

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

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

Βασιλείου Χριστίνα
Γεωργιάδης Θεόδωρος

ΒΟΛΟΣ 2022

**«Επίδραση ιχθυοκαλλιέργειας 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. **Παναγιώτα Παναγιωτάκη**, Καθηγήτρια – Υδατοκαλλιέργειες, 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 άριστη συνεργασία, την πολύτιμη βοήθεια, τον χρόνο και την καθοδήγησή του.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής την Καθηγήτρια κα. Παναγιώτα Παναγιωτάκη και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Δημήτρη Κλαουδάτο για την συμβολή τους.

Επιπλέον, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας, στους ιδιοκτήτες και στο προσωπικό της ιχθυοκαλλιεργητικής μονάδας «Υδρόβιος ΕΠΕ Υδατοκαλλιέργειες» για την άδεια διεξαγωγής της δειγματοληψίας και τη φιλοξενία στις εγκαταστάσεις της μονάδας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις μεταπτυχιακές φοιτήτριες Δημούδη Ανδρονίκη και Καραμπέτσου Γιώτα για την πολύτιμη βοήθεια και τις χρήσιμες συμβουλές τους κατά τη διάρκεια ανάλυσης των δειγμάτων, καθώς και τις οικογένειές μας για την αγάπη και υποστήριξη σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο τομέας των υδατοκαλλιεργειών σε παγκόσμιο επίπεδο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή τροφής, στην αντιμετώπιση του επισιτιστικού προβλήματος, στην οικονομία και στην κοινωνική συνοχή πολλών χωρών. Στην Ελλάδα ο τομέας των υδατοκαλλιεργειών είναι προσανατολισμένος στην εκτροφή μεσογειακών ειδών ιχθύων σε κλωβούς, εντός των θαλάσσιων υδάτων και αποτελεί μία ιδιαίτερα ανταγωνιστική δραστηριότητα. Ωστόσο, παρά τη σημαντική του συμβολή και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει, ο τομέας των υδατοκαλλιεργειών γίνεται συχνά αντικείμενο έντονης κριτικής, αναφορικά με τις επιδράσεις που ασκεί και τις επιπτώσεις που προκαλεί στο φυσικό περιβάλλον.

Η παρούσα προπτυχιακή διατριβή έχει ως σκοπό την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων της ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά και πυριτικά).

Για την επίτευξη του σκοπού πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία κατά τη θερινή περίοδο στις εγκαταστάσεις ιχθυοκαλλιεργητικής μονάδας, στον νοτιοανατολικό Παγασητικό κόλπο, κατά την οποία λήφθηκαν δείγματα νερού σε τρεις σταθμούς (δύο εντός της μονάδας εκτροφής και ένας σταθμός ελέγχου) από την επιφάνεια, τα 5 m και κάθε 10 m βάθους μέχρι τον πυθμένα. Παράλληλα σε κάθε σταθμό πραγματοποιήθηκε καταγραφή των φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, pH και χλωροφύλλη α).

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής έδειξαν αυξημένες συγκεντρώσεις αμμωνιακών, νιτρωδών και πυριτικών αλάτων σε τουλάχιστον έναν σταθμό εκτροφής, συγκριτικά με τον σταθμό ελέγχου. Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων

έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών για όλα τα θρεπτικά άλατα εκτός των νιτρικών.

Συμπερασματικά, οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών δεν ξεπέρασαν σε καμία περίπτωση τα επιτρεπτά όρια πέραν των οποίων εμφανίζεται το φαινόμενο του ευτροφισμού ή δημιουργούνται σοβαρές επιπτώσεις στους εκτρεφόμενους οργανισμούς. Τέλος, οι επιπτώσεις της εκτροφής στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων στη στήλη του νερού περιορίζονται σε μικρή απόσταση γύρω από την περιοχή εκτροφής και δεν επηρεάζουν σημαντικά την ευρύτερη περιοχή του Παγασητικού κόλπου.

Λέξεις κλειδιά: υδατοκαλλιέργειες, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ευτροφισμός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Προκαταρκτικές Σελίδες.....	i-v
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1 Υφιστάμενη κατάσταση της υδατοκαλλιέργειας.....	4
1.2 Η υδατοκαλλιέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	7
1.3 Η υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα.....	9
1.4 Επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	12
1.5 Περιοχή έρευνας.....	17
1.6 Σκοπός της έρευνας.....	20
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	21
2.1 Γενικά.....	21
2.2 Δειγματολογικό πλέγμα σταθμών.....	22
2.3 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά.....	23
2.3.1. Υδάτινη στήλη.....	23
2.3.2 Θρεπτικά άλατα.....	24
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	28
3.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά.....	28
3.2 Θρεπτικά άλατα.....	38
3.3 Στατιστική επεξεργασία.....	43
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	44
4.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά.....	44
4.2 Θρεπτικά άλατα.....	51
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	61
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	63
6.1 Ελληνική βιβλιογραφία.....	63
6.2 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	64
ABSTRACT.....	69

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Υφιστάμενη κατάσταση της υδατοκαλλιέργειας

Η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί μία δραστηριότητα του ανθρώπου με ιστορία περίπου 4000 χρόνων (Baluyut, 1989), η οποία πραγματοποιείται στο υδάτινο περιβάλλον. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων (FAO) η δραστηριότητα αυτή ορίζεται ως η εκτροφή υδρόβιων οργανισμών συμπεριλαμβανομένων των ιχθύων, των μαλακίων, των καρκινοειδών και των υδρόβιων φυτών, και συνεπάγεται κάποια μορφή παρέμβασης στη διαδικασία εκτροφής για την ενίσχυση της παραγωγής, όπως για παράδειγμα την παροχή τροφής και την προστασία από θηρευτές. Οι πρακτικές της υδατοκαλλιέργειας λαμβάνουν χώρα σε τρεις τύπους περιβάλλοντος και πιο συγκεκριμένα στα γλυκά, στα υφάλμυρα και στα θαλάσσια ύδατα και περιλαμβάνουν μία τεράστια ποικιλία εκτρεφόμενων οργανισμών. Τα συστήματα εκτροφής και καλλιέργειας που χρησιμοποιούνται, διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο χρήσης του νερού σε ανοικτά, ημίκλειστα και κλειστά (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010α), ενώ ανάλογα με την πυκνότητα των εκτρεφόμενων οργανισμών, την προσφερόμενη τροφή και τη μορφή διαχείρισης διακρίνονται σε εκτατικά, ημιεντατικά και εντατικά (Edwards & Demaine, 1998).

Ο τομέας των υδατοκαλλιεργειών σε παγκόσμιο επίπεδο διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην εξασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας, καθώς και στην οικονομική και κοινωνική συνοχή πολλών αναπτυσσόμενων ή λιγότερο ανεπτυγμένων χωρών. Εκτιμάται πως το 2018 η κατανάλωση ψαριών αντιπροσώπευε το 17% της συνολικής ζωικής πρωτεΐνης που καταναλώθηκε παγκοσμίως, παρέχοντας σε

περισσότερο από 3,3 δισεκατομμύρια ανθρώπους το 20% της μέσης κατά κεφαλήν προσληφθείσας πρωτεΐνης. Παράλληλα, το 2018 η ετήσια κατά κεφαλήν κατανάλωση ψαριών άγγιξε τα 20,5 κιλά, τιμή ιδιαίτερα υψηλή συγκριτικά με την ετήσια κατά κεφαλήν κατανάλωση ψαριών το 1961 που άγγιζε μόλις τα 9 κιλά. Με την ανάγκη για διατροφικά προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας να αυξάνεται παράλληλα με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και σε συνδυασμό με την στασιμότητα της αλιευτικής παραγωγής, ο τομέας των υδατοκαλλιεργειών αποτελεί λύση στην πρόκληση για εξασφάλιση της επάρκειας τροφίμων, η οποία γίνεται πιο σύνθετη αν καταλογιστούν οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και ο κίνδυνος εξάντλησης των φυσικών πόρων. Αξίζει να σημειωθεί, πως σύμφωνα με τις προβλέψεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (FAO) και της Παγκόσμιας Τράπεζας έως το 2030 περισσότερο από το 65% των αλιευτικών προϊόντων που θα καταναλώνονται θα προέρχονται από υδατοκαλλιέργειες (FAO, 2020; ΣΕΘ, 2020).

Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (FAO, 2020) ο τομέας των υδατοκαλλιεργειών κατέγραψε ένα νέο διαχρονικό ρεκόρ, με την παγκόσμια υδατοκαλλιεργητική παραγωγή να αγγίζει το 2018 τους 114,5 εκατομμύρια τόνους σε ζωντανό βάρος και τα 263,6 δισεκατομμύρια δολάρια σε αξία. Η παγκόσμια υδατοκαλλιεργητική παραγωγή περιλαμβάνει 82,1 εκατομμύρια τόνους εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών αξίας 250 δισεκατομμυρίων δολαρίων, 32,4 εκατομμύρια τόνους φυκών αξίας 13,3 δισεκατομμυρίων δολαρίων, και 26.000 τόνους διακοσμητικών οστράκων και μαργαριταριών αξίας 179.000 δολαρίων. Όσον αφορά την παραγωγή εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών, αποτελείται κατά κύριο λόγο από εκτρεφόμενους ιχθύες (54,3 εκατομμύρια τόνοι αξίας 139,7 δισεκατομμυρίων δολαρίων), το μεγαλύτερο μέρος των οποίων προέρχεται από εκτροφές σε εσωτερικά

ύδατα (47 εκατομμύρια τόνοι αξίας 104,3 δισεκατομμυρίων δολαρίων) και το υπόλοιπο από θαλάσσιες και παράκτιες εκτροφές (7,3 εκατομμύρια τόνοι αξίας 35,4 δισεκατομμυρίων δολαρίων). Την εκτροφή ιχθύων ακολουθούν τα μαλάκια, κυρίως δίθυρα, με παραγωγή 17,7 εκατομμυρίων τόνων αξίας 34,6 δισεκατομμυρίων δολαρίων, τα καρκινοειδή με παραγωγή 9,4 εκατομμυρίων τόνων αξίας 69,3 δισεκατομμυρίων δολαρίων, τα θαλάσσια σπονδυλωτά με παραγωγή 435.400 τόνων αξίας 2 δισεκατομμυρίων δολαρίων, οι θαλάσσιες χελώνες με παραγωγή 370.000 τόνων αξίας 3,5 δισεκατομμυρίων δολαρίων και οι βάτραχοι με παραγωγή 131.300 τόνων αξίας 997 εκατομμυρίων δολαρίων. Τα πιο σημαντικά εκτρεφόμενα είδη ιχθύων είναι ο χορτοφάγος Κυπρίνος (*Ctenopharygodon idella*), η παραγωγή του οποίου αντιπροσωπεύει το 10,5% της παραγωγής των εκτρεφόμενων ιχθύων, ο Ασημοκυπρίνος (*Hyporhthalmichthys molitrix*) σε ποσοστό η παραγωγή του οποίου αντιπροσώπευε το 8,8%, η Τιλάπια του Νείλου (*Oreochromis niloticus*) στο 8,3% και ο κοινός Κυπρίνος (*Cyprinus carpio*) στο 7,7%. Τα πιο σημαντικά είδη εκτρεφόμενων μαλακίων είναι το στρείδι (*Crassostrea spp*), η παραγωγή του οποίου αντιπροσωπεύει το 29,5% της παραγωγής των εκτρεφόμενων μαλακίων, το Κυδώνι της Ιαπωνίας (*Ruditapes philippinarum*) στο 23,6% και τα κτένια (Pectinidae) στο 11%. Τέλος, τα σημαντικότερα εκτρεφόμενα είδη καρκινοειδών είναι η Γαρίδα της Κεντρικής Αμερικής (*Penaeus vannamei*) με ποσοστό 52,9% και η Αμερικανική Καραβίδα του γλυκού νερού (*Procambarus clarkii*) στο 18,2% (FAO, 2020).

Η συνεισφορά του τομέα των υδατοκαλλιέργειών στην παγκόσμια αλιευτική παραγωγή άγγιξε το 46% το 2018 συνεχίζοντας να εμφανίζει αυξητική τάση. Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως το 2000, η συνεισφορά του τομέα των υδατοκαλλιεργειών στην παγκόσμια αλιευτική παραγωγή ήταν μόλις 25,7%. Σε τοπικό επίπεδο, το 2018 ο τομέας

των υδατοκαλλιεργειών συνέβαλε σε ποσοστό 42% στη συνολική αλιευτική παραγωγή της Ασίας (πλην της Κίνας), σε ποσοστό 17,9% στη συνολική αλιευτική παραγωγή της Αφρικής, σε ποσοστό 17% στη συνολική αλιευτική παραγωγή της Ευρώπης, σε ποσοστό 15,7% στη συνολική αλιευτική παραγωγή της Αμερικής και σε ποσοστό 12,7% στη συνολική αλιευτική παραγωγή της Ωκεανίας. Η Κίνα αποτέλεσε ταυτόχρονα την κύρια χώρα παραγωγό ιχθύων και τη χώρα με τις περισσότερες εξαγωγές, ακολουθούμενη από τη Νορβηγία και το Βιετνάμ. Από την άλλη πλευρά, η Ευρωπαϊκή Ένωση αποτέλεσε τη μεγαλύτερη αγορά σε εισαγωγές ιχθύων, ακολουθούμενη από την Αμερική και την Ιαπωνία. Τέλος, το 2018 καταγράφηκαν συνολικά 622 διαφορετικά εκτρεφόμενα είδη υδατοκαλλιέργειας και εκτιμάται ότι εργάστηκαν στον τομέα των υδατοκαλλιεργειών περίπου 20,5 εκατομμύρια άνθρωποι (FAO, 2020).

1.2 Η υδατοκαλλιέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Το 2018, η υδατοκαλλιεργητική παραγωγή της Ευρωπαϊκής Ένωσης άγγιξε τους 1.365.112 τόνους, αξίας 4,3 δισεκατομμυρίων ευρώ, σημειώνοντας αύξηση 0,4% ως προς τον όγκο και 3,2% ως προς την αξία, συγκριτικά με το 2017. Η υδατοκαλλιεργητική παραγωγή αποτελείται κυρίως από εκτρεφόμενους ιχθύες και μύδια, ενώ τα υπόλοιπα εκτρεφόμενα και καλλιεργούμενα είδη (ασπόνδυλα, φύκη κλπ.) αποτέλεσαν ένα πολύ μικρό ποσοστό της παραγωγής. Πιο αναλυτικά, το 2018 παρήχθησαν συνολικά 695.885 τόνοι εκτρεφόμενων ιχθύων αξίας 3,2 δισεκατομμυρίων ευρώ και 667.934 τόνοι οστράκων αξίας 1,1 δισεκατομμυρίων ευρώ. Οι εκτρεφόμενοι ιχθύες αντιπροσωπεύουν το 51% του όγκου και το 74,4% της αξίας της συνολικής παραγωγής και τα εκτρεφόμενα όστρακα το 49% και το 25,5%, αντίστοιχα. Συγκριτικά με το 2017, η παραγωγή εκτρεφόμενων ιχθύων παρουσίασε μείωση 4,9% ως προς τον όγκο και 0,3% ως προς την

αξία και η παραγωγή εκτρεφόμενων οστράκων παρουσίασε μείωση 6,6% και 15,2%, αντίστοιχα (ΣΕΘ, 2020).

Το 2018, τα κυριότερα εκτρεφόμενα είδη υδατοκαλλιέργειας ως προς τον όγκο παραγωγής ήταν τα μύδια (*Mytilidae*) με παραγωγή 300.346 τόνων, ο σολομός του Ατλαντικού (*Salmo salar*) με παραγωγή 179.314 τόνων, η ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) με παραγωγή 174.987 τόνων, το μπλε μύδι (*Mytilus edulis*) με παραγωγή 128.503 τόνων και το στρείδι του Ειρηνικού (*Crassostrea gigas*) με παραγωγή 98.681 τόνων. Αντίστοιχα, τα κυριότερα εκτρεφόμενα είδη ως προς την αξία παραγωγής ήταν ο σολομός του Ατλαντικού (*S. salar*) με αξία παραγωγής 1.106.387 χιλιάδων ευρώ, η ιριδίζουσα πέστροφα (*O. mykiss*) με αξία παραγωγής 573.872 χιλιάδων ευρώ, το στρείδι του Ειρηνικού (*C. gigas*) με αξία 464.954 χιλιάδων ευρώ, το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) με αξία παραγωγής 463.027 χιλιάδων ευρώ και η τσιπούρα (*Sparus aurata*) με αξία παραγωγής 434.085 χιλιάδων ευρώ. Ως προς τον όγκο παραγωγής προϊόντων υδατοκαλλιέργειας στις τρεις πρώτες θέσεις κατατάσσονται η Ισπανία με 347.825 τόνους, το Ηνωμένο Βασίλειο με 197.618 τόνους και η Γαλλία με 185.650 τόνους, ενώ η Ελλάδα βρίσκεται στην πέμπτη θέση με 132.392 τόνους συνολικής παραγωγής. Ως προς την αξία παραγωγής στις τρεις πρώτες θέσεις κατατάσσονται το Ηνωμένο Βασίλειο με 1.075,3 εκατομμύρια ευρώ, η Γαλλία με 677,9 εκατομμύρια ευρώ και η Ελλάδα με 509,4 εκατομμύρια ευρώ (ΣΕΘ, 2020).

Όσον αφορά τους εκτρεφόμενους ιχθύες, τα κυριότερα είδη τόσο ως προς τον όγκο, όσο και ως προς την αξία παραγωγής είναι ο σολομός του ατλαντικού (*S. salar*), η ιριδίζουσα πέστροφα (*O. mykiss*), η τσιπούρα (*S. aurata*), το λαβράκι (*D. labrax*) και ο κοινός κυπρίνος (*Cyprinus carpio*). Η τσιπούρα και το λαβράκι αντιπροσωπεύουν το 25,3% του όγκου και το 27,7% της αξίας παραγωγής των ιχθύων υδατοκαλλιέργειας της

Ευρωπαϊκής Ένωσης και η παραγωγή τους πραγματοποιείται κυρίως σε 7 μεσογειακές χώρες (Ελλάδα, Ισπανία, Ιταλία, Γαλλία, Κροατία, Πορτογαλία και Κύπρος) με την Ελλάδα να αποτελεί μακράν τη σημαντικότερη χώρα παραγωγό και για τα δύο αυτά είδη. Το 2019, η παραγωγή τσιπούρας στην Ευρωπαϊκή Ένωση άγγιξε τους 103.276 τόνους παρουσιάζοντας αύξηση 3,1% συγκριτικά με το 2018 και η παραγωγή λαβρακιού άγγιξε τους 100.747 τόνους παρουσιάζοντας αύξηση 19,3% συγκριτικά με το 2018. Ωστόσο εκτιμήσεις για το 2020 προέβλεπαν μείωση της παραγωγής για τα δύο αυτά είδη (ΣΕΘ, 2020).

1.3 Η υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα

Η ελληνική υδατοκαλλιέργεια και κυρίως η ιχθυοκαλλιέργεια αποτελεί μία ιδιαίτερα ανταγωνιστική δραστηριότητα και έναν από τους σημαντικότερους κλάδους του πρωτογενούς τομέα ζωικής παραγωγής, που συμβάλει στην οικονομική ανάπτυξη και κοινωνική συνοχή της χώρας. Σήμερα, στα ελληνικά θαλάσσια ύδατα λειτουργούν πάνω από 300 μονάδες εκτροφής μεσογειακών ειδών ιχθύων, κυρίως τσιπούρας και λαβρακιού, καθώς και πολυάριθμες μονάδες οστρακοκαλλιέργειας, στις οποίες εκτρέφεται σχεδόν αποκλειστικά το Μεσογειακό μύδι. Επιπλέον στις ηπειρωτικές περιοχές της χώρας δραστηριοποιούνται 85 μονάδες εκτροφής ιχθύων εσωτερικών υδάτων, με κυριότερο είδος εκτροφής την πέστροφα και σε μικρότερο βαθμό τον κυπρίνο και το ευρωπαϊκό χέλι, ενώ στις λιμνοθάλασσες ασκείται η παραδοσιακή εκτατική υδατοκαλλιέργεια, μία δραστηριότητα με σημαντική οικονομική και κοινωνική συνεισφορά σε τοπικό επίπεδο, με τις οργανωμένες εκμεταλλεύσεις λιμνοθαλασσών να απαριθμούν τις 72. Τέλος, τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για την καλλιέργεια του κυανοβακτηριδίου σπιρουλίνα και του μακροφύκου *Ulva*, τα οποία

χρησιμοποιούνται ως συμπληρώματα διατροφής αλλά και ως πρώτες ύλες για την κατασκευή καλλυντικών, για βιοκαύσιμα, κλπ. (ΣΕΘ, 2020).

