός ειδών στο δείγμα ή και τα δύο) είτε στην παρουσία κάποιων ειδών τα οποία δεν απαντήθηκαν αλλού.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της υδάτινης στήλης και συνθήκες οξυγόνωσης

Από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της υδάτινης στήλης τόσο της πρώτης όσο και της δεύτερης δειγματοληπτικής περιόδου, φάνηκε πως το κύριο χαρακτηριστικό της υδάτινης στήλης του Αμβρακικού κόλπου είναι η ισχυρή στρωμάτωση.

Η πρώτη δειγματοληπτική περίοδος (2014), αν και μικρής χρονικής διάρκειας είχε μεγάλη χωρική έκταση αφού το δίκτυο των σταθμών κάλυπτε το μεγαλύτερο μέρος του κόλπου. Σε αυτή την εποχή, το επιφανειακό στρώμα ανάμειξης εμφανίστηκε καλά οξυγονωμένο, η θερμοκρασία του ήταν υψηλότερη σε σχέση με τα βαθύτερα στρώματα ενώ η αλατότητα ήταν χαμηλότερη. Βαθύτερα από το επιφανειακό στρώμα εμφανίστηκε το πυκνοκλινές του οποίου το οξυγόνο και η θερμοκρασία μειώνονταν σε σχέση με το βάθος, σε αντίθεση με την αλατότητα η οποία αυξανόταν. Βαθύτερα του πυκνοκλινούς, στο βαθύ στρώμα, το οξυγόνο συνέχισε να μειώνεται, χαρακτηρίζοντας το περιβάλλον υποξικό, η θερμοκρασία επίσης συνέχισε να μειώνεται ενώ η αλατότητα παρουσίασε αύξηση.

Η δεύτερη δειγματοληπτική περίοδος (2017) αν και μικρής έκτασης είχε μεγάλη χρονική διάρκεια. Η στρωμάτωση της υδάτινης στήλης επικράτησε και κατά τη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο σε όλη τη διάρκειά της από το Φεβρουάριο μέχρι και τον Ιούλιο και στους δύο σταθμούς και με μεταβολές των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών σε σχέση με την εποχή. Η θερμοκρασία κατά τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο στο επιφανειακό στρώμα ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τα βαθύτερα στρώματα, παρουσιάζοντας αντίστροφο θερμοκλινές. Η τάση αυτή άλλαξε από τον Απρίλιο κι έπειτα και το επιφανειακό στρώμα άρχισε να έχει υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση τα βαθύτερα, παρουσιάζοντας εποχικό θερμοκλινές το οποίο ήταν εντονότερο τον Ιούνιο και τον Ιούλιο. Οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου στο επιφανειακό στρώμα ήταν υψηλότερες σε σχέση με τα βαθύτερα παρουσιάζοντας μείωση με το βάθος. Αντίθετη τάση διακύμανσης ακολούθησε η αλατότητα η οποία στο επιφανειακό στρώμα ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τα βαθύτερα εμφανίζοντας αύξηση με το βάθος. Βαθύτερα από το επιφανειακό στρώμα εμφανίστηκε το πυκνοκλινές. Στο στρώμα αυτό το οξυγόνο μειωνόταν ενώ η αλατότητα αυξανόταν καθώς το βάθος της υδάτινης στήλης αυξανόταν. Η διακύμανση και του οξυγόνου και της αλατότητας ακολούθησε ίδια τάση και στο βαθύ στρώμα. Η κατανομή της τιμής του pH ήταν ομοιόμορφη σε σχέση με το βάθος. Το pH στο επιφανειακό στρώμα ήταν υψηλότερο σε σχέση με τα βαθύτερα στρώματα από το Μάρτιο μέχρι και τον Ιούλιο. Εξαιρέση αποτέλεσε ο Φεβρουάριος όπου το pH ήταν χαμηλότερο στην επιφάνεια και αυξανόταν με το βάθος.

Αν και καμία από τις δύο δειγματοληπτικές περιόδους δεν κάλυπτε όλη τη διάρκεια του έτους, σύμφωνα με την υπάρχουσα γνώση, η στρωμάτωση αυτή κυριαρχεί κατά τη διάρκεια όλου του έτους (Ferentinos et al., 2010 - Kountoura & Zacharias, 2011 - Kountoura & Zacharias, 2014). Οι μεγάλες ποσότητες γλυκού νερού που εισέρχονται στον κόλπο από την άνοιξη έως και το φθινόπωρο, οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν κατά την θερινή περίοδο, το μικρό παλιρροιακό εύρος και οι ασθενείς άνεμοι που πνέουν στην περιοχή, αποτελούν τις κύριες αιτίες για τη δημιουργία της στρωμάτωσης στον Αμβρακικό κόλπο (Ζαχαρίας και συν., 2015). Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδυναμώσει την κάθετη ανάμειξη της υδάτινης στήλης απομονώνοντας το στρώμα του πυθμένα από τα πλούσια σε οξυγόνο νερά με αποτέλεσμα τη δημιουργία υποξικών/ανοξικών συνθηκών (Ζαχαρίας και συν., 2015). Το πρόβλημα τις υποξίας στα μεγαλύτερα βάθη κοντά στον πυθμένα είναι περισσότερο έντονο σε κλειστούς κόλπους οι οποίοι χαρακτηρίζονται από ρηχή εγκάρσια ράχη στην είσοδό τους, όπως συμβαίνει σε πολλά φιόρδ αλλά και σε κλειστούς κόλπους, όπως ο Αμβρακικός, που μοιάζουν με φιόρδ στην εύκρατη και τροπική ζώνη (Κουντουρά, 2014).

Η πρώτη μελέτη η οποία ασχολήθηκε με τις συνθήκες οξυγόνωσης στον Αμβρακικό Κόλπο, πραγματοποιήθηκε το 1987 (Τζιαβός & Κλαουδάτος, 1987). Στη μελέτη αυτή καταγράφηκαν οι εποχιακές διακυμάνσεις του διαλυμένου οξυγόνου σε ένα δίκτυο 46 δειγματοληπτικών σταθμών, με μετρήσεις σε διαφορετικά βάθη. Οι σταθμοί κάλυπταν όλη την έκταση της υδάτινης στήλης από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα. Από τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, το επιφανειακό στρώμα της υδάτινης στήλης ήταν καλά οξυγονωμένο σε όλη τη διάρκεια του έτους. Οι ελάχιστες συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου (2,8 - 3,5 mg/L) παρατηρήθηκαν κατά τη θερινή περίοδο, ενώ οι μέγιστες παρατηρήθηκαν κατά τη φθινοπωρινή και ανοιξιάτικη περίοδο και δεν ξεπερνούσαν τα 4,2 - 4,9 mg/L. Στα μεγαλύτερα βάθη κοντά στον πυθμένα, οι συνθήκες οξυγόνωσης διαφοροποιήθηκαν. Κατά την ανοιξιάτικη περίοδο, στο δυτικό τμήμα του κόλπου οι συγκεντρώσεις οξυγόνου που επικρατούσαν ήταν μεγαλύτερες από 2 mg/L ενώ στο ανατολικό τμήμα του εμφανιζόταν υποξικές συνθήκες με τις ελάχιστες συγκεντρώσεις (περίπου 1,2 mg/L) να καταγράφονται στην περιοχή έξω από τις εκβολές του ποταμού Άραχθου. Κατά τη θερινή περίοδο επικράτησαν υποξικές συνθήκες σε όλη την έκταση του κόλπου, ακόμη και πολύ κοντά στην είσοδό του. Το ίδιο συνέβη και κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, με τις συγκεντρώσεις του οξυγόνου (0,35 mg/L) να μειώνονται συνεχώς, κυρίως στο ανατολικό τμήμα του κόλπου. Το βαθύτερο τμήμα του κόλπου, σε όλη την έκτασή του, φάνηκε να έχει οξυγονωθεί πλήρως εφόσον οι ελάχιστες συγκεντρώσεις οξυγόνου που παρα-

τηρήθηκαν ήταν μεγαλύτερες από τα 2 mg/L κατά το πέρασμα στη χειμερινή περίοδο.

