

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επίδραση εκτροφής ιχθύων στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης στην
περιοχή του Παγασητικού κόλπου**

Δημούδη Ανδρονίκη

Κατσαρέλης Χρήστος

ΒΟΛΟΣ 2020

**«Επίδραση εκτροφής ιχθύων στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης στην
περιοχή του Παγασητικού κόλπου»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1. **Νικόλαος Νεοφύτου**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων***,
2. **Κωνσταντίνος Σκόρδας**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***,
3. **Δημήτριος Κλαουδάτος**, Επίκουρος Καθηγητής, Αλιεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***

Στους γονείς μας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρουμε εις πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, Αναπλ. Καθηγητή κ. Νικόλαο Νεοφύτου για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή των δειγματοληψιών και των αναλύσεων, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μας, αποτελούμενη από τον κ. Κων/νο Σκόρδα, Αναπλ. Καθηγητή και τον κ. Δημήτριο Κλαουδάτο, Επίκ. Καθηγητή, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της διατριβής.

Επιπλέον, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας, στους ιδιοκτήτες και στο προσωπικό της ιχθυοκαλλιεργητικής μονάδας, «Ιχθυοτροφεία Παγασητικού Α.Ε.» για τη φιλοξενία τους στις εγκαταστάσεις της μονάδας, την παροχή των πλωτών μέσων για την πραγματοποίηση των δειγματοληψιών, καθώς και για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλουμε τόσο στον Μεταδιδάκτορα κ. Αλέξιο Λόλα όσο και στο μέλος ΕΔΙΠ του Τμήματος κα. Λαμπρινή Τζιάντζιου για την πολύτιμη βοήθεια και τις χρήσιμες συμβουλές που μας παρείχαν κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των δειγματοληψιών και ανάλυσης των δειγμάτων, αντίστοιχα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η έρευνα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης από τη λειτουργία μονάδας εκτροφής τσιπούρας και λαβρακιού, η οποία είναι εγκατεστημένη στη θαλάσσια περιοχή του Παγασητικού κόλπου.

Η λήψη δειγμάτων έγινε στον όρμο “Λαδικού” στις Νηές Μαγνησίας, όπου λειτουργεί η ιχθυοκαλλιεργητική μονάδα “ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΕΙΑ ΠΑΓΑΣΗΤΙΚΟΥ Α.Ε.”. Επιλέχθηκαν συνολικά 3 σταθμοί δειγματοληψίας. Σε κάθε σταθμό μετρήθηκαν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, pH, χλωροφύλλη α) και λήφθηκαν δείγματα νερού από διάφορα βάθη για τις αναλύσεις των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά και πυριτικά).

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής έδειξαν ότι τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά στα σημεία δειγματοληψίας παρουσίασαν την αναμενόμενη διακύμανση. Από το σύνολο των θρεπτικών αλάτων, τα αμμωνιακά, τα νιτρώδη και τα φωσφορικά παρουσίασαν αύξηση στις συγκεντρώσεις τους, εντός των κλωβών εκτροφής. Τα νιτρικά ήταν παρόμοια και στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας, ενώ τα πυριτικά εμφάνισαν σημαντική αύξηση στον σταθμό μάρτυρα. Η στατιστική επεξεργασία των θρεπτικών αλάτων, έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας για όλα τα θρεπτικά άλατα εκτός από τα νιτρικά.

Συμπερασματικά οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων κυμάνθηκαν κάτω από τα όρια εμφάνισης ευτροφικών συνθηκών που επηρεάζουν την ευζωία των εκτρεφόμενων οργανισμών, ενώ οι επιπτώσεις της ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτικά

άλατα της υδάτινης στήλης φαίνεται να είναι χωρικά περιορισμένες γύρω από τις θέσεις εγκατάστασης και λειτουργίας των ιχθυοκλωβών.

Λέξεις κλειδιά: Ιχθυοκαλλιέργεια, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, θρεπτικά άλατα, ευτροφισμός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΣΕΛΙΔΕΣ	i-v
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1. Υφιστάμενη κατάσταση της υδατοκαλλιέργειας.....	4
1.2. Η υδατοκαλλιέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	5
1.3. Ελληνική υδατοκαλλιέργεια.....	7
1.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ιχθυοκαλλιεργειών.....	10
1.5. Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	14
1.6. Σκοπός έρευνας.....	17
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	18
2.1. Γενικά.....	18
2.2. Δειγματοληπτικό πλέγμα σταθμών.....	19
2.3. Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά.....	20
2.3.1. Υδάτινη στήλη.....	20
2.3.2. Θρεπτικά άλατα.....	21
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	26
3.1. Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά.....	26
3.2. Θρεπτικά άλατα.....	36
3.3. Στατιστική επεξεργασία.....	36
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	44
4.1. Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά.....	44
4.2. Θρεπτικά άλατα.....	51
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	57
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59
6.1. Ελληνική βιβλιογραφία.....	59
6.2. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	60
ABSTRACT	65

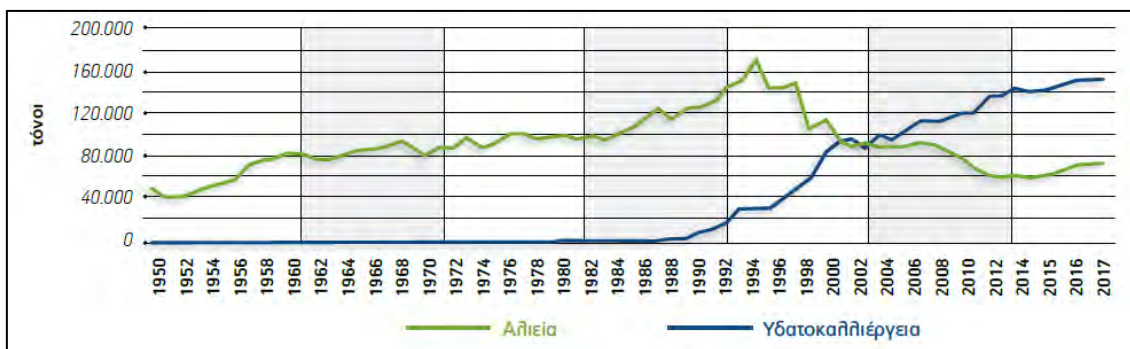
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Υφιστάμενη κατάσταση της υδατοκαλλιέργειας

Η εντατική αλιεία, σε παγκόσμιο επίπεδο, έχει προκαλέσει σημαντική μείωση στα αποθέματα άγριων πληθυσμών, με αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση της παραγωγής στους 93 εκατομμύρια τόνους, τα τελευταία δέκα χρόνια. Από το 2013 και ύστερα, η παγκόσμια παραγωγή προϊόντων υδατοκαλλιέργειας υπερβαίνει τον όγκο των αλιευμάτων που προέρχονται από τον κλάδο της αλιείας. Σύμφωνα με τα στοιχεία του FAO για το 2017, η παραγωγή προϊόντων υδατοκαλλιέργειας έφτασε τους 111,9 εκατομμύρια τόνους, αποτελώντας το 54,5% της συνολικής παραγωγής αλιευτικών προϊόντων (ΣΕΘ 2019).

Το επισιτιστικό πρόβλημα που δημιουργείται λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, σε συνδυασμό με την ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση για προϊόντας υψηλής θρεπτικής αξίας, είναι δύο από τα ζητήματα που καλείται να καλύψει ο κλάδος. Το 2017 η κατά κεφαλήν κατανάλωση ψαριών έφτασε τα 22,3 κιλά. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του FAO μέχρι το 2030 πάνω από το 65% των αλιευτικών προϊόντων θα προέρχεται από την υδατοκαλλιέργεια (ΣΕΘ 2019).

Η ανάπτυξη σε επίπεδο τεχνολογίας και τεχνογνωσίας όσον αφορά τον βιολογικό κύκλο και τα συστήματα εκτροφής των υδρόβιων οργανισμών, καθιστά τον κλάδο τον ταχύτερα αναπτυσσόμενο στην παραγωγή τροφίμων. Σήμερα, εκτρέφονται ανά τον κόσμο τουλάχιστον 580 υδρόβια είδη, εκ' των οποίων τα 360 είναι ψάρια. Στον κλάδο απασχολούνται περισσότερα από 19,3 εκατομμύρια άτομα πλήρους ή μερικής απασχόλησης, ενώ όσον αφορά τα εμπόριο, το 2017 καταγράφηκε αύξηση 7% σε σχέση με το προηγούμενο έτος (ΣΕΘ 2019).



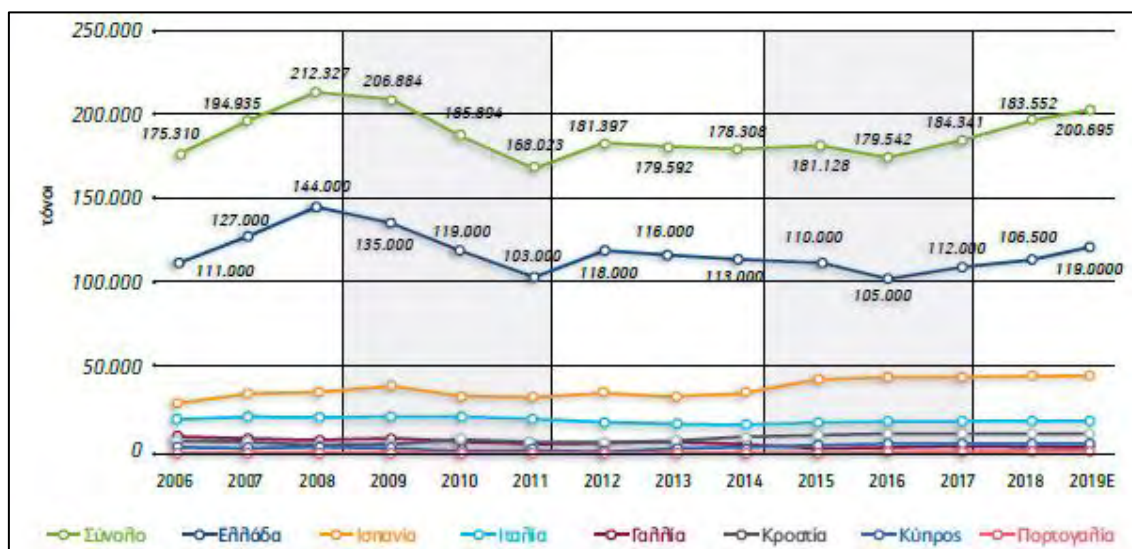
Σχήμα 1.1: Προσφορά αλιευτικών προϊόντων στην Ελλάδα 1950-2017 (ΣΕΘ 2019).

1.2. Η Υδατοκαλλιέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Σύμφωνα με τα στοιχεία του FAO, τα σημαντικότερα είδη εκτροφής στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ως προς τον όγκο και την αξία τους, είναι τα ψάρια και τα όστρακα, ενώ ακολουθούν τα καρκινοειδή και τα υδρόβια φυτά, με πολύ μικρό ποσοστό παραγωγής. Το 2017 η παραγωγή ψαριών αυξήθηκε κατά 6,2% ως προς τον όγκο (από 688.772 τόνους σε 731.590) και κατά 13,5% ως προς την αξία (από 2,86 εκατομμύρια ευρώ σε 3,25). Όσον αφορά τα όστρακα, παρουσιάστηκε αύξηση κατά 3,25% ως προς τον όγκο (από 601.459 τόνους σε 621.004) και κατά 3,7% ως προς την αξία (από 859,2 εκατομμύρια ευρώ σε 891,8) (ΣΕΘ 2019).

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, η τσιπούρα και το λαβράκι αποτελούν σχεδόν το 24% του όγκου και το 44% της αξίας παραγωγής ψαριών υδατοκαλλιέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Το 2018 η παραγωγή τους παρουσίασε αύξηση 13,3% (87.022 τόνοι) και 5,75% (80.319 τόνοι), αντίστοιχα, σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Το 2019 εκτιμάται πως θα αυξηθεί κατά 4,57% και 14,86% και θα φτάσει τους 103.124 τόνους για την τσιπούρα και τους 97.571 για το λαβράκι (ΣΕΘ 2019).

Η συμμετοχή της ελληνικής υδατοκαλλιέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι ιδιαίτερα σημαντική. Συγκεκριμένα, κατέχει την 5^η θέση ως προς τον συνολικό όγκο, με παραγωγή 125.573,7 τόνους, σημειώνοντας αύξηση 1,5% σε σύγκριση με το 2016. Ως προς την αξία των προϊόντων, καταλαμβάνει την 3^η θέση, με 491,82 εκατομμύρια ευρώ, παρουσιάζοντας αύξηση 5,53% σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Δεδομένου ότι το 85% της ελληνικής παραγωγής είναι ψάρια, τα οποία υπερβαίνουν τους 100.000 τόνους, η Ελλάδα καταλαμβάνει την 2^η, ως προς τον όγκο και την αξία παραγωγής, με την Αγγλία να καταλαμβάνει την 1^η θέση. Όσον αφορά την τσιπούρα και το λαβράκι, αποτελεί την μεγαλύτερη παραγωγό χώρα καθώς αντιπροσωπεύει το 61,86% (61.000 τόνοι) και 53,57% (45.000 τόνοι) παραγωγής, αντίστοιχα (ΣΕΘ 2019).

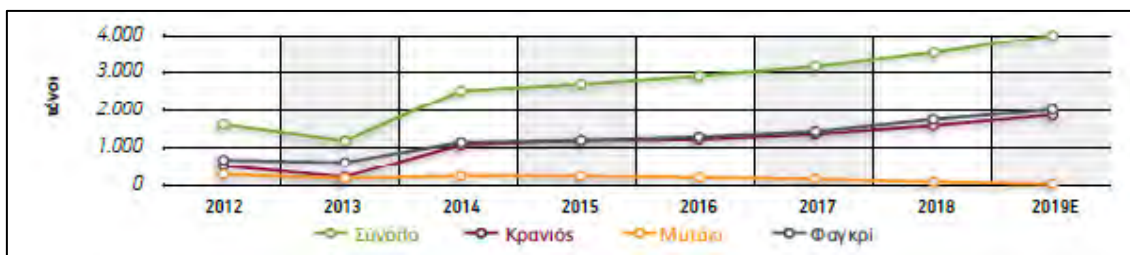


Σχήμα 1.2: Παραγωγή Τσιπούρας και Λαβρακιού στην Ε.Ε. 2006-2018 (ΣΕΘ 2019).

1.3. Ελληνική υδατοκαλλιέργεια

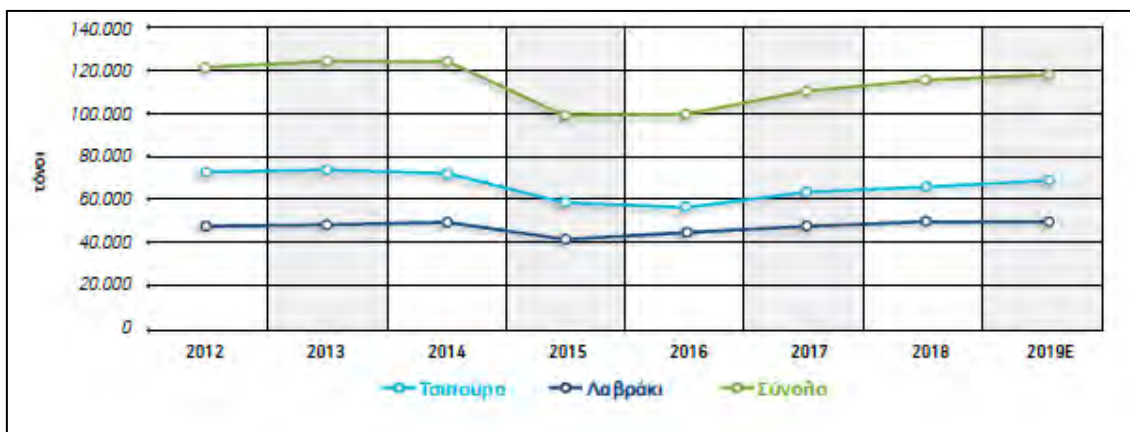
Η εντατική υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα εμφανίζεται τη δεκαετία του 1980 και αφορά την εκτροφή τσιπούρας και λαβρακιού. Η μεγάλη ανάπτυξη του κλάδου, ωστόσο, παρατηρείται μετά το 1985 και σ' αυτό συμβάλλει κατά κύριο λόγο το συγκριτικό πλεονέκτημα της χώρας, όσον αφορά τις γεωμορφολογικές, κλιματολογικές και υδροβιολογικές συνθήκες που επικρατούν.

Σήμερα, στις ελληνικές θάλασσες εκτρέφονται μεσογειακοί ιχθύες και όστρακα τα οποία αποτελούν το 85% και 15% αντίστοιχα, της συνολικής εγχώριας παραγωγής. Τα κυριότερα είδη είναι η τσιπούρα και το λαβράκι, αποτελώντας περίπου το 97% των πωλήσεων. Σε μικρότερο ποσοστό, εκτρέφονται “νέα είδη” με κυρίαρχα τον κρανιό, το φαγκρί και το μυτάκι. Αν και αντιπροσωπεύουν μόλις το 3% του όγκου παραγωγής, φαίνεται πως η παραγωγή τους αυξάνεται ετησίως, τόσο λόγω της αυξημένης ζήτησης όσο και της προσπάθειας για διεύρυνση των διαθέσιμων ειδών προς εκτροφή. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, εκτιμάται πως το 2019 η παραγωγή τους θα ξεπεράσει τους 4.000 τόνους, σημειώνοντας αύξηση 16% σε σύγκριση με την προηγούμενη χρονιά. Όσον αφορά την οστρακοκαλλιέργεια, η οποία αποτελεί τη δεύτερη πιο σημαντική κατηγορία εκτροφής στην Ελλάδα, πραγματοποιείται σχεδόν αποκλειστική εκτροφή του Μεσογειακού μυδιού, κατά κύριο λόγο στις βόρειες περιοχές της χώρας (ΣΕΘ 2019).



Σχήμα 1.3: Παραγωγή νέων ειδών 2012-2018 (ΣΕΘ 2019).

Το 2017 η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού ανήλθε σε 112.000 τόνους αξίας 545,9 εκατομμυρίων ευρώ, με την τσιπούρα να αποτελεί το 57% του όγκου παραγωγής και το λαβράκι το 43%, αντίστοιχα. Το 2018 η παραγωγή αυξήθηκε κατά 7% και έφτασε τους 117.000 τόνους. Οι πωλήσεις ανήλθαν σε 106.500 τόνους, συνολικής αξίας 502,465 εκατομμυρίων ευρώ. Οι τιμές πώλησης, παρουσίασαν πτωτική πορεία σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος, και για τα δύο είδη. Συγκεκριμένα, η μέση τιμή για την τσιπούρα ανήλθε στα 4,35€/κιλό, παρουσιάζοντας μείωση 1,5%, ενώ για το λαβράκι κυμάνθηκε στα 4,97€/κιλό, μειωμένη σχεδόν κατά 6%. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις για το 2019, φαίνεται πως η παραγωγή των δύο αυτών ειδών θα αυξηθεί κατά 1,7% και θα ανέλθει σε 119.000 τόνους. Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, οι τιμές πώλησης φαίνεται πως θα διατηρηθούν στα επίπεδα του 2018 και ενδεχομένως να παρουσιάσουν περαιτέρω μείωση εξαιτίας της αυξημένης προσφοράς που αναμένεται από τρίτες χώρες (ΣΕΘ 2019).



Σχήμα 1.4: Παραγωγή Τσιπούρας – Λαβρακιού (ΣΕΘ 2019).