Το 2019, ο συνολικός όγκος της ελληνικής υδατοκαλλιεργητικής παραγωγής (συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής από τις εκτατικές εκμεταλλεύσεις λιμνοθαλασσών) ανήλθε σε 149.975 τόνους, αξίας 564,6 εκ. ευρώ, καταγράφοντας αύξηση 2% ως προς τον όγκο παραγωγής και 5% ως προς την αξία παραγωγής, συγκριτικά με το 2018. Το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής αυτής αντιπροσώπευαν τα ψάρια ιχθυοκαλλιέργειας, θαλάσσιων και εσωτερικών υδάτων, τα οποία αποτελούσαν το 85% του όγκου παραγωγής και το 98% της αξίας αυτής, και ακολουθούσαν τα μύδια, τα οποία μολονότι αποτελούσαν το 15% του όγκου παραγωγής, αντιστοιχούσαν μόλις στο 2% της αξίας παραγωγής. Πιο αναλυτικά, η παραγωγή από την εκτροφή ιχθύων σε θαλάσσια και εσωτερικά νερά (μη συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής από τις εκτατικές εκμεταλλεύσεις λιμνοθαλασσών) ανήλθε σε 127.055 τόνους, αξίας 553,4 εκ. ευρώ, με το 98% του όγκου των εκτρεφόμενων ιχθύων να προέρχεται από εκτροφές σε θαλάσσια ύδατα, και μόλις το 2% να προέρχεται από εκτροφές σε εσωτερικά. Η παραγωγή οστρακοειδών ανήλθε στους 22.020 τόνους, αξίας 7,8 εκ. ευρώ, ενώ η καλλιέργεια υδρόβιων φυτών συμμετείχε ελάχιστα στην συνολική εγχώρια παραγωγή (0,07%), σημειώνοντας μάλιστα μείωση τόσο ως προς τον όγκο όσο και προς την αξία της συγκριτικά με το 2018 (ΣΕΘ, 2020).

Σχετικά με την εκτροφή θαλάσσιων μεσογειακών ιχθύων το 2019, αυτή αντιπροσώπευε το 83,8% του όγκου και το 97% της αξίας της συνολικής παραγωγής της χώρας. Τα κύρια είδη εκτροφής ήταν η τσιπούρα (*S. aurata*) και το λαβράκι (*D. labrax*), τα οποία αποτελούσαν το 96% των πωλήσεων, ενώ σε πολύ μικρότερη κλίμακα, περίπου 4%, εκτρέφονταν όλα τα υπόλοιπα μεσογειακά είδη, όπως το λυθρίνι (*Pagellus*

erythrinus), ο κρανιός (*Argyrosomus regius*), η συναγρίδα (*Dentex dentex*) κ.ά. Όσον αφορά την παραγωγή των κύριων εκτρεφόμενων ειδών, της τσιπούρας και του λαβρακιού, ανήλθε σε 120.500 τόνους, εκ των οποίων 65.300 τόνοι τσιπούρας και 55.200 τόνοι λαβρακιού, συνολικής αξίας 545,6 εκ. ευρώ, σημειώνοντας αύξηση σχεδόν 3% ως προς τον όγκο παραγωγής (εξαιτίας της αυξημένης παραγωγής λαβρακιού) και οριακή μείωση 1% ως προς την αξία πωλήσεων (εξαιτίας της μειωμένης τιμής και για τα δύο είδη). Η τσιπούρα αντιστοιχούσε στο 54% του όγκου παραγωγής, παρουσιάζοντας αύξηση παραγωγής 4,6%, συγκριτικά με το 2018, και το λαβράκι αντιστοιχούσε στο 46% του όγκου παραγωγής παρουσιάζοντας αύξηση 4,1% σε σχέση με το 2018, με τις εκτιμήσεις για την παραγωγή των δύο αυτών ειδών το 2020 να προβλέπουν μείωση 3% και κύμανσή της στους 117.000 τόνους. Οι τιμές των δύο αυτών ειδών παρουσίασαν πτώση συγκριτικά με το προηγούμενο έτος. Πιο συγκεκριμένα, η μέση τιμή πώλησης της τσιπούρας ανήλθε στα 4,51€/κιλό, παρουσιάζοντας οριακή μείωση 0,5% συγκριτικά με το 2018, ενώ για το λαβράκι η μέση τιμή πώλησης κυμάνθηκε στα 4,55€/κιλό μειωμένη σχεδόν κατά 8,5%. Τέλος, η εκτροφή βιολογικών ψαριών αντιπροσώπευε ένα εξαιρετικά μικρό ποσοστό της ελληνικής παραγωγής, καθώς η ζήτησή τους παρέμεινε περιορισμένη (ΣΕΘ, 2020).

Όντας ιδιαίτερα εξωστρεφής ο κλάδος της ελληνικής υδατοκαλλιέργειας, συμβάλει σημαντικά στην προσφορά εκτρεφόμενων ιχθύων, κυρίως τσιπούρας και λαβρακιού, στην ευρωπαϊκή αγορά, με το 72% της παραγωγής να διατίθεται στις αγορές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το 6% της παραγωγής να διατίθεται σε τρίτες χώρες και το 22% να προσφέρεται για εγχώρια κατανάλωση. Το σύνολο των εξαγωγών περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο νωπά ψάρια, με τις αγορές της Ιταλίας, της Ισπανίας και της Γαλλίας να απορροφούν παραδοσιακά το μεγαλύτερο μέρος της ελληνικής παραγωγής. Πιο

αναλυτικά και σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα δεδομένα η χώρα μας αποτελεί τον κύριο προμηθευτή τσιπούρας και λαβρακιού της Ιταλίας, κατέχοντας ποσοστό 58% των εισαγωγών για τα δύο αυτά είδη, της Ισπανίας, κατέχοντας ποσοστό 59,5% και της Γαλλίας, κατέχοντας ποσοστό 48,4% (ΣΕΘ, 2020).

Ο κλάδος της ελληνικής υδατοκαλλιέργειας προσφέρει έναν σημαντικό αριθμό θέσεων εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, εκτιμάται ότι ο κλάδος προσφέρει, άμεσα και έμμεσα, εργασιακή απασχόληση σε περίπου 12.000 εργαζόμενους διάφορων ειδικοτήτων μεταξύ των οποίων, επιστημονικό, τεχνικό και εργατικό προσωπικό. Η πλειονότητα των θέσεων απασχόλησης (83%) αφορούν τη θαλάσσια υδατοκαλλιέργεια και ένα μικρότερο ποσοστό την εκτροφή σε υφάλμυρα και εσωτερικά νερά (10% και 7% των θέσεων, αντίστοιχα). Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι ο μεγαλύτερος αριθμός των θέσεων εργασιακής απασχόλησης βρίσκεται σε απομακρυσμένες περιοχές της ελληνικής επικράτειας, κυρίως νησιωτικές, συμβάλλοντας και ενισχύοντας την οικονομική ανάπτυξη των τοπικών κοινωνιών. Τέλος, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η χώρα μας κατέχει ένα από τα υψηλότερα ποσοστά απασχόλησης επί του συνόλου των απασχολούμενων στην κλάδο της υδατοκαλλιέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΣΕΘ, 2020).

1.4 Επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών στο θαλάσσιο περιβάλλον

Παρά την σημαντική συμβολή της και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει στην παραγωγή τροφής, στην αντιμετώπιση του επισιτιστικού προβλήματος και στην οικονομία, η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί μία δραστηριότητα που συχνά γίνεται

αντικείμενο έντονης κριτικής αναφορικά με τις επιπτώσεις που προκαλεί (Dabi, 2015; Tičina et al., 2020).

Οι επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών, και πιο συγκεκριμένα των ιχθυοκαλλιεργειών στο θαλάσσιο περιβάλλον, έχουν καταγραφεί, μελετηθεί και αξιολογηθεί από πολλούς ερευνητές. Σύμφωνα με τον Silvert (1992), οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών διακρίνονται στις μικρής κλίμακας τοπικές επιπτώσεις, οι οποίες επιδρούν στο άμεσο περιβάλλον σε ακτίνα ενός χιλιομέτρου και στις περιφερειακές επιπτώσεις, οι οποίες επιδρούν σε μία χωρική κλίμακα πολλών χιλιομέτρων. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει επιπτώσεις στα θρεπτικά συστατικά του νερού και του ιζήματος στην περιοχή εγκατάστασης και επιπτώσεις στο βιοτικό περιβάλλον, που συνεπάγονται αλλαγές στην παραγωγικότητα του οικοσυστήματος και αλλαγές στη βιοποικιλότητα, κυρίως όσον αφορά τις βενθικές βιοκοινότητες κάτω από τις εγκαταστάσεις εκτροφής. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει επιπτώσεις εξαιτίας της διαφυγής και της αλληλεπίδρασης εκτρεφόμενων ιχθύων με φυσικούς πληθυσμούς, που συνεπάγονται γενετικές αλλαγές στους άγριους πληθυσμούς, επιπτώσεις σε απειλούμενα είδη και αλλαγές στη συμπεριφορά των αλιευτικών κοινοτήτων.

Σύμφωνα με τον Κλαουδάτο (2005), και σε μία ίσως πιο ολοκληρωμένη ταξινόμηση, οι επιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών διακρίνονται σε αυτές που προκύπτουν από την εγκατάσταση και σε αυτές που προκύπτουν από τη λειτουργία των μονάδων εκτροφής. Στις επιπτώσεις που προκύπτουν από την εγκατάσταση των μονάδων περιλαμβάνονται, η δέσμευση του θαλάσσιου χώρου και η στέρησή του από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες που τον αξιοποιούν (πχ. τουρισμός, ναυτιλία), οι μηχανικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τις μονάδες εκτροφής, όπως η μεταβολή της ταχύτητας των θαλάσσιων ρευμάτων εξαιτίας των διχτυών και οι επιπτώσεις στους

βενθικούς οικότοπους εξαιτίας του συστήματος αγκύρωσης (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2018), η όχληση και η ηχητική ρύπανση που προκαλείται από τους εργάτες, τα σκάφη και τον εξοπλισμό κατά την καθημερινή λειτουργία των μονάδων και η αισθητική υποβάθμιση της περιοχής. Στις επιπτώσεις που προκύπτουν από την λειτουργία των μονάδων περιλαμβάνονται, ο εμπλουτισμός της υδάτινης στήλης και του ιζήματος με διαλυμένες ενώσεις, όπως αμμωνία, νιτρώδη, νιτρικά και φωσφορικά άλατα και με οργανικές ενώσεις, η χημική ρύπανση του νερού από ουσίες που χρησιμοποιούνται για την πρόληψη και θεραπεία ασθενειών των εκτρεφόμενων ιχθύων, αλλά και από ουσίες που χρησιμοποιούνται ως μέσα αποτροπής της βιοεπίστρωσης των δικτύων (antifouling), η προσέλκυση φυσικών θηρευτών, όπως άγρια ψάρια, πτηνά και υδρόβια θηλαστικά και η γενετική ρύπανση που μπορεί να προκύψει από την απόδραση εκτρεφόμενων ιχθύων και να επηρεάσει αρνητικά τα τοπικά άγρια είδη μέσω υβριδισμού, θήρευσης, ανταγωνισμού και μετάδοσης ασθενειών (Dabi, 2015; Tičina et al., 2020).

Ο εμπλουτισμός με θρεπτικά συστατικά και οργανικό άνθρακα της υδάτινης στήλης και του ιζήματος συγκαταλέγεται στις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών, και προκαλείται από τα απόβλητα των μονάδων εκτροφής και πιο συγκεκριμένα από την διαλυμένη ή/και μη καταναλωθείσα προσφερόμενη τροφή και από τα προϊόντα του μεταβολισμού των εκτρεφόμενων ιχθύων (Tett, 2008; Dabi, 2015). Η ποσότητα και ποιότητα των εισροών των θρεπτικών συστατικών από τις μονάδες εκτροφής εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της μονάδας (συνολική ετήσια παραγωγή και πυκνότητα εκτροφής), από τα χαρακτηριστικά της προσφερόμενης τροφής (ποσότητα, ποιότητα, διαλυτότητα, βαθμός πεπτικότητας και απορρόφησης) και από τις υδρογραφικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του πυθμένα

της περιοχής εγκατάστασης (ρευμάτωση, ρυθμός ανανέωσης του νερού, βάθος και τύπος ιζήματος)(Κλαουδάτος, 2005; Neofitou et al., 2019).

Τα σωματίδια της μη καταναλωθείσας τροφής και τα απεκκρίματα των εκτρεφόμενων οργανισμών περιέχουν άζωτο και φώσφορο και μπορούν να προκαλέσουν αύξηση της παραγωγικότητας, ενισχύοντας την ανάπτυξη υδρόβιων φυτών και φυκών, ενώ σε ακραίες περιπτώσεις μπορούν να συμβάλουν στην εμφάνιση φαινομένων ευτροφισμού (Tett, 2008; Boyd, 2011; Dabi, 2015). Κατά το φαινόμενο του ευτροφισμού, ο εμπλουτισμός του νερού με θρεπτικά συστατικά και ειδικότερα με διαλυμένες ενώσεις του αζώτου και του φωσφόρου, όπως αμμωνιακά, νιτρώδη και φωσφορικά άλατα, προκαλεί ραγδαία και επιταχυνόμενη ανάπτυξη των φυκών και δημιουργεί ανεπιθύμητες διαταραχές στην ισορροπία των οργανισμών και στην ποιότητα του νερού. Οι βλαβερές συνέπειες του φαινομένου έγκεινται στην αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ανθίσεων επιβλαβών φυκών (όπως αυτών που προκαλούν τις κόκκινες παλίρροιες, αυτών που προκαλούν αφρισμό, καθώς και άλλων τοξικών ανθίσεων που μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στους εκτρεφόμενους ιχθύες και στον άνθρωπο) και στην εξάντληση του οξυγόνου από το υδάτινο σύστημα κατά την αποσύνθεση της βιομάζας των νεκρών φυκών (Tett, 2008). Σύμφωνα με τον Sawyer (1966), για την αύξηση των φυτικών κυττάρων και την εμφάνιση ευτροφικών συνθηκών θα πρέπει οι συγκεντρώσεις του ολικού ανόργανου αζώτου να ξεπερνούν τα 0,3mg/l και του ανόργανου φωσφόρου τα 0,01mg/l. Στην χώρα μας, το φαινόμενο του ευτροφισμού είναι περιορισμένο σε κλειστούς και ημίκλειστους κόλπους και η εμφάνισή του επηρεάζεται σε πολύ μικρό βαθμό από τις ιχθυοκαλλιέργειες, καθώς η μεγαλύτερη ποσότητα θρεπτικών συστατικών που το προκαλούν προέρχεται από τις γεωργικές απορροές, τα αστικά λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα (Κλαουδάτος, 2005).

Επιπρόσθετα, τα σωματίδια μη καταναλωθείσας τροφής και τα απεκκρίματα των εκτρεφόμενων οργανισμών που φτάνουν και συγκεντρώνονται στον πυθμένα κάτω και πλησίον των μονάδων εκτροφής, αυξάνουν την οργανική ύλη στο ίζημα επηρεάζοντας τους οργανισμούς που ζουν μέσα ή πάνω σε αυτό και οδηγούν σε αλλαγή της δομής των βενθικών κοινοτήτων και σε μείωση της ποικιλότητας και αφθονίας των βενθικών ειδών (Dabi, 2015). Σε μικρές ποσότητες, η οργανική ύλη παρέχει τροφή στους βενθικούς και βενθοπελαγικούς οργανισμούς, ωστόσο η συσσώρευσή της στον βυθό συμβάλλει στον σχηματισμό ανοξικών συνθηκών (απουσία οξυγόνου στο ίζημα) και αντικατάσταση των αερόβιων βακτηρίων που διαβιούν εκεί με αναερόβια βακτήρια τα οποία απελευθερώνουν ως προϊόντα του μεταβολισμού τους, μεθάνιο, θείο και υδρόθειο, αέρια που είναι ιδιαίτερα τοξικά για τους εκτρεφόμενους ιχθύες και τους υπόλοιπους υδρόβιους οργανισμούς (Tett, 2008). Τέλος, τα σωματίδια μη καταναλωθείσας τροφής και τα απεκκρίματα των εκτρεφόμενων ιχθύων μπορούν να προκαλέσουν αλλοίωση στη σύσταση του ιζήματος (Κλαουδάτος, 2005), όπως για παράδειγμα αύξηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων, καθώς πολλά από αυτά αποτελούν συστατικά των ιχθυοτροφών (Tett, 2008).

Για τη μελέτη, διερεύνηση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ιχθυοκαλλιέργειών στο υδάτινο περιβάλλον έχει πραγματοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός εργασιών από διάφορους ερευνητές. Ειδικότερα, για τον εμπλουτισμό που προκύπτει από τα απόβλητα των ιχθυοκαλλιεργητικών μονάδων έχει πραγματοποιηθεί έρευνα για την αξιολόγηση των επιπτώσεων στα θρεπτικά άλατα και στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της υδάτινης στήλης (La Rosa et al., 2002; Nordvarg & Johansson, 2002; Pitta et al., 2006; Mantzavarakos et al., 2007; Sarà, 2007; Neofitou & Kladatos, 2008; Aksu et al., 2010; Basaran et al., 2010; Neofitou et al., 2019; Kucuksezgin et al., 2021),

για την αξιολόγηση των επιπτώσεων στις βιογεωχημικές ιδιότητες του ιζήματος (Karakassis et al., 2000; Kalantzi & Karakassis, 2006; Matijević et al., 2006; Pusceddu et al., 2007; Aksu et al., 2010; Papageorgiou et al., 2010; Farmaki et al., 2014; Morata et al., 2015) και την αξιολόγηση των επιπτώσεων στην βενθική μακροπανίδα (Karakassis et al., 2000; Kliaoudatos et al., 2006; Machias et al., 2006; Neofitou et al., 2010). Τέλος, έχει πραγματοποιηθεί έρευνα για τις επιπτώσεις στα λιβάδια Ποσειδωνίας (Cancemi et al., 2003; Machias et al., 2006; Pergent-Martini et al., 2006; Apostolaki et al., 2007; Holmer et al., 2008) και για τις επιπτώσεις στις συγκεντρώσεις άγριων ψαριών κοντά στις μονάδες εκτροφής (Machias et al., 2004; Neofitou 2016).

1.5 Περιοχή έρευνας

Ο Παρασητικός κόλπος βρίσκεται στο δυτικό Αιγαίο πέλαγος, βόρεια της Εύβοιας και περιβάλλεται από το Χαλκοδόνιο όρος, τα βουνά Γούρας, το όρος Όθρυς και το όρος Πήλιο. Αποτελεί έναν ημίκλειστο, ολιγότροφο και σχετικά αβαθή κόλπο έκτασης 520 km² και όγκου 36 km³, στον οποίο εκβάλλουν μικροί ποταμοί και χείμαρροι, με ακτογραμμή που παρουσιάζει πολλές εγκολλώσεις, οι μεγαλύτερες από τις οποίες σχηματίζουν τους όρμους του Βόλου και του Αλμυρού. Οι μέγιστες διαστάσεις του Παρασητικού κόλπου σε μήκος και πλάτος είναι σχεδόν ίσες και φτάνουν περίπου τα 30 km η καθεμία, το μέγιστο βάθος του αγγίζει τα 108 m, ενώ το μέσο βάθος του αγγίζει τα 69 m. Το ανάγλυφο του πυθμένα του κόλπου στο δυτικό και βόρειο τμήμα του παρουσιάζει ομαλή κλίση και διαφέρει από το ανάγλυφο του πυθμένα στο ανατολικό τμήμα του, το οποίο εμφανίζεται πιο απότομο. Όσον αφορά την υδάτινη στήλη, αυτή εμφανίζεται ομογενοποιημένη κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ κατά τους θερινούς μήνες λαμβάνει χώρα ο σχηματισμός θερμοκλινούς, στο βάθος μεταξύ των 20 και 30 m.