Η επόμενη μελέτη, πραγματοποιήθηκε τον Αύγουστο του 2009 (Ferentinos et al., 2010) και σύμφωνα με αυτή, κατά τη θερινή περίοδο η υδάτινη στήλη σε όλη την έκταση του κόλπου διαχωρίζεται σε δύο στρώματα. Το επιφανειακό στρώμα φάνηκε να είναι καλά οξυγονωμένο με τις συγκεντρώσεις του οξυγόνου να κυμαίνονται από 7,5 έως 9,0 mg/L. Η μέγιστη τιμή του οξυγόνου καταγράφηκε στο ενδιάμεσο τμήμα του πυκνοκλινούς. Στο δεύτερο στρώμα που αναπτύσσεται σύμφωνα με την κατανομή του οξυγόνου, οι συγκεντρώσεις μειώθηκαν περίπου μέχρι τα 25 m. Από αυτό το βάθος και για περίπου 7 - 9 m αναπτύχθηκε ένα στρώμα νερού όπου στο εσωτερικό του καταγράφηκαν υποξικές συνθήκες. Κάτω από αυτό το στρώμα επικράτησαν ανοξικές συνθήκες σε όλη την έκταση του πυθμένα.

Επίσης σύμφωνα με τη μελέτη των Kountoura & Zacharias (2011), ο Αμβρακικός κόλπος χωρίζεται στο δυτικό και το ανατολικό τμήμα, τα οποία κατά τη διάρκεια του έτους παρουσιάζουν έντονες διαφορές. Στο δυτικό τμήμα του κόλπου, τα επίπεδα οξυγόνου μειώνονται σε σχέση με το βάθος, όλο το χρόνο. Η υδάτινη στήλη κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης είναι καλά οξυγονωμένη. Η ελάχιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου υπερβαίνει τα 3,0 mg/L, γεγονός που οφείλεται στο μικρό βάθος της περιοχής και στην ανάμειξη των βαθύτερων νερών με τα επιφανειακά που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του φθινόπωρου σημειώνονται κάτω από το βάθος των 17 m και 21 m αντίστοιχα, υποξικές συνθήκες. Το πολύ ισχυρό πυκνοκλινές απομονώνει τα νερά του πυθμένα από το πλούσιο σε οξυγόνο νερό της επιφάνειας και σε συνδυασμό με την αποσύνθεση της οργανικής ύλης μειώνονται τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου σε τιμές κάτω από 2 mg/L. Στο ανατολικό τμήμα του κόλπου, η υδάτινη στήλη χωρίζεται σε τρία διαφορετικά στρώματα όλο το χρόνο. Στο επιφανειακό στρώμα που εκτείνεται από την επιφάνεια μέχρι το βάθος των 7 m, τα επίπεδα οξυγόνου είναι πάντοτε πάνω από 7.5 mg/L ενώ το καλοκαίρι και το χειμώνα αυξάνονται σε σχέση με το βάθος. Αυτό οφείλεται τόσο στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα του φυτοπλαγκτού κατά την οποία παράγεται οξυγόνο, όσο και στο νερό που εισέρχεται από τον ποταμό Λούρο που είναι πλούσιο σε οξυγόνο. Το ενδιάμεσο στρώμα, εκτείνεται μεταξύ των 7 m και 20 m. Στο στρώμα αυτό όπου σχηματίζεται το πυκνοκλινές, η συγκέντρωση του οξυγόνου μειώνεται σε σχέση με το βάθος. Το βαθύτερο στρώμα, εκτείνεται κάτω από το βάθος των 20 m και τα επίπεδα του οξυγόνου είναι χαμηλότερα από 2 mg/L καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Με δεδομένο ότι το στρώμα αυτό βρίσκεται απομονωμένο από πλούσια σε οξυγόνο νερά για μεγάλες χρονικές περιόδους, και σε συνδυασμό με την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, το τμήμα αυτό μπο-

ρεί να χαρακτηριστεί ως μια απομονωμένη μάζα νερού με πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου.

4.2. Συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού

Η συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού στην περιοχή του Αμβρακικού κόλπου, κυμάνθηκε σε τιμές ανάλογες με αυτές που έχουν αναφερθεί και σε άλλες παράκτιες περιοχές της Ελλάδας. Στα παράκτια οικοσυστήματα της Ελλάδας, η βιοκοινωνία του ζωοπλαγκτού χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλότερες τιμές αφθονίας και βιομάζας συγκριτικά με τα πελαγικά περιβάλλοντα του Αιγαίου και του Ιονίου πελάγους (Ramfos et al., 2005), παρουσιάζοντας διακυμάνσεις στα ποσοτικά αλλά και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της. Σύμφωνα με άλλες μελέτες, σε παράκτιες περιοχές της Ελλάδας η συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 1000 και 2500 άτ./m³ (Siokou-Frangou, 1996 - Christou, 1998 - Siokou-Frangou et al., 1998). Επίσης, στη Μεσόγειο αλλά και στον παγκόσμιο ωκεανό το ζωοπλαγκτό, τείνει να είναι περισσότερο άφθονο στα παράκτια σε σχέση με τα πελαγικά οικοσυστήματα (Gaudy, 1985). Το γεγονός αυτό σύμφωνα με έρευνες οφείλεται στην αυξημένη παραγωγικότητα κοντά στις ακτές (Gaudy, 1985 - Gaudy et al., 2003 - Ράμφος, 2004 - Coll et al., 2010).

Στην παρούσα μελέτη και κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο το 2014, η συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού (3763 - 9555 άτ./m³) κυμάνθηκε σε αντίστοιχα επίπεδα με αυτά που αναφέρονται από τους Panayotidis et al. (1994) το καλοκαίρι (1000 - 3000 άτ./m³) καθώς και σε άλλες παράκτιες περιοχές της Ελλάδας (600 - 8200 άτ./m³) όπως οι ημίκλειστοι κόλποι του Παγασητικού, του βόρειου και νότιου Ευβοϊκού, του Σαρωνικού, του Κορινθιακού και του Πατραϊκού (Ράμφος, 2004).

Επίσης ο χωρικός διαχωρισμός της βιοκοινωνίας του ζωοπλαγκτού που παρατηρήθηκε στην παρούσα μελέτη (ανατολικό με δυτικό τμήμα) επιβεβαιώνει μερικώς τα αντίστοιχα αποτελέσματα των Panayotidis et al. (1994) οι οποίοι βρήκαν επίσης διαφοροποίηση της βιοκοινωνίας μεταξύ του ανατολικού και του δυτικού τμήματος του Αμβρακικού Κόλπου.