Σχήμα 1.5: Μέση τιμή Τσιπούρας – Λαβρακιού (ΣΕΘ 2019).

Διαχρονικά το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, περίπου το 80%, προορίζεται για διάθεση σε αγορές του εξωτερικού, ενώ το υπόλοιπο 20% προσφέρεται για εγχώρια κατανάλωση. Το μεγαλύτερο μέρος, απορροφάται από χώρες εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με την Ιταλία, την Ισπανία και τη Γαλλία να αποτελούν τις βασικότερες αγορές. Το 2017 οι πωλήσεις έφτασαν τους 91.000 τόνους, εκ των οποίων περίπου το 57% ήταν τσιπούρα και 43% λαβράκι. Το 2018 οι πωλήσεις παρουσίασαν αύξηση κατά 4%, φτάνοντας τους 109.950 τόνους. Το 72% (79.610 τόνοι) της παραγωγής διοχετεύθηκε σε αγορές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το 7% (7.545 τόνοι)

σε τρίτες χώρες και το υπόλοιπο στην εγχώρια αγορά (22.795 τόνοι). Το μεγαλύτερο μέρος των πωλήσεων (54%) προήλθε από την τσιπούρα, το 41% από το λαβράκι και το 5% από άλλα είδη (ΣΕΘ 2019).

Στον κλάδο απασχολούνται συνολικά, άμεσα και έμμεσα, περίπου 12.000 εργαζόμενοι, μεταξύ αυτών επιστημονικό, τεχνικό και εργατικό προσωπικό. Ο μεγαλύτερος αριθμός των θέσεων απασχόλησης αφορά απομακρυσμένες περιοχές, κυρίως νησιωτικές, γεγονός που συμβάλλει θετικά τόσο στην οικονομική αναζωογόνηση της εκάστοτε περιοχής όσο και στην απασχόληση των νέων, οι οποίοι βρίσκοντας μια θέση εργασίας στον τόπο τους δεν αναγκάζονται να τον εγκαταλείψουν (ΣΕΘ 2019).

1.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ιχθυοκαλλιέργειών

Η εκτροφή υδρόβιων ζωικών οργανισμών, με χρήση πλωτών ιχθυοκλωβών, πραγματοποιείται εντός θαλάσσιας μισθωμένης έκτασης. Αποτελεί εντατική μορφή εκτροφής, καθώς παρέχεται στους οργανισμούς το σύνολο της τροφής που είναι απαραίτητο για την ανάπτυξή τους. Μεταξύ των εκτρεφόμενων οργανισμών και του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται υπάρχει μία αμφίδρομη σχέση. Λόγω της ανθρωπογενούς της φύσης, η ιχθυοκαλλιέργεια, επιδρά και μεταβάλλει το περιβάλλον στο οποίο εγκαθίσταται και λειτουργεί. Από έρευνες που έχουν γίνει, έχει διαπιστωθεί πως η ιχθυοκαλλιεργητική δραστηριότητα, ασκεί επίδραση τόσο στη στήλη του νερού (Sàra 2007, Neofitou & Kladatos 2008) όσο και στις βιοχημικές παραμέτρους του ιζήματος (Kalantzi & Karakassis 2006). Εξίσου σημαντική είναι και η επίδρασή της στους ίδιους τους θαλάσσιους οργανισμούς (Karakassis et al. 2000, Neofitou et al. 2010).

Η ιχθυοκαλλιέργεια απελευθερώνει στο θαλάσσιο περιβάλλον απόβλητα διαφόρων τύπων, όπως θρεπτικά ιόντα (άζωτο, φώσφορο), οργανικό υλικό και διάφορα υποπροϊόντα (φάρμακα, παρασιτοκτόνα), τα οποία μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον (Fernandes et al. 2001), καθώς δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί συλλογή και διαχείρισή τους. Ωστόσο, ο εμπλουτισμός με θρεπτικά άλατα, είναι πολύ μικρότερος σε σχέση με άλλες δραστηριότητες (χερσαίες καλλιέργειες, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα), καθώς δεν ξεπερνά το 1% σε σχέση με αυτές (Karakassis et al. 2005, Sevastou et. al. 2006).

Οι επιπτώσεις που προκύπτουν μέσω της λειτουργίας μίας μονάδας ιχθυοκαλλιέργειας, αφορούν κατά κύριο λόγο την υποβάθμιση του πυθμένα, κάτω και γύρω από τους κλωβούς. Η παροχή τροφής έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων οργανικών αποβλήτων (διαφυγούσα τροφή και απεκκρίματα εκτρεφόμενων οργανισμών), τα οποία απελευθερώνονται άμεσα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Τα απόβλητα αυτά, είτε διασπείρονται και διαλυτοποιούνται εξαιτίας του υδροδυναμισμού (ρευματική - κυματική δράση), είτε καταβυθίζονται στο ίζημα (Hall et al. 1992, Fernades et al. 2001). Σύμφωνα με τους Karakassis et al. (2000), η περιεκτικότητα του ιζήματος σε οργανικό άνθρακα και άζωτο αυξάνεται κοντά στους ιχθυοκλωβούς κατά 1,5 έως 5 φορές και το ATP (Τριφωσφορική Αδενοσίνη) κατά 4 έως 28 φορές .

Το μέγεθος της επιβάρυνσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό τόσο από τις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες (βάθος πυθμένα, τοπογραφία περιοχής) όσο και από τις πρακτικές διαχείρισης που ακολουθούνται (πυκνότητα εκτροφής, ποσότητα τροφής). Συγκεκριμένα, όταν τα απόβλητα διασπείρονται σε μεγάλα βάθη, όπου επικρατούν ισχυρά ρεύματα, υπάρχει δυνατότητα διασποράς τους σε μεγαλύτερη έκταση, με αποτελέσματα την ελαχιστοποίηση της επίδρασης ανά μονάδα επιφανείας. Σε αντίθετη

περίπτωση, το ρυπαντικό φορτίο συσσωρεύεται σε μία μικρότερη επιφάνεια, δημιουργώντας δυσμενείς συνθήκες προς το περιβάλλον και τους οργανισμούς (Carroll et al. 2003). Οι επιπτώσεις αυτές είναι πιο εμφανείς στους ημίκλειστους κόλπους, όπου η ανανέωση του νερού και οι παλίρροιες είναι περιορισμένες (Maldonado et al. 2005).

Όσον αφορά τον τύπο του ιζήματος, η επίδραση είναι πιο έντονη σε λασπώδη και ιλυώδη ιζήματα. Σύμφωνα με τους Karakassis et al. (1998), σε υποστρώματα τα οποία χαρακτηρίζονται από έντονο υδροδυναμικό και εντοπίζονται σε περιοχές με μεγάλα βάθη, παρατηρείται σημαντικά μικρότερος βαθμός συσσώρευσης αποβλήτων. Σε πολλές έρευνες έχει καταγραφεί η παρουσία ενός λεπτού στρώματος μαύρου ιζήματος κάτω από τους ιχθυοκλωβούς, το οποίο χαρακτηρίζεται και ως «ίζημα ιχθυοκαλλιέργειας» (Holmer 1991). Το ίζημα αυτό χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές δυναμικού οξειδοαναγωγής, υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό και συσσώρευση αζωτούχων και φωσφορικών ενώσεων (Hall et al. 1992).

Οι εποχικές διακυμάνσεις που λαμβάνουν χώρα, κατά τη διάρκεια του έτους, σε συνδυασμό με το βάθος και τον τύπο του ιζήματος, μπορεί να ευνοήσουν ή και να αποτρέψουν την εμφάνιση τέτοιου είδους φαινομένων. Έτσι, όταν η περιοχή χαρακτηρίζεται από μικρά βάθη και ιλυώδη πυθμένα, η υποβάθμιση που παρατηρείται είναι λιγότερο σοβαρή το χειμώνα, καθώς η παροχή της τροφής είναι μικρότερη ενώ η επαναιώρηση και οξυγόνωση του ιζήματος μεγαλύτερη (Μεντέ & Νέγκας 2011).

Σε ακραίες περιπτώσεις, όταν οι εισερχόμενες ποσότητες θρεπτικών αλάτων ξεπεράσουν τη φέρουσα ικανότητα του οικοσυστήματος (carrying capacity), υπάρχει κίνδυνος εκδήλωσης φαινομένων ευτροφισμού. Ως «ευτροφισμός» ορίζεται το φαινόμενο της υπέρμετρης αύξησης της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων, που

συνεπάγεται τη μείωση του οξυγόνου στην υδάτινη στήλη, λόγω αύξησης της χλωρίδας. Ο παράκτιος ευτροφισμός προκαλείται από την εισαγωγή στο νερό ανεπεξέργαστων αποβλήτων της ιχθυοκαλλιέργειας. Σε συνδυασμό με την αλλαγή του κλίματος και την σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας, οι θάλασσες γίνονται πιο ζεστές, γεγονός που τις καθιστά πιο ευνοϊκές για την ανάπτυξη φυκών (UNEP 2016). Οι πιο σοβαρές συνέπειες του ευτροφισμού είναι οι επιβλαβείς ή/ και τοξικές φυτοπλαγκτονικές ανθήσεις (Harmful Algal Blooms-HABs).

Ο οργανικός εμπλουτισμός μπορεί να οδηγήσει σε καταστάσεις ανοξικών συνθηκών στο ίζημα, με ακραίες περιπτώσεις τη διοχέτευση διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και υδρόθειου, με αποτέλεσμα τη μείωση της βιομάζας, της αφθονίας και της σύνθεσης των βενθικών ειδών. Οι υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου ανόργανου αζώτου (DIN), φωσφορικών και χλωροφύλλης *a*, στην πλειοψηφία των παράκτιων μονάδων, είναι οι επικρατέστεροι δείκτες που μπορούν να καταδείξουν φαινόμενα ευτροφισμού στα παράκτια ύδατα. Ο συνολικός οργανικός άνθρακας (TOC) φαίνεται να σχετίζεται με τη βενθική ποικιλομορφία (Hyland et al. 2005), κι έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δείκτης υγείας του βενθικού οικοσυστήματος.

Η πιο αποτελεσματική διαχειριστική πρακτική που μπορεί να ακολουθήσει μία μονάδα εκτροφής για την αποφυγή εκδήλωσης τέτοιων φαινομένων, είναι η περιοδική μετακίνηση των ιχθυοκλωβών εντός του μισθωμένου θαλάσσιου χώρου ή η προσωρινή παύση της λειτουργίας της, έτσι ώστε να δοθεί η ευκαιρία στο περιβάλλον να επανέλθει στην προτέρα κατάσταση (Caroll et al. 2003).

1.5. Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής έρευνας.

Ο Παγασητικός κόλπος αποτελεί μία ημίκλειστη λεκάνη του κεντρικού Αιγαίου, με εμβαδό 520 km² και συνολικό όγκο 36 km³. Αποτελεί έναν ρηχό κόλπο, μέσου βάθους 69 m, ενώ η βαθύτερη περιοχή του εντοπίζεται στο ανατολικό τμήμα και σε βάθος 109 m. Στο νότιο τμήμα βρίσκεται το στόμιο του κόλπου, βάθους 80 m και έκτασης 5,5 Km. Μέσω του στομίου επιτυγχάνεται η επικοινωνία με το διάυλο του Τρίκερι και τελικά με το Αιγαίο Πέλαγος και τον Βόρειο Ευβοϊκό (Φριλίγκος και συν. 1985).

Ο κόλπος παρουσιάζει ασυμμετρία ως προς τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του πυθμένα. Στο δυτικό τμήμα ο βυθός είναι ομαλότερος και χαρακτηρίζεται από μικρότερα βάθη, σε σχέση με το ανατολικό τμήμα. Στο κέντρο του ανατολικού τμήματος παρατηρούνται μεγαλύτερα βάθη, περίπου 100 m. Στην περιοχή του κόλπου δεν εντοπίζονται σημαντικά ποτάμια, παρά μόνο χείμαρροι, με βασικότερο τον Αλμυρό, ο οποίος εκβάλλει στις δυτικές ακτές του (Φριλίγκος και συν. 1985, Petihakis et al. 2002).

Στον Παγασητικό κόλπο, διακρίνονται δύο θαλάσσιες μάζες. Η εσωτερική η οποία καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα του κόλπου και η εξωτερική που καταλαμβάνει τον διάυλο του Τρίκερι. Η εξωτερική θαλάσσια μάζα είναι η πρώτη που επηρεάζεται από τα νερά του βόρειου Αιγαίου Πελάγους. Σε κάθε θαλάσσια μάζα παρατηρείται στρωμάτωση ανάλογα με το βάθος. Το επιφανειακό στρώμα παρατηρείται από την επιφάνεια μέχρι και το βάθος των 20 m και χαρακτηρίζεται σχεδόν ομοιογενές. Το βαθύ στρώμα, στο οποίο οι μεταβολές των φυσικών παραμέτρων δεν είναι έντονες, εντοπίζεται στο βάθος των 40 m και εκτείνεται μέχρι το βάθος των 95 m. Μεταξύ των δύο αυτών στρωμάτων παρατηρείται ένα ενδιάμεσο στρώμα (20-40m), το οποίο χαρακτηρίζεται από απότομες μεταβολές θερμοκρασίας και αλατότητας. Σ' αυτά τα βάθη, η δημιουργία έντονου

θερμοκλινούς και αλοκλινούς συμβάλει στην ανάπτυξη ενός εξίσου έντονου πυκνοκλινούς (Φριλίγκος και συν. 1985). Οι καταγραφές τόσο της θερμοκρασίας όσο και της αλατότητας την περίοδο 1986-89 (Theodorou 1995), έδειξαν πως τα στρώματα αυτά είναι διακριτά καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με εξαίρεση τον χειμώνα, κατά τη διάρκεια του οποίου η υδάτινη στήλη είναι πλήρως ομογενοποιημένη. Το πάχος κάθε στρώματος διαμορφώνεται ανάλογα με την εποχή, ενώ ιδιαίτερα ισχυρή στρωμάτωση παρατηρείται κατά τους θερινούς μήνες, λόγω της διατήρησης του αλοκλινούς.

Ο διάυλος του Τρίκερι, χαρακτηρίζεται από βάθος το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 70-80 m. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την επικοινωνία των βαθύτερων στρωμάτων του κόλπου με την ανοιχτή θάλασσα, σε αντίθεση με άλλους κόλπους της Ελλάδας (Φιλιππάκης 2017). Στο στρώμα του πυθμένα (6-8 m από το βυθό), η ανανέωση του νερού επιτυγχάνεται μέσω του Αιγαίου Πελάγους, τόσο κατά την είσοδο νερού από το ανατολικό τμήμα όσο και κατά την έξοδο από το δυτικό. Αντίθετα, στο ανώτερο στρώμα (12-16 m από την επιφάνεια της θάλασσας), η ανανέωση, επιτυγχάνεται μέσω αντίστροφης κυκλοφορίας (Μπαλόπουλος και συν. 1977).

Όσον αφορά τη ρευμάτωση, η περιοχή χαρακτηρίζεται από ταχύτητες ρευμάτων μικρότερες των 40 cm/sec, ενώ τα παλιρροιακά ρεύματα είναι ιδιαίτερα ασθενή. (Μπαλόπουλος και συν. 1977). Σύμφωνα με τους (Petihakis et al. 2005), η θαλάσσια κυκλοφορία στον Παγασητικό κόλπο αποτελεί συνάρτηση της δράσης του αέρα, της ανταλλαγής υδάτων με το Αιγαίο και των παλιρροιακών κινήσεων από τον Β. Ευβοϊκό.

Στο μεγαλύτερο μέρος του κόλπου και του διαύλου, ο πυθμένας καλύπτεται από λεπτόκοκκα υλικά, ενώ χονδρόκοκκα παρατηρούνται κατά κύριο λόγο σε μικρούς

κολπίσκους στη ΒΔ περιοχή (Αλμυρός) και στο ανατολικό τμήμα της εισόδου του κόλπου (Τρίκερι) (Περισοράτης και συν. 1993).

Ο Παγασητικός κόλπος ήταν επιβαρυσμένος από αστικά, βιομηχανικά και γεωργικά απόβλητα, και παρά το γεγονός ότι στην ευρύτερη περιοχή δεν υπάρχει κάποιο ποτάμι, μόνο μικροί χείμαρροι, σημαντικές ποσότητες ρυπασμένων νερών εισέρχονταν στον κόλπο, σε μόνιμη περιστασιακή βάση (Triantaphyllou et al. 2001). Ωστόσο, η κατάσταση αυτή έχει βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, με τη λειτουργία μονάδων επεξεργασίας λυμάτων στον Βόλο και τη διακοπή της απορροής των όμβριων υδάτων της αποξηραμένης λίμνης Κάρλας. Συγκεκριμένα, στην ευρύτερη περιοχή λειτουργεί τριτοβάθμιος βιολογικός καθαρισμός, όπου επεξεργάζεται τα υγρά βιομηχανικά και αστικά λύματα. Σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ και την ΕΓΥ (Ειδική Γραμματεία Υδάτων) για την “Ποιότητα των Επιφανειακών και Υπόγειων Υδάτων” της χώρας, με βάση την 1^η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης της Λεκάνης Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (2016), η οικολογική και χημική κατάσταση για το παράκτιο υδάτινο σώμα “Παγασητικός Κόλπος” χαρακτηρίζεται γενικά ως καλή.

Στον Ν. Μαγνησίας και ειδικότερα στη Θεσσαλία εντοπίζονται δύο μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας (ΠΟΥΑ), μία στη Μηλίνα και μία στις Νηές. Η περιοχή του Παγασητικού Κόλπου όπου είναι τοποθετημένες οι μονάδες χαρακτηρίζεται ως ΠΑΣΜ (Περιοχή Άτυπης Συγκέντρωσης Μονάδων) και βάση του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης προκύπτει ότι η παραπάνω περιοχή δεν υπάγεται σε κάποιο ιδιαίτερο καθεστώς αναφορικά με τις ιχθυοκαλλιέργειες.

1.6. Σκοπός της έρευνας

Σκοπός της παρούσας προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η παρακολούθηση της επίδρασης των ιχθυοκαλλιεργειών στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε καταγραφή βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων που αφορούν την ανάπτυξη και ευζωία των οργανισμών (θερμοκρασία, αλατότητα, pH, διαλυμένο οξυγόνο, χλωροφύλλη α), ενώ υπολογίστηκε και ο εμπλουτισμός της περιοχής σε θρεπτικά άλατα (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά, πυριτικά), ως αποτέλεσμα των προϊόντων μεταβολισμού και των υπολειμμάτων τροφής που διαφεύγουν στο περιβάλλον, μέσω της συγκεκριμένης δραστηριότητας. Η παρακολούθηση και καταγραφή των παραπάνω, αφορά την περίοδο του καλοκαιριού, όπου οι αυξημένες θερμοκρασίες σε συνδυασμό με τις ήπιες καιρικές συνθήκες (στρωμάτωση νερού, μειωμένη ένταση ανέμων και κυμάτων, άνθιση φυτοπλαγκτού), ευνοούν την εκδήλωση φαινομένων ευτροφισμού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Γενικά

Για την παρούσα έρευνα επιλέχθηκαν οι εγκαταστάσεις της μονάδας ιχθυοκαλλιέργειας, ιδιοκτησίας της εταιρείας «ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΕΙΑ ΠΑΓΑΣΗΤΙΚΟΥ Α.Ε.», που βρίσκεται στη θέση “Όρμος Λαδικού” στις Νηές, της Δ.Ε. Σούρπης, του Δήμου Αλμυρού της Περιφερειακής Ενότητας Μαγνησίας, στην Περιφέρεια Θεσσαλίας.