Στο βόρειο τμήμα του κόλπου απαντάται η πόλη του Βόλου, η οποία αποτελεί το σημαντικότερο αστικό κέντρο της περιοχής, ενώ στο νότιο τμήμα του βρίσκεται το στόμιο του κόλπου, εύρους 5,5 km και βάθους 80 m, μέσω του οποίου ο Παγασητικός επικοινωνεί με τον διάυλο του νησιού Τρίκερι και με τον βόρειο Ευβοϊκό κόλπο (Friligos, 1988; Περισωράτης και συν., 1990; Φριλίγκος και συν., 1992; Petihakis et al., 2002).

Η ανανέωση των υδάτων του Παγασητικού κόλπου στο βαθύτερο στρώμα του πραγματοποιείται από το στόμιο στο νότιο τμήμα του, με την είσοδο νερού προς το ανατολικό τμήμα του κόλπου και την έξοδο νερού από το δυτικό. Αντίθετα, η ανανέωση των επιφανειακών υδάτων ακολουθεί την αντίστροφη πορεία. Στην έκταση του κόλπου καταγράφονται θαλάσσια ρεύματα με ταχύτητες μικρότερες των 40 cm/sec και παλιρροιακά ρεύματα, τα οποία είναι ιδιαίτερα ασθενή (Φριλίγκος και συν., 1992).

Αναφορικά με τη σύσταση του πυθμένα και τον τύπο του ιζήματος στον Παγασητικό κόλπο διακρίνονται τέσσερις περιοχές. Η πρώτη περιοχή καλύπτεται από πολύ λεπτόκοκκο υλικό (πηλός, με σύσταση 51,79% άργιλος και 44,97% ιλύς) και καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα του κόλπου. Η δεύτερη περιοχή καλύπτεται από λεπτόκοκκο υλικό (ιλύς, με σύσταση 24,55% άργιλος και 67,85% ιλύς) και καταλαμβάνει το ανατολικό τμήμα του κόλπου. Η τρίτη περιοχή καλύπτεται από σχετικά χονδρόκοκκο υλικό (αμμώδης ιλύς, με σύσταση 22,56% άμμος και 56,87% ιλύς) και καταλαμβάνει το δυτικό τμήμα του κόλπου του Βόλου και τέλος, η τέταρτη περιοχή καλύπτεται από ακόμα πιο χονδρόκοκκο υλικό (πηλούχος άμμος, με σύσταση 65,48% άμμος, 16,93% ιλύς και 17,58% άργιλος) και καλύπτει το δυτικό τμήμα του Παγασητικού και το στενό του Τρίκερι (Φριλίγκος και συν., 1992).

Σύμφωνα με τον Παπακωνσταντίνου και συν. (1989), το ανατολικό τμήμα του Παγασητικού παρουσιάζει μεγαλύτερα βάθη και χαμηλότερη αλατότητα συγκριτικά με το δυτικό τμήμα. Στην έκταση του κόλπου η θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων κυμαίνεται από 12 έως 25,5°C και η αλατότητα από 36 έως 38‰, ενώ στα υδάτινα στρώματα σε βάθος μεγαλύτερο των 50 m η θερμοκρασία είναι σχεδόν σταθερή και κυμαίνεται από 13 έως 15°C και η αλατότητα ομοίως κυμαίνεται από 38 έως 38,5‰. Ωστόσο, σύμφωνα με τους Theodorou & Petihakis (2000), το θερμοκρασιακό εύρος των υδάτων του Παγασητικού κυμαίνεται από 12,5 έως 27,4°C και το εύρος της αλατότητας κυμαίνεται από 32 έως 38‰. Οι υδάτινες μάζες είναι γενικά κορεσμένες σε διαλυμένο οξυγόνο, ωστόσο αυτό δεν ισχύει στα μεγάλα βάθη του ανατολικού τμήματος του κόλπου, όπου το διαλυμένο οξυγόνο ελαττώνεται και παίρνει τιμή 4mg/l, στο μέγιστο βάθος.

Ο Παγασητικός δέχεται έντονες επιδράσεις από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, κυρίως κοντά στην βιομηχανική πόλη του Βόλου. Η εντατική καλλιέργεια της γης στα περίχωρα του κόλπου, η οποία συνεπάγεται με χρήση λιπασμάτων πλούσιων σε άζωτο, φώσφορο και θείο, οι εισροές από την λίμνη Κάρλα, καθώς και η έκχυση οικιακών λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων, συμβάλουν στη ρύπανση του κόλπου και στον εμπλουτισμό του με θρεπτικά συστατικά, γεγονός που σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη θερινή περίοδο μπορεί να οδηγήσει σε ανθίσεις επιβλαβών φυκών και να επηρεάσει αρνητικά την αλιεία και τον τουρισμό. Ωστόσο, το όλο οικολογικό σύστημα μπορεί, μέσω διάφορων μηχανισμών και διεργασιών, να ανταποκριθεί στον εμπλουτισμό (μέχρι ενός ορίου) και να αποτρέψει την εμφάνιση ανεπιθύμητων επιπτώσεων (Triantafyllou et al., 2001).

Σύμφωνα με το εγκεκριμένο Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας, στο παράκτιο υδάτινο σώμα «Παγασητικός Κόλπος» με κωδικό GR0817C0006N, η οικολογική κατάσταση είναι μέτρια (μετρήσεις του προγράμματος MEDPOL 2000-2004) και η χημική κατάσταση κατώτερη της καλής (μετρήσεις του Γενικού Χημείου του Κράτους της περιόδου 2006-2008). Ωστόσο, με βάση τα αποτελέσματα του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60ΕΚ και τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν για όλες τις παραμέτρους (βιολογικές και φυσικοχημικές) στους σταθμούς παρακολούθησης για την περίοδο 2012-2015, η οικολογική και χημική κατάσταση του κόλπου αξιολογείται ως καλή (Παπαδημητρίου, 2018).

Εντός του Παγασητικού κόλπου διενεργείται μικρή παράκτια και μέση αλιεία και λαμβάνει χώρα η λειτουργία δύο μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας. Οι μονάδες αυτές εντοπίζονται τοποθετημένες στη Μηλίνα και τις Νηές, δύο περιοχές που χαρακτηρίζονται ως Περιοχές Άτυπης Συγκέντρωσης Μονάδων (ΠΑΣΜ) και βάση του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης δεν υπάγονται σε κάποιο ιδιαίτερο καθεστώς αναφορικά με τις ιχθυοκαλλιέργειες (Παπαδημητρίου, 2018).

1.6 Σκοπός της έρευνας

Η παρούσα προπτυχιακή διατριβή έχει ως σκοπό την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων των ιχθυοκαλλιεργειών στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Γενικά

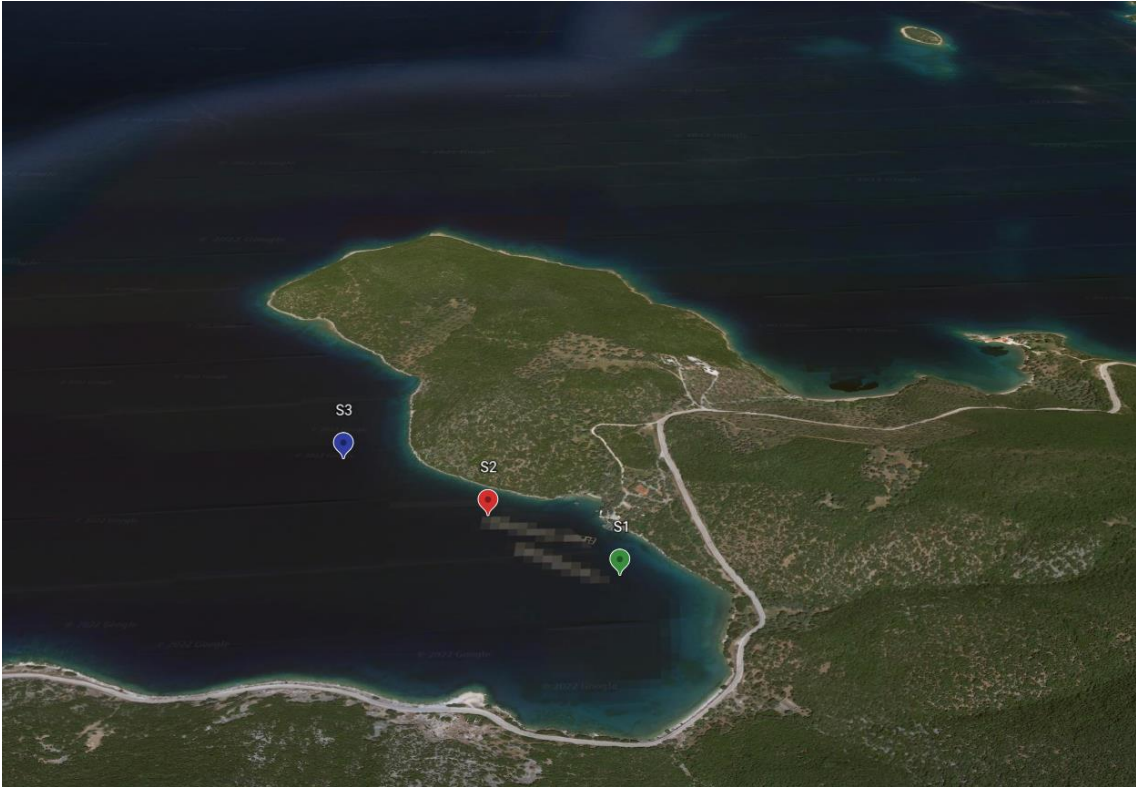
Για την παρούσα έρευνα επιλέχθηκαν οι εγκαταστάσεις της ιχθυοκαλλιεργητικής μονάδας, ιδιοκτησίας της εταιρείας «Υδρόβιος ΕΠΕ Υδατοκαλλιέργειες», που βρίσκεται στον νοτιοανατολικό Παγασητικό και πιο συγκεκριμένα στη Μηλίνα, στο δήμο νοτίου Πηλίου, της δημοτικής ενότητας Σηπιάδων. Στις εγκαταστάσεις της συγκεκριμένης μονάδας πραγματοποιείται εντατική εκτροφή των δύο κύριων μεσογειακών ιχθύων, της τσιπούρας (*S. aurata*) και του λαβρακιού (*D. labrax*). Το μέσο ετήσιο ζωντανό απόθεμα της μονάδας αγγίζει τους 130 τόνους και η ανανέωσή του πραγματοποιείται με εισαγωγές ιχθυδίων από ελληνικούς ιχθυογεννητικούς σταθμούς. Η εκτροφή πραγματοποιείται εντός 18 κλωβών πολυαιθυλενίου, εκ των οποίων οι 12 έχουν διαστάσεις 7,5x15x8 m (μήκος, πλάτος βάθος) και οι 6 έχουν διαστάσεις 15x15x10 m. Το άνοιγμα ματιού των δικτύων στους κλωβούς ποικίλει από 5 έως 17 mm και εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης και το είδος του εκτρεφόμενου οργανισμού. Η σίτιση των οργανισμών πραγματοποιείται με τη χορήγηση συμπήκτων (pellets) διαφόρων μεγεθών και ο ρυθμός μετατροπής της τροφής (FCR) για τα εκτρεφόμενα είδη ισούται με 1,7. Στην περιοχή εγκατάστασης εντοπίζεται θαλάσσιο ρεύμα με φορά από την ξηρά προς το κέντρο του Παγασητικού ταχύτητας 3,5 cm/s (Neofitou & Kloudatos, 2008).

Για την επίτευξη του σκοπού της έρευνας πραγματοποιήθηκε στην περιοχή λειτουργίας της ιχθυοκαλλιεργητικής μονάδας, στις 12/07/2021 μεταξύ 10:00 και 12:00, λήψη δειγμάτων νερού για τον υπολογισμό του εμπλουτισμού της περιοχής με θρεπτικά άλατα (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά και πυριτικά) ως απόρροια των υπολειμμάτων τροφής και των προϊόντων του μεταβολισμού των εκτρεφόμενων ιχθύων.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε καταγραφή των φυσικοχημικών (θερμοκρασία, αλατότητα, pH, διαλυμένο οξυγόνο) και βιολογικών (χλωροφύλλη *a*) χαρακτηριστικών του νερού, τα οποία σχετίζονται με την ανάπτυξη και την ευζωία των εκτρεφόμενων ιχθύων. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά τη θερινή περίοδο, εξαιτίας της αυξημένης παροχής τροφής που λαμβάνει χώρα στη μονάδα και της αυξημένης μεταβολικής δραστηριότητας των εκτρεφόμενων οργανισμών κατά την περίοδο αυτή, καθώς και εξαιτίας των περιβαλλοντικών και καιρικών συνθηκών, που ευνοούν την εκδήλωση φαινομένων ευτροφισμού.

2.2 Δειγματολογικό πλέγμα σταθμών

Η συλλογή δειγμάτων νερού πραγματοποιήθηκε σε συνολικά τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (Εικ. 2.1). Από αυτούς, οι δύο πρώτοι βρίσκονται πλησίον των κλωβών εκτροφής και θα αναφέρονται ως S1 και S2, ενώ ο τρίτος σταθμός, ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση περίπου 300 m από την μονάδα αποτελεί τον σταθμό ελέγχου (control) και θα αναφέρεται ως S3. Η λήψη των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε μετά το πρωινό τάισμα των εκτρεφόμενων οργανισμών.



Εικόνα 2.1: Θέση των σταθμών δειγματοληψίας στην περιοχή έρευνας.

2.3 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

2.3.1. Υδάτινη στήλη

Σε κάθε έναν από τους συνολικά 3 σταθμούς μετρήθηκαν σε όλη την υδάτινη στήλη, από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα, η θερμοκρασία, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, η ενεργός οξύτητα (pH) και η χλωροφύλλη *a* (Chl-*a*), με τη χρήση συνεχούς καταγραφέα CTD (SEABIRD-19plus) (Εικ. 2.2)



Εικόνα 2.2: Αυτογραφικό όργανο καταγραφής φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού της εταιρείας Sea Bird Electronics.

2.3.2 Θρεπτικά άλατα

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακών, νιτρικών, φωσφορικών και πυριτικών) στην υδάτινη στήλη συλλέχθηκαν από κάθε σταθμό δειγματοληψίας δείγματα νερού με τη βοήθεια δειγματολήπτη νερού (Limnos 1.4 lt), από την επιφάνεια της θάλασσας, τα 5 m και στη συνέχεια κάθε 10 m βάθους μέχρι τον πυθμένα (συνολικά 14 δείγματα νερού).

Στα δείγματα νερού, αφού πρώτα τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια των 500 ml, προστέθηκε χλωριούχος υδράργυρος (2 ml HgCL₂ 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. 2.3), 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 (Πίν. 2.1)



Εικόνα 2.3: Φασματοφωτόμετρο SHIMADZU UV-1800.

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

Θερμοκρασία °C	5	10	15	20	25	30
pKa	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:

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

Νιτρώδη (NO₂): Για τον προσδιορισμό των νιτρωδών προστέθηκαν στο δείγμα θαλασσινού νερού συγκεκριμένες ποσότητες αντιδραστηρίων σουλφαναμιδίου (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/l NO₃-N (APHA, 1981).

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 sulfite) 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 SPSS. 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 Tukey's test. 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 χλωροφύλλη *a*) της στήλης του νερού κατά την καλοκαιρινή περίοδο,

για τους 3 σταθμούς δειγματοληψίας. Στα Διαγράμματα 3.1-3.15 παρουσιάζονται οι κατανομές των φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων σε συνάρτηση με το βάθος στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας.

Σχετικά με τη θερμοκρασία της υδάτινης στήλης του νερού για τους 3 σταθμούς δειγματοληψίας, η ελάχιστη και μέγιστη τιμή καταγράφηκε στον σταθμό S3, στα 39 m βάθος και στην επιφάνεια, αντίστοιχα ($15,53^{\circ}\text{C}$ και $27,28^{\circ}\text{C}$). Η μέση θερμοκρασία της υδάτινης στήλης στον σταθμό S1 είναι $24,92 \pm 2,59^{\circ}\text{C}$, στον S2 $22,40 \pm 3,84^{\circ}\text{C}$ και στον S3 $21,86 \pm 4,55^{\circ}\text{C}$.

Η μέγιστη τιμή αλατότητας καταγράφηκε στον σταθμό δειγματοληψίας S1 ($39,49$ psu), ενώ η ελάχιστη τιμή εμφανίστηκε στον σταθμό S3 και είναι $37,51$ psu. Στον σταθμό S1 οι τιμές αλατότητας κυμάνθηκαν από $37,53$ έως $39,49$ psu, στον σταθμό S2 από $37,52$ έως $39,41$ psu και στον σταθμό S3 από $37,51$ έως $38,80$ psu. Η μέση αλατότητα στον σταθμό S1 είναι $38,01 \pm 0,57$ psu, στον S2 $38,21 \pm 0,52$ psu και στον S3 $38,20 \pm 0,51$ psu.

Η μέγιστη τιμή διαλυμένου οξυγόνου καταγράφηκε στον σταθμό S3 ($5,99$ mg/l), ενώ η ελάχιστη τιμή βρέθηκε στον σταθμό S1 ($4,47$ mg/l). Στον σταθμό S1 οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου κυμάνθηκαν από $4,47$ έως $5,56$ mg/l, στον S2 από $4,83$ έως $5,87$ mg/l και στον S3 από $4,79$ έως $5,99$ mg/l. Η μέση τιμή διαλυμένου οξυγόνου στον σταθμό S1 είναι $4,97 \pm 0,33$ mg/l, στον S2 $5,35 \pm 0,39$ mg/l και στον S3 $5,51 \pm 0,46$ mg/l.

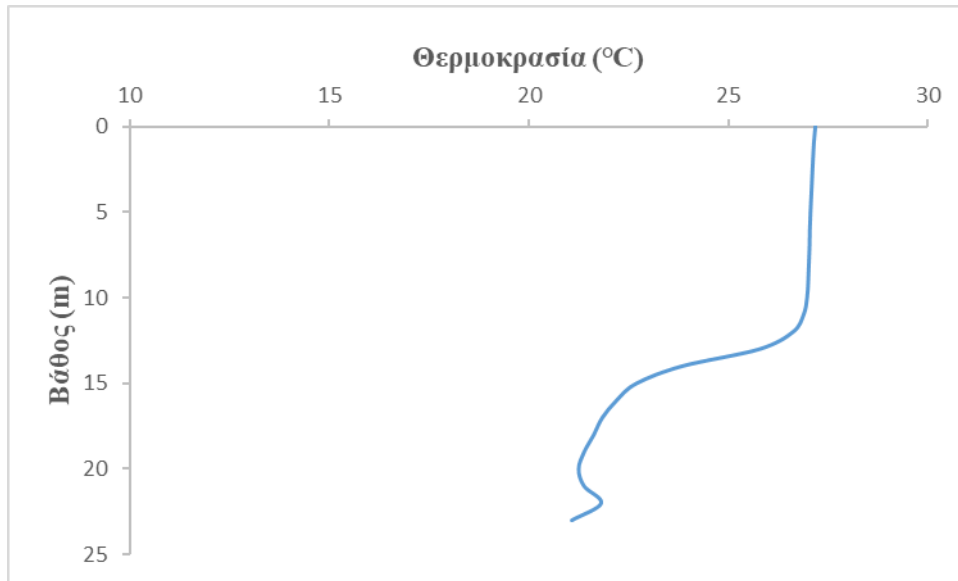
Η μέγιστη τιμή pH καταγράφηκε στον σταθμό S1 ($8,62$), ενώ η ελάχιστη τιμή pH εμφανίστηκε στον S3 και είναι $8,42$. Γενικά, οι τιμές του pH παρουσίασαν μικρές διακυμάνσεις σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας. Ειδικότερα οι τιμές του pH στον σταθμό S1 κυμάνθηκαν από $8,53$ έως $8,62$, στον S2 από $8,47$ έως $8,60$ και στον S3 από

8,42 έως 8,59. Η μέση τιμή pH στον σταθμό S1 είναι $8,58 \pm 0,03$, στον S2 $8,53 \pm 0,05$ και στον S3 $8,51 \pm 0,06$.