Κατά τη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο το 2017, η συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού στους δύο σταθμούς ήταν υψηλότερη σε σχέση με την πρώτη. Πιο συγκεκριμένα στη θέση Μάρτυρας η αφθονία του ζωοπλαγκτού κυμάνθηκε μεταξύ 8572 και 20729 άτ./m³ ενώ στη θέση Παλιόβαρκα μεταξύ 6942 και 22753 άτ./m³. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο μικρότερο άνοιγμα ματιού του διχτυού που χρησιμοποιήθηκε κατά τη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο (100 μm το 2017 έναντι 200 μm το 2014). Η μέγιστη συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού στις δύο δειγματοληπτικές θέσεις παρατηρήθηκε το καλοκαίρι, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με τα

αποτελέσματα των Kehayias & Aposporis (2014) αλλά σε αντίθεση με αυτά των Panayotidis et al. (1994) κατά τα οποία η μέγιστη συνολική αφθονία παρατηρήθηκε τον χειμώνα. Οι τιμές αυτές δεν είναι ασυνήθιστες σε ιδιαίτερες περιοχές όπως ο Αμβρακικός κόλπος για τον οποίο έχει αναφερθεί συνολική πυκνότητα ζωοπλαγκτού έως και 23000 άτ./m³ (Panayotidis et al. 1994 - Kehayias & Aposporis, 2014) με τη χρήση αντίστοιχου πλαγκτικού διχτυού.

Από τα αποτελέσματα της δεύτερης δειγματοληπτικής περιόδου, δεν φάνηκε κάποια διαφοροποίηση στη ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία μεταξύ της θέσης κοντά στους κλωβούς ιχθυοκαλλιέργειας και της θέσης μάρτυρας. Η επίδραση των ιχθυοκαλλιεργητικών μονάδων στη βιοκοινωνία του μεσοζωοπλαγκτού είναι ελάχιστα μελετημένη. Οι άμεσες επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών προσδιορίζονται κυρίως στον πυθμένα και λιγότερο στην υδάτινη στήλη (Grigorakis & Rigos, 2011). Στην υδάτινη στήλη, τα θρεπτικά συστατικά που προέρχονται από την ιχθυοκαλλιεργητική δραστηριότητα (μέσω του μεταβολισμού των ψαριών και από τις τροφές) φαίνεται να αραιώνονται πολύ γρήγορα ή να απορροφώνται πολύ γρήγορα από το μικροβιακό τροφικό πλέγμα και να περνούν στα ανώτερα τροφικά επίπεδα μέσω του πίκου και νάνοπλαγκτού (Pitta et al., 2009). Στους κλωβούς των υδατοκαλλιεργειών, σημαντικές ποσότητες διαλυμένων θρεπτικών (N και P) απεκκρίνονται απευθείας από τα ψάρια στην υδάτινη στήλη (Grigorakis & Rigos, 2011). Ο βαθμός και η έκταση της επίδρασης μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την τοπογραφία και τις υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις, η επίδραση των μονάδων εντοπίζεται σε μικρή ακτίνα (<200m) από το κέντρο το μονάδων τόσο για την υδάτινη στήλη όσο και για τις βενθικές βιοκοινωνίες (Grigorakis & Rigos, 2011 και αναφορές σε αυτούς).

Ο βαθμός επίδρασης των μονάδων της περιοχής στο μεσοζωοπλαγκτό δεν είναι εύκολο να προσδιορισθεί αφού οι οργανισμοί του μεσοζωοπλαγκτού, λόγω του μεγαλύτερου κύκλου ζωής (περίπου 30-60 ημέρες για τους περισσότερους οργανισμούς) δεν φαίνονται ικανοί να εκμεταλλευτούν άμεσα ή έμμεσα τα όποια διαθέσιμα θρεπτικά απελευθερώνονται στην υδάτινη στήλη από τις μονάδες. Λόγω της έλλειψης διαθέσιμων στοιχείων στο αντικείμενο, απαιτείται συστηματική προσέγγιση για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

4.3. Σύνθεση των ζωοπλαγκτικών ομάδων

Η σύνθεση της βιοκοινωνίας του ζωοπλαγκτού στην παρούσα μελέτη, επιβεβαιώνει τον παράκτιο χαρακτήρα της περιοχής του Αμβρακικού κόλπου. Στις παράκτιες περιοχές, η βιοκοινωνία του ζωοπλαγκτού χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία ολοπλαγκτικών ομάδων όπως τα κωπήποδα, τα κλαδοκεραιωτά και οι κωπηλάτες

(Mazzocchi et al., 1997 - Youssara & Gaudy, 2001 - Ramfos et al., 2005 - Isari et al., 2006 - Kehayias & Aprosoris, 2014 - Berraho, et al., 2019). Στην παρούσα μελέτη τα κωπήποδα και τα κλαδοκεραιωτά αποτέλεσαν τις επικρατέστερες ζωοπλαγκτικές ομάδες τα οποία τόσο στην πρώτη όσο και στη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο αθροιστικά συνιστούσαν ποσοστό μεγαλύτερο του 80% του συνολικού ζωοπλαγκτού στην περιοχή μελέτης.

Πιο συγκεκριμένα, κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο τα κωπήποδα και τα κλαδοκεραιωτά κυριάρχησαν σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας. Οι σταθμοί με την υψηλότερη αφθονία ήταν εκείνοι που βρίσκονταν κοντά στην είσοδο του κόλπου. Κατά τη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο, ομοίως, τα κωπήποδα και τα κλαδοκεραιωτά αποτέλεσαν τις επικρατέστερες ομάδες. Η παρουσία των κωπηπόδων ήταν συνεχής και φάνηκε να παρουσιάζουν σταθερή αφθονία μεταξύ των θέσεων και των στρωμάτων βάθους κατά τη διάρκεια όλης της δεύτερης δειγματοληπτικής περιόδου. Αν και η παρουσία των κλαδοκεραιωτών ήταν συνεχής, η αφθονία τους σε σχέση με τα κωπήποδα δεν ήταν. Η αφθονία των κλαδοκεραιωτών ήταν χαμηλή το Φεβρουάριο και άρχισε να αυξάνεται από το Μάρτιο κι έπειτα μέχρι να φτάσει στα μέγιστα τον Ιούνιο και τον Ιούλιο.

Γενικά, στις πελαγικές περιοχές της Μεσογείου η βιοκοινωνία του ζωοπλαγκτού χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία των κωπηπόδων σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Mazzocchi et al., 1997 - Siokou-Frangou et al., 1997 - Ράμφος, 2004 - Ίσαρη, 2008). Περιστασιακά όμως, και κυρίως τους θερινούς μήνες κατά τους οποίους οι συνθήκες είναι ευνοϊκές, παρατηρούνται εξάρσεις στην αφθονία των κλαδοκεραιωτών (Siokou-Frangou, 1996 - Isari et al., 2006). Εξαιτίας της παρθενογεννητικής ικανότητάς τους, τα κλαδοκεραιωτά είναι ικανά να πολλαπλασιαστούν τάχιστα, εκμεταλλευόμενα τη διαθέσιμη τροφή αλλά και τις ευνοϊκές συνθήκες που επικρατούν στις παράκτιες περιοχές (Isari et al., 2007 - Schnack-Schiel et al., 2010).