Η δραστηριότητα της μονάδας αφορά την εκτροφή των δύο βασικών ειδών της μεσογειακής ιχθυοκαλλιέργειας, το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) και την τσιπούρα (*Sparus aurata*). Η μέγιστη ετήσια δυναμικότητά της είναι 300 t και λειτουργεί από το 1992, σε θαλάσσια έκταση 20 στρεμμάτων. Η μέση ταχύτητα ρευμάτων είναι 3,63 cm/s και το μέσο βάθος 35 m. Σύμφωνα με την Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων της εκτροφής, οι θαλάσσιες εγκαταστάσεις αποτελούνται από 27 πλωτούς ιχθυοκλωβούς διαφόρων τύπων, συνολικής επιφάνειας 5.437,4 m² και ωφέλιμου όγκου 46.004,4 m³, όπως αναλυτικά περιγράφονται παρακάτω:

- 9 κλωβοί 20 x 10 m (Δ x Β)
- 6 κλωβοί 15 x 15 x 8 m (Μ x Π x Β)
- 12 κλωβοί 7 x 15 x 5,5 m (Μ x Π x Β)

Για την ετήσια παραγωγή 300 t ψαριών εισάγονται 967.700 ιχθύδια σε δύο παραγωγικές περιόδους, μία τον Μάρτιο και μία τον Ιούνιο. Ανάλογα με το στάδιο πάχυνσης των ιχθύων χρησιμοποιούνται δίχτυα, που είναι κατασκευασμένα από νήματα χωρίς κόμβους, με άνοιγμα ματιού διαστάσεων 5-17 mm. Το εμπορεύσιμο μέγεθος (350 gr/άτομο) της τσιπούρας επιτυγχάνεται σε 15 μήνες, ενώ του λαβρακιού σε 18 μήνες. Τα

ιχθύδια τα προμηθεύονται από ελληνικούς ιχθυογεννητικούς σταθμούς και για τη διατροφή τους χορηγούνται σύμπηκτα (pellets) διαφόρων διαμετρημάτων, ανάλογα με το μέγεθος των εκτρεφόμενων ψαριών. Οι ποσότητες τροφής που χορηγούνται ημερησίως κυμαίνονται από 800 έως 3.000 Kg, ανάλογα με τον μήνα του έτους, με τη συνολική ετήσια καταναλισκόμενη ποσότητα να ανέρχεται σε 607 t. Η τελική ιχθυοφόρτιση δεν ξεπερνά τα 12 kg/m³ και η μετατρεψιμότητα της τροφής είναι περίπου 2 kg τροφής ανά 1 kg ψαριού.

Στην περιοχή πραγματοποιήθηκε μία εφάπαξ δειγματοληψία, τον Ιούνιο του 2019. Η θερινή περίοδος, κατά την οποία διεξήχθη η δειγματοληψία, είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες νερού και μεγάλες ποσότητες χορηγούμενης τροφής, προς τους εκτρεφόμενους οργανισμούς.

2.2. Δειγματολογικό πλέγμα σταθμών

Για την πραγματοποίηση της έρευνας ορίστηκαν (3) δειγματοληπτικοί σταθμοί όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1. Οι σταθμοί S1 και S2 θεωρούνται ως σταθμοί της μονάδας, ενώ ο σταθμός S3 (σε απόσταση 132,47 m περίπου από την μονάδα) είναι ο σταθμός αναφοράς (control). Οι μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού, καθώς και τα δείγματα νερού λήφθηκαν μεταξύ 11:00-13:00, αμέσως μετά το πρωινό τάισμα των εκτρεφόμενων οργανισμών.



Εικόνα 2.1: Θέση σταθμών δειγματοληψίας στην περιοχή έρευνας.

2.3. Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

2.3.1. Υδάτινη στήλη

Σε κάθε έναν από τους 3 συνολικά σταθμούς μετρήθηκαν σε όλη την υδάτινη στήλη, από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα, η θερμοκρασία, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, το pH και η χλωροφύλλη *a*, με τη βοήθεια συνεχή καταγραφέα (CTD, SEABIRD-19plus) (Εικ. 2.3).



Εικόνα 2.3: Αυτογραφικό όργανο καταγραφής φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων του νερού της εταιρείας SeaBirdElectronics.

2.3.2. Θρεπτικά άλατα

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακών, νιτωδών, νιτρικών, φωσφορικών και πυριτικών) στην υδάτινη στήλη συλλέχθηκαν από κάθε σταθμό, δείγματα νερού, με τη βοήθεια δειγματολήπτη νερού (Limnos 1.4 l), από την επιφάνεια της θάλασσας, τα 5 m και στη συνέχεια κάθε 10 m βάθους μέχρι τον πυθμένα (σύνολο 15 δείγματα νερού).

Στα δείγματα νερού, αφού πρώτα τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια των 500 ml, προστέθηκε χλωριούχος υδράργυρος (2 ml HgCl_2 ανά 500 ml δείγματος) για την

καταστολή των βιολογικών διεργασιών. Στη συνέχεια, μεταφέρθηκαν με φορητά ψυγεία άμεσα στο εργαστήριο, όπου πραγματοποιήθηκε διήθηση με φίλτρα τύπου GF/F (47 mm διαμέτρου και 0,7 μm άνοιγμα οπών) και διατηρήθηκαν σε κατάψυξη (-20°C) μέχρι τη διενέργεια των αναλύσεων στο εργαστήριο με φασματοφωτόμετρο τύπου SHIMADZUUV-1800 (Εικ. 2.4), σύμφωνα με τις μεθόδους που περιγράφονται παρακάτω.

Αμμωνιακά (NH₄): Για τον προσδιορισμό της ολικής αμμωνίας προστέθηκαν στο δείγμα νερού συγκεκριμένες ποσότητες αντιδραστηρίων φαινόλης (phenol solution), νιτροπρωσσικού νατρίου (sodium nitroprusside solution) και οξειδωτικού διαλύματος (oxidizing solution). Στη συνέχεια, το δείγμα τοποθετήθηκε σε σκοτεινό χώρο (ώστε να αποφευχθεί η άμεση έκθεσή του στην ηλιακή ακτινοβολία) σε θερμοκρασία δωματίου και μετά από μία ώρα μετρήθηκε η απορρόφηση στα 640 nm (Strickland & Parsons 1972).

Η ολική αμμωνία αποτελείται από την ιονισμένη (NH₄⁺) και τη μη ιονισμένη (NH₃) αμμωνία. Η αναλογία της μίας ή της άλλης μορφής μέσα στο νερό εξαρτάται από το pH και τη θερμοκρασία του νερού τη στιγμή της δειγματοληψίας και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\% \text{ μη ιονισμένη αμμωνία (NH}_3\text{)} = \frac{100}{1 + \text{antilog}(pK_a - pH)}$$

Όπου pK_a: σταθερά η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού (Πιν. 2.1, Strickland & Parsons 1972).



Εικόνα 2.4: Φασματοφωτόμετρο SHIMADZUUV-1800 για τις αναλύσεις των θρεπτικών αλάτων του νερού.

Πίνακας 2.1: Οι τιμές της σταθεράς pK_a σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του νερού.

Θερμοκρασία °C	5	10	15	20	25	30
pK_a	9,9	9,73	9,56	9,4	9,24	9,09

Στο τέλος υπολογίσθηκε το ποσοστό της ιονισμένης μορφής αμμωνίας ή των αμμωνιακών (NH_4^+) από τον παρακάτω τύπο και βρέθηκε η συγκέντρωσή τους.

$$\% \text{NH}_4^+ = 100 - \% \text{μη ιονισμένης NH}_3$$

Νιτρώδη (NO₂): Για τον προσδιορισμό των νιτρωδών προστέθηκαν στο δείγμα θαλασσινού νερού συγκεκριμένες ποσότητες αντιδραστηρίων σουλφανυλαμιδίου (sulphanilamide solution) σε όξινο περιβάλλον. Η προκύπτουσα διαζω-ένωση αντέδρασε με διάλυμα N-(1-ναφθυλο)-αιθυλενοδιαμίνης (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine), το οποίο σχετίζεται ως αζωχρωστικό και η ένταση του χρώματός του είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των νιτρωδών. Το διάλυμα αυτό μετρήθηκε φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 543 nm έναντι απεσταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε νιτρώδες νάτριο (NaNO₂) συγκέντρωσης 20μg-atN/l (Parsons et al. 1984).

Νιτρικά (NO₃): Για τον προσδιορισμό των νιτρικών αλάτων προστέθηκε στο δείγμα νερού συγκεκριμένη ποσότητα υδροχλωρικού οξέος (HCl) και στη συνέχεια μετρήθηκε η απορρόφηση στα 220 nm. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε νιτρικό κάλιο (KNO₃) συγκέντρωσης 2 mg/lNO₃-N (APHA 1980).

Φωσφορικά (PO₄): Για τον προσδιορισμό των φωσφορικών αλάτων το δείγμα αφέθηκε να αντιδράσει με ένα σύνθετο αντιδραστήριο που περιείχε μολυβδαινικό οξύ και τρισθενές αντιμόνιο (molybdate acid-antimony solution). Το προκύπτον σύμπλεγμα αναδεύτηκε για να δώσει τελικά ένα έντονα κυανό διάλυμα, που μετρήθηκε φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 885 nm. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε δισόξινο φωσφορικό κάλιο (KH₂PO₄) συγκέντρωσης 0,0816 g/l (Parsons et al. 1984).

Πυριτικά (SiO₂): Για τον προσδιορισμό των πυριτικών αλάτων το θαλασσινό νερό αφέθηκε να αντιδράσει με μολυβδαινικό διάλυμα (molybdate reagent) κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, παράγοντας πυριτομολυβδικά, φωσφορομολυβδικά και

αρσενομολυβδικά σύμπλοκα. Στη συνέχεια, προστέθηκε ένα αναγωγικό διάλυμα (reducing reagent) που περιείχε θειική παρα-μεθυλο-αμινο-φαινόλη (p-methylaminophenol sulfate) και οξαλικό οξύ (oxalic acid), που αντέδρασε με το πυριτομολυβδικό σύμπλοκο για να δώσει ένα βαθυγάλαζο χρώμα, ενώ ταυτόχρονα αποσύνθεσε τα φωσφορομολυβδικά και πυριτομολυβδικά σύμπλοκα. Το τελικό διάλυμα μετρήθηκε φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 810 nm έναντι απεσταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε διάλυμα πυριτοφθοριδίου (Na_2SiF_6) συγκέντρωσης 5.000 $\mu\text{mol/l}$ (Parsons et al. 1984)

Για τη στατιστική επεξεργασία των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων στα δείγματα του νερού μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (one way analysis of variance – ANOVA), με τη χρήση του λογισμικού MINITAB. Η επιλογή της συγκεκριμένης στατιστικής μεθόδου, στηρίχθηκε στο γεγονός ότι τα δεδομένα εμφάνισαν ομαλή κατανομή και ομοιογένεια στη διακύμανση. Προκειμένου να διαπιστωθεί σε ποιους σταθμούς δειγματοληψίας οφείλονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές χρησιμοποιήθηκε το τεστ Tukey. Τα διαγράμματα με τις κατακόρυφες κατανομές των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων, έγιναν με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος Excel.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

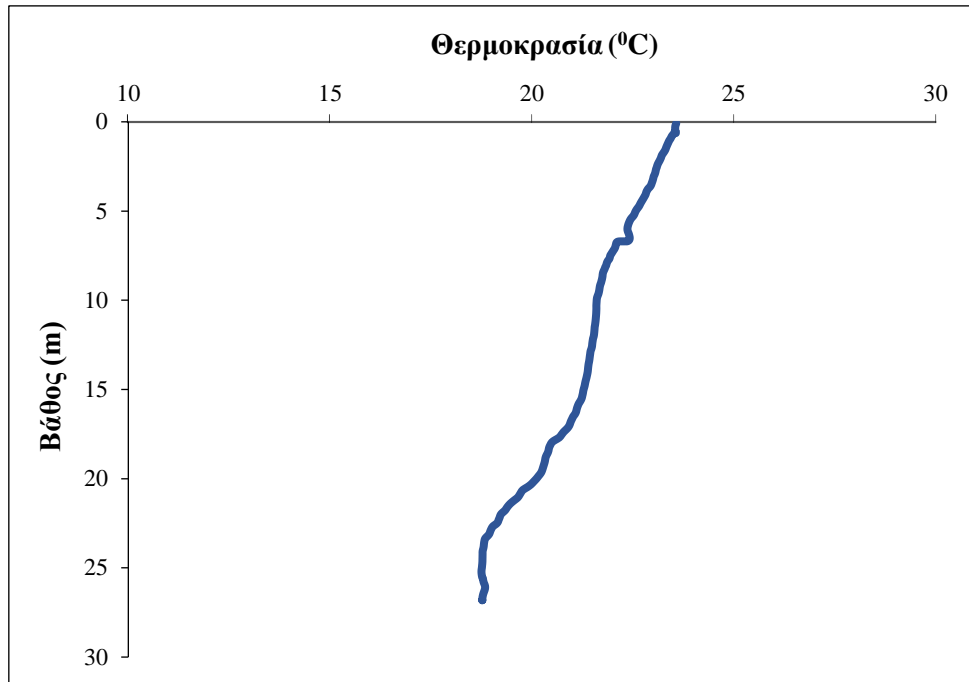
3.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

Στον Πίνακα 3.1 δίνονται το εύρος, ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, pH και Chl-*a*) της στήλης του νερού, κατά την καλοκαιρινή περίοδο, για τους 3 σταθμούς δειγματοληψίας. Στα Σχήματα 3.1-3.15 φαίνονται οι κατανομές των φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων σε συνάρτηση με το βάθος στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας.

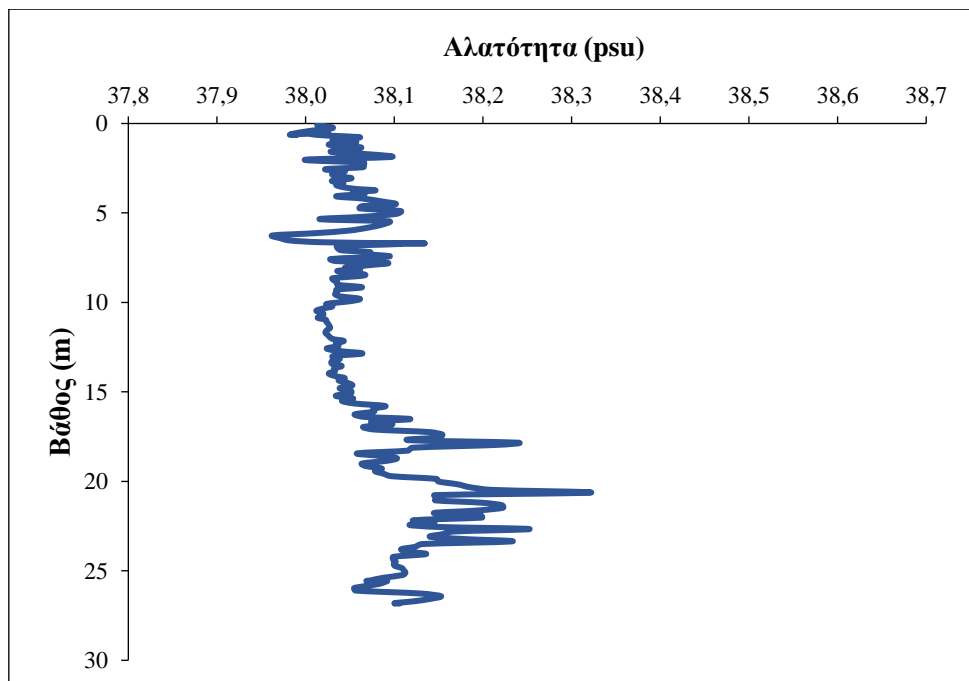
Θερμοκρασιακή στρωμάτωση της υδάτινης στήλης δεν παρατηρήθηκε σε κανέναν από τους σταθμούς δειγματοληψίας. Η ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας του νερού (13,82 °C) καταγράφηκε στον σταθμό (S2) και η μέγιστη (23,84) στον σταθμό (S3). Στον σταθμό S1 οι τιμές της αλατότητας κυμάνθηκαν από 37,96-38,32 psu, στον σταθμό S2 από 37,88-38,56 psu και στον σταθμό S3 από 37,89-38,39 psu. Στον σταθμό S1 οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου κυμάνθηκαν από 4,39-5,87 ppm, στον σταθμό S2 από 4,32-6,12 ppm και στον σταθμό S3 από 4,94-5,98 ppm. Οι τιμές του pH παρουσίασαν μικρές διακυμάνσεις σε όλους τους σταθμούς και κυμάνθηκαν από 8,22-8,31. Η υψηλότερη τιμή εμφανίστηκε στον σταθμό S3 (8,31) ενώ η ελάχιστη στους σταθμούς S2 και S3 (8,22). Στον σταθμό S1 οι τιμές της χλωροφύλλης *a* κυμάνθηκαν από 0,60-1,90 mg/m³, στον S2 από 0,90-3,03 mg/m³ και στον S3 από 0,69-1,57 mg/m³.

Πίνακας 3.1: Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι του νερού στους 3 δειγματοληπτικούς σταθμούς (Μ.Ο: Μέσος όρος, Τ.Α: Τυπική απόκλιση).