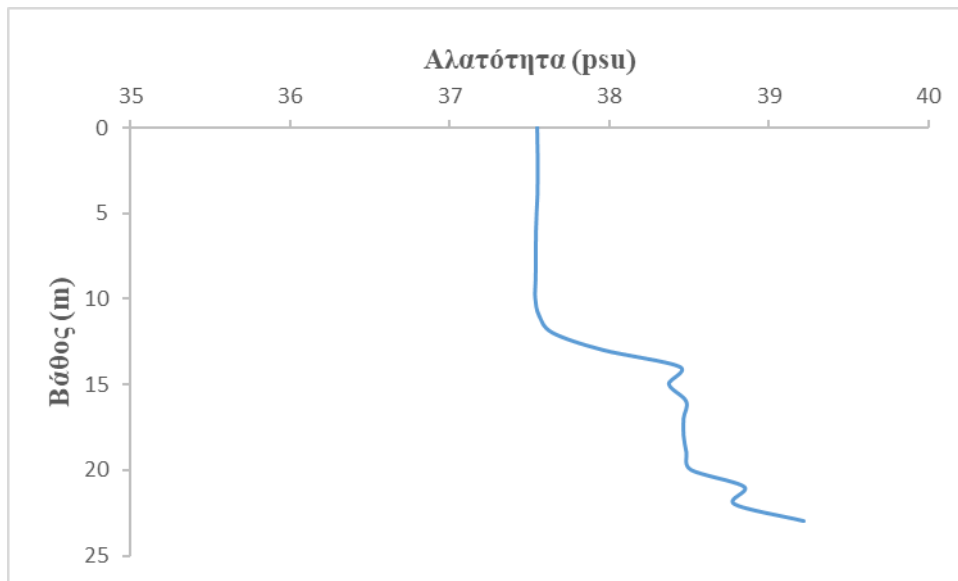
Τέλος, όσον αφορά την χλωροφύλλη α , η μέγιστη τιμή της καταγράφηκε στον σταθμό δειγματοληψίας S2 ($4,76 \text{ mg/m}^3$), ενώ η ελάχιστη τιμή καταγράφηκε στον S1 ($0,49 \text{ mg/m}^3$). Οι τιμές της χλωροφύλλης α στον σταθμό S1 κυμάνθηκαν από 0,49 έως $1,78 \text{ mg/m}^3$, στον S2 από 0,54 έως $4,76 \text{ mg/m}^3$ και στον S3 από 0,50 έως $2,54 \text{ mg/m}^3$. Η μέση τιμή χλωροφύλλης α στον σταθμό S1 είναι $0,93 \pm 0,41 \text{ mg/m}^3$, στον S2 $1,29 \pm 0,48 \text{ mg/m}^3$ και στον S3 $1,17 \pm 0,55 \text{ mg/m}^3$.

Πίνακας 3.1: Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι του νερού στους τρεις δειγματοληπτικούς σταθμούς (Μ.Ο: μέσος όρος, Τ.Α: τυπική απόκλιση).

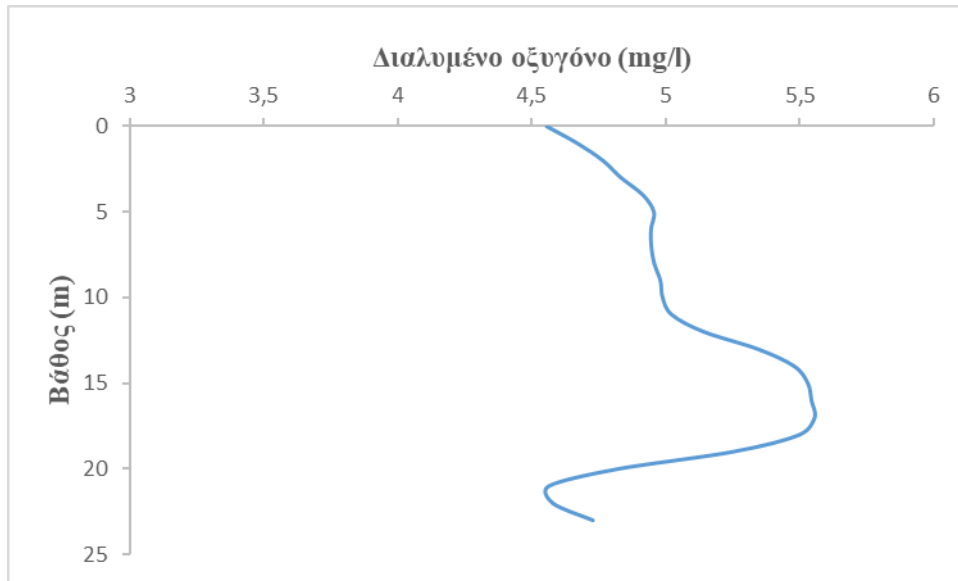
	S1	S2	S3
Θερμοκρασία (°C)			
Εύρος	20,81 - 27,20	17,64 - 27,26	15,53 - 27,28
Μ.Ο. \pm Τ.Α.	$24,92 \pm 2,59$	$22,40 \pm 3,84$	$21,86 \pm 4,55$
Αλατότητα (psu)			
Εύρος	37,53 - 39,49	37,52 - 39,41	37,51 - 38,80
Μ.Ο. \pm Τ.Α.	$38,01 \pm 0,57$	$38,21 \pm 0,52$	$38,20 \pm 0,51$
Διαλυμένο οξυγόνο (mg/l)			
Εύρος	4,47 - 5,56	4,83 - 5,87	4,79 - 5,99
Μ.Ο. \pm Τ.Α.	$4,97 \pm 0,33$	$5,35 \pm 0,39$	$5,51 \pm 0,46$
pH			
Εύρος	8,53 - 8,62	8,47 - 8,60	8,42 - 8,59
Μ.Ο. \pm Τ.Α.	$8,58 \pm 0,03$	$8,53 \pm 0,05$	$8,51 \pm 0,06$
Χλωροφύλλη α (mg/m³)			
Εύρος	0,49 - 1,78	0,54 - 4,76	0,50 - 2,54
Μ.Ο. \pm Τ.Α.	$0,93 \pm 0,41$	$1,29 \pm 0,48$	$1,17 \pm 0,55$



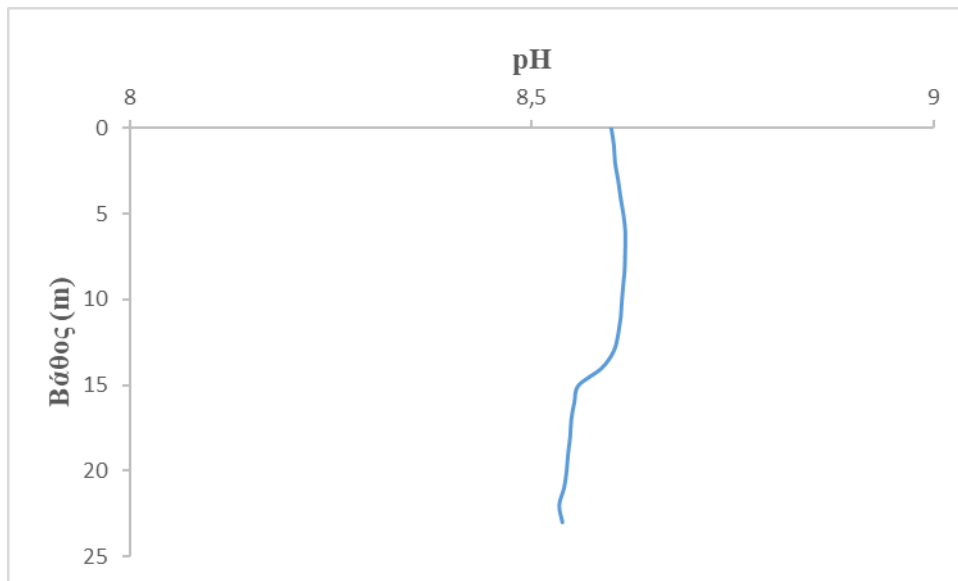
Διάγραμμα 3.1: Κατανομή της θερμοκρασίας του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S1.



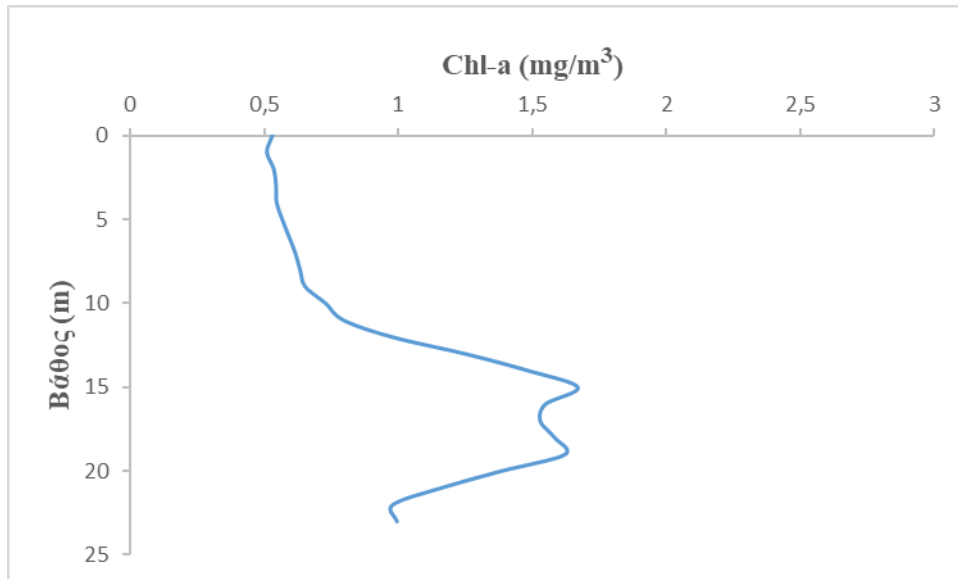
Διάγραμμα 3.2: Κατανομή της αλατότητας του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S1.



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



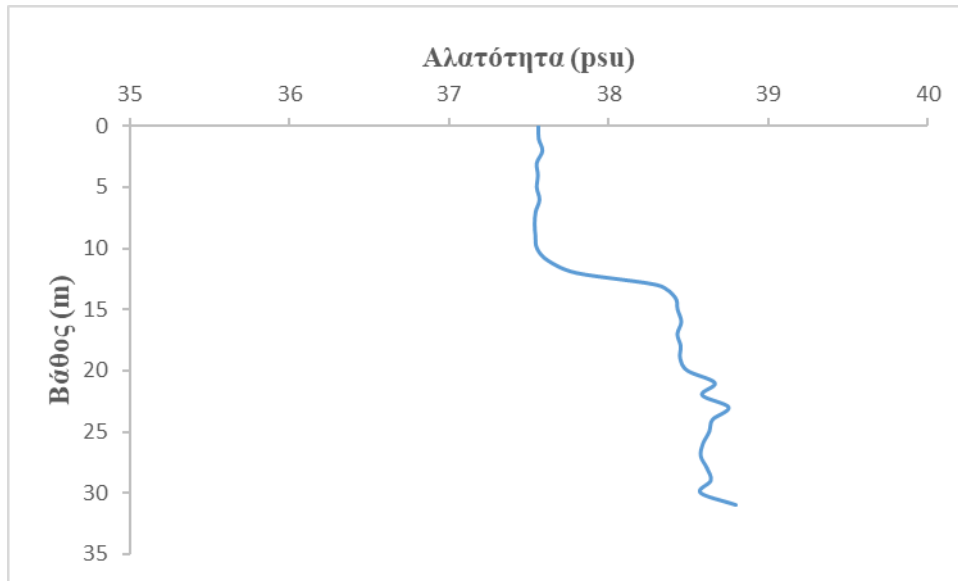
Διάγραμμα 3.4: Κατανομή του pH του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S1.



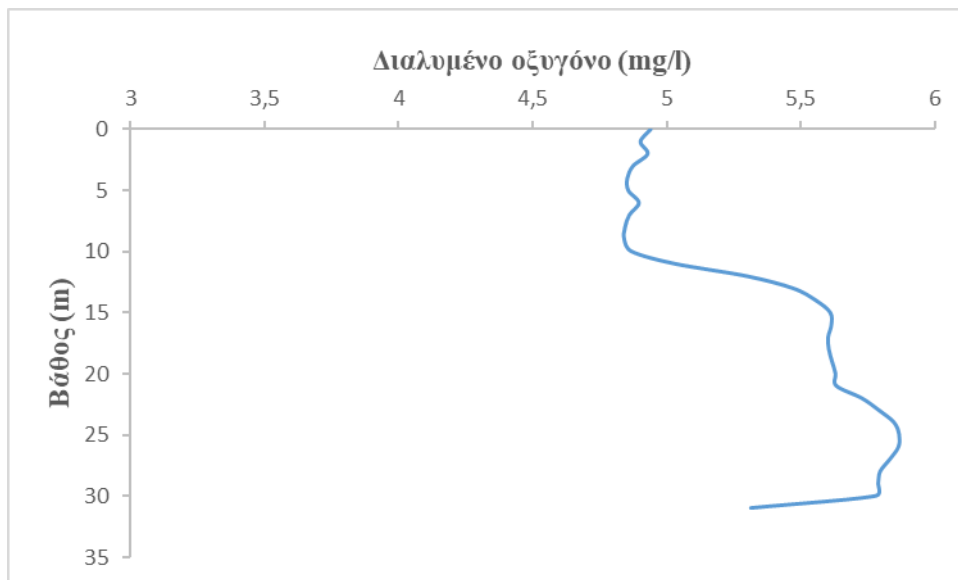
Διάγραμμα 3.5: Κατανομή της χλωροφύλλης *a* του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S1.



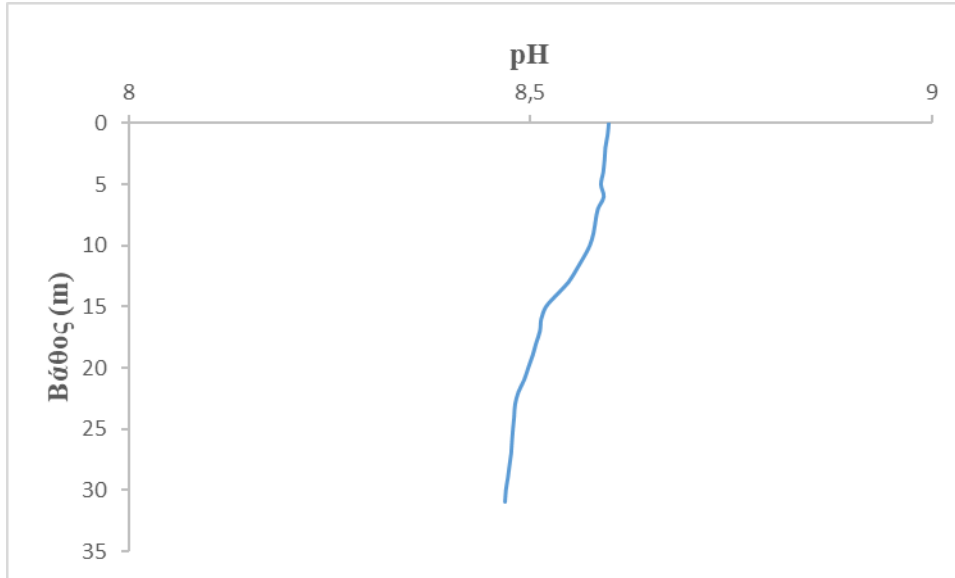
Διάγραμμα 3.6: Κατανομή της θερμοκρασίας του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S2.



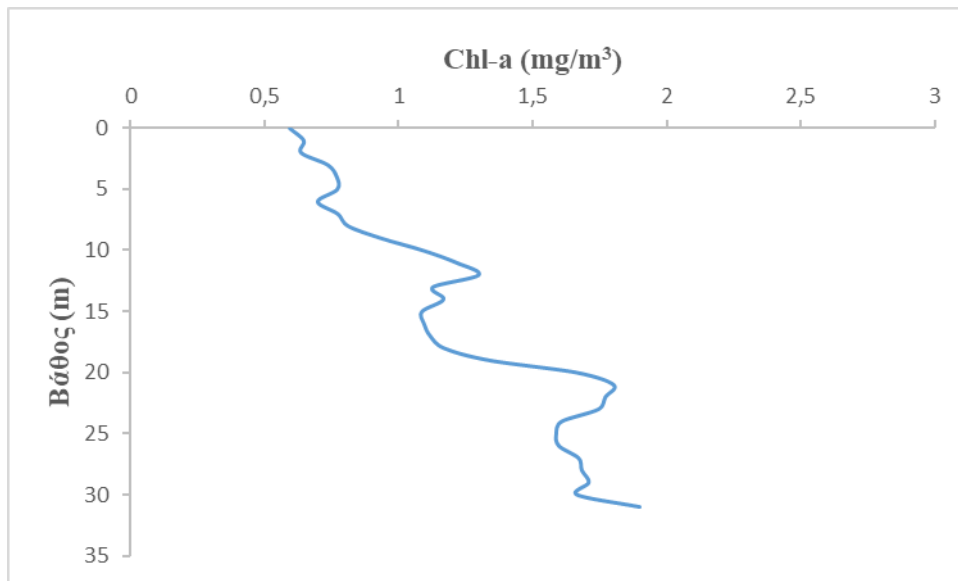
Διάγραμμα 3.7: Κατανομή της αλατότητας του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S2.



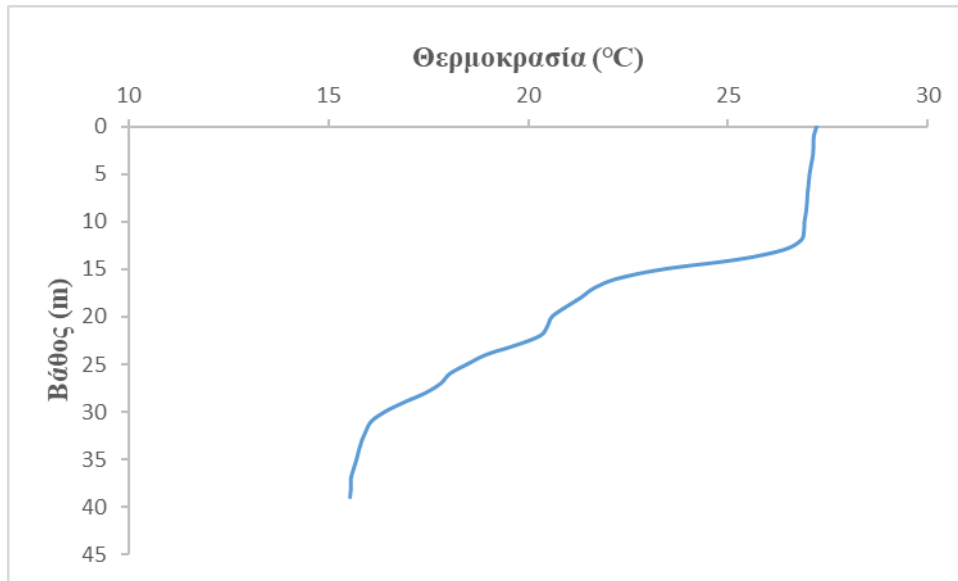
Διάγραμμα 3.8: Κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S2.



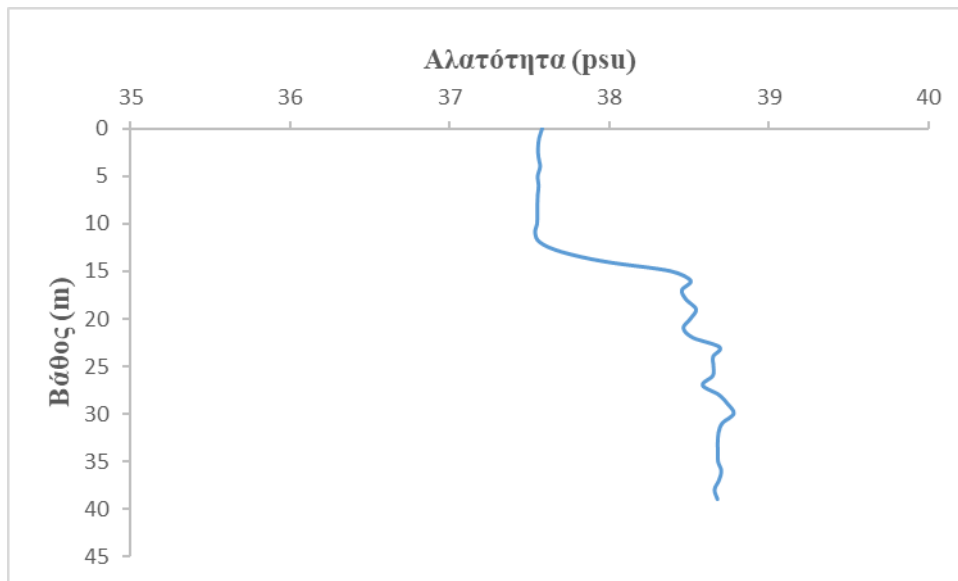
Διάγραμμα 3.9: Κατανομή του pH του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S2.