Στα δείγματα επίσης των δύο δειγματοληπτικών περιόδων εντοπίστηκαν κωπηλάτες η σχετική αφθονία των οποίων δεν ξεπέρασε το 6% επί του συνόλου του ζωοπλαγκτού. Οι κωπηλάτες εμφανίστηκαν σε όλα τα δείγματα της πρώτης δειγματοληπτικής περιόδου. Κατά τη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο τους μήνες Μάρτιο και Μάιο παρατηρήθηκαν λίγα άτομα του είδους στα δείγματα και κατά τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο παρατηρήθηκε η μέγιστη αφθονία τους. Αν και η παρουσία των κωπηλατών είναι σημαντική τόσο στις πελαγικές (Mazzocchi et al., 1997) όσο και στις παράκτιες (Siokou-Frangou, 1996) περιοχές της Μεσογείου, η σχετική τους αφθονία σπανίως ξεπερνά το 10% επί του συνολικού ζωοπλαγκτού (για ανασκόπηση της βιβλιογραφίας: Stergiou et al., 1997). Ο ρόλος των κωπηλατών είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τον κύκλο του άνθρακα στην τροφική αλυσίδα, εξαιτίας της ικανότητάς

τους να τρέφονται με σωματίδια πολύ μικρού μεγέθους (<15μm) (Gorsky et al., 1991 - Gorsky et al., 1999). Η χαμηλή αφθονία των κωπηλατών στην περιοχή μελέτης θα μπορούσε να αποδοθεί είτε στον ανταγωνισμό με τα παρθενογενετικά αναπαραγόμενα κλαδοκεραιωτά, είτε στη θηρευτική πίεση (Ισαρη, 2008). Η ομάδα αυτή αποτελεί σημαντικό θήραμα τόσο για τα ενήλικα ψάρια όσο και για τις ιχθυονύμφες (Gorsky et al., 1999 - Ισαρη, 2008).

Η συμμετοχή του μεροπλαγκτού στο σύνολο του ζωοπλαγκτού της περιοχής μελέτης ήταν σαφέστατα μικρότερη συγκριτικά με αυτή του ολαπλαγκτού, τόσο στην πρώτη όσο και στη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο. Σε όλα τα δείγματα της πρώτης δειγματοληπτικής περιόδου παρουσιάστηκαν μεροπλαγκτικοί οργανισμοί. Η παρουσία τους ήταν εντονότερη στους σταθμούς που βρίσκονταν στη είσοδο του κόλπου. Η παρουσία τους, επίσης, σε όλα τα δείγματα της δεύτερης δειγματοληπτικής περιόδου ήταν συνεχής καθ' όλη τη διάρκειά της, με εξαίρεση τους οργανισμούς του ιχθυοπλαγκτού οι οποίοι εμφανίστηκαν μόνο κατά τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο. Το σύνολο του ζωοπλαγκτού κατά τη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο συμπληρώθηκε από την παρουσία εξωσκελετών στα δείγματα. Η κατανομή της αφθονίας του μεροπλαγκτού και των εξωσκελετών, χρονικά ακολούθησε αυτή των κλαδοκεραιωτών και παρέμεινε χαμηλή από το Φεβρουάριο μέχρι το Μάιο μέχρι να φτάσει στα μέγιστα τον Ιούνιο και τον Ιούλιο. Η συμβολή των μεροπλαγκτικών οργανισμών, στη διαφοροποίηση της αφθονίας μεταξύ των σταθμών, των μηνών και των θέσεων δειγματοληψίας στην παρούσα μελέτη ήταν σημαντική. Οι μεροπλαγκτικές ομάδες που κυριάρχησαν ήταν οι προνύμφες των πολυχαίτων, των δίθυρων και των εχινόδερμων. Περιστασιακά βρέθηκαν στα δείγματα προνύμφες από δεκάποδα καρκινοειδή και ναύπλιοι θυσσανοπόδων. Τόσο στην παρούσα μελέτη όσο και σε άλλες, αρκετά συχνά στην πλαγκτική βιοκοινωνία παρατηρούνται αντιπρόσωποι του μεροπλαγκτού όπως προνύμφες γαστεροπόδων, θυσσανοπόδων, δεκαπόδων και πολυχαίτων και αυτό εξαιτίας της άμεσης αλληλεπίδρασης των περιοχών αυτών με την ξηρά και τον πυθμένα (Stergiou et al., 1997 - Siokou-Frangou et al., 1998 - Ράμφος, 2004 - Ισαρη, 2008 - Kehayias & Aposporis, 2014 - Papiol et al., 2019).

4.4. Ζωοπλαγκτό και οξυγόνο

Η υδρολογία του Αμβρακικού κόλπου και ο υποξικός του χαρακτήρας, όπως έχει ήδη αναφερθεί, έχουν αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένων ερευνών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, επιβεβαιώνεται ο εποχικά υποξικός/ανοξικός χαρακτήρας του κόλπου, ο οποίος δεν φάνηκε να επηρεάζει την κατακόρυφη κατανομή των ζωοπλαγκτικών ομάδων στα βαθύτερα και υποξικά στρώματα της υδάτινης στήλης. Η επίδραση του διαλυμένου οξυγόνου στην δομή και τη λειτουργία της ζωοπλα-

γκτικής βιοκοινωνίας ενός υδάτινου οικοσυστήματος αποτελεί κοινή διαπίστωση αρκετών ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί τόσο στον Αμβρακικό κόλπο (Panayotidis et al., 1994 - Kehayias & Aposporis, 2014) όσο και σε άλλα θαλάσσια οικοσυστήματα με παρόμοια ή διαφορετικά υδρολογικά χαρακτηριστικά (Fernandez-Alamo & Farber-Lorda, 2006 - Isari et al., 2007 - Diaz & Rosenberg, 2008 - Kehayias et al., 2013 - Banerjee et al., 2019). Όταν οι συγκεντρώσεις του οξυγόνου μειωθούν κάτω από ένα όριο δεν κρίνεται μόνο η επιβίωση των ζωοπλαγκτικών οργανισμών, ταυτόχρονα επηρεάζονται ο μεταβολισμός, η γονιμότητα και η ανάπτυξή τους (Auel & Verheye, 2007). Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου αποτελεί σημαντικό παράγοντα και για την κατακόρυφη κατανομή του ζωοπλαγκτού, ο οποίος στα βαθύτερα στρώματα μπορεί να κριθεί ως περιοριστικός (Fernandez-Alamo & Farber-Lorda, 2006 - Kehayias et al., 2013 - Kehayias & Aposporis, 2014). Ωστόσο, πολλοί ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί φαίνεται να ανέχονται ή ακόμα και να προτιμούν τα υποξικά ή ανοξικά στρώματα για να ολοκληρώσουν τον ημερονύκτιο κύκλο τους ή την εποχική τους μετανάστευση ή να βρουν καταφύγιο από τους θηρευτές (Kehayias & Aposporis, 2014).