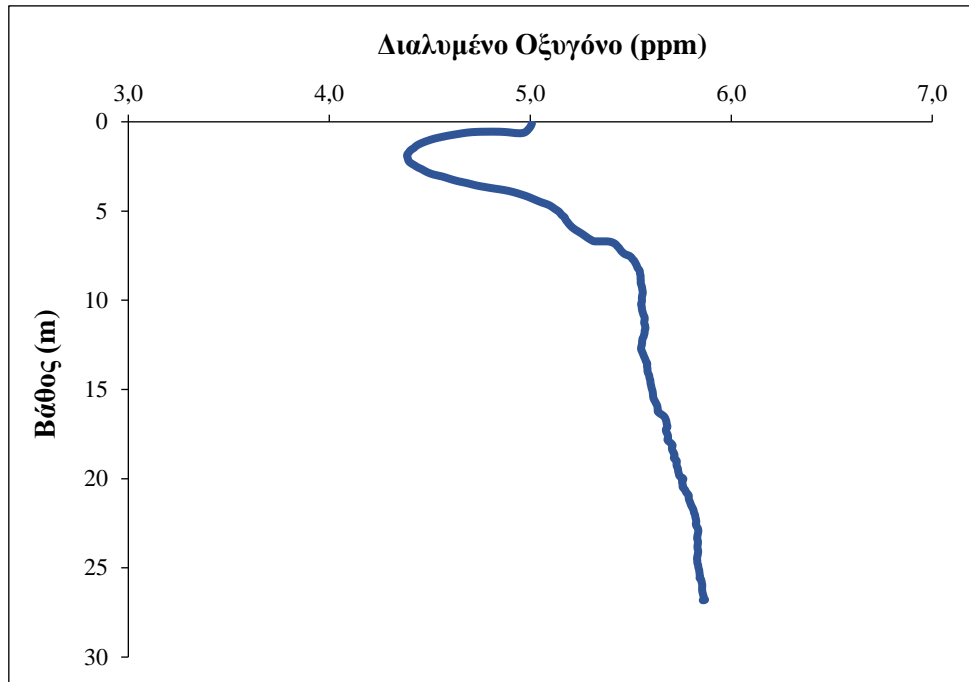
	S1	S2	S3
Θερμοκρασία (°C)			
Εύρος	18,75-23,58	13,82-23,56	18,21-23,84
Μ.Ο ± Τ.Α	21,21 ± 1,53	18,67 ± 3,32	20,86 ± 1,81
Αλατότητα (psu)			
Εύρος	37,96-38,32	37,88-38,56	37,89-38,39
Μ.Ο ± Τ.Α	38,07 ± 0,06	38,19 ± 0,15	38,09 ± 0,06
Διαλυμένο οξυγόνο (ppm)			
Εύρος	4,39-5,87	4,32-6,12	4,94-5,98
Μ.Ο ± Τ.Α	5,44 ± 0,42	5,67 ± 0,38	5,61 ± 0,33
pH			
Εύρος	8,22-8,30	8,22-8,29	8,28-8,31
Μ.Ο ± Τ.Α	8,26 ± 0,02	8,27 ± 0,02	8,30 ± 0,01
Χλωροφύλλη α (mg/m³)			
Εύρος	0,60-1,90	0,90-3,03	0,69-1,57
Μ.Ο ± Τ.Α	1,16 ± 0,35	1,51 ± 0,48	1,10 ± 0,24



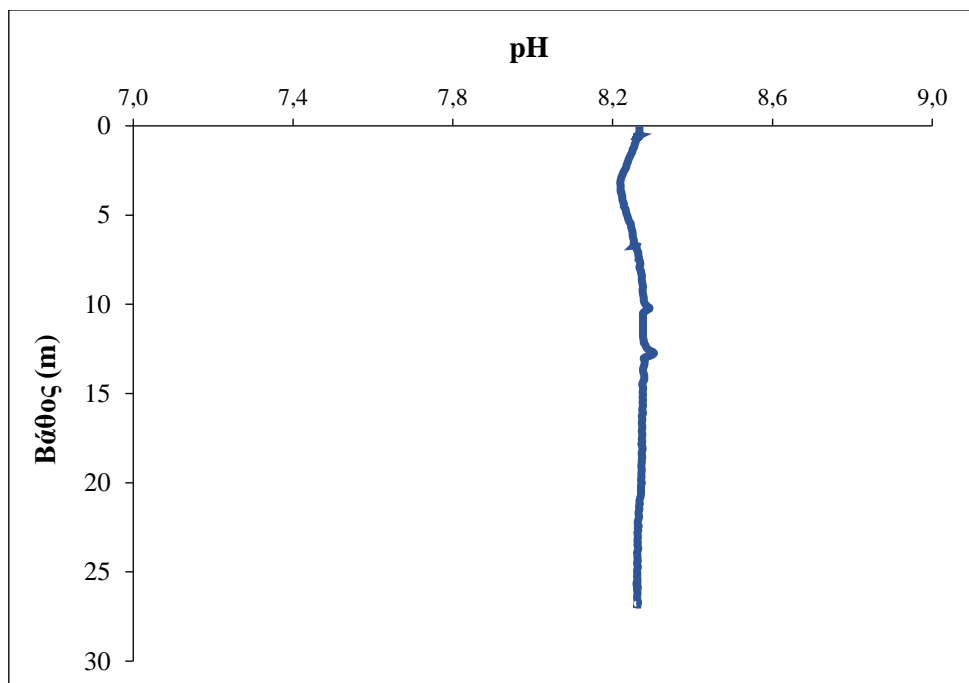
Σχήμα 3.1: Κατανομή θερμοκρασίας του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S1.



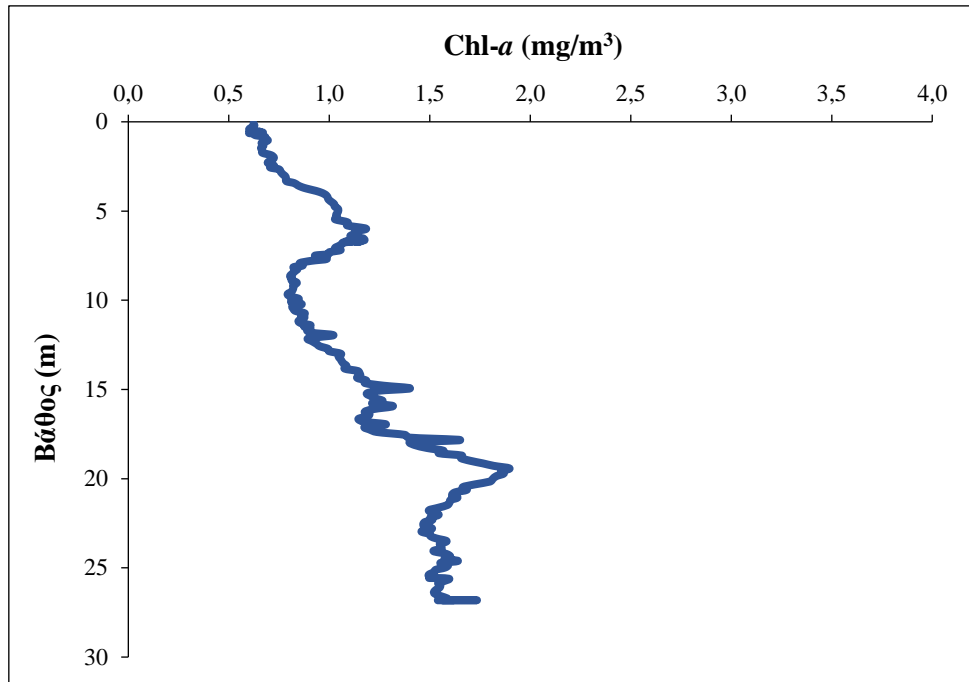
Σχήμα 3.2: Κατανομή αλατότητας του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S1.



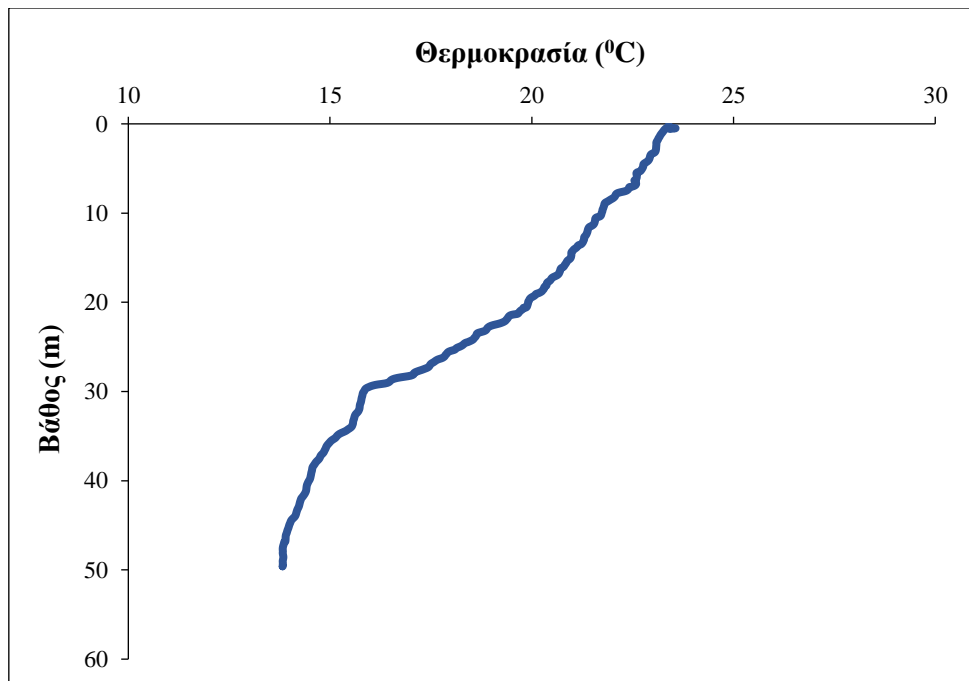
Σχήμα 3.3: Κατανομή διαλυμένου οξυγόνου του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S1.



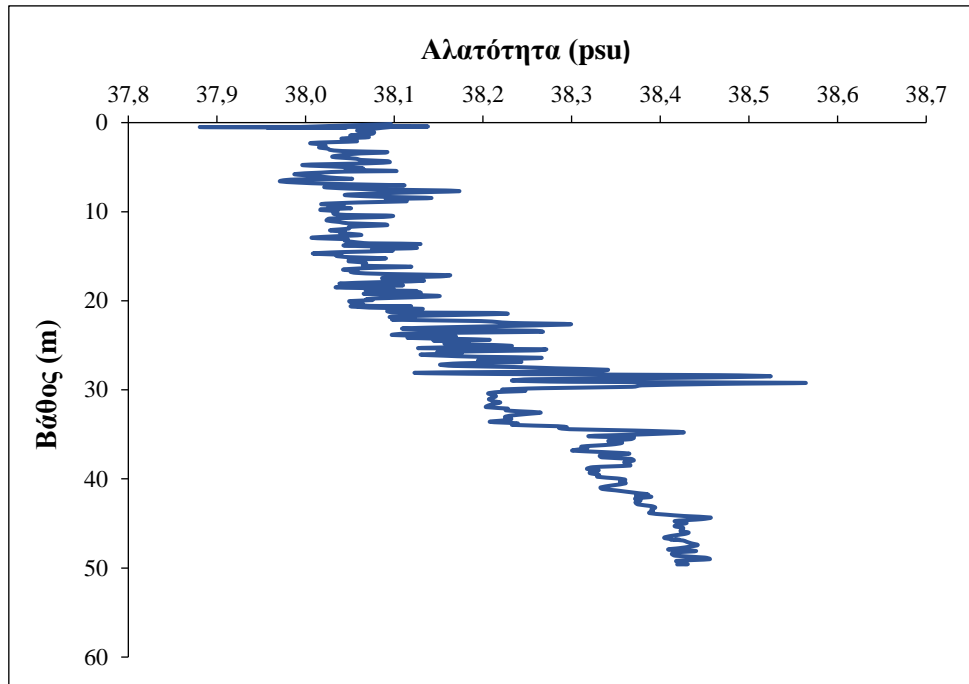
Σχήμα 3.4: Κατανομή pH του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S1.



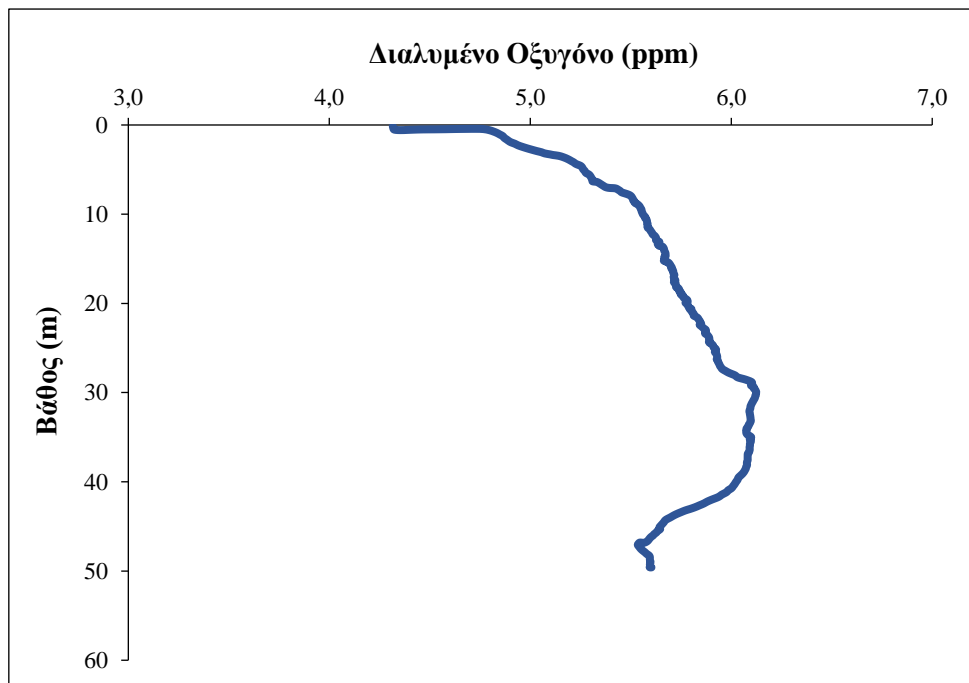
Σχήμα 3.5: Κατανομή χλωροφύλλης *a* του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S1.



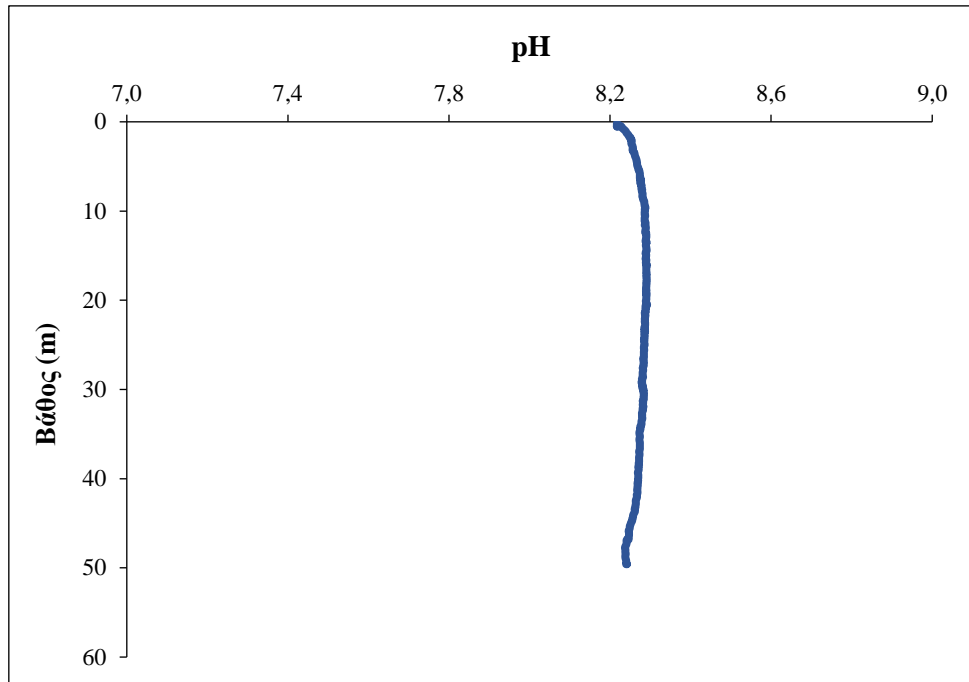
Σχήμα 3.6: Κατανομή θερμοκρασίας του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S2.



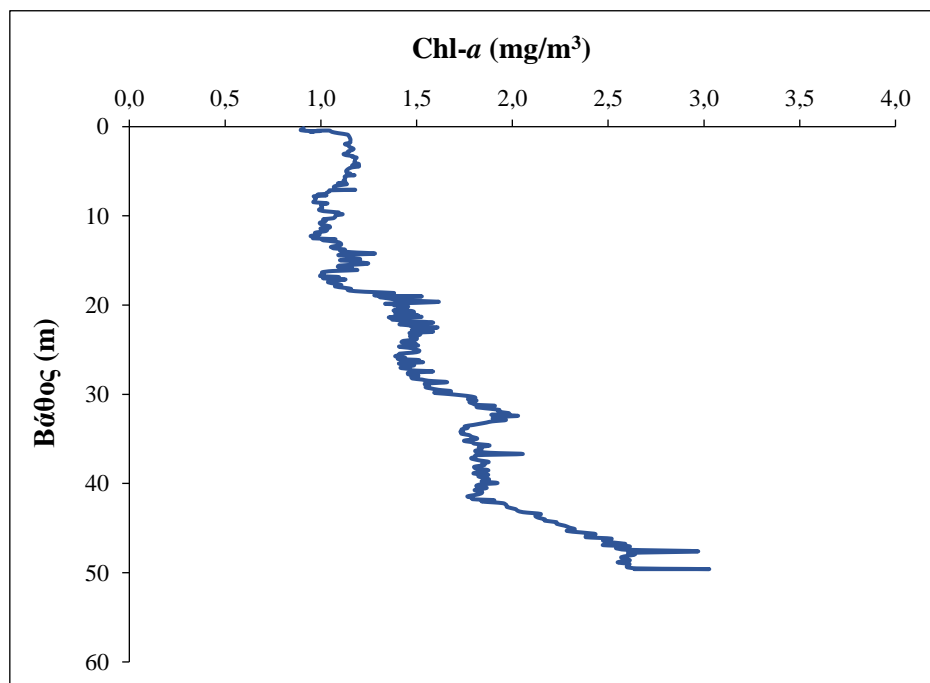
Σχήμα 3.7: Κατανομή αλατότητας του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S2.



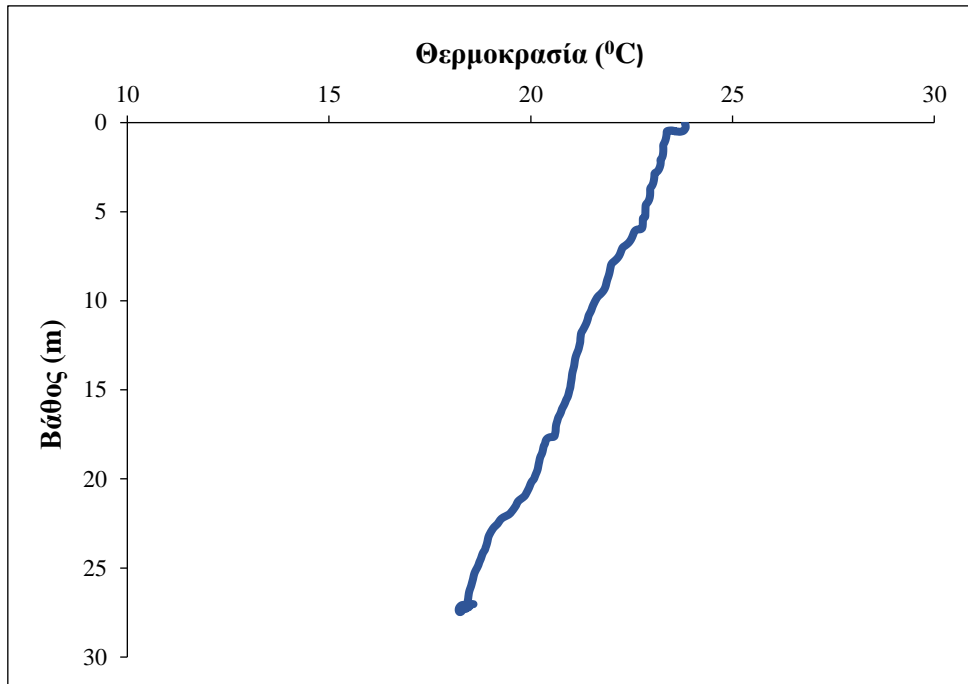
Σχήμα 3.8: Κατανομή διαλυμένου οξυγόνου του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S2.