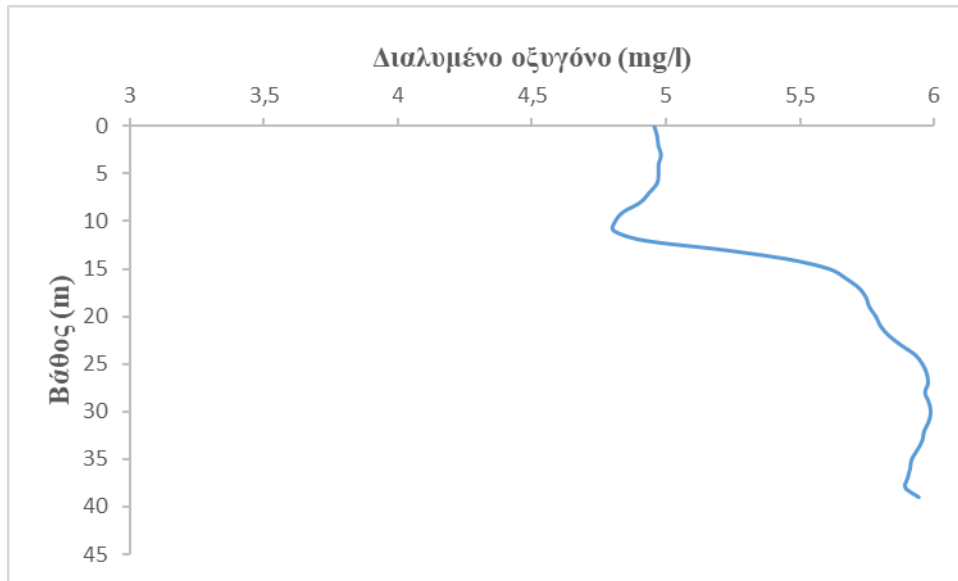
Διάγραμμα 3.10: Κατανομή της χλωροφύλλης a του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S2.



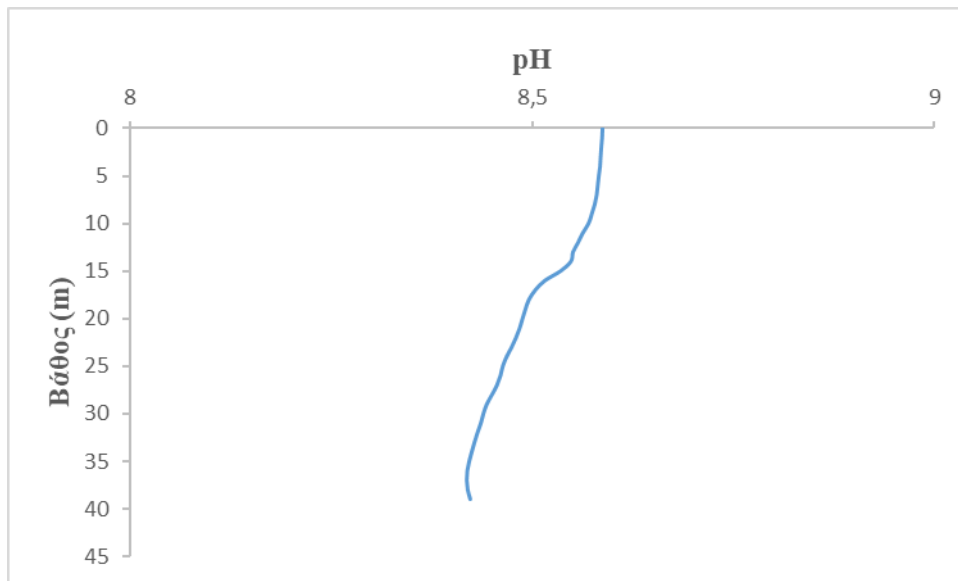
Διάγραμμα 3.11: Κατανομή της θερμοκρασίας του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S3.



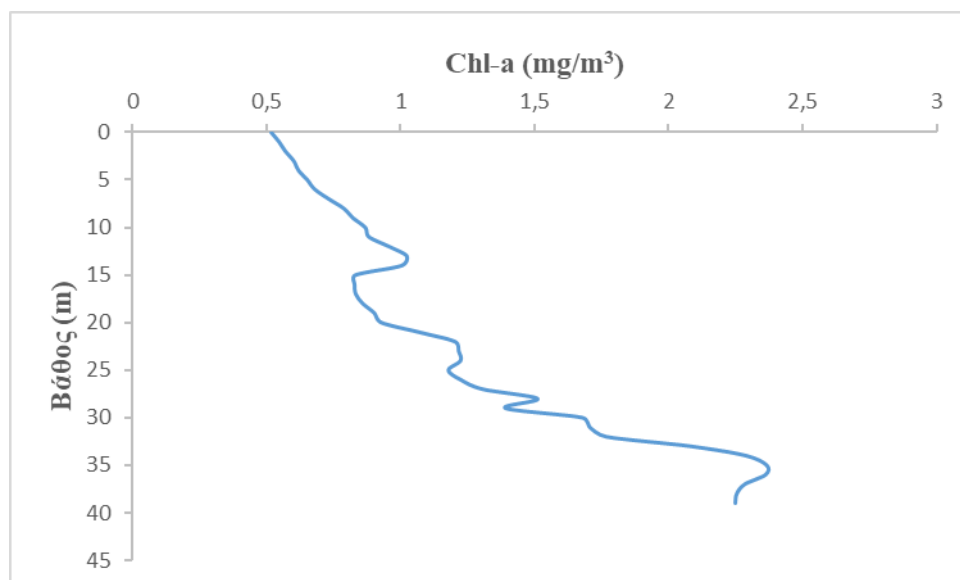
Διάγραμμα 3.12: Κατανομή της αλατότητας του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S3.



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



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



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

3.2 Θρεπτικά άλατα

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

Η μέγιστη συγκέντρωση των αμμωνιακών καταγράφηκε στον σταθμό S1 και είναι 1,74 μM , ενώ η ελάχιστη συγκέντρωση εμφανίστηκε στον S2 (0,00 μM). Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών στον σταθμό S1 κυμάνθηκαν από 0,13 έως 1,74 μM , στον S2 από 0,00 έως 0,22 μM και στον S3 από 0,06 έως 0,16 μM . Η μέση συγκέντρωση των αμμωνιακών στον σταθμό S1 είναι $0,64 \pm 0,68 \mu\text{M}$, στον S2 $0,07 \pm 0,08 \mu\text{M}$ και στον S3 $0,10 \pm 0,04 \mu\text{M}$.

Η μέγιστη συγκέντρωση των νιτροδών καταγράφηκε στον σταθμό S2 (0,005 μM), ενώ η ελάχιστη στον S1 (0,00 μM). Οι συγκεντρώσεις των νιτροδών στον σταθμό

S1 κυμάνθηκαν από 0,00 έως 0,001 μM , στον S2 από 0,000 έως 0,005 μM και στον S3 από 0,000 έως 0,003 μM . Η μέση συγκέντρωση των νιτρωδών στον σταθμό S1 είναι $0,001 \pm 0,000 \mu\text{M}$, στον S2 $0,002 \pm 0,002 \mu\text{M}$ και στον S3 $0,001 \pm 0,001 \mu\text{M}$.

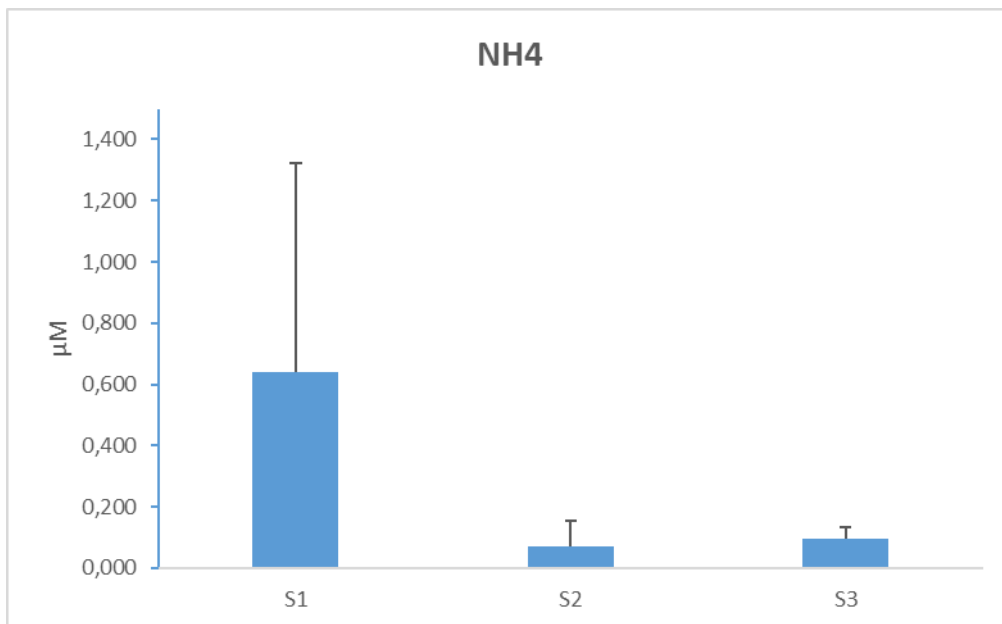
Η μέγιστη συγκέντρωση των νιτρικών καταγράφηκε στον σταθμό S1 και είναι 2,38 μM , ενώ η ελάχιστη εμφανίστηκε στον S2 (2,08 μM). Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στον σταθμό S1 κυμάνθηκαν από 2,20 έως 2,38 μM , στον S2 από 2,08 έως 2,36 μM και στον S3 από 2,31 έως 2,35 μM . Η μέση συγκέντρωση των νιτρικών στον σταθμό S1 είναι $2,32 \pm 0,06 \mu\text{M}$, στον S2 $2,28 \pm 0,10 \mu\text{M}$ και στον S3 $2,34 \pm 0,02 \mu\text{M}$.

Η μέγιστη συγκέντρωση των φωσφορικών καταγράφηκε στον σταθμό S2 (0,09 μM), ενώ η ελάχιστη στον S1 (0,00 μM). Οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών στον σταθμό S1 κυμάνθηκαν από 0,00 έως 0,01 μM , στον S2 από 0,02 έως 0,09 μM και στον S3 από 0,05 έως 0,07 μM . Η μέση συγκέντρωση των φωσφορικών στον σταθμό S1 είναι $0,00 \pm 0,00 \mu\text{M}$, στον S2 $0,05 \pm 0,03 \mu\text{M}$ και στον S3 $0,06 \pm 0,01 \mu\text{M}$.

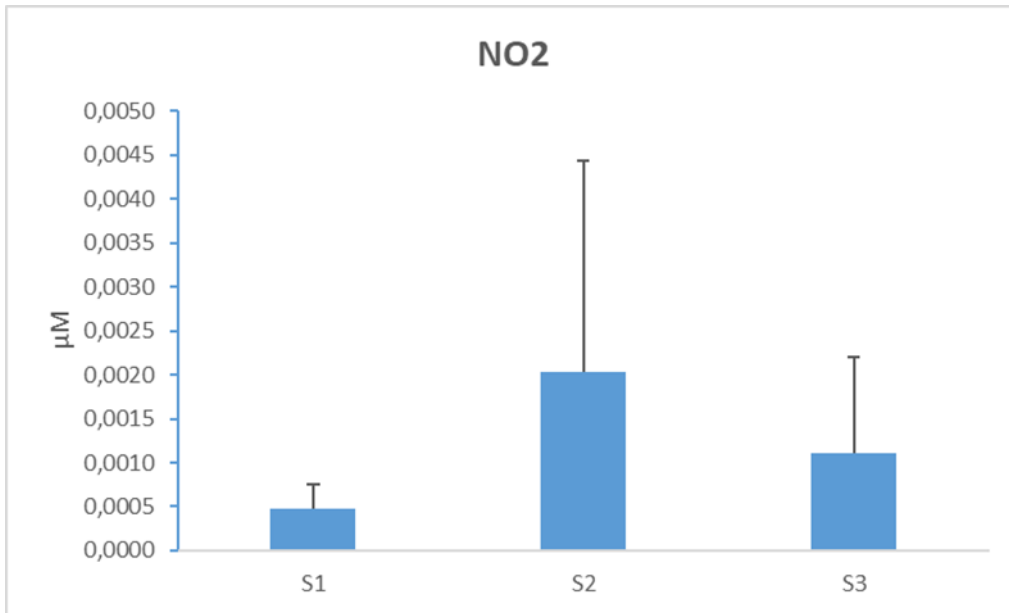
Τέλος, η μέγιστη συγκέντρωση των πυριτικών καταγράφηκε στον σταθμό S2 και είναι 4,79 μM , ενώ η ελάχιστη εμφανίστηκε στον S1 (0,06 μM). Οι συγκεντρώσεις των πυριτικών στον σταθμό S1 κυμάνθηκαν από 0,06 έως 0,37 μM , στον S2 από 3,58 έως 4,79 μM και στον S3 από 0,10 έως 0,45 μM . Η μέση συγκέντρωση των πυριτικών στον σταθμό S1 είναι $0,16 \pm 0,12 \mu\text{M}$, στον S2 $4,05 \pm 0,42 \mu\text{M}$ και στον S3 $0,23 \pm 0,12 \mu\text{M}$.

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

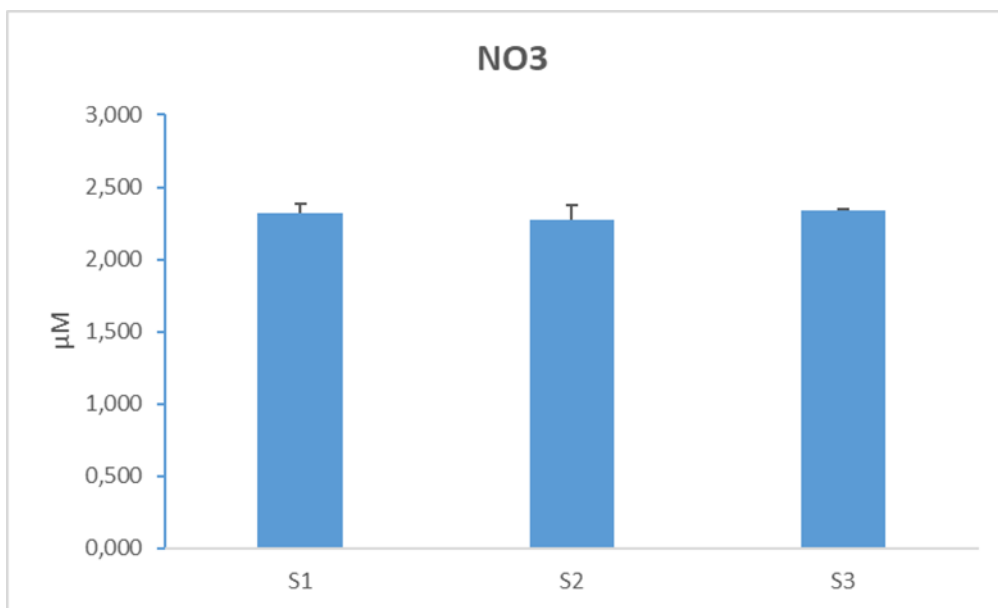
	S1	S2	S3
NH₄			
Εύρος	0,13 - 1,74	0,00 - 0,22	0,06 - 0,16
Μ.Ο. \pm Τ.Α.	0,64 \pm 0,68	0,07 \pm 0,08	0,10 \pm 0,04
NO₂			
Εύρος	0,000 - 0,001	0,000 - 0,005	0,000 - 0,003
Μ.Ο. \pm Τ.Α.	0,000 \pm 0,000	0,002 \pm 0,002	0,001 \pm 0,001
NO₃			
Εύρος	2,20 - 2,38	2,08 - 2,36	2,31 - 2,35
Μ.Ο. \pm Τ.Α.	2,32 \pm 0,06	2,28 \pm 0,10	2,34 \pm 0,02
PO₄			
Εύρος	0,00 - 0,01	0,02 - 0,09	0,05 - 0,07
Μ.Ο. \pm Τ.Α.	0,00 \pm 0,00	0,05 \pm 0,03	0,06 \pm 0,01
SiO₂			
Εύρος	0,06 - 0,37	3,58 - 4,79	0,10 - 0,45
Μ.Ο. \pm Τ.Α.	0,16 \pm 0,12	4,05 \pm 0,42	0,23 \pm 0,12



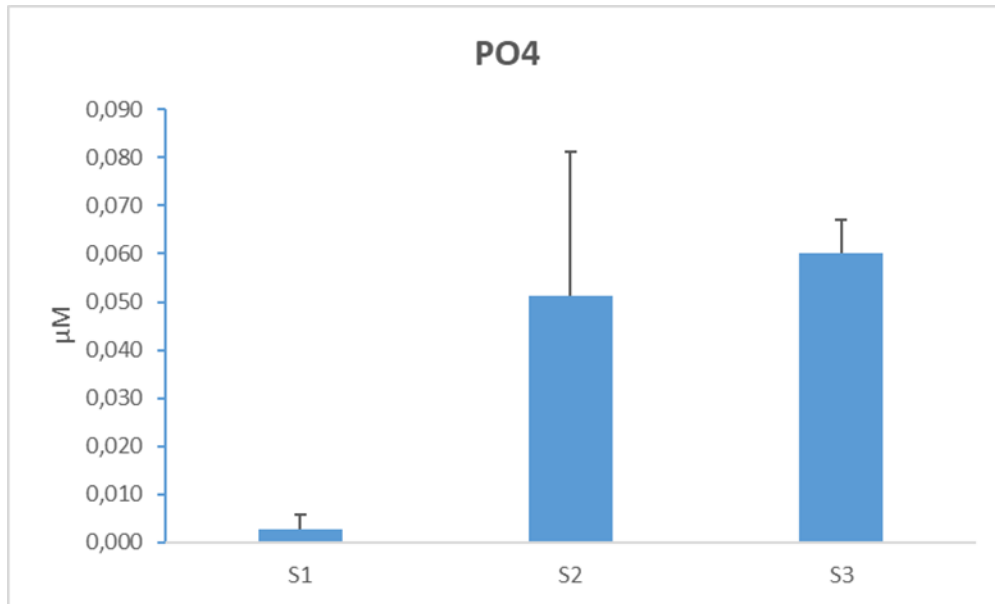
Διάγραμμα 3.16: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της συγκέντρωσης των αμμωνιακών (μM) στους τρεις δειγματοληπτικούς σταθμούς.



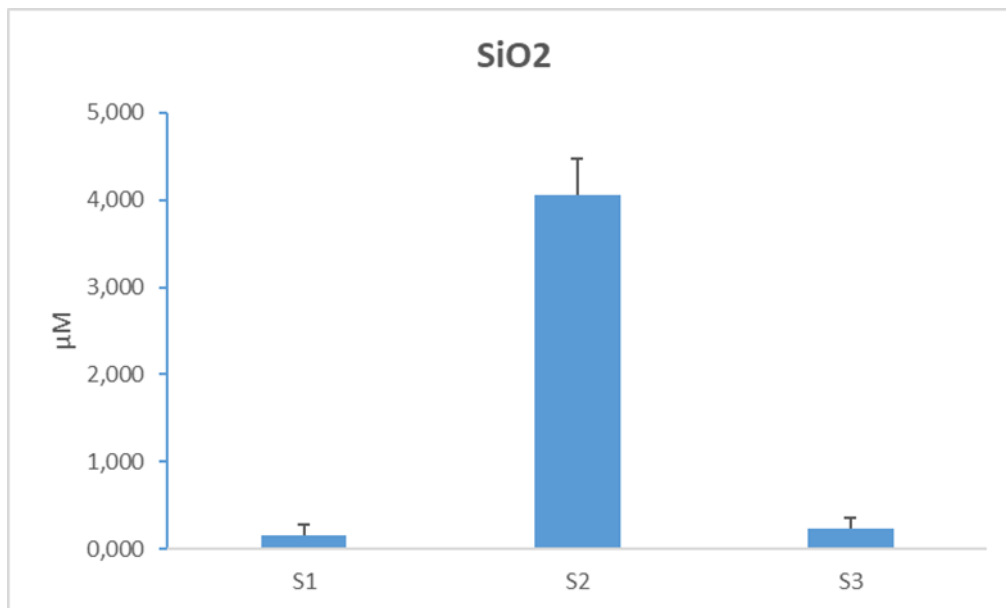
Διάγραμμα 3.17: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της συγκέντρωσης των νιτρωδών (μM) στους τρεις δειγματοληπτικούς σταθμούς.