Χαρακτηριστικό γνώρισμα της κατακόρυφης κατανομής των ομάδων του ζωοπλαγκτού είναι η μείωση της αφθονίας τους σε σχέση με το βάθος, όπως αναφέρεται και από τους Panayotidis et al. (1994) και από τους Kehayias & Aposporis (2014). Στην παρούσα μελέτη, δεν παρατηρήθηκε μείωση της αφθονίας με το βάθος ακόμα και κατά την περίοδο όπου η συγκέντρωση του οξυγόνου στο βαθύ στρώμα ήταν σημαντικά χαμηλότερη από το επιφανειακό. Το γεγονός αυτό πιθανώς να εξηγείται από την αντοχή των ζωοπλαγκτικών οργανισμών σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου όπως αυτές που παρατηρήθηκαν στο βαθύ στρώμα δειγματοληψίας κατά τους θερινούς μήνες (1,8 - 2,5 mg/L, βλ. Πίνακας 3.3). Οι ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί, αν και συνήθως αποφεύγουν τις υποξικές/ανοξικές ζώνες στην υδάτινη στήλη, μπορούν να ανεχθούν χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου ή να συναθροίζονται κοντά στις υποξικές/ανοξικές ζώνες για να προστατευθούν από τους θηρευτές (Saltzman & Wishner, 1997). Επιπλέον, στην παρούσα μελέτη, η δειγματοληψία στο βαθύ στρώμα πραγματοποιήθηκε σε τμήμα της υδάτινης στήλης όπου είτε ήταν καλά οξυγονωμένο (Φεβρουάριος έως και Μάιος) είτε σε στρώμα με ενδιάμεσες τιμές οξυγόνου. Είναι πιθανό λοιπόν, οι υψηλές τιμές της αφθονίας στο βαθύ στρώμα να οφείλονται στο ζωοπλαγκτό που βρισκόταν συγκεντρωμένο κοντά στο πυκνοκλινές στο ανώτερο τμήμα του βαθιού στρώματος.

Οι Paffenhöfer & Mazzocchi (2003) αναφέρουν ότι η κατακόρυφη κατανομή του ζωοπλαγκτού στην υδάτινη στήλη είναι το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού παραγόντων. Παράγοντες όπως η τροφοληπτική συμπεριφορά και οι θερμοκρασιακές προ-

τιμήσεις των ζωοπλαγκτικών ειδών καθώς και η θηρευτική πίεση καθορίζουν την κατακόρυφη κατανομή των ειδών.

5. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελέτη της βιοκοινωνίας του ζωοπλαγκτού στον Αμβρακικό κόλπο κατά την περίοδο ανάπτυξης υποξικών/ανοξικών συνθηκών

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη μελέτη της βιοκοινωνίας του ζωοπλαγκτού στον Αμβρακικό κόλπο κατά την περίοδο ανάπτυξης υποξικών/ανοξικών συνθηκών. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από δύο δειγματοληπτικές περιόδους. Κατά την πρώτη (Ιούνιος του 2014) συλλέχθηκαν δέκα δείγματα ζωοπλαγκτού από το επιφανειακό στρώμα της υδάτινης στήλης με οριζόντια σύρση, σε ένα δίκτυο σταθμών το οποίο κάλυπτε όλο τον κόλπο. Κατά τη δεύτερη (Φεβρουάριος - Ιούλιος 2017), πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες δειγματοληψίες στην περιοχή του κόλπου της Πρέβεζας σε δύο δειγματοληπτικές θέσεις (μια πλησίον των κλωβών μιας μονάδας ιχθυοκαλλιέργειας και μια σε απόσταση 1000 m από τους κλωβούς), με στρωματοποιημένη δειγματοληψία. Παράλληλά αξιοποιήθηκαν δεδομένα για αβιοτικές παραμέτρους τα οποία συλλέχθηκαν ταυτόχρονα με το ζωοπλαγκτό.

Από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της υδάτινης στήλης τόσο της πρώτης όσο και της δεύτερης δειγματοληπτικής περιόδου, φάνηκε πως το κύριο χαρακτηριστικό της υδάτινης στήλης του κόλπου είναι η ισχυρή στρωμάτωση. Αν και καμία από τις δύο περιόδους δεν κάλυπτε όλη τη διάρκεια του έτους, σύμφωνα με την υπάρχουσα γνώση, η στρωμάτωση αυτή κυριαρχεί κατά τη διάρκεια όλου του έτους. Το πολύ ισχυρό πυκνοκλινές απομονώνει τα νερά του πυθμένα από το πλούσιο σε οξυγόνο νερό της επιφάνειας. Με δεδομένο ότι το στρώμα αυτό βρίσκεται απομονωμένο από τα πλούσια σε οξυγόνο στρώματα και σε συνδυασμό με την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, το τμήμα αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια απομονωμένη μάζα νερού με πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου. Έτσι, ο κόλπος εμφανίζεται ως εποχιακά ανοξικός αλλά όχι καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Η συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού στην περιοχή του κόλπου, κυμάνθηκε σε τιμές ανάλογες με αυτές που αναφέρονται και σε άλλες παράκτιες περιοχές της Ελλάδας. Από τη σύνθεση της βιοκοινωνίας του ζωοπλαγκτού, επιβεβαιώνεται ο παράκτιος χαρακτήρας της περιοχής μελέτης ο οποίος χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία ολοπλαγκτικών ομάδων (κωπήποδα, κλαδοκεραιωτά, κωπηλάτες) οι οποίες αθροιστικά συνιστούσαν ποσοστό μεγαλύτερο του 80% του συνολικού ζωοπλαγκτού στην περιοχή.

Η υδρολογία και ο υποξικός χαρακτήρας του κόλπου δεν φάνηκε να επηρεάζουν την κατακόρυφη κατανομή των ζωοπλαγκτικών ομάδων στα βαθύτερα και υποξικά στρώματα της υδάτινης στήλης. Αυτό επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι δεν παρατηρήθηκε μείωση της αφθονίας με το βάθος ακόμα και κατά την περίοδο όπου η συ-

γκέντρωση του οξυγόνου στο βαθύ στρώμα ήταν σημαντικά χαμηλότερη από το επιφανειακό.

6. ABSTRACT

Study on zooplankton biocommunity in the Ambrakikos Gulf during the development of hypoxic/anoxic conditions

This work was carried out with purpose to study the bio-community of zooplankton in the Amvrakikos gulf during the development of hypoxic/anoxic conditions. Data from two sampling periods were used for this purpose. During the first period (June of 2014) samples of zooplankton were collected from the surface layer of the water column with horizontal dragging at a network station which covered the whole gulf. During the second period (February – July of 2017), monthly sampling was carried out in the Bay of Preveza at two sampling positions (one near the cages of a fish farm and one at distance of 1000 m from cages), with layered sampling. Data on abiotic parameters that collected simultaneously with the zooplankton were also used.

The physicochemical characteristics of the water column from the two sampling periods, showed that the main feature of the water column is the strong stratification. Although none of the two periods covered the whole year, according to existing knowledge, this stratification dominates throughout the year. This strong dense isolate the bottom waters from the rich in oxygen surface waters. This layer is isolated from the rich in oxygen layers and in combination with the decomposition of organic matter, this part can be characterized as an isolated mass of water with very low oxygen concentrations. Thus, the gulf appears to be seasonally anoxic but not all year round.