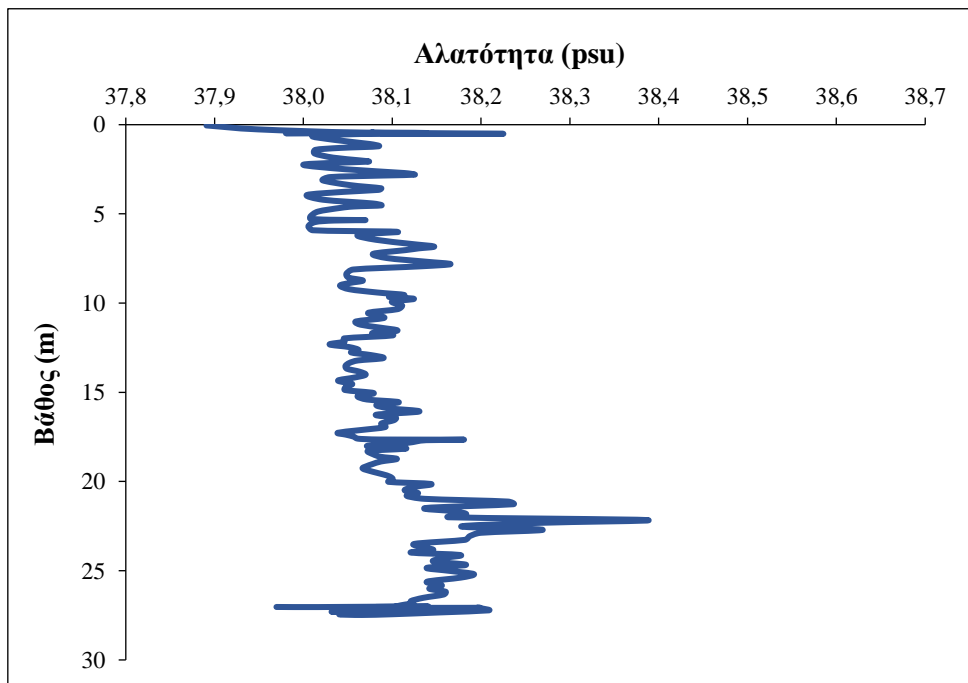
Σχήμα 3.9: Κατανομή του pH του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S2.



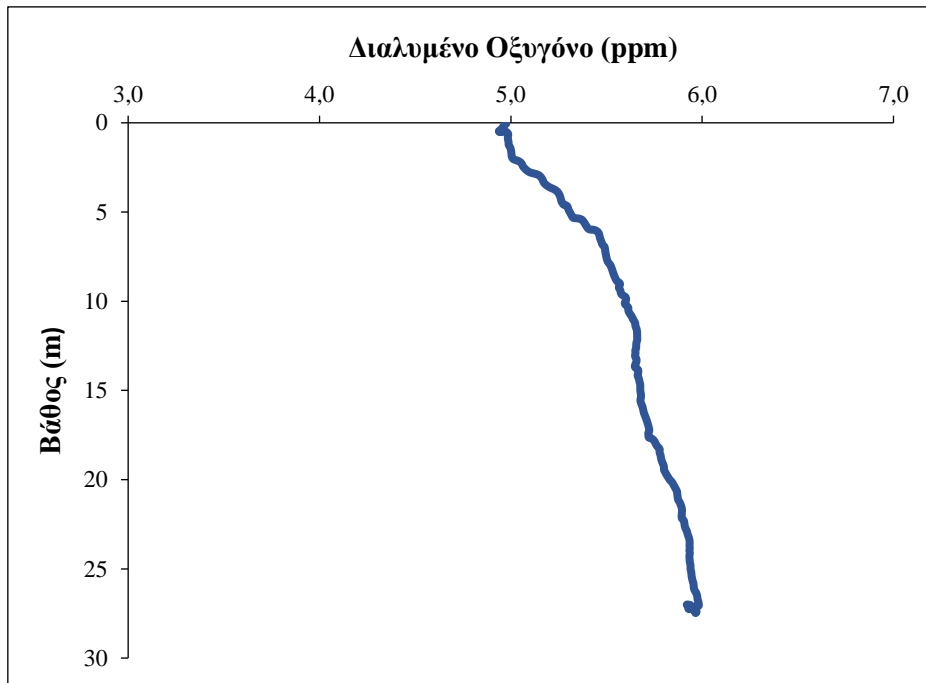
Σχήμα 3.10: Κατανομή χλωροφύλλης α του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S2.



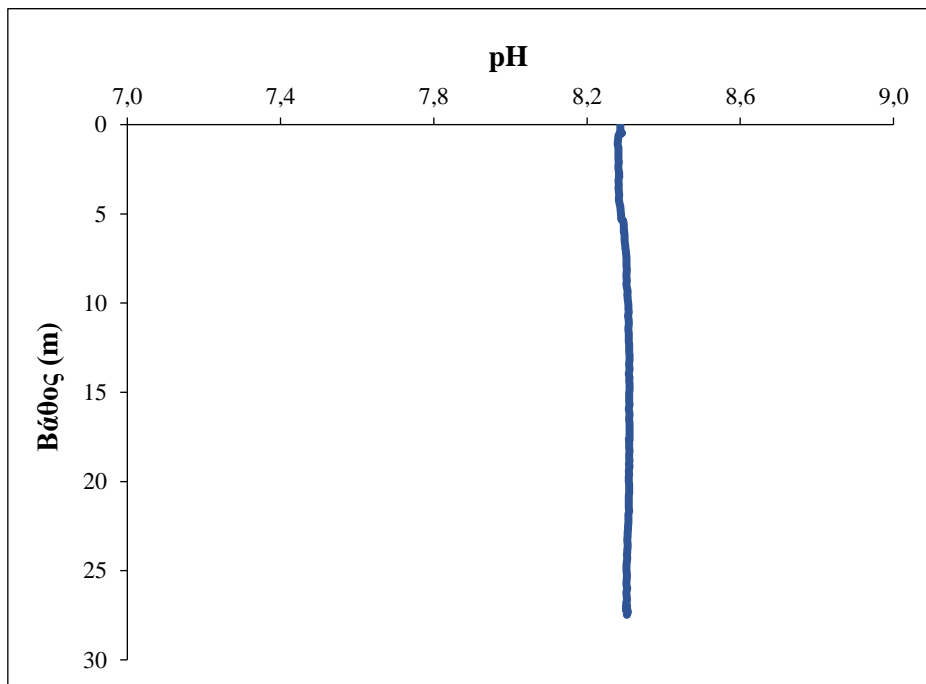
Σχήμα 3.11: Κατανομή θερμοκρασίας του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S3.



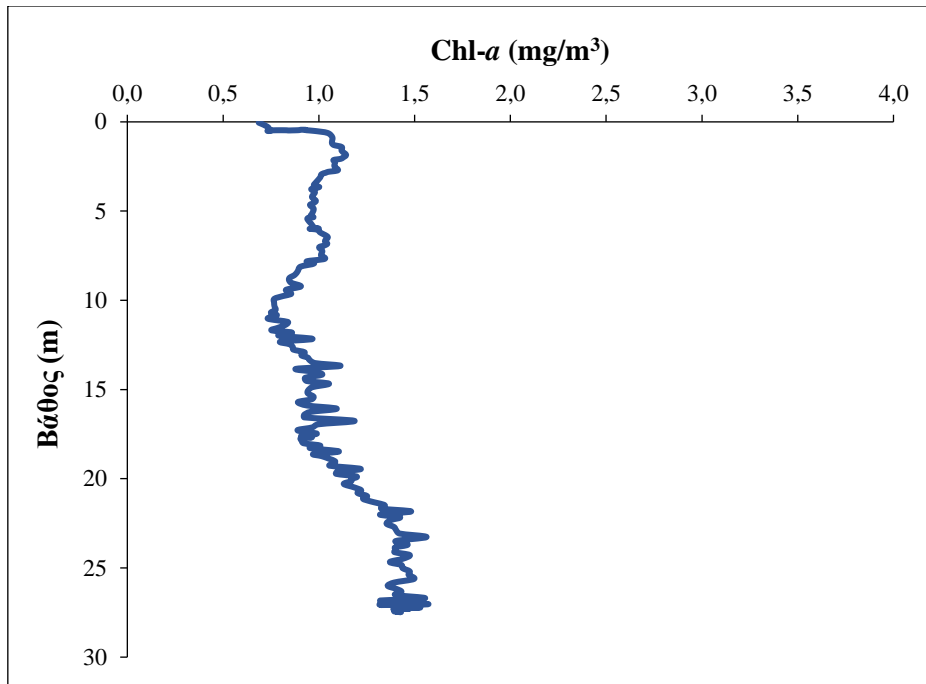
Σχήμα 3.12: Κατανομή αλατότητας του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S3.



Σχήμα 3.13: Κατανομή διαλυμένου οξυγόνου του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S3.



Σχήμα 3.14: Κατανομή pH του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S3.



Σχήμα 3.15: Κατανομή χλωροφύλλης *a* του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S3

3.2 Θρεπτικά άλατα

Στον Πίνακα 3.2 δίνεται το εύρος, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των θρεπτικών αλάτων του νερού για τους 3 σταθμούς δειγματοληψίας. Στα σχήματα 3.16-3.20 απεικονίζεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων του νερού στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας.

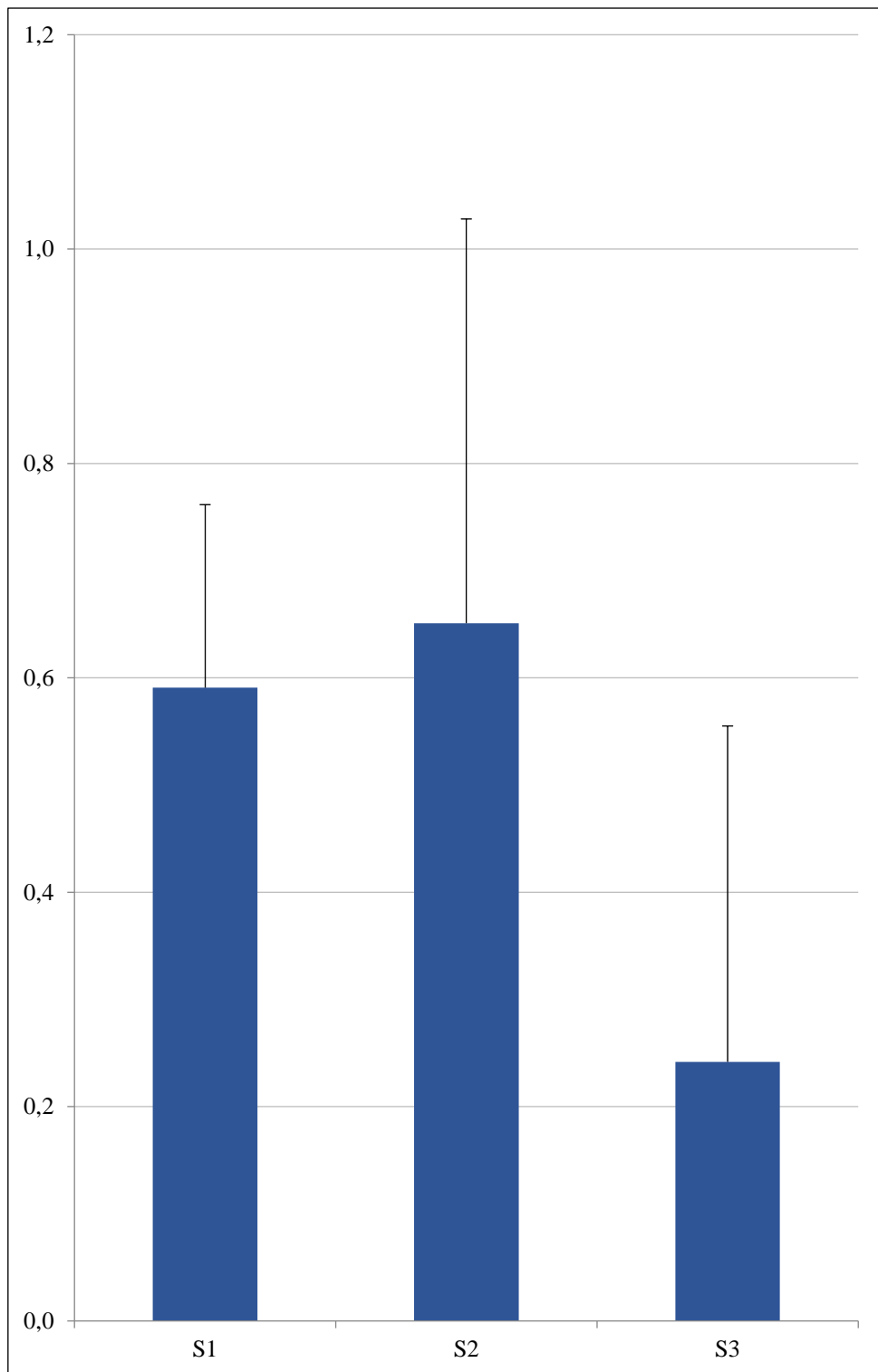
Η μέγιστη τιμή των αμμωνιακών εμφανίστηκε στον σταθμό S2 (1,12 μM) και η ελάχιστη στον σταθμό S3 (0,05 μM). Η μέγιστη τιμή των νιτρωδών παρουσιάστηκε στους σταθμούς S1 και S2 (0,0022 μM) και η ελάχιστη στον S3 (0,0005 μM). Οι τιμές των νιτρικών παρουσίασαν μικρές διακυμάνσεις και στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας. Η μέγιστη τιμή των φωσφορικών παρουσιάστηκε στον σταθμό S1 (1,83 μM) και η ελάχιστη στον σταθμό S3 (0,60 μM). Τέλος, οι συγκεντρώσεις των πυριτικών εμφάνισαν υψηλές διακυμάνσεις, με τη μέγιστη τιμή (4,96 μM) να παρουσιάζεται στον σταθμό S3 και την ελάχιστη (0,51 μM) στον σταθμό S2.

3.3. Στατιστική επεξεργασία

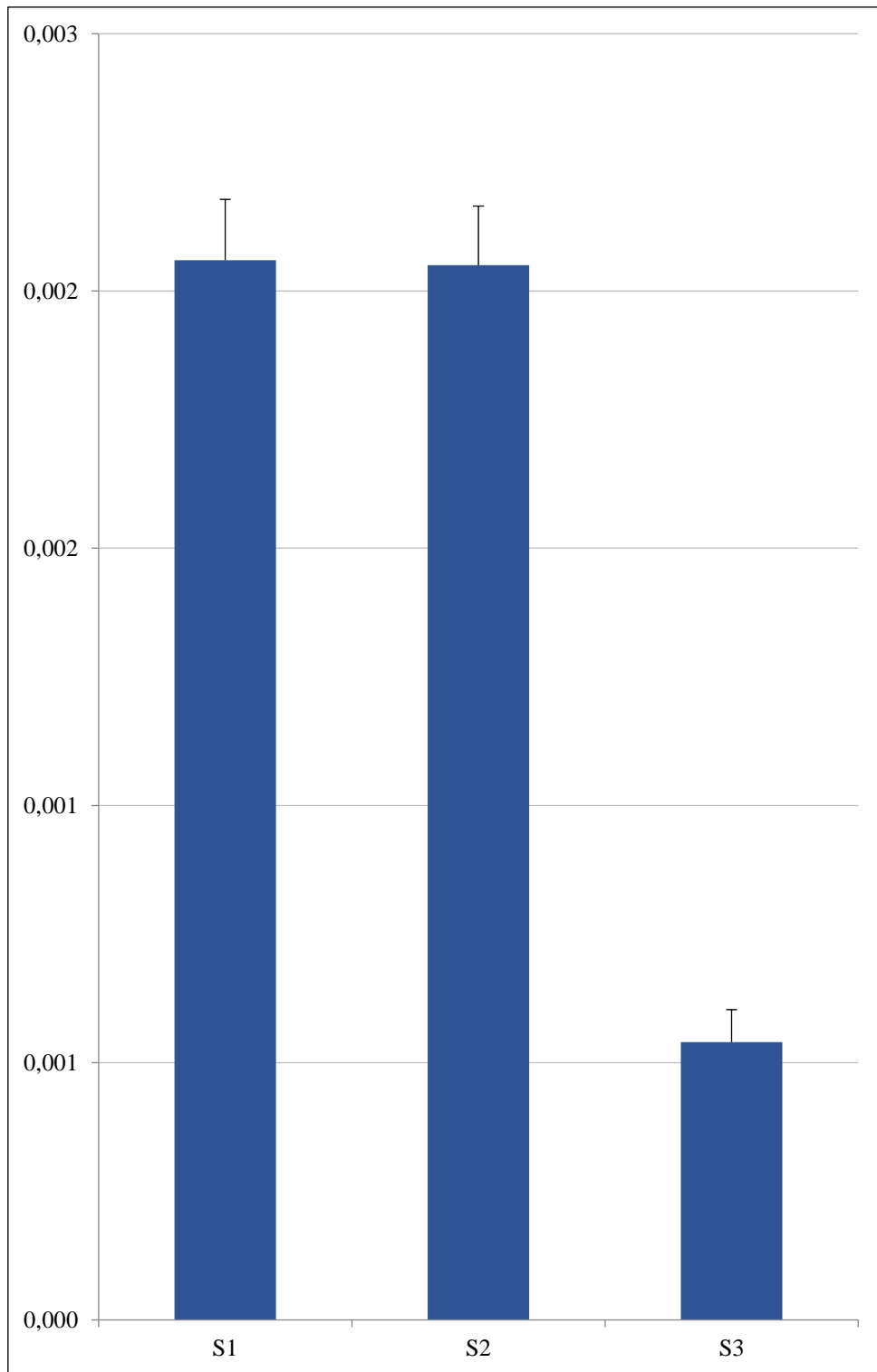
Τα αποτελέσματα από τη στατιστική σύγκριση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων των 3 σταθμών δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3. Η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης έδειξε στατιστικά σημαντικά διαφορές μεταξύ των σταθμών για όλα τα θρεπτικά εκτός από τα νιτρικά. Ο έλεγχος των στατιστικών διαφορών πραγματοποιήθηκε με το Tukey's test και τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.2: Συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων (μM) στη στήλη του νερού (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά, πυριτικά) στους 3 δειγματοληπτικούς σταθμούς (Μ.Ο: Μέσος όρος, Τ.Α: Τυπική απόκλιση).