Διάγραμμα 3.18: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της συγκέντρωσης των νιτρικών (μM) στους τρεις δειγματοληπτικούς σταθμούς.



Διάγραμμα 3.19: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της συγκέντρωσης των φωσφορικών (μM) στους τρεις δειγματοληπτικούς σταθμούς.



Διάγραμμα 3.20: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της συγκέντρωσης των πυριτικών (μM) στους τρεις δειγματοληπτικούς σταθμούς.

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 σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών για όλα τα θρεπτικά εκτός των νιτρικών. Ο έλεγχος των στατιστικών διαφορών πραγματοποιήθηκε με το Tukey's test και τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 3.4. Σύμφωνα με αυτόν, παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις των αμμωνιακών μεταξύ των σταθμών S1-S2 και μεταξύ των σταθμών S1-S3. Επιπλέον, παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις των νιτροδών μεταξύ των σταθμών S1-S2, καθώς και σημαντική στατιστικώς διαφορά στις συγκεντρώσεις των φωσφορικών μεταξύ των σταθμών S1-S2 και S1-S3. Τέλος, παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις των πυριτικών μεταξύ των σταθμών S1-S2 και S2-S3.

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών της περιοχής έρευνας με την μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης ANOVA (df: βαθμοί ελευθερίας, F: λόγος, Sig: βαθμός σημαντικότητας).

ANOVA			
	df	F	Sig.
NH4	2	9,900	0,000
NO2	2	3,269	0,049
NO3	2	3,023	0,060
PO4	2	35,771	0,000
SiO2	2	962,441	0,000

Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα ελέγχου των στατιστικών διαφορών με το Tukey's test για τα θρεπτικά άλατα, στις συγκεντρώσεις των οποίων παρατηρήθηκαν στατιστικές διαφορές μεταξύ των σταθμών (Sig: βαθμός σημαντικότητας).

Tukey's test				
	NH4	NO2	PO4	SiO2
	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.
S1-S2	0,001	0,041	0,000	0,000
S1-S3	0,001	0,559	0,000	0,794
S2-S3	0,981	0,269	0,388	0,000

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

Το υδάτινο περιβάλλον επιδρά στη λειτουργία μίας μονάδας εκτροφής και καθορίζει την επιτυχία ή αποτυχία της, καθώς οι μεταβολές των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού έχουν άμεση επίδραση στους εκτρεφόμενους ιχθύες. Παράλληλα, η λειτουργία της μονάδας εκτροφής επηρεάζει και μεταβάλλει διάφορα χαρακτηριστικά και παραμέτρους του περιβάλλοντος με αποτέλεσμα να δημιουργείται μία αμφίδρομη σχέση μεταξύ περιβάλλοντος και μονάδας εκτροφής. Επιπλέον, οποιαδήποτε μορφή επιβάρυνσης προκαλείται από την μονάδα εκτροφής στο υδάτινο περιβάλλον έχει άμεσες συνέπειες στην υγιεινή κατάσταση και στην επιβίωση των εκτρεφόμενων ιχθύων και επομένως στην πορεία της εκτροφής (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010).

Οι πλέον σημαντικές παράμετροι του υδάτινου περιβάλλοντος είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, η ενεργός οξύτητα (pH), η αμμωνία,

τα νιτρώδη, τα νιτρικά και τα φωσφορικά άλατα, καθώς και τα διάφορα διαλυμένα στερεά και αέρια (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010).

Η θερμοκρασία αποτελεί τον πλέον καθοριστικό αβιοτικό παράγοντα του υδάτινου περιβάλλοντος, που επιδρά στην επιτυχία της εκτροφής των υδρόβιων οργανισμών, καθώς επηρεάζει άμεσα τις περισσότερες φυσικοχημικές παραμέτρους του νερού. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση των διαλυμένων αερίων, σε συσσώρευση τοξικών αερίων, καθώς και σε μείωση του ιξώδους του νερού και επομένως σε αύξηση της ρευστότητάς του, η οποία με τη σειρά της επιδρά στην πλευστική και κολυμβητική ικανότητα των οργανισμών. Επιπλέον, η θερμοκρασία επιδρά άμεσα στους εκτρεφόμενους οργανισμούς, επηρεάζοντας τον μεταβολισμό τους, την αναπαραγωγική τους ικανότητα και τον ρυθμό ανάπτυξής τους (Νεοφύτου & Νεοφύτου, 2017). Ο βαθμός επίδρασης της θερμοκρασίας και η ανθεκτικότητα των οργανισμών στις μεταβολές της εξαρτάται από το γενετικό υλικό των εκτρεφόμενων οργανισμών, την ηλικία τους, το μέγεθός τους και την υγιεινή τους κατάσταση (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010). Τέλος, η θερμοκρασία επηρεάζει την πρωτογενή παραγωγικότητα των παράκτιων οικοσυστημάτων, στα οποία πραγματοποιείται η υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα, καθώς και τη διαδικασία αποσύνθεσης των οργανικών ενώσεων, αλλά και τη διαλυτότητα των στερεών ενώσεων. Οι απαιτήσεις και η αντοχή στη θερμοκρασία ποικίλουν ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης και το είδος των οργανισμών και συνήθως υφίσταται ένα συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος για κάθε υδρόβιο οργανισμό. Γενικά, για τα περισσότερα είδη ιχθύων των θερμών υδάτων η θερμοκρασία του νερού δεν πρέπει να ξεπερνά τους 33°C, σε οποιοδήποτε μέρος και εποχή (Παπουτσόγλου, 1997). Με την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού προς το βέλτιστο όριο του εκτρεφόμενου ιχθύος, αυξάνεται παράλληλα η κατανάλωση τροφής

και οξυγόνου και ο οργανισμός γίνεται περισσότερο δραστήριος. Όσον αφορά την τσιπούρα και το λαβράκι, που αποτελούν τα δύο είδη εκτροφής στην περιοχή έρευνας ισχύουν τα εξής: Η τσιπούρα παρουσιάζει αντοχή σε ένα σχετικά μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και πιο συγκεκριμένα από τους 4 έως 32°C και η βέλτιστη θερμοκρασία για την ανάπτυξή της κυμαίνεται μεταξύ 22 και 24°C. Το λαβράκι με τη σειρά του παρουσιάζει αντοχή σε παρόμοιο θερμοκρασιακό εύρος, μεταξύ 2 και 30°C (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2012).

Με βάση τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας στην περιοχή έρευνας, οι καταγεγραμμένες τιμές της παραμέτρου αυτής προσεγγίζουν το αναμενόμενο εύρος τιμών του Παγασητικού κόλπου, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Οι μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας καταγράφηκαν στην επιφάνεια της υδάτινης στήλης και το φαινόμενο του θερμοκλινούς έγινε αντιληπτό και στους τρεις δειγματοληπτικούς σταθμούς. Οι θερμοκρασιακές αντοχές των εκτρεφόμενων ειδών, της τσιπούρας και του λαβρακιού, βρέθηκαν σύμφωνες με τα καταγεγραμμένα εύρη της θερμοκρασίας στους σταθμούς S1 και S2, όπου πραγματοποιείται η εκτροφή. Παράλληλα, ο μέσος όρος της θερμοκρασίας στους συγκεκριμένους σταθμούς βρέθηκε πολύ κοντά στην θερμοκρασία βέλτιστης ανάπτυξης των εκτρεφόμενων ιχθύων.

Η αλατότητα, η οποία εκφράζει την περιεκτικότητα των διαλυμένων αλάτων στο νερό, είναι ένας παράγοντας που επιδρά έμμεσα στους υδρόβιους οργανισμούς. Οι μεταβολές της στο θαλάσσιο περιβάλλον εξαρτώνται από φαινόμενα τα οποία αφαιρούν νερό από αυτό, όπως η εξάτμιση και η πήξη, με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων και με φαινόμενα που εισάγουν νερό σε αυτό, όπως η βροχή και η είσοδος ποτάμιων υδάτων, που οδηγούν στη μείωση της συγκέντρωσης των αλάτων. Οι παράκτιες υδάτινες μάζες επηρεάζονται σημαντικά από τις απορροές της

ξηράς (Θεοδώρου, 2017). Στα επιφανειακά στρώματα νερού η αλατότητα εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ εξάτμισης και ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Στην ανοικτή θάλασσα η αλατότητα κυμαίνεται από 33 έως 39 psu και οι διακυμάνσεις της επηρεάζονται από το βάθος, την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος (Νεοφύτου & Νεοφύτου, 2017). Στις ελληνικές θάλασσες η αλατότητα κυμαίνεται από 30 έως 40 psu (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010).

Η αλατότητα και οι μεταβολές της καθορίζουν την επιτυχία των οργανισμών στη ρύθμιση της συγκέντρωσης των ιόντων στα σωματικά τους υγρά, μία διαδικασία που καλείται ωσμωρύθμιση. Ανάλογα με την ικανότητα προσαρμογής τους στις ωσμωτικές και ιοντικές μεταβολές τα διάφορα είδη χωρίζονται σε στενύαλα, με μικρή προσαρμοστική ικανότητα στις μεταβολές της αλατότητας και ευρύαλα, με μεγάλη προσαρμοστική ικανότητα στις μεταβολές της αλατότητας. Η τσιπούρα και το λαβράκι ανήκουν στα ευρύαλα είδη, καθώς μπορούν να επιβιώσουν σε μεγάλες διακυμάνσεις της αλατότητας και πιο συγκεκριμένα από 0 έως 50 psu. Ωστόσο για τα συγκεκριμένα είδη έχει βρεθεί ότι το ιδανικό εύρος αλατότητας στο οποίο επιτυγχάνεται η μέγιστη ανάπτυξη βρίσκεται μεταξύ 20 και 35 psu (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2012).

Με βάση τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τις μετρήσεις της αλατότητας στην περιοχή έρευνας, ο καταγεγραμμένος μέσος όρος της παραμέτρου αυτής (περίπου 38 psu) βρίσκεται εντός των αναμενόμενων ορίων του Παγασητικού κόλπου, σύμφωνα με την βιβλιογραφία. Οι ελάχιστες τιμές αλατότητας καταγράφηκαν στα επιφανειακά στρώματα των δειγματοληπτικών σταθμών και οι μέγιστες τιμές στα βαθύτερα στρώματα. Το φαινόμενο του αλοκλινούς έγινε εμφανές και στους τρεις δειγματοληπτικούς σταθμούς. Αναφορικά με τα εκτρεφόμενα είδη της μονάδας, παρατηρήθηκε ότι οι καταγεγραμμένες τιμές αλατότητας ξεπερνούν τις τιμές του εύρους

βέλτιστης ανάπτυξης, χωρίς ωστόσο να προκύπτουν δυσμενείς επιδράσεις για τους οργανισμούς.

Το οξυγόνο είναι ένα από τα σπουδαιότερα διαλυμένα αέρια στο νερό και ο προσδιορισμός του αποτελεί βασικό κριτήριο για τον χαρακτηρισμό μίας περιοχής ως κατάλληλης ή μη για την εγκατάσταση μίας υδατοκαλλιεργητικής μονάδας. Η είσοδος του οξυγόνου στο νερό πραγματοποιείται μέσω των επιφανειακών στρωμάτων και η διαλυτότητά του σε αυτό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η ολική πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα σε σχέση με του νερού και η αλατότητα. Πιο αναλυτικά, η αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης των αλάτων οδηγεί σε μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου στο νερό. Το οξυγόνο χρησιμοποιείται από τους εκτρεφόμενους οργανισμούς για την επιτέλεση διαφόρων διαδικασιών του μεταβολισμού και συνδέεται στενά με τη συμπεριφορά τους (κολυμβητική ικανότητα, ανάπτυξη και αναπαραγωγή) (Νεοφύτου & Νεοφύτου, 2017). Η κατανάλωση οξυγόνου σχετίζεται άμεσα με τη διαδικασία της θρέψης και είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους του εκτρεφόμενου ιχθύος. Γενικά, στις θαλάσσιες υδατοκαλλιέργειες θεωρείται ικανοποιητικό ένα επίπεδο κορεσμού του νερού σε οξυγόνο μεγαλύτερο του 70% (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010). Η πιθανή ανεπάρκεια οξυγόνου σε περιοχές λειτουργίας μονάδων σχετίζεται με τη θερμοκρασία, τις υδρογραφικές συνθήκες και τον ρυθμό ανανέωσης του νερού, τις πρακτικές σίτισης, τα χαρακτηριστικά της εκτροφής (π.χ. πυκνότητα εκτροφής), το βάθος πόντισης των κλωβών και την πιθανή εισροή αποβλήτων από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες (Mente et al., 2006). Στις ελληνικές θάλασσες, η μέση ετήσια συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου κυμαίνεται από 6 έως 10 mg/l (Κλαουδάτος, 2005). Τέλος, ως κατώτατο όριο στα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου στις μονάδες εκτροφής θεωρείται η τιμή των 5 mg/l, ωστόσο οι οργανισμοί

μπορούν να επιβιώσουν και σε μικρότερες συγκεντρώσεις για ορισμένο χρονικό διάστημα (Klaoudatos, 2002).

Με βάση τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τις μετρήσεις του οξυγόνου στην περιοχή έρευνας, προέκυψε ότι στον σταθμό S1 ο μέσος όρος του διαλυμένου οξυγόνου βρίσκεται ελάχιστα κάτω από το όριο των 5 mg/l, ενώ στους σταθμούς S2 και S3 ο μέσος όρος βρίσκεται ελάχιστα πάνω από το όριο αυτό. Σύμφωνα με τα διαγράμματα κατανομής του διαλυμένου οξυγόνου συναρτήσει του βάθους, στον σταθμό S1 η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου φαίνεται να αυξάνεται μέχρι τα 17 m περίπου και στη συνέχεια να μειώνεται σχετικά απότομα, στον S2 μειώνεται αρχικά μέχρι τα 10 m και στη συνέχεια αυξάνεται μέχρι το βάθος των 25 m και στον S3 μειώνεται μέχρι τα 11 m και στη συνέχεια αυξάνεται μέχρι τα 29 m. Η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα επιφανειακά στρώματα των δειγματοληπτικών σταθμών S1 και S2 που βρίσκονται εντός της εκτροφής, είναι πιθανόν να οφείλεται στην υψηλή ιχθυοφόρτιση, αλλά και στην παρεμπόδιση της ανανέωσης του νερού λόγω της βιοεπίστρωσης των διχτυών (Fitridge et al., 2012).

Ως pH ορίζεται ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των διαλυμένων ιόντων υδρογόνου σε ένα διάλυμα στους 25°C (Νεοφύτου & Νεοφύτου, 2017). Γενικά, στα θαλάσσια ύδατα οι τιμές του pH πλησιάζουν το 8,2 και εμφανίζουν μικρές διακυμάνσεις της τάξης του $\pm 0,2$. Οι παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η τιμή του pH είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα και του διαλυμένου οξυγόνου, καθώς και οι συγκεντρώσεις διάφορων αλάτων και άλλων ενώσεων, η μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών και η χημική αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων. Όσον αφορά τους ιχθύες, επιβιώνουν σε τιμές pH μεταξύ 5-9,5 και πιο συγκεκριμένα τα περισσότερα εκτρεφόμενα είδη προτιμούν τιμές

μεταξύ 6-8 (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010). Οι μεταβολές του pH τόσο στις αλκαλικές όσο και στις όξινες τιμές είναι υπεύθυνες για χαρακτηριστικές αλλοιώσεις στους ιχθυοπληθυσμούς. Συνήθως, σε ακραίες τιμές pH 3-3,5 και 11-11,5 καθίσταται αδύνατη η επιβίωση όλων των ειδών. Επιπλέον, σε πτώση που οι τιμή του pH είναι <5 παρατηρούνται αλλαγές στη συγκέντρωση του νατρίου και του χλωρίου στο πλάσμα των ιχθύων με συνέπεια την πρόκληση αστάθειας. Γενικά, οι επιδράσεις των διαφόρων τιμών του pH αναφέρονται παρακάτω (Παπουτσόγλου, 1997):

- 3-3,5: Αδυναμία επιβίωσης όλων των ειδών ιχθύων και επιβίωση μόνο ορισμένων υδρόβιων φυτών και ασπόνδυλων οργανισμών.
- 3,5-4,5: Επιβίωση των ειδών της οικογένειας Salmonidae καθώς και ορισμένων άλλων ειδών έπειτα από εγκλιματισμό.
- 5-6,5: Σπάνια πρόκληση δυσμενών επιδράσεων (η εμφάνιση δυσμενών επιδράσεων σχετίζεται με ορισμένες συγκεντρώσεις ελεύθερου CO₂ και με την παρουσία ορισμένων αλάτων, π.χ. σιδήρου).
- 6,5-9: Κατά κανόνα αβλαβή.
- 9-10,5: Επηρεάζεται η εκτροφή ορισμένων ειδών.
- 10,5-11,5: Θανατηφόρα επίδραση.

Η ανθεκτικότητα των ιχθύων είναι ανάλογη της ηλικίας, του μεγέθους και της περιόδου εγκλιματισμού. Ωστόσο η μέγιστη ανάπτυξη και αναπαραγωγική ικανότητα παρατηρείται μόνο σε συγκεκριμένες τιμές pH και σχετίζεται με το είδος του ιχθύος.

Με βάση τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τις μετρήσεις του pH, στην περιοχή έρευνας παρατηρήθηκαν μικρές διακυμάνσεις για τις τιμές της παραμέτρου σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας. Ο μέσος όρος σε όλους τους σταθμούς είναι

περίπου 8,5. Η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε στον σταθμό S1 (8,62) και η ελάχιστη στον S3 (8,42), τιμές που θεωρούνται ακίνδυνες για τους εκτρεφόμενους οργανισμούς.

Τέλος, η χλωροφύλλη *a* αποτελεί έναν δείκτη της βιομάζας του φυτοπλαγκτόν στο υδάτινο περιβάλλον (Neofitou et al., 2019). Στην παρούσα έρευνα οι τιμές της χλωροφύλλης *a* κυμάνθηκαν από 0,49 έως 4,76 mg/m³. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν στον σταθμό S2, ενώ στον S1 βρέθηκαν χαμηλότερες. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης *a* στον σταθμό S1 βρέθηκαν χαμηλότερες και από αυτές του σταθμού ελέγχου S3. Ο μέσος όρος της χλωροφύλλης *a* στους σταθμούς S1, S2 και S3 είναι $0,93 \pm 0,41$, $1,29 \pm 0,48$ και $1,17 \pm 0,55$ mg/m³, αντίστοιχα. Σύμφωνα με τον Petihakis et al. (2005), η συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a* στον Παγασητικό κόλπο ποικίλει από 0,06 έως 3,5 µg/L (0,06 – 3,5 mg/m³), επομένως ο μέσος όρος των τιμών της παραμέτρου αυτής για τους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας ήταν εντός των φυσιολογικών ορίων.

4.2 Θρεπτικά άλατα

Ως θρεπτικά, ορίζονται τα συστατικά τα οποία είναι απαραίτητα σε κάθε ζωντανό οργανισμό για την επιτέλεση διαφόρων λειτουργικών διεργασιών. Η παρουσία τους και οι συγκεντρώσεις τους στο υδάτινο περιβάλλον επηρεάζονται από διάφορες γεωφυσικές και γεωχημικές διεργασίες. Οι κυριότερες πηγές των θρεπτικών συστατικών στη θάλασσα είναι τα προϊόντα παλαίωσης των βράχων και η αποσύνθεση οργανικών υλικών. Δευτερεύουσες πηγές θρεπτικών θεωρούνται η γεωθερμική δραστηριότητα, οι παγετώνες (στους πόλους), τα ηφαίστεια και η ατμοσφαιρική μεταφορά, είτε με την πρόσληψη αερίων από το θαλασσινό νερό είτε με τη συνεισφορά της βροχής. Αντίθετα, η βιολογική

απομάκρυνση των θρεπτικών συστατικών πραγματοποιείται κυρίως από πρωταρχικής σημασίας οργανισμούς, όπως το φυτοπλαγκτόν (Φυτιάνος, 2017).