The total abundance of zooplankton in the gulf varied in values similar to those reported in other coastal areas in Greece. The composition of the zooplankton biocommunity confirms the coastal character of the studied area, which is characterized by the domination of holoplankton groups (copepods, cladocerans, appendicularians), which they cumulatively constituted more than 80% of the total zooplankton in the region.

The hydrology and the hypoxic character of the gulf did not affect the vertical distribution of zooplankton groups in the deeper and hypoxic layers of the water column. This is confirmed by the fact that there was no decrease in the abundance with depth, even at the time when the concentration of oxygen in the deep layer was significantly lower than that of the surface.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Auel, H., & Verheye, H. (2007). Hypoxia tolerance in the copepod *Calanoides carinatus* and the effect of an intermediate oxygen minimum layer on copepod vertical distribution in the northern Benguela Current upwelling system and the Angola - Benguela Front. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 352: 234-243.
- Baird, D., Christian, R., Peterson, C., & Johnson, G. (2004). Consequences of hypoxia on estuarine ecosystem function Energy diversion from consumers to microbes. *Ecological Applications*, 14: 805-822.
- Banerjee, A., Chakrabarty, M., Rakshit, N., Bhowmick, A., & Ray, S. (2019). Environmental factors as indicators of dissolved oxygen concentration and zooplankton abundance: Deep learning versus traditional regression approach. *Ecological Indicators*, 100: 99-117.
- Berraho, A., Abdelouahab, H., Baibai, T., Charib, S., Larissi, J., Agouzouk, A., & Makaoui, A. (2019). Short-term variation of zooplankton community in Cintra Bay (Northwest Africa). *Oceanologia*, 61: 368-383.
- Bray, J., & Curtis, J. (1957). An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27: 325-349.
- Breitburg, D., Hondorp, D., Davias, L., & Diaz, R. (2009). Hypoxia, nitrogen and fisheries Integrating effects across local and global landscapes. *Annual Review of Marine Science*, 1: 329-350.
- Brugnano, C., Bergamasco, A., Granata, A., Guglielmo, L., & Zagami, G. (2010). Spatial distribution and community structure of copepods in a central Mediterranean key region (Egadi Islands-Sicily Channel). *Journal of Marine Systems* 81: 312-322.
- Cassotti, R., Landolfi, A., Brunet, C., D'Ortenzio, F., Mangoni, O., d'Alcala, M., & Denis, M. (2003). Composition and dynamics of the phytoplankton of the Ionian Sea (eastern Mediterranean). *Journal of Geophysical Research*, C108: art-8116.
- Cheng, W., Liu, C., Hsu, J., & Chen, J. (2002). Effect of hypoxia on the immune response of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* and its susceptibility to pathogen *Enterococcus*. *Fish and Shellfish Immunology*, 13: 351-365.
- Christou, E. (1998). Interannual variability of copepods in a Mediterranean coastal area (Saronikos Gulf, Aegean Sea). *Journal of Marine Systems*, 15: 523-532.
- Clarke, K., & Warwick, R. (1994). Change in Marine Communities: an approach to statistical analysis and interpretation. *Primer-E Ltd: Plymouth, UK*.
- Coll, M., Pirrodi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., & Ben Rais Lasram, F., . . . Voultziadou, E. (2010). The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. *PLoS ONE* 5(8): e11842.
- D'Ortenzio, F., & Riberra d'Alcala, M. (2009). On the trophic regimes of the Mediterranean Sea: a satellite analysis. *Biogeosciences* 6: 139-148.

- de Puellas, M., Pinot, J., & Valencia, J. (2003). Seasonal and interannual variability of zooplankton community in waters off Mallorca (Balearic Sea, Western Mediterranean): 1994–1999. *Oceanologica Acta* 26: 673–686.
- Diaz, R., & Rosenberg, R. (2008). Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science*, 321: 926–929.
- Druon, J., Schrimpf, W., Dobricic, S., & Stips, A. (2004). Comparative assessment of large-scale marine eutrophication: North Sea area and Adriatic Sea as case studies. *Marine Ecology Progress Series*, 272: 1–23 .
- Eby, L., & Crowder, L. (2002). Hypoxia-based habitat compression in the Neuse River estuary Context-dependent shifts in behavioral avoidance thresholds. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59: 952– 965.
- Farstey, V., Lazar, B., & Genin, A. (2002). Expansion and homogeneity of the vertical distribution of zooplankton in a very deep mixed layer. *Marine Ecology Progress Series*, 238: 91–100.
- Ferentinos, G., Papatheodorou, G., Geraga, M., Iatrou, M., Fakiris, E., Christodoulou, D., . . . Koutsikopoulos, C. (2010). Fjord water circulation patterns and dysoxic/anoxic conditions in a Mediterranean semi-enclosed embayment in the amvrakikos Gulf, Greece. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 88: 473–481.
- Fernandez-Alamo, M., & Farber-Lorda, J. (2006). Zooplankton and the oceanography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69: 318–359.
- Field, J. R., Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1982). A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Marine Ecology Progress Series*, 8: 37–52.
- Fonda Umani, S., Monti, M., Minutoli, R., & Guglielmo, L. (2010). Recent advances in the Mediterranean researchers on zooplankton: from spatial-temporal patterns of distribution to process oriented studies. *Advances in Oceanography and Limnology*, 1: 295–356.
- Fragopoulou, N., & Lykakis, J. (1990). Vertical distribution and nocturnal migration of zooplankton in relation to the development of seasonal thermocline in Patraikos Gulf. *Marine Biology*, 104: 381–387.
- Fragopoulou, N., Siokou-Frangou, I., Christou, E., & Mazzocchi, M. (2001). Patterns of vertical distribution of Pseudocalanidae and Paracalanidae(Copepoda) in pelagic waters (0 to 300 m) of the Eastern Mediterranean Sea. *Crustacean Issues*, 74: 49–68.
- Friligos, N., Balopoulos, E., & Psyllidou-Giouranovits, R. (1997). Eutrophication and hydrography in the Amvrakikos Gulf Ionian Sea. *Fresenius Environmental Bulletin*, 6: 021–026.
- Friligos, N., Theocharis, A., & Georgopoulos, D. (1985). Preliminary physical and chemical observations during summer 1980 on a silled embayment in the Ionian Sea. *Vie Milieu*, 35: 115–125.