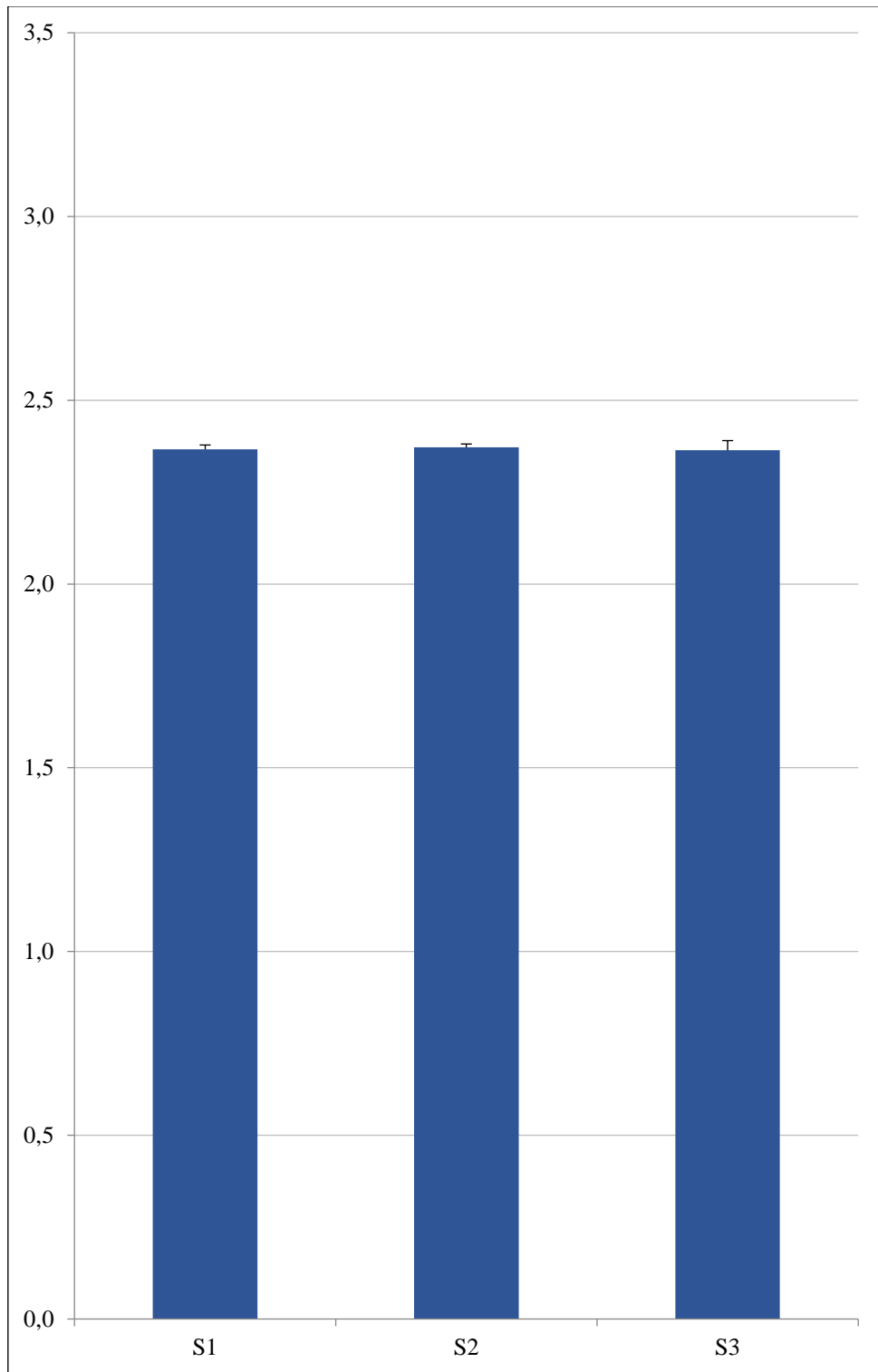
	S1	S2	S3
NH₄			
Εύρος	0,45-0,90	0,03-1,12	0,05-0,85
Μ.Ο ± Τ.Α	0,59 ± 0,17	0,65 ± 0,38	0,24 ± 0,31
NO₂			
Εύρος	0,0018-0,0022	0,0018-0,0022	0,0005-0,0007
Μ.Ο ± Τ.Α	0,0021 ± 0,0001	0,0021 ± 0,0001	0,0005 ± 0,0001
NO₃			
Εύρος	2,35-2,38	2,35-2,38	2,28-2,39
Μ.Ο ± Τ.Α	2,37 ± 0,01	2,37 ± 0,01	2,36 ± 0,03
PO₄			
Εύρος	1,80-1,83	0,80-0,93	0,60-0,65
Μ.Ο ± Τ.Α	1,82 ± 0,01	0,87 ± 0,05	0,62 ± 0,02
SiO₂			
Εύρος	0,88-1,26	0,51-1,24	2,88-4,96
Μ.Ο ± Τ.Α	1,02 ± 0,14	0,95 ± 0,26	4,22 ± 0,75



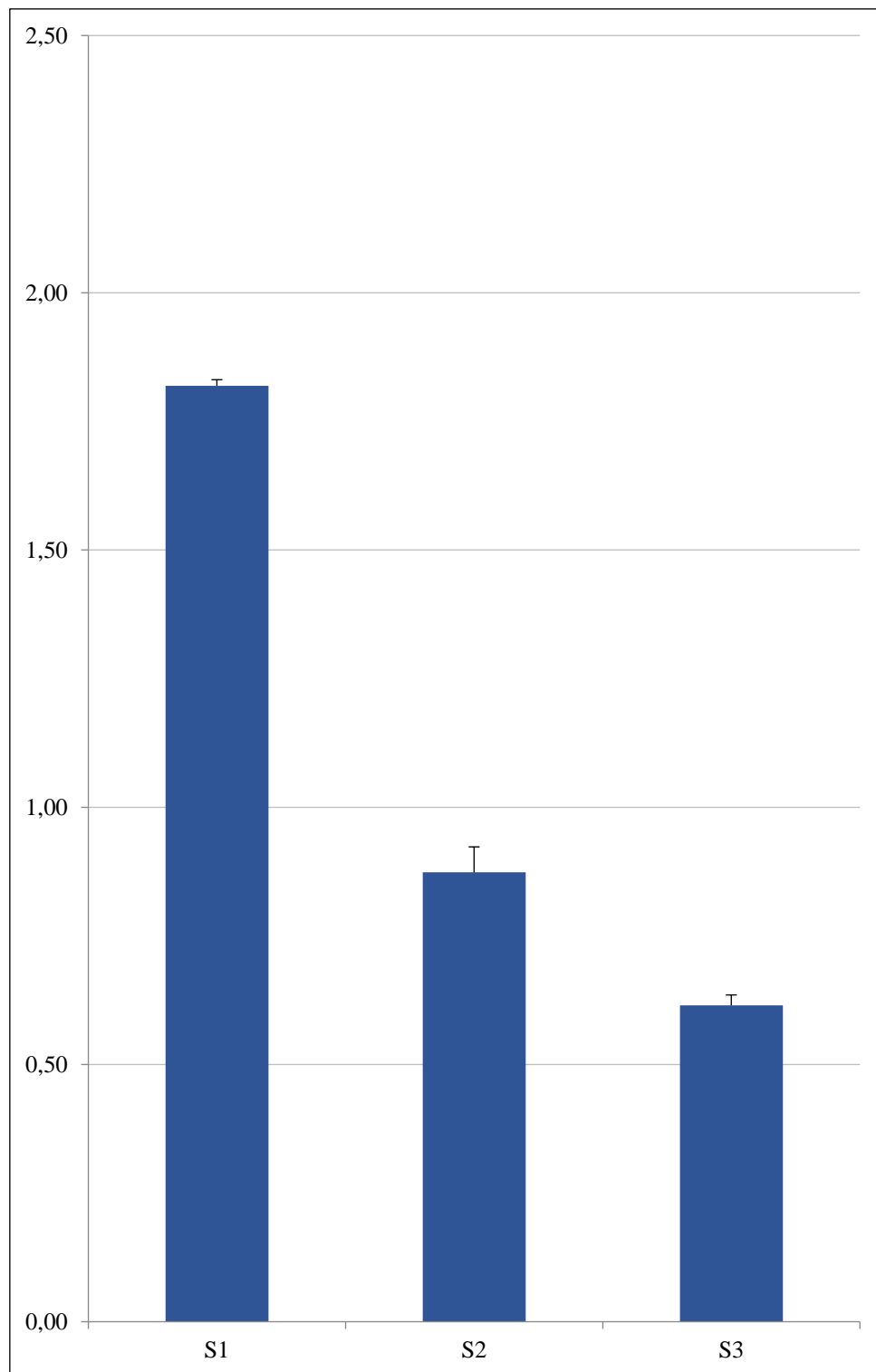
Σχήμα 3.16: Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των αμμωνιακών (μM) στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας.



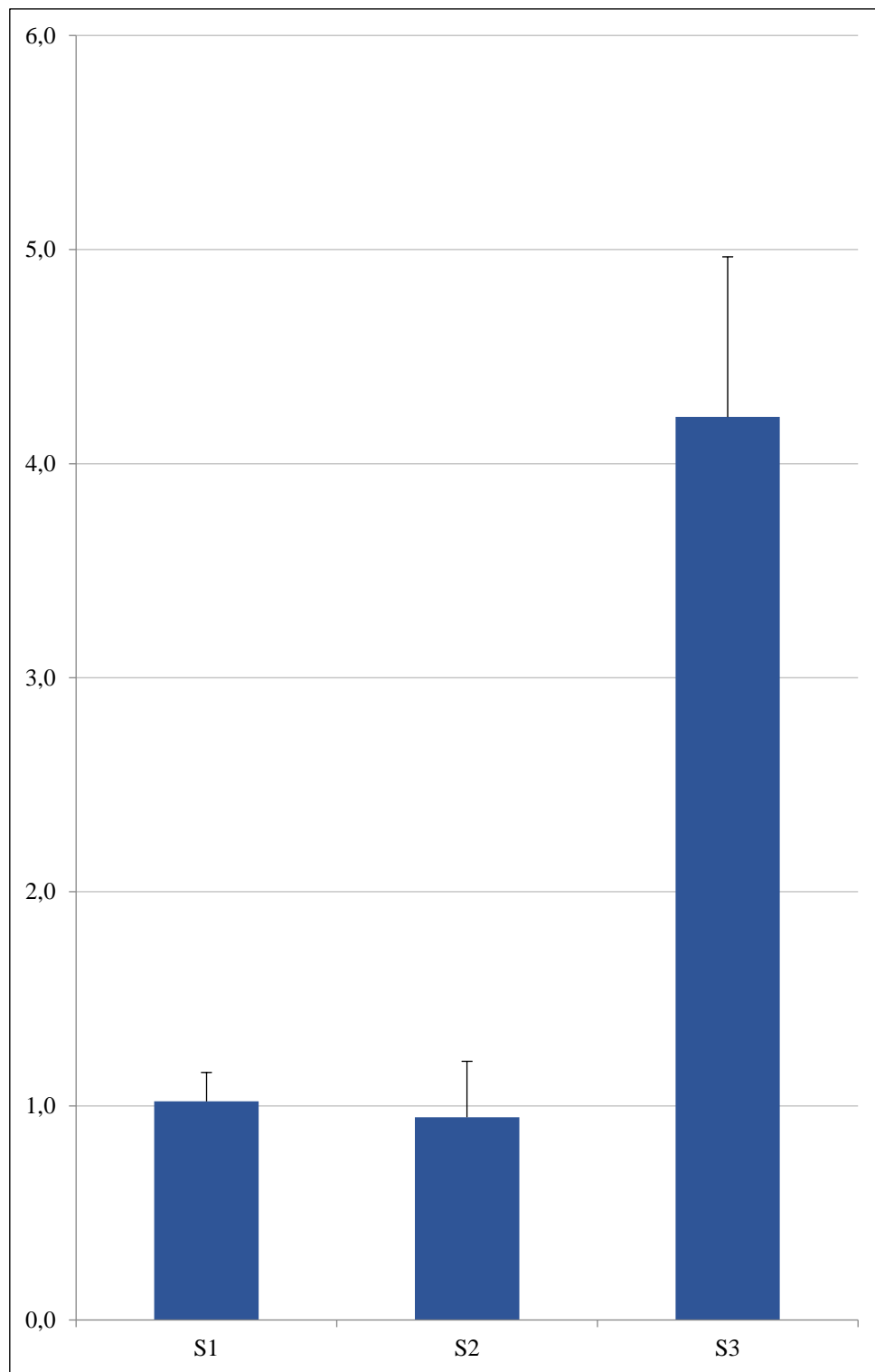
Σχήμα 3.17: Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των νιτρικών (µM) στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας.



Σχήμα 3.18: Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των νιτρικών (μM) στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας.



Σχήμα 3.19: Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των φωσφορικών (μM) στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας.



Σχήμα 3.20: Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των πυριτικών (μM) στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας.

Πίνακας 3.3: Στατιστική σύγκριση της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών της περιοχής έρευνας με την μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (F: Λόγος, P level: Επίπεδο σημαντικότητας).

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ	F	P
NH ₄	44	8,15	*
NO ₂	44	994,23	**
NO ₃	44	0,83	ΜΣ
PO ₄	44	12138,40	**
SiO ₂	44	243,02	**

* $P < 0,05$, ** $P < 0,001$, ΜΣ (Μη Σημαντικό)

Πίνακας 3.4: Έλεγχος στατιστικών αποτελεσμάτων ανάμεσα στους σταθμούς δειγματοληψίας για τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων με το Tukey's test.

NH ₄	S1	S2
	S2	ΜΣ
	S3	* *
NO ₂	S1	S2
	S2	ΜΣ
	S3	* *
PO ₄	S1	S2
	S2	*
	S3	* *
SiO ₂	S1	S2
	S2	ΜΣ
	S3	* *

* $P < 0,05$, ΜΣ (Μη Σημαντικό)

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

Η θερμοκρασία αποτελεί το φυσικό μέγεθος μέτρησης της θερμότητας, η οποία προέρχεται κατά κύριο λόγο από την ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια με τη σειρά της, αποτελεί την πιο σημαντική πηγή ενέργειας στα υδάτινα οικοσυστήματα, καθώς απορροφάται από αυτά και στη συνέχεια μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμοκρασία θεωρείται η πιο σημαντική παράμετρος σε ένα υδάτινο περιβάλλον. Λειτουργεί ως περιοριστικός παράγοντας στην ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών, καθώς μεταξύ άλλων μπορεί να επηρεάσει τη διαλυτότητα του οξυγόνου, τις διαδικασίες διάσπασης των οργανικών ουσιών, καθώς και τον μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

Οι υδρόβιοι οργανισμοί, με βάση την ικανότητα προσαρμογής τους στις μεταβολές της θερμοκρασίας και τον βαθμό αντοχής τους σε ακραίες τιμές της, διαχωρίζονται σε «ευρύθερμους» και «στενόθερμους». Με τον όρο «ευρύθερμος», χαρακτηρίζεται ο οργανισμός που αντέχει σε μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, ενώ με τον όρο «στενόθερμος», χαρακτηρίζεται αυτός που παρουσιάζει μικρή αντοχή στις μεταβολές της. Κάθε οργανισμός, φυτικός ή ζωικός παρουσιάζει διαφορετικές απαιτήσεις ως προς τη θερμοκρασία. Ωστόσο, όταν η θερμοκρασία πλησιάζει το βέλτιστο όριο για καθένα από αυτούς, τότε οι οργανισμοί γίνονται περισσότερο δραστήριοι, καταναλώνουν μεγαλύτερη ποσότητα τροφής και χρησιμοποιούν περισσότερο διαλυμένο οξυγόνο (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

Τη μεγαλύτερη ικανότητα προσαρμογής, σε ακραίες τιμές θερμοκρασίας, εμφανίζουν τα είδη που ζουν και αναπτύσσονται στην αβαθή παράκτια ζώνη των εκβολικών περιοχών και των λιμνοθαλασσών (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010). Η αυξημένη αντοχή τους σε τέτοιου είδους διακυμάνσεις, τα καθιστά ιδανική επιλογή από τον άνθρωπο για μαζική εκτροφή. Στην κατηγορία αυτή, ανήκουν η τσιπούρα και το λαβράκι, όπου σύμφωνα με τους Barnabe (1980) και Dutrieux (1984), τα βέλτιστα όρια για την ανάπτυξή τους κυμαίνονται μεταξύ 23 και 25⁰C, ενώ τα θερμοκρασιακά όρια αντοχής τους κυμαίνονται μεταξύ 4 και 34⁰C.

Στην παρούσα έρευνα, οι τιμές της θερμοκρασίας εμφάνισαν τις αναμενόμενες τιμές. Παρουσιάζουν ομοιογένεια καθ' όλο το βάθος της υδάτινης στήλης, καθώς σε κανέναν από τους σταθμούς δειγματοληψίας δεν παρουσιάστηκε το φαινόμενο του θερμοκλινούς.

Ως αλατότητα ορίζεται η συγκέντρωση του συνόλου των ανόργανων διαλυμένων στερεών σε Kg νερού, με την προϋπόθεση ότι όλα τα ανθρακικά έχουν μετατραπεί σε οξείδια, όλα τα βρωμιούχα και ιωδιούχα σε χλωριούχα και όλη η οργανική ύλη έχει οξειδωθεί (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010). Η αλατότητα στο παρελθόν εκφραζόταν ως ποσοστό επί τοις χιλίοις (S‰), ωστόσο σήμερα μπορεί να προσδιοριστεί μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θαλασσινού νερού με αδιάστατο καθαρό αριθμό ή με πρακτικές μονάδες αλατότητας (Θεοδώρου 2004). Αναφέρεται, πως η αλατότητα των ελληνικών θαλασσών κυμαίνεται από 30 έως 40 psu.

Οι τιμές της αλατότητας και η ικανότητα προσαρμογής των οργανισμών σ' αυτές, διαχωρίζουν τα υδρόβια είδη σε «στενόαλα» και «ευρύαλα». «Στενόαλοι» είναι οι οργανισμοί που δεν αντέχουν σε μεγάλες διακυμάνσεις της αλατότητας, ενώ «ευρύαλοι»

είναι αυτοί που μπορούν να προσαρμοστούν σε μειωμένες ή αυξημένες τιμές της, με την προϋπόθεση ότι η μεταβολή αυτή πραγματοποιείται σταδιακά. Η προσαρμοστική ικανότητα του οργανισμού κατά τη μεταβολή της αλατότητας, εξαρτάται από την ικανότητα ρύθμισης της οσμωτικής του πίεσης (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

Ως οσμωρύθμιση ορίζεται η κίνηση του νερού μεταξύ δύο διαλυμάτων με διαφορετική συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας. Τα δύο διαλύματα χωρίζονται με ημιπερατή μεμβράνη, η οποία επιτρέπει τη διέλευση του νερού αλλά όχι των αλάτων. Όσον αφορά τους υδρόβιους οργανισμούς, οσμωρύθμιση καλείται η ικανότητα ελέγχου της συγκέντρωσης των αλάτων στα εσωτερικά υγρά του σώματος (Σιώπης & Ντρέτσιος 2002). Σύμφωνα με τους Holmes & Donaldson (1969) και Brett (1979), όταν η τιμή της αλατότητας υπερβαίνει το ισοοσμωτικό σημείο των 10 ± 2 psu του πλάσματος των ψαριών, τότε η επιβίωση του οργανισμού εξαρτάται από την ικανότητά του να ρυθμίσει την οσμωτική του πίεση στις συγκεντρώσεις της εξωτερικής αλατότητας, ανεξάρτητα από το αν είναι στενόαλος ή ευρύαλος. Σε περίπτωση αδυναμίας ρύθμισής της επέρχεται ο θάνατος, καθώς πραγματοποιείται αναστροφή του μηχανισμού (Davenport & Vahl 1979).

Ακόμη ένας παράγοντας που μπορεί να καθορίσει την προτίμηση του οργανισμού στο θαλασσινό ή στο γλυκό νερό, συμπεριλαμβανομένων των μεταναστευτικών ψαριών (σολομός, πέστροφα) είναι οι ορμόνες του θυρεοειδούς σε συνδυασμό ή όχι με την προλακτίνη της υπόφυσης (Leatherland 1970, Holliday 1971).

Η πλειονότητα των ειδών που επιλέγονται για εντατική εκτροφή, όπως η τσιπούρα και το λαβράκι, παρουσιάζουν αυξημένη ικανότητα σε ακραίες τιμές αλατότητας (0-50 psu) (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010). Έρευνες που

πραγματοποιήθηκαν σε ευρύαλα θαλασσινά είδη (*Mugil cephalus*, *Sparus auratus*, *Dicentrarchus labrax*, κ.ά.), έδειξαν ότι η πλειοψηφία των οργανισμών αυτών, παρουσιάζει άριστη επιβίωση και ανάπτυξη όταν η αλατότητα κυμαίνεται σε ενδιάμεσες τιμές, από 20 έως 35 psu (Febry & Lutz 1987, Kelley 1988, Κονίδης 1992).

Σύμφωνα με τα διαγράμματα της αλατότητας σε συνάρτηση με το βάθος, προκύπτει ομοιογένεια στο σύνολο των σταθμών με τιμές ≈ 38 psu. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται και στην έρευνα των Μαλαγκάρα & Παπασακελλαρίου (2019), στην ίδια περιοχή μελέτη, όπου η αλατότητα κυμάνθηκε στα επίπεδα των 37,7 psu.