Τα σημαντικότερα θρεπτικά συστατικά που απαντώνται στο υδάτινο περιβάλλον είναι το άζωτο και ο φώσφορος, ενώσεις οι οποίες προέχονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως τα αστικά λύματα και οι γεωργικές καλλιέργειες. Τα στοιχειά αυτά αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες της πρωτογενούς παραγωγικότητας, το μεν άζωτο στο θαλάσσιο περιβάλλον και ο φώσφορος στα εσωτερικά ύδατα. Στο θαλάσσιο περιβάλλον η αναλογία αζώτου προς φώσφορο κατά κανόνα είναι 16 : 1 (Κλαουδάτος, 2005). Το ανόργανο άζωτο εμφανίζεται στο θαλασσινό νερό με τρεις κύριες μορφές, τα αμμωνιακά, τα νιτρικά, και τα νιτρώδη ιόντα. Τα ιόντα αυτά αντιπροσωπεύουν το 5% του ολικού διαλυμένου αζώτου στο νερό. Οι συγκεντρώσεις στις οποίες βρίσκονται τα παραπάνω ιόντα είναι συνήθως $<1-50 \text{ mg NH}_4 \text{ dm}^3$ $1-500 \text{ mg NO}_3 \text{ dm}^3$ και $<1-50 \text{ mg NO}_2 \text{ dm}^3$ (Φυτιάνος, 2017). Επίσης, το ανόργανο άζωτο εμφανίζεται και ως διαλυμένο αέριο άζωτο (Νεοφύτου και Νεοφύτου, 2017).

Η αμμωνία στο θαλάσσιο περιβάλλον, είτε προέρχεται από βιολογικές διεργασίες, όπως η αποσύνθεση πρωτεϊνικών ουσιών, είτε εισέρχεται σε αυτό μέσω βιομηχανικών, αστικών και γεωργικών αποβλήτων. Η αμμωνία συναντάται σε δύο μορφές, την ιονισμένη και τη μη ιονισμένη μορφή. Από αυτές, η μη ιονισμένη αμμωνία θεωρείται ιδιαίτερα τοξική για τους ιχθύες και γι' αυτό η περιεκτικότητά της στο νερό αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο για την αξιοποίηση μίας περιοχής για ιχθυοκαλλιεργητικούς σκοπούς. Η αμμωνία προκαλεί βλάβη στο επιθήλιο των βραγχίων των ιχθύων, μειώνει την ικανότητα του αίματος στη μεταφορά οξυγόνου, μειώνει τον ρυθμό ανταλλαγής αερίων και προκαλεί αιμόλυση.

Η τοξικότητα της αμμωνίας επηρεάζεται από παράγοντες του νερού όπως το pH το διαλυμένο οξυγόνο, τη θερμοκρασία και την αλατότητα. Ειδικότερα (Παπουτσόγλου, 1997):

- Αύξηση της θερμοκρασίας του νερού οδηγεί σε αύξηση της τοξικότητας της αμμωνίας.
- Αύξηση της τιμής του pH πάνω από την τιμή 7 οδηγεί σε αύξηση της τοξικότητας της αμμωνίας.
- Αύξηση της αλατότητας έως 9‰, οδηγεί σε μείωση της τοξικότητας, ενώ αύξηση της αλατότητας από 9‰ και πάνω, οδηγεί σε αύξηση της τοξικότητας της αμμωνίας.
- Μείωση της ποσότητας του διαλυμένου οξυγόνου οδηγεί σε αύξηση της τοξικότητας της αμμωνίας.
- Μείωση της ποσότητας του ελεύθερου διοξειδίου οδηγεί σε αύξηση της τοξικότητας της αμμωνίας.
- Μείωση της σκληρότητας του νερού οδηγεί σε αύξηση της τοξικότητας της αμμωνίας.

Η αντοχή των ψαριών στην αμμωνία εξαρτάται από το είδος και κυμαίνεται μεταξύ 0,2-2 mg/l. Ωστόσο κατά τη διάρκεια εκτροφής, η συγκέντρωση αμμωνίας δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 0,1 mg/l, ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η υγεία των εκτρεφόμενων οργανισμών (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010).

Στην παρούσα έρευνα οι τιμές των αμμωνιακών κυμάνθηκαν από 0,00 έως 1,74 μM. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν στον σταθμό S1, που αποτελεί σταθμό εκτροφής, ενώ στον σταθμό εκτροφής S2 και στον σταθμό S3 (control)

καταγράφηκαν αρκετά χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων των αμμωνιακών έδειξε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των σταθμών, ενώ ειδικότερα και σύμφωνα με το Tukey's test η διαφορά αυτή παρατηρήθηκε κυρίως μεταξύ των σταθμών S1-S2 και S1-S3. Στον σταθμό S1, ο οποίος αποτελεί σταθμό εκτροφής έγινε εμφανής ο εμπλουτισμός της υδάτινης στήλης με αμμωνιακά συγκριτικά με τον σταθμό S3, ο οποίος αποτελεί σταθμό εκτός της μονάδας και βρίσκεται σε αρκετή απόσταση από αυτήν. Όσον αφορά τον σταθμό S2, ο οποίος αποτελεί και αυτός σταθμό εκτροφής εμφάνισε χαμηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών, παραπλήσιες με αυτές του S3, γεγονός που υποδεικνύει την διασπορά των αμμωνιακών μέσω κάποιου θαλάσσιου ρεύματος και την οξειδωσή τους κατά τη διαδικασία της νιτροποίησης. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από την καταγραφή στον σταθμό S2 των υψηλότερων συγκεντρώσεων νιτρωδών. Όσον αφορά τον μέσο όρο της συγκέντρωσης των αμμωνιακών στον σταθμό εκτροφής S1, αυτός βρέθηκε στα 0,64 μM ή 0,01 mg/l (σύμφωνα με τον τύπο $1 \mu\text{g/l NH}_4 = 0,055437 \mu\text{mol/l}$), και όπως φαίνεται δεν ξεπερνάει την τιμή ασφαλείας των 0,1 mg/l. Το ίδιο ισχύει και για τον σταθμό εκτροφής S2, αφού ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των αμμωνιακών βρέθηκε στα 0,07 μM ή 0,001 mg/l. Τέλος, η μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή αμμωνιακών (1,74 μM ή 0,031 mg/l) είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτό το όριο, και επομένως η συγκέντρωση των αμμωνιακών δεν καθίσταται ικανή να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στους εκτρεφόμενους ιχθύες.

Ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των αμμωνιακών του σταθμού S1 στην παρούσα εργασία πλησιάζει αρκετά αυτούς της έρευνας των Neofitou & Kloudatos (2008) για την ίδια μονάδα εκτροφής, ενώ αυτός του σταθμού S2 παρουσιάζει συγκριτικά μικρότερες τιμές. Επιπλέον, συγκριτικά με τα αποτελέσματα παρόμοιας έρευνας των Δημούδη & Κατσαρέλης (2020), σε διαφορετική μονάδα εκτροφής εντός του

Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των αμμωνιακών του δειγματοληπτικού σταθμού S1 ήταν παρόμοιος, ενώ αυτός του σταθμού S2 ήταν μικρότερος. Επίσης, συγκριτικά με τα αποτελέσματα παρόμοιας έρευνας των Μαλαγκάρα & Παπασακελλαρίου (2019), σε διαφορετική μονάδα εκτροφής εντός του Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των αμμωνιακών των δειγματοληπτικών σταθμών S1 και S2 ήταν μικρότερος. Τέλος, συγκριτικά με τα αποτελέσματα παρόμοιας έρευνας του Παπαδημητρίου (2018), σε διαφορετική μονάδα εκτροφής εντός του Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των αμμωνιακών του δειγματοληπτικού σταθμού S1 ήταν μεγαλύτερος, ενώ αυτός του σταθμού S2 ήταν μικρότερος.

Τα νιτρώδη αποτελούν μία ενδιάμεση μορφή του αζώτου, η οποία παράγεται κατά τη διαδικασία της νιτροποίησης, η οποία επιτελείται από πρωτεολυτικά βακτήρια κάτω από αερόβιες συνθήκες, και κατά την οποία το αμμώνιο μετασχηματίζεται σε νιτρώδη, με τελικό σκοπό την μετατροπή σε νιτρικά. Επίσης, τα νιτρώδη παράγονται κατά τη διαδικασία της απονιτροποίησης, η οποία επιτελείται από απόνιτροποιητικά βακτήρια κάτω από αναερόβιες συνθήκες, και κατά την οποία τα νιτρικά μετασχηματίζονται σε νιτρώδη με τελικό σκοπό τη μετατροπή σε αέριο άζωτο, το οποίο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Η παρουσία των νιτρωδών στο νερό δεν είναι γενικά έντονη, καθώς οξειδώνονται πολύ γρήγορα από τη στιγμή που θα σχηματιστούν. Παρ' όλα αυτά η τοξικότητα τους θεωρείται σημαντική και η συγκέντρωσή τους δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 0,1 mg/l, ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η υγεία των εκτρεφόμενων οργανισμών (Παπουτσόγλου, 1997; Κλαουδάτος, 2005). Σε υψηλές συγκεντρώσεις η παρουσία των νιτρωδών προκαλεί δυσκολία πρόσληψης του οξυγόνου από την αιμογλοβίνη του αίματος των ιχθύων. Η σημαντικότερη παράμετρος του νερού

η οποία επιδρά στην τοξικότητα των νιτρωδών είναι το pH. Τέλος, σημαντική επίδραση διαδραματίζει η παρουσία χλωρικών και διττανθρακικών ιόντων στο νερό τα οποία ελαττώνουν την τοξική δράση των νιτρικών.

Στην παρούσα έρευνα, οι τιμές των νιτρωδών κυμάνθηκαν από 0,000 έως 0,005 μM . Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν στον σταθμό S2, που αποτελεί σταθμό εκτροφής, ενώ στον σταθμό εκτροφής S1 και στον σταθμό S3 (control) καταγράφηκαν αρκετά χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων των νιτρωδών έδειξε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των σταθμών, ενώ ειδικότερα και σύμφωνα με το Tukey's test η στατιστική διαφορά παρατηρήθηκε κυρίως μεταξύ των σταθμών S1-S2. Το γεγονός ότι δεν παρατηρείται στατιστική διαφορά στην συγκέντρωση των νιτρωδών μεταξύ του σταθμού S3 και κάποιου από τους σταθμούς εκτροφής υποδεικνύει ότι η συγκέντρωση του θρεπτικού αυτού στην περιοχή της εκτροφής δε διαφέρει απαραίτητα από τη φυσική συγκέντρωση, και άρα ο εμπλουτισμός της είναι ελάχιστος, γεγονός που είναι πιθανό να οφείλεται στην ταχεία οξείδωση και τη μετατροπή των νιτρωδών σε νιτρικά. Όσον αφορά τον μέσο όρο της συγκέντρωσης των νιτρωδών στον σταθμό εκτροφής S1, αυτός βρέθηκε στα 0,000 μM ή 0,000 mg/l (σύμφωνα με τον τύπο $1 \mu\text{g/l NO}_2 = 0,021736 \mu\text{mol/l}$), και όπως φαίνεται δεν ξεπερνάει την τιμή ασφαλείας των 0,1 mg/l. Το ίδιο ισχύει και για τον σταθμό εκτροφής S2. Τέλος, η μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή των νιτρωδών (0,005 μM ή 0,000 mg/l) είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτό το όριο και επομένως η συγκέντρωση των νιτρωδών δεν καθίσταται ικανή να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στους εκτρεφόμενους ιχθύες.

Ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των νιτρωδών των δειγματοληπτικών σταθμών S1 και S2 στην παρούσα εργασία βρέθηκε κατά πολύ μικρότερος από αυτούς της έρευνας

των Neofitou & Kliaoudatos (2008), για την ίδια μονάδα εκτροφής. Επιπλέον, συγκριτικά με τα αποτελέσματα παρόμοιας έρευνας των Δημούδη & Κατσαρέλης (2020), σε διαφορετική μονάδα εκτροφής εντός του Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των νιτρωδών του σταθμού S2 ήταν παρόμοιος, ενώ αυτός του σταθμού S1 ήταν μικρότερος. Ακόμη, συγκριτικά με τα αποτελέσματα παρόμοιας έρευνας των Μαλαγκάρα & Παπασακελλαρίου (2019), σε διαφορετική μονάδα εκτροφής εντός του Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των νιτρωδών των σταθμών S1 και S2 ήταν μικρότερος. Τέλος, συγκριτικά με τα αποτελέσματα παρόμοιας έρευνας του Παπαδημητρίου (2018), σε διαφορετική μονάδα εκτροφής εντός του Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των νιτρωδών του σταθμού S2 ήταν παραπλήσιος, ενώ αυτός του S1 ήταν μικρότερος.

Τα νιτρικά αποτελούν την τελική μορφή οξείδωσης του αζώτου κατά τη διαδικασία της νιτροποίησης και αποτελούν τη λιγότερο τοξική μορφή του, ακόμα και σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Γενικά, η συγκέντρωσή τους δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 100 mg/l, ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η υγεία των εκτρεφόμενων οργανισμών (Παπουτσόγλου, 1997; Κλαουδάτος, 2005).

Στην παρούσα έρευνα οι τιμές των νιτρικών κυμάνθηκαν από 2,08 έως 2,38 μM. Γενικά, σε όλους τους σταθμούς καταγράφηκαν παρόμοιες τιμές, ενώ η στατιστική επεξεργασία των νιτρικών έδειξε στατιστικώς μη σημαντική διαφορά μεταξύ των σταθμών.

Ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των νιτρικών στους σταθμούς S1 και S2 της παρούσας εργασίας βρέθηκε μεγαλύτερος από αυτούς της έρευνας των Neofitou & Kliaoudatos (2008), για την ίδια μονάδα εκτροφής. Επιπλέον, συγκριτικά με τα

αποτελέσματα παρόμοιας έρευνας των Δημούδη & Κατσαρέλης (2020), σε διαφορετική μονάδα εκτροφής εντός του Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των νιτρικών των σταθμών S1 και S2 ήταν παρόμοιος. Επίσης, συγκριτικά με τα αποτελέσματα παρόμοιας έρευνας των Μαλαγκάρα & Παπασακελλαρίου (2019), σε διαφορετική μονάδα εκτροφής εντός του Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των νιτρικών στους σταθμούς S1 και S2 ήταν ελάχιστα μεγαλύτερος. Τέλος, συγκριτικά με τα αποτελέσματα παρόμοιας μελέτης του Παπαδημητρίου (2018), σε διαφορετική μονάδα εκτροφής εντός του Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των νιτρικών των σταθμών S1 και S2 ήταν επίσης ελάχιστα μεγαλύτερος.

Ο φώσφορος βρίσκεται στο θαλάσσιο περιβάλλον σε διάφορες μορφές αιωρούμενες και διαλυμένες. Η είσοδός του σε αυτό πραγματοποιείται κυρίως από εισροές της χέρσου, ενώ η απομάκρυνσή του πραγματοποιείται από φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς, οι οποίοι το αφομοιώνουν και το αξιοποιούν στην διαδικασία της φωτοσύνθεσης (Φυτιάνος, 2017). Μία ποσότητα φωσφόρου επιστρέφει στο περιβάλλον ως προϊόν απέκκρισης των ζωντανών οργανισμών ή απελευθερώνεται από το νεκρό φυτοπλαγκτόν. Στα επιφανειακά στρώματα της υδάτινης στήλης, η συγκέντρωση του φωσφόρου επηρεάζεται από τη διαδικασία εναλλαγής των ανώτερων με τα κατώτερα στρώματα και η ποσότητά του αυξάνεται με το βάθος. Η κύρια μορφή με την οποία συναντάται ο ανόργανος φώσφορος είναι αυτή των ορθοφωσφορικών, ενώ στους φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς συναντάται με τη μορφή των πολυφωσφορικών. Ένα μέρος του ανόργανου φωσφόρου δεσμεύεται στα παράκτια νερά από τα πηλώδη ορυκτά. Παρά τον γενικό κανόνα ότι το άζωτο αποτελεί περιοριστικό παράγοντα της πρωτογενούς παραγωγικότητας στα θαλάσσια και ο φώσφορος στα εσωτερικά ύδατα, σε ένα μεγάλο μέρος της Μεσογείου το περιοριστικό θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη

του φυτοπλαγκτόν και των βακτηρίων είναι ο φώσφορος (Κλαουδάτος, 2005). Ο Παγασητικός κόλπος χαρακτηρίζεται από περιορισμό σε φώσφορο, εξαιτίας του γεγονότος ότι αποτελεί ημίκλειστο σύστημα και εξαιτίας των απορροών που δέχεται από την ξηρά. Η αναλογία αζώτου προς φώσφορο στον Παγασητικό είναι περίπου 23:1 (Neofitou & Kliaoudatos, 2008).

Στην παρούσα έρευνα, οι τιμές των φωσφορικών κυμάνθηκαν από 0,00 έως 0,09 μM . Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν στον σταθμό S3, που αποτελεί τον σταθμό ελέγχου, ενώ στον σταθμό εκτροφής S1 καταγράφηκαν αρκετά χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων των φωσφορικών έδειξε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των σταθμών, ενώ ειδικότερα και σύμφωνα με το Tukey's test η διαφορά αυτή παρατηρήθηκε κυρίως μεταξύ των σταθμών S1-S2 και S1-S3. Η μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή φωσφορικών (0,09 μM ή 0,01 mg/l, σύμφωνα με τον τύπο $1\mu\text{g/l PO}_4 = 0,010529\ \mu\text{mol/l}$) σε συνδυασμό με τη μέγιστη τιμή του ανόργανου αζώτου δεν ικανοποιούν τη συνθήκη για την αύξηση των φυτικών κυττάρων και την εμφάνιση ευτροφικών συνθηκών, κατά την οποία θα πρέπει οι συγκεντρώσεις του ολικού ανόργανου αζώτου να ξεπερνούν τα 0,3 mg/l και του ανόργανου φωσφόρου τα 0,01 mg/l (Sawyer, 1966), και επομένως δεν υπάρχει ο κίνδυνος ευτροφισμού.

Ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των φωσφορικών του σταθμού S2 στην παρούσα εργασία πλησιάζει αρκετά αυτούς της έρευνας των Neofitou & Kliaoudatos (2008), για την ίδια μονάδα εκτροφής, ενώ αυτός του σταθμού S1 παρουσιάζει συγκριτικά μικρότερες τιμές. Επιπλέον, συγκριτικά με τα αποτελέσματα παρόμοιας έρευνας των Δημούδη & Κατσαρέλης (2020), σε διαφορετική μονάδα εκτροφής εντός του Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των φωσφορικών των σταθμών S1 και S2 ήταν κατά πολύ μικρότερος. Επιπλέον, συγκριτικά με τα

αποτελέσματα παρόμοιας μελέτης των Μαλαγκάρα & Παπασακελλαρίου (2019), σε διαφορετική μονάδα εκτροφής εντός του Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των φωσφορικών των σταθμών S1 και S2 ήταν μικρότερος. Τέλος, συγκριτικά με τα αποτελέσματα παρόμοιας έρευνας του Παπαδημητρίου (2018), σε διαφορετική μονάδα εκτροφής εντός του Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των φωσφορικών του σταθμού S1 ήταν μικρότερος, ενώ αυτός του σταθμού S2 ήταν μεγαλύτερος.