- Gaudy, R. (1985). Features and peculiarities of zooplankton communities from the Western Mediterranean. Στο M. Moraitou-Apostolopoulou, & V. Kiortsis, *Mediterranean Marine Ecosystems* (σσ. 279-301). New York: Plenum Press.
- Gaudy, R., Youssara, F., Diaz, F., & Raimbault, P. (2003). Biomass, metabolism and nutrition of zooplankton in the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Oceanologica Acta*, 26: 357-372.
- Gilbert, D., Sunday, B., Gobeil, C., Mucci, A., & Tremblay, G. (2005). A seventy two-year record of diminishing deep-water oxygen in the St. Lawrence estuary: The northwest Atlantic connection. *Limnology and Oceanography*, 50: 1654-1666 .
- Gorsky, G., Chrétiennot-Dinet, M., Blanchot, J., & Palazzoli, I. (1999). Picoplankton and nanoplankton aggregation by appendicularians: Fecal pellet contents of *Megalocercus huxleyi* in the equatorial Pacific. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 104: 3381-3390 .
- Gorsky, G., Lins da Silva, N., Dallot, S., Laval, P., Braconnot, J., & Prieur, L. (1991). Midwater tunicates: are they related to the permanent front of the Ligurian Sea (NW Mediterranean)? *Marine Ecology Progress Series*, 74: 195-204.
- Grigorakis, K., & Rigos, G. (2011). Aquaculture effects on environmental and public welfare - the case of Mediterranean mariculture. *Chemosphere*, 85: 899-919.
- Hure, J., Ianora, A., & Scotto di Carlo, B. (1980). Spatial and temporal distribution of copepod communities in the Adriatic Sea. *Journal of Plankton Research*, 2: 295-316.
- Incze, L., Herbet, D., Wolff, N., Oakey, N., & Dye, D. (2001). Changes in copepod distributions associated with increased turbulence from wind stress. *Marine Ecology Progress Series*, 213: 229-240.
- Isari, S., Psarra, S., Pitta, P., Mara, P., Tomprou, O., Ramfos, A., . . . Fragopoulou, N. (2007). Differential patterns of mesozooplankters' distribution in relation to physical and biological variables of the northeastern Aegean Sea (eastern Mediterranean). *Marine Biology*, 151 :1035-1050.
- Isari, S., Ramfos, A., Somarakis, S., Koutsikopoulos, C., Kallianiotis, A., & Fragopoulou, N. (2006). Mesozooplankton distribution in relation to hydrology of the Northeastern Aegean Sea, Eastern Mediterranean. *Journal of Plankton Research*, 28: 241-255.
- Jørgensen, B. (1980). Seasonal oxygen depletion in the bottom waters of a Danish fjord and its effect on the benthic community. *Oikos*, 34: 68-76.
- Kapsimalis, V., Pavlakis, P., Poulos, S., Alexandri, S., Tziavos, C., Sioulas, A., . . . Lykousis, V. (2005). Internal structure and evolution of the late quaternary sequence in a shallow embayment: the Amvrakikos Gulf, NW Greece. *Marine Geology*, 222: 399-418.
- Kehayias, G., & Aposporis, M. (2014). Zooplankton variation in relation to hydrology in an enclosed hypoxic bay (Amvrakikos Gulf, Greece). *Mediterranean Marine Science*, 15/3: 554-568.

- Kehayias, G., Ramfos, A., Tzialas, P., Ioannou, S., Bisouki, P., Kyrtzoglou, E., . . . Zacharias, I. (2013). Zooplankton diversity and distribution in a deep and anoxic Mediterranean coastal lake. *Mediterranean Marine Science*, 14/1: 179-192.
- Kodama, K., Aoki, I., & Shimizu, M. (2002). Long-term changes in the assemblage of demersal fishes and invertebrates in relation to environmental variations in Tokyo Bay, Japan. *Fisheries Management and Ecology*, 9: 303-313.
- Kountoura, K., & Zacharias, I. (2011). Temporal and spatial distribution of hypoxic/seasonal anoxic zone in Amvrakikos Gulf, Western Greece. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 94: 123-128.
- Kountoura, K., & Zacharias, I. (2014). Annual hypoxia dynamics in a semi-enclosed Mediterranean gulf. *Journal of Marine Systems*, 139: 320-331.
- Kouwenberg, J. (1994). Copepod distribution in relation to seasonal hydrographics and spatial structure in the Northwestern Mediterranean (Golfe du Lion). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 38: 69-90.
- Legadeuc, Y., Boule, M., & Dodson, J. (1997). Effect of vertical mixing on the vertical distribution of copepods in coastal waters. *Journal of Plankton Research*, 19: 1183-1204.
- Mazzocchi, M., & Ribera d'Alcalà, M. (1995). Recurrent patterns in zooplankton structure and succession in a variable coastal environment. *ICES Journal of Marine Science*, 52: 679-691.
- Mazzocchi, M., Christou, E., Fragopoulou, N., & Siokou-Frangou, I. (1997). Mesozooplankton distribution from Sicily to Cyprus (Eastern Mediterranean): general aspects. *Oceanologica Acta*, 20: 521-535.
- Mazzocchi, M., Nervegna, D., D'Elia, G., Di Capua, I., Aguzzi, L., & Boldrin, A. (2003). Spring mesozooplankton communities in the epipelagic Ionian Sea in relation to the Eastern Mediterranean Transient. *Journal of Geophysical Research*, C108: art-8114.
- Miller, D., Poucher, S., & Coiro, L. (2002). Determination of lethal dissolved oxygen levels for selected marine and estuarine fishes, crustaceans, and a bivalve. *Marine Biology*, 140: 287-296.
- Minutoli, R., & Guglielmo, L. (2009). Zooplankton respiratory Electron Transport System (ETS) activity in the Mediterranean Sea: spatial and diel variability. *Marine Ecology Progress Series*, 381: 199-211.
- Moutin, T., & Raimbault, P. (2002). Primary production, carbon export and nutrients availability in western and eastern Mediterranean Sea in early summer 1996 (MINOS cruise). *Journal of Marine Systems*, 33: 273-288.
- Naeher, S., Geraga, M., Papatheodorou, G., Ferentinos, G., Kaberi, H., & Schubert, C. (2012). Environmental variations in a semi-enclosed embayment (Amvrakikos Gulf, Greece) - reconstructions based on benthic foraminifera abundance and lipid biomarker pattern. *Biogeosciences*, 9: 5081-5094.

- Nicolaidou, A., Moraitou-Apostolopoulou, M., & Ignatiades, L. (1983). A Survey of Estuarine Benthic, Zooplanktonic and Phytoplanktonic Communities of Amvrakikos Gulf, Ionian Sea. *Marine Ecology - Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 4: 197-209.
- Nissling, A., & Vallin, L. (1996). The ability of Baltic cod eggs to maintain neutral buoyancy and the opportunity for survival in fluctuating conditions in the Baltic Sea. *Journal of Fish Biology*, 48: 217-227.
- Nowaczyk, A., Carlotti, F., Thibault-Botha, D., & Pagano, M. (2011). Distribution of epipelagic metazooplankton across the Mediterranean Sea during the summer BOUM cruise. *Biogeosciences*, 8: 2159-2177.
- Nybakken, J. W. (2005). *Θαλάσσια Βιολογία Μια Οικολογική Προσέγγιση. 1η Ελληνική Έκδοση*. Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ.
- Paffenhöfer, G., & Mazzocchi, M. (2003). Vertical distribution of subtropical euplanktonic copepods. *Journal of Plankton Research*, 25: 1139-1156.
- Panayotidis, P., Pancucci, A., Balopoulos, E., & Gotsis-Skretas, O. (1994). Plankton Distribution Patterns in a Mediterranean Dilution Basin: Amvrakikos Gulf (Ionian Sea, Greece). *Marine Ecology*, 15: 93-104.
- Papiol, A., Cartes, J., Vélez-Belchí, P., & Martín-Sosa, P. (2019). Near-bottom zooplankton over three seamounts in the east Canary Islands: Influence of environmental variables on distribution and composition. *Deep-Sea Research Part I*, (Article in press) <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2019.04.003>.
- Peña, M., Katsev, S., Oguz, T., & Gilbert, D. (2010). Modeling dissolved oxygen dynamics and hypoxia. *Biogeosciences*, 7: 933-957.
- Peralba, A., & Mazzocchi, M. (2004). Vertical and seasonal distribution of eight Clausocalanus species (Copepoda: Calanoida) in oligotrophic waters. *ICES Journal of Marine Science* 61: 645-653.
- Pinardi, N., & Masetti, E. (2000). Variability of the large scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling: a review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology*, 158: 153-173.
- Pitta, P., Tsapakis, M., Apostolaki, E., Tsagaraki, T., Holmer, M., & Karakassis, I. (2009). 'Ghost nutrients' from fish farms are transferred up the food web by phytoplankton grazers. *Marine Ecology Progress Series*, 374: 1-6.
- Rabalais, N., & Turner, R. (2001). Coastal Hypoxia Consequences for Living Resources and Ecosystems. *Coastal and Estuarine Studies* 58, American Geophysical Union, Washington DC, 454 pp.
- Rabalais, N., Diaz, R., Levin, L., Turner, R., Gilbert, D., & Zhang, J. (2010). Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia. *Biogeosciences*, 7: 585-619.
- Ramfos, A., Somarakis, S., Koutsikopoulos, C., & Fragopoulou, N. (2005). Summer mesozooplankton distribution in coastal waters of central Greece (eastern