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό μπορεί να καθορίσει την κατάσταση και τη βιωσιμότητα ενός υδάτινου οικοσυστήματος. Η διαθεσιμότητά του είναι ιδιαίτερα σημαντική για το σύνολο των υδρόβιων οργανισμών, καθώς επηρεάζει τις αναπνευστικές λειτουργίες, κατέχει σημαντικό ρόλο σε διαδικασίες που σχετίζονται με τη διατροφή (π.χ. μεταβολισμός), συμβάλλει στην ολοκλήρωση των βιοχημικών αντιδράσεων ενώ ταυτόχρονα αποτελεί δείκτη της μεταβολής της ποιότητας των υδάτων (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

Κάθε είδος είναι προσαρμοσμένο να ζει σε διαφορετική συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, ανάλογα με αυτή που είναι απαραίτητη για την αναπνοή του. Με βάση το κριτήριο αυτό, τα ψάρια ταξινομούνται σε είδη που απαιτούν μεγάλες ποσότητες οξυγόνου (7 έως 11 mg/l), ενδιάμεσες ποσότητες (5 έως 7 mg/l), ποσότητες μεγαλύτερες των 4 mg/l και τέλος, σε είδη με ικανότητες επιβίωσης σε πολύ μικρές ποσότητες (μέχρι και 0,5 mg/l). Η τσιπούρα και το λαβράκι, αποτελούν είδη με απαιτήσεις σε ενδιάμεσες τιμές διαλυμένου οξυγόνου (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

Μια περιοχή η οποία προορίζεται για ιχθυοκαλλιεργητική δραστηριότητα θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από επάρκεια σε οξυγόνο. Πολλοί είναι οι παράγοντες που μπορούν να καθορίσουν την ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό. Σύμφωνα με τους Beveridge (1996) και Mente et al. (2006), οι τιμές της θερμοκρασίας, τα ποσά της οργανικής ύλης που παράγονται ή εντοπίζονται στην εκάστοτε περιοχή, οι υδρογραφικές συνθήκες (παρουσία ρευμάτων, κυματισμός), η παρουσία στρωμάτωσης ή η κάθετη ανάμιξη των υδάτινων στρωμάτων, αποτελούν παράγοντες που μπορούν να διαμορφώσουν την ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό.

Ακόμη ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, είναι η παρουσία επιφανίδας και επιχλωρίδας στις εγκαταστάσεις εκτροφής. Ανάλογα με την ανάπτυξή τους μπορούν να τροποποιήσουν και να εμποδίσουν τη διαθεσιμότητα του διαλυμένου οξυγόνου, ιδίως κατά τις νυχτερινές ώρες (Atzieu 1989).

Η εκτίμηση του κατά πόσο το βενθικό υπόστρωμα σε συνδυασμό με τις διαλυμένες στο νερό ενώσεις καταναλώνει και σε ποιο βαθμό το υπάρχον διαλυμένο οξυγόνο, αποτελεί επίσης σημαντική ένδειξη για την παρουσία και την κατανομή του στο υδάτινο περιβάλλον (Hall & Holby 1986). Σύμφωνα με τους Person & Hakanson (1991), τα 2/3 του διαλυμένου οξυγόνου, οποιασδήποτε υδάτινης μάζας, καταναλώνονται κατά την μικροβιακή διάσπαση των σωματιδίων των διαλυτών οργανικών ενώσεων, καθώς και κατά την οξείδωση της αμμωνίας.

Τέλος, σε μία μονάδα εκτροφής η παρουσία διαλυμένου οξυγόνου ή η ανεπάρκεια σ' αυτό μπορεί να σχετίζεται και με παράγοντες όπως η πυκνότητα της εκτροφής, ο ρυθμός με τον οποίο παρέχεται τροφή στους εκτρεφόμενους οργανισμούς, το βάθος

πόντισης των ιχθυοκλωβών, η παρουσία άλλων υδατοκαλλιεργητικών μονάδων και η πιθανότητα η περιοχή στην οποία έχουν εγκατασταθεί οι συστοιχίες να δέχεται απόβλητα από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

Στην παρούσα έρευνα, οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου ήταν αυξημένες, καθώς κυμάνθηκαν κοντά στα 5,6 ppm, σ' όλο το βάθος της υδάτινης στήλης και στο σύνολο των σταθμών δειγματοληψίας. Στον σταθμό S2 και στο βάθος των 30m παρατηρήθηκε η υψηλότερη τιμή φτάνοντας τα 6,12 ppm. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα συμπεράσματα των Kladatos et al. (1996) και Kladatos (2002), οι οποίοι αναφέρουν ότι τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου δε θα πρέπει να βρίσκονται κάτω από 5 ppm, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι οι οργανισμοί δε μπορούν να επιβιώσουν και σε χαμηλότερα επίπεδα για ορισμένο χρονικό διάστημα.

Οι χαμηλότερες τιμές διαλυμένου οξυγόνου στα επιφανειακά στρώματα νερού, στους σταθμούς δειγματοληψίας εντός των κλωβών εκτροφής (S1 και S2), πιθανό να οφείλονται στο φαινόμενο της βιοεπίστρωσης που παρατηρείται στα δίχτυα των ιχθυοκλωβών, κατά το οποίο εμποδίζεται σημαντικά η ανανέωση του νερού (Fitridge et al. 2012).

Η ενεργός οξύτητα εκφράζει τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου στο υδάτινο περιβάλλον. Στην πλειοψηφία τους, τα υδάτινα οικοσυστήματα παρουσιάζουν τιμές pH μεταξύ 4 και 9. Ωστόσο, μπορεί να παρατηρηθούν και μικρές διακυμάνσεις μεταξύ 6,5 και 8,5 που όμως είναι ακίνδυνες για τους υδρόβιους οργανισμούς. Το θαλασσινό νερό χαρακτηρίζεται ως αλκαλικό, καθώς εμφανίζει τιμές pH 8,2 με μικρές διακυμάνσεις της τάξης του $8 \pm 0,2$. Το pH μπορεί να αυξήσει την τοξική δράση της αμμωνίας όπως και

την τοξικότητα πολλών μετάλλων, τα οποία είναι ακίνδυνα σε όξινο περιβάλλον ενώ γίνονται τοξικά σε αλκαλικό (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

Σ' ένα υδάτινο οικοσύστημα η ενεργός οξύτητα μπορεί να επηρεάσει την παραγωγικότητα του φυτοπλαγκτού, καθώς και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες διαβιούν οι υδρόβιοι οργανισμοί. Συγκεκριμένα, η πλειοψηφία των εκτρεφόμενων οργανισμών προτιμά τιμές pH μεταξύ 6-8 (Petit 1982). Ωστόσο, σύμφωνα με τον Boyd (1981), ως άριστα όρια διαβίωσης θεωρούνται οι τιμές από 6,5 έως 9.

Στην παρούσα έρευνα, το pH δεν παρουσίασε μεγάλες διακυμάνσεις, καθώς κυμάνθηκε μεταξύ 8,22 και 8,31. Οι τιμές αυτές βρίσκονται εντός των ορίων που έθεσε ο Boyd (1981) για τις άριστες συνθήκες διαβίωσης των υδρόβιων οργανισμών.

Στον Παγασητικό Κόλπο, η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a* λαμβάνει τιμές μεταξύ 0,205 και 0,748 $\mu\text{g/l}$, και βρίσκεται εντός του εύρους που βρέθηκε και σε άλλες oligοτροφικές παράκτιες περιοχές (Neofitou & Kladatos 2008). Στις θάλασσες της Βόρειας Ευρώπης, ως μέγιστο όριο για την αποφυγή εκδήλωσης ευτροφισμού θεωρείται η τιμή των 10 $\mu\text{g/l}$.

Στη συγκεκριμένη έρευνα, η χλωροφύλλη *a* εμφάνισε υψηλότερες τιμές στους σταθμούς δειγματοληψίας S1 και S2, εντός των κλωβών εκτροφής, σε σχέση με τον σταθμό μάρτυρα. Ωστόσο, τα επίπεδα στα οποία κυμάνθηκε ήταν χαμηλά. Η συγκέντρωσή της, ήταν αυξημένη στα βαθύτερα στρώματα, ενώ η μέγιστη τιμή της παρατηρήθηκε στο σταθμό S2 και σε βάθος 50m, φτάνοντας τα 3,03 mg/m^3 . Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί με τα αποτελέσματα των Μαλαγκάρα & Παπασακελλαρίου (2019), όπου και εκεί οι τιμές της χλωροφύλλης *a* παρουσίασαν αυξημένες τιμές σε μεγαλύτερα βάθη. Οι La Rosa et al. (2002), αναφέρουν ότι μεταξύ των σταθμών

δειγματοληψίας, εντός των κλωβών εκτροφής, και του σταθμού μάρτυρα, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a*. Ωστόσο, επισημαίνουν ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στα επιφανειακά στρώματα, κάτι που δεν παρατηρήθηκε στην συγκεκριμένη έρευνα.

4.2.Θρεπτικά άλατα

Τα απόβλητα που παράγονται και ελευθερώνονται από τις ιχθυοκαλλιέργειες περιλαμβάνουν θρεπτικά άλατα, εκ των οποίων, αυτά που βρίσκονται σε μεγαλύτερες ποσότητες είναι ενώσεις που αποτελούνται από άζωτο (N) και φώσφορο (P). Εκτός των υπολειμμάτων που προέρχονται από τη λειτουργία της μονάδας, σημαντικές στον καθορισμό της ρύπανσης είναι και οι γεωργικές δραστηριότητες, οι οποίες μεταβάλλουν τις εποχιακές ροές γης και την εισροή θρεπτικών ουσιών στα υδάτινα περιβάλλοντα. Καθοριστική είναι και η συμμετοχή του τύπου του ιζήματος, στην περιοχή δραστηριοποίησης, μέσω του οποίου αντικατοπτρίζονται οι δυναμικές διεργασίες της στήλης του νερού, η οποία με τη σειρά της αποτελεί σημαντικό στοιχείο που καθορίζει την τύχη των αποβλήτων (Kalantzi & Karakassis 2006).

Σύμφωνα με τους Pitta et al. (1999), οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων στην περιοχή των ιχθυοκλωβών ενδέχεται να παρουσιάσουν αύξηση, εάν οι δειγματοληψίες πραγματοποιηθούν κατά τις πρώτες μεσημβρινές ώρες και μετά την προσφορά τροφής. Πράγματι, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συμφωνούν με αυτή τη θεωρία, καθώς παρατηρήθηκαν αυξημένες τιμές στα σημεία των ιχθυοκλωβών σε σχέση με τον σταθμό μάρτυρα.

Για να δημιουργηθούν αρνητικές επιπτώσεις, όπως αύξηση των φυτικών κυττάρων και εκδήλωση ευτροφικών συνθηκών, θα πρέπει οι συγκεντρώσεις του ολικού ανόργανου αζώτου να ξεπεράσουν τα 0,3 mg/l και του ανόργανου φωσφόρου τα 0,1 mg/l (Sawyer 1966). Το άζωτο στα υδάτινα οικοσυστήματα μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορους σχηματισμούς, όπως:

- Αμμώνιο (NH_4^+)
- Αμμωνία (NH_3)
- Νιτρώδη (NO_2^-)
- Νιτρικά (NO_3^-)
- Ελεύθερο αέριο (N_2)
- Οργανικές ενώσεις (αμινοξέα, πρωτεΐνες)

Είναι δυνατόν να πραγματοποιούνται μετατροπές από τη μία μορφή στην άλλη, εξαιτίας της απλότητας των χημικών αντιδράσεων, αλλά πιο συχνά αυτό είναι αποτέλεσμα βιολογικών δράσεων (Hampson 1977).

Μεταξύ των θρεπτικών αλάτων, τα πιο τοξικά και αυτά που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι η NH_3 και τα NH_4^+ . Οι συγκεντρώσεις της NH_3 μετρούνται ως Ολική Αμμωνία (TAN), δηλαδή ως άθροισμα των συγκεντρώσεων αμμωνίας N- NH_3 και αμμωνίου N- NH_4 ή ως Μη Ιονισμένη Αμμωνία (UAN). Η πρωτογενής μορφή αζώτου που απελευθερώνεται από τις υδατοκαλλιέργειες είναι το αμμώνιο (NH_4) (Neofitou & Kladouatos 2008). Δεδομένου ότι το NH_4 προέρχεται κυρίως από τα απόβλητα των οργανισμών και σε ρηχά νερά από ροή ιζήματος, μέσω ανοργανοποίησης της οργανικής ύλης (τροφή), αναμένεται να είναι η πρώτη θρεπτική ουσία που επηρεάζεται σημαντικά από φορτία ιχθυοκαλλιέργειας, ανεξάρτητα από τους οργανισμούς και το οικοσύστημα

(Sara 2007). Όσον αφορά την αμμωνία, η τοξικότητά της είναι υψηλότερη στη θάλασσα σε σχέση με τα γλυκά νερά στις ίδιες συγκεντρώσεις, γεγονός που σχετίζεται με την αυξημένη τιμή του pH (8,0 – 8,65), που έχει το θαλασσίνο νερό (Boyd 1981). Κάθε φορά που το pH αυξάνεται κατά ένα βαθμό, η τοξικότητα αυξάνει κατά 10 φορές. Κατά συνέπεια οι κίνδυνοι τοξικότητας από NH₃ στη θάλασσα είναι πολύ μεγαλύτεροι. Γενικά, συγκεντρώσεις αμμωνίας κάτω από 0,1 mg/l (μετρούμενη ως μη ιονισμένη αμμωνία), δεν δημιουργούν προβλήματα στα εκτρεφόμενα είδη.

Για να παρουσιαστούν φαινόμενα τοξικότητας από αμμωνία, πρέπει να υπάρχει μεγάλη πυκνότητα εκτροφής, περιορισμένη κυκλοφορία νερού, υψηλές θερμοκρασίες και ρυπασμένα νερά (Shepherd & Bromage 1988). Στην παρούσα έρευνα, οι τιμές των αμμωνιακών κυμάνθηκαν σε χαμηλά επίπεδα, από 0,03 μέχρι 1,12 μM, με τη μέγιστη τιμή να εμφανίζεται στο σταθμό S2. Ο σταθμός S1 εμφάνισε μικρότερες τιμές, παρά το γεγονός ότι εκεί ήταν τοποθετημένοι ιχθυοκλωβοί τετράγωνου σχήματος, σε διπλή συστοιχία. Με τους τετράγωνους ιχθυοκλωβούς υπάρχει φαινομενικά ταχύτερη υποβάθμιση του περιβάλλοντος, καθώς μειώνεται η ταχύτητα κυκλοφορίας του νερού, με αποτέλεσμα τη μη επαρκή ανανέωσή του και την αύξηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων.

Μεταξύ των θρεπτικών αλάτων, τα NH₄ και τα PO₄ είναι από τα πρώτα θρεπτικά άλατα που αυξάνονται απότομα στο ανώτερο υδάτινο στρώμα από την ανοργανοποίηση της οργανικής ύλης (Choi et al. 2020). Σύμφωνα με τους Neofitou & Kladatos (2008), οι τιμές των αμμωνιακών βρέθηκαν αυξημένες στα επιφανειακά στρώματα (0 & 5 m), λόγω του μεταβολισμού και της παρεμπόδισης της κυκλοφορίας του νερού από τα δίχτυα και τους οργανισμούς που προσκολλώνται σε αυτά, με την παρούσα έρευνα να συμφωνεί με τα παραπάνω.

Οι τιμές των νιτρωδών ήταν χαμηλές, αφού δε ξεπέρασαν τα 0,0022 μM και στους δύο σταθμούς εκτροφής (S1 και S2). Τα νιτρώδη είναι λιγότερο τοξικά από την NH_3 , ωστόσο οι τιμές τους δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 0,1 mg/l, γιατί η παρουσία τους εμποδίζει την αιμογλοβίνη να προσλάβει οξυγόνο (Colt & Tchobanoglous 1976, Russo & Thurston 1977). Έχει γίνει αποδεκτό ότι η τιμή των NO_2^- επηρεάζεται καθοριστικά από την τιμή του pH. Επίσης, η παρουσία μονοσθενών ιόντων (π.χ του χλωρίου) ή όξινων ανθρακικών ιόντων (π.χ Cl^- , HCO_3^-) ελαττώνουν σημαντικά την τοξικότητά τους (Tomasso et al. 1979). Ο κίνδυνος τοξικότητας από τα νιτρώδη είναι μάλλον μικρός, αφού δεν αποτελούν σταθερή μορφή και μετατρέπονται σε σύντομο χρονικό διάστημα σε νιτρικά.

Τα νιτρικά είναι μια σταθερή μορφή του αζώτου και ακόμα λιγότερο τοξικά από τα νιτρώδη. Ωστόσο, σύμφωνα με τον Coche (1981), οι τιμές τους δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 100 mg/l για την υγεία των ιχθύων σε νερό οξυγόνου πάνω από 5 mg/l. Οι ιχθυοκαλλιεργητικές δραστηριότητες επηρεάζουν περισσότερο τις συγκεντρώσεις ενώσεων του αζώτου, καθώς σε παρόμοια έρευνα σε παράκτια ιχθυοκαλλιέργεια το διαλυμένο άζωτο που σχετιζόταν με εμπλουτισμό N - NO_3^- βρέθηκε περισσότερο να μεταβάλλεται, σε σύγκριση με τα φωσφορικά (Kang & Xu 2016).

Γενικά, αυξημένες τιμές νιτρικών παρατηρούνται συνήθως σε καλά οξυγονωμένα νερά, με τη μεταβλητότητά τους να οφείλεται κυρίως σε βιολογική δράση (η μετατροπή τους πραγματοποιείται από τα αερόβια βακτήρια Nitrobacter) (Klaoudatos et al. 2006). Σε παρόμοια έρευνα με την παρούσα στον Παγασητικό κόλπο (Neofitou et al. 2019), τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση των νιτρικών κυρίως στα ανώτερα στρώματα της στήλης του νερού και κυρίως το καλοκαίρι. Τα αποτελέσματα αυτά είναι παρόμοια με την

παρούσα έρευνα, όπου οι τιμές των νιτρικών κυμάνθηκαν μεταξύ 2,28-2,39 μM , με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται από την επιφάνεια έως τα 10 m βάθος.

Όσον αφορά τα φωσφορικά, οι απώλειες προς το περιβάλλον μπορεί να ποικίλουν, ανάλογα με τη μορφή της εκτροφής. Στις συστοιχίες των ιχθυοκλωβών οι απώλειες αυτές ανέρχονται στο 71-85% της ποσότητας του προσφερόμενου με την τροφή φωσφόρου, από τις οποίες το 11-30% είναι σε διαλυτή μορφή και το 49-70% σε σωματιδιακή (Foy & Rosall 1991). Ωστόσο, αποτελεί μικρό ποσοστό στην παρεχόμενη τροφή, αποτελώντας μόλις το 1,2-1,5%. Από αυτό, το 13-32% ενσωματώνεται στις σάρκες των παραγόμενων ψαριών.

Γενικά σε παράκτιες περιοχές, όπως ο Παγασητικός κόλπος, τα φωσφορικά παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις λόγω εποχιακών ροών γης και πρόσληψης φυτοπλαγκτού (Petihakis et al. 2002). Κύριος παράγοντας της αυξημένης συγκέντρωσης είναι η διαλυτοποίηση της τροφής κοντά στην επιφάνεια του νερού (Neofitou et al. 2019), αλλά προέρχεται επίσης και από την αποσύνθεση οργανικής ύλης και από τις μεταβολικές δραστηριότητες των οργανισμών (Beveridge 1996). Η αναλογία N:P στη Μεσόγειο θάλασσα είναι μεγαλύτερη από 27 με τη μέση τιμή να είναι 75. Σύμφωνα με αυτά, ο φώσφορος είναι ο περιοριστικό παράγοντας για την ανάπτυξη της πρωτογενούς παραγωγής στη Μεσόγειο θάλασσα (Karakassis et al. 2001).

Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλότερη συγκέντρωση φωσφορικών στον σταθμό S1. Σε αντίστοιχη έρευνα (Karakassis et al. 2001), παρατηρήθηκε χρονική μεταβολή της συγκέντρωσης των φωσφορικών, παρόμοια με αυτή του αμμωνίου, παρουσιάζοντας αύξηση τις μεσημβρινές ώρες και στη συνέχεια μείωση στα επίπεδα της αρχικής μέτρησης. Η διακύμανση ήταν μικρότερη στα κατώτερα στρώματα της υδάτινης στήλης,

όπως και στην παρούσα έρευνα, με τη μέγιστη τιμή τους να συνδέεται με το μικρότερο βάθος του σταθμού S1.

Από το σύνολο των θρεπτικών αλάτων, τα πυριτικά βρέθηκαν ιδιαίτερα αυξημένα στο σταθμό S3, σε σχέση με του δύο πρώτους σταθμούς. Οι τιμές τους κυμάνθηκαν από 0,51 μM έως και 4,96 μM . Ο βιογεωχημικός κύκλος των πυριτικών πιθανόν να επηρεάζεται από τη διάλυση των διατόμων και την επαναιώρηση του ιζήματος, μέσω της οποίας το οργανικό υλικό μεταφέρεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις και σε βαθύτερα νερά. Κατά τη διάρκεια της ανοργανοποίησης παράγεται επιπλέον πυρίτιο, αυξάνοντας τη συγκέντρωσή του στην υδάτινη στήλη (Neofitou & Kloudatos 2008).

Δεδομένα από αντίστοιχες έρευνες έχουν δείξει ότι κοντά στις ιχθυοτροφικές εκμεταλλεύσεις υπάρχει μείωση της συγκέντρωσης του πυριτίου, η οποία πιθανόν να σχετίζεται με την ταχεία πρόσληψή τους από τους πλαγκτονικούς οργανισμούς, οι οποίοι εμφανίζονται ιδιαίτερα ανταγωνιστικοί στην παρουσία αυξημένων θρεπτικών αλάτων (Margalef 1978, Parsons et al. 1978). Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας φαίνεται να συμφωνούν με τις παραπάνω θεωρίες.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Οι τιμές της θερμοκρασίας ήταν οι αναμενόμενες. Το φαινόμενο του θερμοκλινούς δεν εμφανίστηκε σε κανένα από του σταθμούς δειγματοληψίας.
- Οι τιμές της αλατότητας παρουσίασαν ομοιογένεια στο σύνολο των σταθμών, με τιμές που κυμάνθηκαν κοντά στα 38 psu.
- Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου ήταν αυξημένα. Μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας παρατηρήθηκαν μικρές διακυμάνσεις, με τις μικρότερες τιμές να καταγράφονται στα επιφανειακά στρώματα και τη μέγιστη (6,12 ppm), στο σταθμό S2 και σε βάθος 30 m.
- Οι τιμές του pH κυμάνθηκαν μεταξύ 8,22-8,31 και βρέθηκαν εντός των επιτρεπτών ορίων για την ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών.
- Οι τιμές της χλωροφύλλης *a* δεν παρουσίασαν σημαντικές χωρικές διακυμάνσεις. Στο σταθμό S2 και σε βάθος 50 m παρατηρήθηκε η μέγιστη τιμή της, φτάνοντας τα 3,03 mg/m³. Η ευρύτερη περιοχή δείχνει να μην επηρεάζεται από τη δραστηριότητα της εκτροφής, λόγω των ολιγοτροφικών συνθηκών που επικρατούν.
- Η στατιστική επεξεργασία των δειγμάτων έδειξε σημαντικές διαφορές για όλα τα θρεπτικά άλατα, εκτός από τα νιτρικά.
- Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών σε καμία περίπτωση δεν ξεπέρασαν τα επιτρεπτά όρια πέραν των οποίων εμφανίζεται το φαινόμενο του ευτροφισμού ή δημιουργούνται σοβαρές βλάβες στους εκτρεφόμενους οργανισμούς.

- Οι μέγιστες τιμές των θρεπτικών που καταγράφηκαν στην παρούσα έρευνα, σε καμία περίπτωση δεν ξεπέρασαν αυτές που έχουν αναφερθεί μέχρι σήμερα για τον Παγασητικό Κόλπο από άλλους ερευνητές.
- Οι επιπτώσεις της εκτροφής στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων στη στήλη του νερού περιορίζονται σε μικρή απόσταση γύρω από την περιοχή της εκτροφής, χωρίς να επηρεάζουν σημαντικά την ευρύτερη περιοχή που είναι ο Παγασητικός Κόλπος.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1. Ελληνική βιβλιογραφία

- Θεοδώρου Α** (2004) Ωκεανογραφία - Εισαγωγή στο θαλάσσιο περιβάλλον, Σταμούλης, σελ. 174-177.
- Κλαουδάτος Σ., Κλαουδάτος Δ.** (2010) Κατασκευές υδατοκαλλιεργητικών συστημάτων Θαλάσσιες – Λιμνοθαλάσσιες – Χερσαίες. Προπομπός, σελ. 26-56.
- Κονίδης Α.** (1992) Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη των ιχθυδίων της τσιπούρας (*Sparus aurata*), καλλιεργούμενων υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Αθηνών, 135 σελ.
- Μαλαγκάρα Δ., Παπασακελλαρίου Ε.** (2019) Επίδραση ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης στην περιοχή του Παγασητικού Κόλπου. Προπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 26.
- Μεντέ Ε., Νέγκας Ι.** (2011) Στοιχεία Φυσιολογίας θρέψεως και εφαρμοσμένη διατροφή ιχθύων και καρκινοειδών. Παπαζήση, Αθήνα, 604 σελ.
- Μπαλόπουλος Ε., Παπαγεωργίου Ε., Χαραλαμπίκης Α., Παπαδόπουλος Β.** (1977) Μετρήσεις Θαλάσσιων Ρευμάτων στο Δυτικό Αιγαίο Πέλαγος: Παγασητικός Κόλπος, Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, 283 σελ.
- Περισωράτης Κ., Ζαχαράκης Π., Ανδριανόπουλος Α.** (1993) Ιζηματολογία των επιφανειακών ιζημάτων του Παγασητικού κόλπου και του διαύλου του Τρίκερι, Δ. Αιγαίο Πέλαγος. Τεχνική Έκθεση ΙΓΜΕ.
- Σιώπης Γ. & Ντρέτσιος Π.** (2002) Ποιότητα και διαχείριση νερού υδατοκαλλιεργειών. Προπτυχιακή Διατριβή, Α.Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, σελ. 10.
- ΣΕΘ** (2019) (Σύνδεσμος Ελληνικών Θαλασσοκαλλιεργειών): Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια 2019, 11-59 σελ.
- Φιλιππάκης Δ.** (2017) Θαλάσσια γεωαρχαιολογική έρευνα στον Όρμο Νηών (Παγασητικός Κόλπος). Διπλωματική εργασία ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πατρών, 39 σελ.
- Φριλίγγος Ν., Βουτσίδου-Ταλιαρούρη Φ., Γεωργόπουλος Δ., Θεοχάρης Α., Νακοπούλου Χ., Σατσματζής Ι., Χατζηγεωργίου Ε.** (1985) Ωκεανογραφική μελέτη Παγασητικού Κόλπου. Τεχνική Έκθεση. Ι.ΩΚ. Α. Ε., σελ. 5-15.

6.2. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Alzieu C.** (1989) Water – the medium of culture. In: Aquaculture (Ed. G. Gilbert), Ellis Florwood Ltd., 2nd edition, 1: 37-62.
- APHA A., WPCF** (1980) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association.
- Baranbe G.** (1980) Expose synoptique dew donnees biologiques sur le loupou bar, *Dicentrarchus labrax* (Linne 1758). Synopsis FAO Peches, 70 p.
- Beveridge M.** (1996) Cage aquaculture. Fishing News Books, 346 p.
- Boyd C.E.** (1981) Water quality in warmwater fish ponds. Agricultural Experiment Station, Auburn University, 359 p.
- Brett J.R.** (1979) Environmental factors and growth. In: Fish Physiology, II: 599- 675.
- Carroll M.L., Cocharane S., Fieler R., Velvin R., White P.** (2003) Organic enrichment of sediments from salmon farming: environmental factors, management practices, and monitoring techniques. *Aquaculture*, 226: 165-180.
- Choi A., Kim B., Mok J.K., Yoo j., Kim J.B., Lee W.C., Hyun J.H.** (2020) Impact of finfish aquaculture on biogeochemical processes in coastal ecosystems and elemental sulfur as relevant proxy for assessing farming condition. *Marine Pollution Bulletin*, 150: 110635.
- Coche A.C.** (1981) Report of the symposium, New developments in the utilization of heated effluents recirculation systems for intensive aquaculture. Stavanger 29-30 May 1980, EIFAC Tech. Paper No 39.
- Colt J., Tchobanoglous G.** (1976) Evaluation of the short-term toxicity of nitrogenous compounds to channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture* 8: 209-224.
- Davenport J., Vahl O.** (1979) Responses of the fish *Blenniuspholis* to fluctuating salinities. *Marine Ecology Progress Series*, 1: 101-107.
- Dutrieux E.** (1984) Elements pour une plantification ecologique du milieu lagunaire Mediterranean. Application 1st Aquaculture, CEMAGREF, Section Amanagements Littorauxet Aquaculture, Montpellier, 152 p.
- Febry R., Lutz P.** (1987) Energy partitioning in fish: activity related cost of osmoregulation in a euryhaline cichlid. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 128: 63-85.

- Fernades T.F.**, Eleftheriou A., Ackefors H., Eleftheriou M., Ervik A., Sanchez-Mata A., Scanlon T., White P., Cochrane S., Pearson T.H., Read P.A. (2001) The scientific principles underlying the monitoring of the environmental impacts of aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology*, 17: 181-193.
- Fitridge I.**, Dempster T., Guenther J., Nys R. (2012) The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling*, 28: 649–69.
- Foy R.H.**, Rossal R. (1991) Loading of nitrogen and phosphorus from a Northern Ireland fish farm. *Aquaculture*, 96: 17-30.
- Hall P.O.G.**, Holby O. (1986) Environmental impact of marine fish cage culture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 46: 14.
- Hall P.O.G.**, Holby O., Kollberg S., Samuelsson M.O. (1992) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. *Marine Ecology Progress Series*, 89: 81-91.
- Hampson B.L.** (1977) Relationship between total ammonia and free ammonia in terrestrial and ocean waters. *J. Cons Inst. Eproration Mer* 37: 117-122.
- Holmer M.** (1991) Impacts of aquaculture on surrounding sediments: generation of organic-rich sediments. In: “Aquaculture and the environment” (N. De Pauw and N. Joyce eds), *Aquaculture and the environment*. Eur Aquacult Soc Spec Publ 16: 155-175
- Holmes W.N.**, and Donaldson, E.M. 1969. Excretion, ionic regulation, and metabolism. In “Fish Physiology” (W.S. Hoar and D.J. Randall eds), Vol.1, Academic Press N.Y., pp. 1-89.
- Holliday F.G.T.** (1971) Salinity-Animals-Fishes. In: *Fish Physiology*. Academic Press: New York, p. 293-311.
- Hyland J.**, Balthis L., Karakassis I., Magni P., Petrov A., Shine J., Vestergaard O., Warwich R.M. (2005) Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos. *Marine Ecology Progress Series*, 295: 91-103
- Kalatzi I.**, Karakassis I. (2006) Benthic impacts of fish farming: meta-analysis of community and geochemical data. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 484-493.
- Kang P.**, Xu S. (2016) The impact of mariculture on nutrient dynamics and identification of the nitrate sources in coastal waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 1300-1311.
- Karakassis I.**, Tsapakis M., Hatziyanni E. (1998) Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 162: 243-252.

- Karakassis I.**, Tsapakis M., Hatziyanni E., Papadopoulou K.N., Plaiti W. (2000) Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas. *ICES J. Mar. Sci.*, 57: 1462-1471.
- Karakassis I.**, Pitta P., Krom M.D. (2005) Contribution of fish farming to the nutrient loading of the Mediterranean. *Scientia Marina*, 69: 313-321
- Kelley D.F.** (1988) The importance of estuaries for sea bass *Dicentrarchus labrax* (L.). *Journal of Fish Biology*, 33: 25-33.
- Klaoudatos S.**, Conides A., Chatziefstathiou M. (1996) Environmental impact Assessment studies in floating cage culture systems in Greece. «Partnership in Coastal Zone Management». (Eds. J. Taussik and J. Mitchell), Samara Publishing Ltd, Cardigan, 9: 525-533.
- Klaoudatos S.D.** (2002) Environmental impact of aquaculture in Greece. Practical experiences. *Cahier Options Mediterrannes*, 55: 109-127.
- Klaoudatos S.D.**, Klaoudatos D.S., Smith J., Bogdanos K., Papageorgiou E. (2006) Assessment of site specific benthic impact of floating cage farming in the eastern Hios island, Eastern Aegean Sea, Greece. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 338: 96-111.
- La Rosa T.**, Mirto S., Favalaro E., Savona B., Sarà G., Danovaro R., Mazzola A. (2002) Impact on the water column biogeochemistry of a Mediterranean mussel and fish farm. *Water Research*, 36: 713–721.
- Leatherland J.F.** (1970) Seasonal variation in the structure and ultra structure of the pituitary in the marine from (Trachurus) of the three spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L.1. Rostral pars distalis. *Z. Zellforsch, mikrosk. Ant.*, 104: 301-317.
- Maldonado M.**, Carmona M.C., Echeverria Y., Riesgo A. (2005) The environmental impact of Mediterranean cage fish farms at semi exposed locations: does it need a reassessment. *Helgoland Marine Research*, 59: 121-135.
- Margalef R.** (1978) Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta*, 1: 493-509.
- Mente E.**, Pierce G.J., Santos M.B., Neofitou C. (2006) Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquacult. Int.*, 14: 499-522.
- Neofitou N.**, Klaoudatos S. (2008) Effect of fish farming on the water column nutrient concentration in a semi-enclosed gulf of the Eastern Mediterranean. *Aquaculture Research*, 39: 482-490.

- Neofitou N.,** Vafidis D., Klaoudatos S. (2010) Spatial and temporal effects of fish farming on benthic community structure in a semi-enclosed gulf of the Eastern Mediterranean. *Aquaculture Environmental Interactions*, 1(2): 95-105
- Neofitou N.,** Papadimitriou K., Domenikiotis C., Tziantziou L., Panagiotaki P. (2019) GIS in environmental monitoring and assessment of fish farming impacts on nutrients of Pagasitikos Gulf, Eastern Mediterranean. *Aquaculture*, 501: 62-75.
- Parsons T.R.,** Harrison P.J., Waters R.. (1978) An experimental simulation of changes in diatom and flagellate blooms. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 32: 285-294.
- Parsons T.R.,** Maita Y., Lalli C.M. (1984) A manual of chemical and biological methods for sea water analysis. Pergamon, Oxford.
- Pearson J,** Hakanson L. (1991) An operative system for coastal water planning. *Nord* 22: 25-38.
- Petihakis G.,** Triantafyllou G., Koliou A., Theodorou A. (2002) Exploring the dynamics of a marine ecosystem (Pagasitikos Gulf, Western Aegean, Greece) through the analysis of temporal and spatial variability of nutrients. *Littoral, The Changing Coast, EUROCOAST/EUCC*, Porto Portugal, pp. 513–522.
- Petihakis G.,** Triantafyllou G., Pollani A., Koliou A., Theodorou A. (2005) Field data analysis and application of a complex water column biogeochemical model in different areas of a semi-enclosed basin: Towards the development of an ecosystem management tool. *Marine Environmental Research*, 59: 493-518.
- Petit J.** (1982) Water supply treatment and recycling in aquaculture. In: *Aquaculture*, (Ed. G. Gilbert), Ellis Horwood Ltd., 2nd Edition, 2: 63-196.
- Pitta P.,** Karakassis I., Tsapakis M., Zivanovic S. (1999) Natural vs. mariculture induced variability in nutrients and plankton in the eastern Mediterranean. *Hydrobiologia*, 391: 181-194.
- Russo R.C.,** Thurston R.V. (1977) The acute toxicity of nitrite to fishes. In *Recent advances in fish toxicity*. (Ed. R.A. Tubb) EPA Ecol. Res.Ser, EPA-600/3-77-085: 118-131.
- Sàra G.** (2007) A meta-analysis on the ecological effects of aquaculture on the water column: Dissolved nutrients. *Marine Environmental Research*, 63: 390-408.
- Sawyer C.N.** (1966) Basic concepts of Eutrophication. *J. Wat. Pollut. Cont. Fed.*, 38: 737-744.
- Sevastou K.,** Karakassis I., Panagiotidou M., Borja A., Angel D., Pastres R., Blach K.D. (2006) Impact of the environment on aquaculture: preliminary indicators from

ECASA project. AQUA 2006, The joint international conference & exhibition of European aquaculture society & world aquaculture society, Florence, Italy.

Shepherd J., Bromage N. (1988) Intensive fish farming. BSP Professional Books: Oxford, 404 p.

Strickland J.D.H., Parsons T.R. (1972) A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada, 311 p.

Theodorou A.I., (1995) Ecological monitoring studies for Volos Sea Outfall (Pagasitikos Gulf, Western Aegean Sea). Wat. Sci. Tech. 32: 273-280.

Tomasso J.R., Simco B.A., Davis K.B. (1979) Chlorine inhibition of nitrite induced methanoglobinemia in channel catfish *Ictalurus punctatus*. J. Fish Res. Board Can. 36: 1141-1144.

Triantaphyllou G., Petihakis G., Dounas C., Theodoou A. (2001) Assessing Marine Ecosystem Response to Nutrient Inputs. Marine Pollution Bulletin, 43: 175-186

UNEP (2016) Global material flows and resource productivity. United Nations Environment Program, Assessment Report for the UNEP international resource panel, Paris.

ABSTRACT

The aim of the study was to investigate the environmental impact of a floating cage fish farm on the physicochemical characteristics and nutrients of the water column in Pagasitikos Gulf.

Samples were taken from Ladikos bay of Nies Magnesias, where the fish farm "Pagasitikos Aquaculture SA" is operating. One sampling was performed in June of 2019 at 3 sampling stations. S1 and S2 were the farm stations and S3 was the control. At each sampling station physicochemical characteristics of the water column (temperature, salinity, dissolved oxygen, pH and chlorophyll α) were measured by means of a CTD. Water samples were taken from various depths (0, 5 and every 10 m to the seabed) by means of a water sampler (Lymnos 1.4 l) in order to analyze the nutrients (ammonium, nitrites, nitrates, phosphates and silicates).

The results of the study showed that all physicochemical and biological characteristics at the sampling stations exhibited the expected seasonal variation. The nutrients displayed an increase in their concentrations at the farm stations (S1 and S2), mainly at the surface layers of the water column. Statistical analysis (one-way ANOVA), showed significant differences among sampling stations for all studied nutrients ($P < 0.05$) except for nitrates. Nutrient concentrations did not exceed eutrophication levels or in any way affected the welfare of the cultured organisms.

Keywords: Fish farming, environmental impacts, nutrients, eutrophication