Τέλος, στην παρούσα έρευνα οι τιμές των πυριτικών κυμάνθηκαν από 0,06 έως 4,79 μM . Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν στον σταθμό εκτροφής S2, ενώ οι συγκεντρώσεις στον σταθμό εκτροφής S1 βρέθηκαν κατά πολύ χαμηλότερες. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις των πυριτικών στον σταθμό S1 βρέθηκαν χαμηλότερες και από αυτές του σταθμού ελέγχου S3. Οι υψηλές συγκεντρώσεις πυριτικών του σταθμού S2 μπορούν να αποδοθούν στην επαναμεταλλοποίηση του βιογενούς προέλευσης υλικού που έχει συσσωρευτεί στον πυθμένα, ενώ οι χαμηλές συγκεντρώσεις πυριτικών του σταθμού S1 είναι πιθανό να οφείλονται στην ταχεία πρόσληψή του από τα διάτομα (Basaranet al., 2010). Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων των πυριτικών έδειξε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των σταθμών, ενώ ειδικότερα και σύμφωνα με το Tukey's test η διαφορά αυτή παρατηρήθηκε κυρίως μεταξύ των σταθμών S1-S2 και S2-S3.

Ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των πυριτικών του σταθμού S2 στην παρούσα εργασία βρέθηκε αρκετά μεγαλύτερος από αυτούς της έρευνας των Neofitou & Kladatos (2008), για την ίδια μονάδα εκτροφής. Παράλληλα, συγκριτικά με τα αποτελέσματα παρόμοιων ερευνών των Δημούδη & Κατσαρέλης (2020), των Μαλαγκάρα & Παπασακελλαρίου (2019) και του Παπαδημητρίου (2018), σε

διαφορετικές μονάδες εκτροφής εντός του Παγασητικού κόλπου, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των πυριτικών του σταθμού S2 ήταν επίσης κατά πολύ μεγαλύτερος.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι καταγεγραμμένες τιμές της θερμοκρασίας και στους τρεις δειγματοληπτικούς σταθμούς προσεγγίζουν το αναμενόμενο εύρος τιμών του Παγασητικού κόλπου. Οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας στους σταθμούς εκτροφής (S1, S2), βρέθηκαν πολύ κοντά στις θερμοκρασίες βέλτιστης ανάπτυξης των εκτρεφόμενων ιχθύων. Τέλος, σε όλους τους σταθμούς έγινε εμφανές το φαινόμενο του θερμοκλινούς.

Ο μέσος όρος των τιμών της αλατότητας και στους τρεις δειγματοληπτικούς σταθμούς βρίσκεται εντός των αναμενόμενων ορίων του Παγασητικού κόλπου. Οι τιμές της αλατότητας ξεπέρασαν τις τιμές του εύρους βέλτιστης ανάπτυξης των εκτρεφόμενων ιχθύων, χωρίς ωστόσο να προκύπτουν δυσμενείς επιδράσεις για τους οργανισμούς. Τέλος, σε όλους τους σταθμούς εμφανίστηκε το φαινόμενο του αλοκλινούς.

Ο μέσος όρος του διαλυμένου οξυγόνου στον σταθμό S1 βρίσκεται ελάχιστα κάτω από το όριο των 5mg/l, ενώ στους δειγματοληπτικούς σταθμούς S2 και S3 ο μέσος όρος βρίσκεται ελάχιστα πάνω από το όριο αυτό. Η παρατηρούμενη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα επιφανειακά στρώματα των σταθμών εκτροφής (S1, S2), πιθανό να οφείλεται στην υψηλή ιχθυοφόρτιση, αλλά και στην παρεμπόδιση της ανανέωσης του νερού λόγω της βιοεπίστρωσης των διχτυών.

Οι τιμές του pH στην περιοχή έρευνας εμφάνισαν μικρές διακυμάνσεις. Ο μέσος όρος των καταγεγραμμένων τιμών και στους τρεις δειγματοληπτικούς σταθμούς είναι

περίπου στο 8,5. Η μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή είναι 8,62 και η ελάχιστη 8,42, τιμές ακίνδυνες για τους εκτρεφόμενους οργανισμούς.

Οι τιμές της χλωροφύλλης *a* σε όλους τους δειγματοληπτικούς σταθμούς βρίσκονται εντός των φυσιολογικών ορίων για τον Παγασητικό κόλπο.

Η στατιστική επεξεργασία των δειγμάτων έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών για όλα τα θρεπτικά άλατα, εκτός από τα νιτρικά. Όσον αφορά τα νιτρώδη, σύμφωνα με το Tukey's test η στατιστική διαφορά παρατηρήθηκε κυρίως μεταξύ των σταθμών S1-S2.

Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών δεν ξεπέρασαν σε καμία περίπτωση τα επιτρεπτά όρια πέραν των οποίων εμφανίζεται το φαινόμενο του ευτροφισμού ή δημιουργούνται σοβαρές επιπτώσεις στους εκτρεφόμενους οργανισμούς.

Ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων των περισσότερων θρεπτικών κυμάνθηκε σε παραπλήσιες ή μικρότερες τιμές συγκριτικά με παρόμοιες έρευνες, ενώ μόνο ο μέσος όρος των πυριτικών του σταθμού S2 βρέθηκε αρκετά μεγαλύτερος.

Οι επιπτώσεις της εκτροφής, στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων στη στήλη του νερού, περιορίζονται σε μικρή απόσταση γύρω από την περιοχή εκτροφής και δεν επηρεάζουν σημαντικά την ευρύτερη περιοχή του Παγασητικού κόλπου.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 Ελληνική βιβλιογραφία

Δημούδη, Α. & Κατσαρέλης, Χ. (2020) *Επίδραση εκτροφής ιχθύων στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης στην περιοχή του Παγασητικού κόλπου - Προπτυχιακή διπλωματική εργασία*. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, σελ. 70.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2018) “Οι πιθανές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας στη φύση και στην άγρια ζωή”, Στο: *Οδηγός για Υδατοκαλλιέργεια και Natura 2000: Βιώσιμες δραστηριότητες Υδατοκαλλιέργειας στο Δίκτυο*. Λουξεμβούργο: Υπηρεσία Εκδόσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σελ. 22–40.

Θεοδώρου, Α. (2017) “Χημικές ιδιότητες του Θαλάσσιου νερού,” Στο: *Ωκεανογραφία*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη, σελ. 163–189.

Κλαουδάτος, Σ. & Κλαουδάτος, Δ. (2012) “Αναπαραγωγή-εκτροφή ιχθύων θαλάσσιων υδάτων,” Στο: *Καλλιέργειες φυτικών και εκτροφές υδρόβιων ζωικών οργανισμών*. 1^η εκδ. Αθήνα: Εκδόσεις Προπομπός, σελ. 169–282.

Κλαουδάτος, Σ. & Κλαουδάτος, Δ. (2010) “Εισαγωγή στις υδατοκαλλιέργειες,” Στο: *Κατασκευές υδατοκαλλιεργητικών συστημάτων*. 1^η εκδ. Αθήνα: Εκδόσεις Προπομπός, σελ. 9-62.

Κλαουδάτος, Σ. (2005) *Πανεπιστημιακές Παραδόσεις του Μαθήματος Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον*. Βόλος.

Μαλαγκάρα, Δ. & Παπασακελλαρίου, Ε. (2019) *Επίδραση ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης στην περιοχή του Παγασητικού Κόλπου - Προπτυχιακή διπλωματική εργασία*. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, σελ. 68.

Νεοφύτου, Χ. & Νεοφύτου, Ν. (2017) “Φυσικοχημικές ιδιότητες των υδάτινων οικοσυστημάτων,” Στο: *Ιχθυολογία*. 3^η εκδ. Θεσσαλονίκη: University Studio Press, σελ. 25–61.

Παπαδημητρίου, Κ. (2018) *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης - Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία*. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, σελ. 106.

Παπακωνσταντίνου, Κ., Πετράκη, Γ., Μυτιληναίου, Χ., Πολίτου, Χ., Βασιλόπουλος, Β. και Φουρτούνη, Α. (1989) Αλιευτική έρευνα των βενθοπελαγικών ψαριών του Ευβοϊκού και Παγασητικού κόλπου. Αθήνα.

Παπουτσόγλου, Σ. (1997) “Θεμελιώδεις αρχές των υδατοκαλλιεργειών,” Στο: *Εισαγωγή στις υδατοκαλλιεργείες*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη, σελ. 57–234.

Περισοράτης, Κ., Ζαχαράκης, Π. και Ανδριανόπουλος, Α. (1990) “Ίζηματολογία των επιφανειακών ιζημάτων του Παγασητικού κόλπου και του διαύλου Τρίκερι Δ. Αιγαίο πέλαγος,” *Thalassographica*, (13), σελ. 35–45.

ΣΕΘ (2020) *Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια 2020: ετήσια έκθεση*. σελ. 35.

Φριλίγκος, Ν., Μπαρμπετσέας, Σ., Βουτσίνου-Ταλιαδούρη, Φ., Ψυλλίδου-Γκιουράνοβιτς, Ρ., Γεωργακοπούλου-Γρηγοριάδου, Ε., Γιαλαμάς, Ι., Γκότση-Σκρέτα, Ο., Σιώκου-Φράγκου, Ι. και Μπόγδανος Κ., (1992) *Ωκεανογραφική μελέτη Παγασητικού κόλπου*. σελ. 101.

Φυτιάνος, Κ. (2017) “Θρεπτικά συστατικά στο θαλάσσιο περιβάλλον,” Στο: *Η ρύπανση των θαλασσών*. 3^η εκδ. Θεσσαλονίκη: University Studio Press, σελ. 61–82.

6.2 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Aksu, M., Kaymakçi-Başaran, A. and Egemen, Ö. (2010) “Long-term monitoring of the impact of a capture-based bluefin tuna aquaculture on water column nutrient levels in the Eastern Aegean Sea, Turkey,” *Environmental Monitoring and Assessment*, 171(1–4), pp. 681–688. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1313-y>.

APHA (1981) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 15th edn. American Public Health Association, AWWA, WPCF.

Apostolaki, E.T., Tsagaraki, T., Tsapakis, M. and Karakassis, I. (2007) “Fish farming impact on sediments and macrofauna associated with seagrass meadows in the Mediterranean,” *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75(3), pp. 408–416. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.05.024>.

Baluyut, E. (1989) “Aquaculture methods and practices: a selected review,” in *Aquaculture systems and practices: a selected review*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Basaran, A.K., Aksu, M. and Egemen, O. (2010) “Impacts of the fish farms on the water column nutrient concentrations and accumulation of heavy metals in the sediments in the eastern Aegean Sea (Turkey),” *Environmental Monitoring and Assessment*, 162(1–4), pp. 439–451. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0808-x>.

Boyd, C.E. (2011) *Aquaculture Effluents and Water Pollution*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/267877126>.

Cancemi, G., de Falco, G. and Pergent, G. (2003) “Effects of organic matter input from a fish farming facility on a *Posidonia oceanica* meadow,” *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(5–6), pp. 961–968. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00295-0](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00295-0).

Dabi, M. (2015) *The Impact of Aquaculture on the Environment: A Ghanaian Perspective*. Available at: www.theijst.com.

Edwards, P. & Demaine, H. (1998) “Definitions,” in *Rural Aquaculture: Overview and Framework for Country Reviews*. Bangkok, Thailand: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

FAO (2020) *The State of World Fisheries and Aquaculture. Sustainability in action*. Rome. Available at: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.

Farmaki, E.G., Thomaidis, N., Pasiadis, I., Baulard, C., Papaharisis, L. and Efstathiou, C. (2014) “Environmental impact of intensive aquaculture: Investigation on the accumulation of metals and nutrients in marine sediments of Greece,” *Science of the Total Environment*, 485–486(1), pp. 554–562. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.125>.

Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J. and Nys, R. (2012) “The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review,” *Biofouling*, 28, pp. 649–669.

Friligos, N. (1988) “Nutrient enrichment and circulation of water masses in the Pagasitikos Gulf (Aegean Sea),” *Oceanologica acta*, pp. 111–122.

Holmer, M., Argyrou, M., Dalsgaard, T., Danovaro, R., Diaz-Almela, E., Duarte, C., Frederiksen, M., Grau, A., Karakassis, I., Marbà, N., Mirto, S., Pérez, M., Pusceddu, A. and Tsapakis, M. (2008) “Effects of fish farm waste on *Posidonia oceanica* meadows: Synthesis and provision of monitoring and management tools,” *Marine Pollution Bulletin*, 56(9), pp. 1618–1629. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.05.020>.

Kalantzi, I. & Karakassis, I. (2006) “Benthic impacts of fish farming: Meta-analysis of community and geochemical data,” *Marine Pollution Bulletin*, 52(5), pp. 484–493. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.09.034>.

Karakassis, I., Tsapakis, M., Hatziyanni, E., Papadopoulou, K.-N. and Plaiti, W. (2000) “Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas,” in *ICES Journal of Marine Science*. Academic Press, pp. 1462–1471. Available at: <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0925>.

Klaoudatos, S.D. (2002) “Environmental impact of aquaculture in Greece. Practical experiences,” *Cahier Options Mediterrannes*, 55, pp. 109–127.

- Klaoudatos, S.D.**, Klaoudatos, D.S., Smith, J., Bogdanos, K. and Papageorgiou, E. (2006) “Assessment of site specific benthic impact of floating cage farming in the eastern Hios island, Eastern Aegean Sea, Greece,” *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 338(1), pp. 96–111. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.07.002>.
- Kucuksezgin, F.**, Pazi, I., Gonul, L., Kocak, F., Eronat, C., Saylin, E. and Talas, E. (2021) “The impact of fish farming on the water column and marine sediments in three coastal regions from eastern Aegean coast,” *Environmental Science and Pollution Research*, 28(23), pp. 29564–29580. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12695-2>.
- La Rosa, T.**, Mirto, S., Favalaro, E., Savona, B., Sarà, G., Danovaro, R. and Mazzola, A. (2002) “Impact on the water column biogeochemistry of a Mediterranean mussel and fish farm,” *Water Research*, 36, pp. 713–721.
- Machias, A.**, Giannoulaki, M., Somarakis, S., Maravelias, C.D., Neofitou, C., Koutsoubas, D., Papadopoulou, K.N. and Karakassis, I. (2006) “Fish farming effects on local fisheries landings in oligotrophic seas,” *Aquaculture*, 261(2), pp. 809–816. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.019>.
- Machias, A.**, Karakassis, I., Labropoulou, M., Somarakis, S., Papadopoulou, K.N. and Papaconstantinou, C. (2004) “Changes in wild fish assemblages after the establishment of a fish farming zone in an oligotrophic marine ecosystem,” *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60(4), pp. 771–779. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.03.014>.
- Mantzavrakos, E.**, Kornaros, M., Lyberatos, G. and Kaspiris, P. (2007) “Impacts of a marine fish farm in Argolikos Gulf (Greece) on the water column and the sediment,” *Desalination*, 210(1–3), pp. 110–124. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.05.037>.
- Matijević, S.**, Kušpilić, G. and Barić, A. (2006) *Impact of fish farm on physical and chemical properties of sediment and water column in the middle Adriatic Sea*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/234034746>.
- Mente, E.**, Pierce, G.J., Santos, M.B. and Neofitou, C. (2006) “Effect of Feed and Feeding in the Culture of Salmonids on the Marine Aquatic Environment: A Synthesis for European Aquaculture,” *Aquaculture International*, 14, pp. 499–522.
- Morata, T.**, Falco, S., Gadea, I., Sospedra, J. and Rodilla, M. (2015) “Environmental effects of a marine fish farm of gilthead seabream (*Sparus aurata*) in the NW Mediterranean Sea on water column and sediment,” *Aquaculture Research*, 46(1), pp. 59–74. Available at: <https://doi.org/10.1111/are.12159>.
- 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(5), pp. 482–490. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01900.x>.

- Neofitou, N.**, Papadimitriou, K., Domenikiotis, C., Tziantziou, L. and Panagiotaki, P. (2019) “GIS in environmental monitoring and assessment of fish farming impacts on nutrients of Pagasitikos Gulf, Eastern Mediterranean,” *Aquaculture*, 501, pp. 62–75. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.005>.
- 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), pp. 95-105.
- Neofitou, N.** (2016) “Waste feed from fish farms of the Eastern Mediterranean and attraction of wild fish,” *Universal Journal of Geosciences*, 4(5), pp. 112-115.
- Nordvarg, L.** & Johansson, T. (2002) “The effects of fish farm effluents on the water quality in the Åland archipelago, Baltic Sea,” *Aquacultural Engineering*, 25, pp. 253–279. Available at: www.elsevier.com/locate/aqua-online.
- Papageorgiou, N.**, Kalantzi, I. and Karakassis, I. (2010) “Effects of fish farming on the biological and geochemical properties of muddy and sandy sediments in the Mediterranean Sea,” *Marine Environmental Research*, 69(5), pp. 326–336. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2009.12.007>.
- Parsons, T.R.**, Maita, Y. and Lalli, C.M. (1984) *A Manual of Chemical & Biological Methods for Seawater Analysis*. 1st edn. Oxford: Pergamon Press.
- Pergent-Martini, C.**, Boudouresque, C., Pasqualini, V. and Pergent, G. (2006) “Impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows: A review,” *Marine Ecology*, 27(4), pp. 310–319. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2006.00122.x>.
- Petihakis, G.**, Triantafyllou, G., Koliou, A. and 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*, pp. 22–26.
- Petihakis, G.**, Triantafyllou, G., Pollani, A., Koliou, A. and 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(5), pp. 493–518. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2004.07.004>.
- Pitta, P.**, Apostolaki, E.T., Tsagaraki, T., Tsapakis, M. and Karakassis, I. (2006) “Fish farming effects on chemical and microbial variables of the water column: A spatio-temporal study along the Mediterranean Sea,” *Hydrobiologia*, 563(1), pp. 99–108. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1593-3>.
- Pusceddu, A.**, Frascetti, S., Mirto, S., Holmer, M. and Danovaro, R. (2007) “Effects of intensive mariculture on sediment biochemistry,” *Ecological Applications*, 17(5), pp. 1366–1378.

Sarà, G. (2007) “A meta-analysis on the ecological effects of aquaculture on the water column: Dissolved nutrients,” *Marine Environmental Research*, 63(4), pp. 390–408. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2006.10.008>.

Sawyer, C.N. (1966) “Basic Concepts of Eutrophication,” *Water Pollution Control*, 38, pp. 737–744.

Silvert, W. (1992) “Assessing environmental impacts of finfish aquaculture in marine waters,” *Aquaculture*, 107, pp. 69–79.

Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. (1972) *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. 2nd edn. Ottawa 1972: Fisheries Research Board of Canada.

Tett, P. (2008) “Fish Farm Wastes in the Ecosystem,” in *Aquaculture in the Ecosystem*, pp. 1–46.

Theodorou, A. & Petihakis, G. (2000) *Study of Pagasitikos Gulf*. Volos.

Tičina, V., Katavić, I. and Grubišić, L. (2020) “Marine Aquaculture Impacts on Marine Biota in Oligotrophic Environments of the Mediterranean Sea – A Review,” *Frontiers in Marine Science*, 7. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00217>.

Triantafyllou, G., Petihakis, G., Dounas, C. and Theodorou, A. (2001) “Assessing Marine Ecosystem Response to Nutrient Inputs,” *Marine Pollution Bulletin*, 43, pp. 175–186.

ABSTRACT

The aquaculture sector at global level plays an important role in food production, in addressing the food problem, in the economy and in the social cohesion of many countries. In Greece, the aquaculture sector is oriented towards the farming of Mediterranean fish species in cages, in marine waters and is a highly competitive activity. However, despite its significant contribution and the advantages it offers, the aquaculture sector is often the subject of strong criticism regarding its impact and its effects on the natural environment.

This undergraduate thesis aims to evaluate the environmental effects of fish farming on water column nutrients (ammonium, nitrite, nitrate, phosphate and silicate).

To achieve the objective, sampling was carried out during the summer period at the fish farm premises in the southeastern Pagasitikos Gulf, during which water samples were taken from three stations (two within the farm and one control station) at different depths. At the same time, the physico-chemical and biological characteristics of the water (temperature, salinity, dissolved oxygen, pH and chlorophyll *a*) were recorded at each station.

The results of this thesis showed increased concentrations of ammonium, nitrite and silicate in at least one rearing station, compared to the control station. Statistical analysis of the results showed significant differences between stations for all nutrients except nitrate.

In conclusion, nutrient concentrations never exceeded the permissible limits beyond which eutrophication occurs or serious impacts on the farmed organisms occur. Finally, the impact of the farming on the formation of nutrient concentrations in the water

column is limited to a short distance around the farming area and does not significantly affect the wider area of Pagasitikos Gulf.

Keywords: *aquaculture, environmental impacts, eutrophication*