- Mediterranean). I. Hydrology and group composition. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 85: 755–764.
- Ribera d'Alcala, M., Conversano, F., Corato, F., Licandro, P., Mangoni, O., Marino, D., . . . Zingone, A. (2004). Seasonal patterns in plankton communities in a pluriannual time series at a coastal Mediterranean site (Gulf of Naples): an attempt to discern recurrences and trends. *Scientia Marina*, 68: 65–83.
- Saltzman, J., & Wishner, K. (1997). Zooplankton ecology in the eastern Pacific oxygen minimum zone above a seamount: 2. Vertical distribution of copepods. *Deep-Sea Research I*, 44: 931–954.
- Schnack-Schiel, S., Mizdalski, E., & Cornils, A. (2010). Copepod abundance and species composition in the Eastern subtropical/tropical Atlantic. *Deep-Sea Research II*, 57: 2064–2075.
- Siokou-Frangou, I. (1996). Zooplankton annual cycle in a Mediterranean coastal area. *Journal of Plankton Research*, 18: 203–223.
- Siokou-Frangou, I. (2004). Epipelagic mesozooplankton and copepod grazing along an east-west transect in the Mediterranean Sea. *Rapports de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 37: 439.
- Siokou-Frangou, I., & Papathanassiou, E. (1991). Differentiation of zooplankton populations in a polluted area. *Marine Ecology Progress Series*, 76: 41–51.
- Siokou-Frangou, I., Bianchi, M., Christaki, U., Christou, E., Giannakourou, A., Gotsis-Skretas, O., . . . Zervakis, V. (2002). Carbon flow in the planktonic food web along a gradient of oligotrophy in the Aegean sea. *Journal of Marine Systems*, 33–34: 335–353.
- Siokou-Frangou, I., Christaki, U., Mazzocchi, M., Montresor, M., Ribera d'Alcalà, M., Vaqué, D., & Zingone, A. (2010). Plankton in the open Mediterranean Sea: a review. *Biogeosciences*, 7: 1543–1586.
- Siokou-Frangou, I., Christou, E., Fragopoulou, N., & Mazzocchi, M. (1997). Mesozooplankton distribution from Sicily to Cyprus (Eastern Mediterranean): II. Copepod assemblages. *Oceanologica Acta*, 20: 537–548.
- Siokou-Frangou, I., Papathanassiou, E., Lepretre, A., & Frontier, S. (1998). Zooplankton assemblages and influence of environmental parameters on them in a Mediterranean coastal area. *Journal of Plankton Research*, 20: 847–870.
- Sommer, U., & Stibor, H. (2002). Copepoda-Cladocera-Tunicata: the role of three major mesozooplankton groups in pelagic food webs. *Ecological Research*, 17: 161–174.
- Stergiou, K., Christou, E., Georgopoulos, D., Zenetos, A., & Souvermezoglou, E. (1997). The Hellenic Seas: physics, chemistry, biology and fisheries. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 35: 415–538.
- Theodorou, J., Dimitriou, E., & Katselis, G. (2017). Management of the Amvrakikos Gulf massive fish mortality crisis. Lessons learned from the death of 950 tons of

- farmed fish. Στο P. Guilloreau, A. Bundy, & R. Perry, *Global Change in Marine Systems: Societal and Governing Responses*. London: Routledge Studies in Environment, Culture and Society.
- Turner, J., & Dagg, M. (1983). Vertical distributions of continental shelf zooplankton in stratified and isothermal waters. *Biological Oceanography* 3: 1–40 .
- Williams, R. (1985). Vertical distribution of *Calanus finmarchicus* and *C. helgolandicus* in relation to the development of the seasonal thermocline in the Celtic Sea. *Marine Biology*, 86: 145–149.
- Wu, R. (2002). Hypoxia: from molecular responses to ecosystem responses. *Marine Pollution Bulletin*, 45: 35–45.
- Wu, R., Zhou, B., Randall, D., Woo, N., & Lam, P. (2003). Aquatic hypoxia is an endocrine disruptor and impairs fish reproduction. *Environmental Science & Technology*, 37: 1137–1141.
- Youssara, F., & Gaudy, R. (2001). Variations of zooplankton in the frontal area of the Alboran Sea (Mediterranean Sea) in winter 1997. *Oceanologica Acta*, 24: 361–376.
- Zar, J. (1984). *Biostatistical Analysis 2nd edition*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs: New Jersey Press.
- Ζαχαρίας, Ι., Κουντουρά, Κ., & Αναγνώστου, Ε. (2015). Ετήσια δυναμική της υποξίας στον Αμβρακικό κόλπο. *11ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Μυτιλήνη, Λέσβος, Ελλάδα*, σσ. 357-360.
- Ίσαρη, Σ. (2008). Χωροχρονική κατανομή του μεσοζωοπλαγκτού & ιχθυοπλαγκτού στο Β.Α. Αιγαίο σε σχέση με αβιοτικές και βιοτικές παραμέτρους. *Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών*.
- Κουντουρά, Κ. (2014). Μελέτη της υδροδυναμικής, της τροφικότητας και της υποξίας ενός κλειστού μεσογειακού κόλπου (Αμβρακικός). *Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών*.
- Ράμφος, Α. (2004). Συγκριτική μελέτη της οικολογίας του μεσοζωοπλαγκτού των θαλασσιών οικοσυστημάτων της Κεντρικής Ελλάδας. *Δικακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών*.
- Τζιαβός, Χ., & Κλαουδάτος, Σ. (1987). Πρόγραμμα Ωκεανογραφική Μελέτη Αμβρακικού Κόλπου, Περίοδος Οκτώβριος 86 – Μάϊος 1987. *1η Προκαταρκτική Τεχνική Έκθεση. Εθνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών*.
- Χαλκιά, Α. (2013). Συμβολή στη μελέτη της βιολογίας και οικολογίας του ζωοπλαγκτού σε λίμνες της Δυτικής Ελλάδας. *Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Ελλάδας*.
- Χρήστου, Ε. (1991). Η δευτερογενής παραγωγή (ζωοπλαγκτό) στο Σαρωνικό κόλπο. *Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθήνας*.