

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ιχθυοκαλλιέργειας
στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης»**

Κωνσταντίνος Παπαδημητρίου

ΒΟΛΟΣ 2018

**«Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτικά άλατα
της υδάτινης στήλης»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1) Νικόλαος Νεοφύτου, Επίκουρος Καθηγητής, Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπων*,

2) Παναγιώτα Παναγιωτάκη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Υδατοκαλλιέργειες, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*,

3) Χρήστος Δομενικιώτης, ΕΔΙΠ, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.

*Στους Πολέμαρχους ...
της ζωής*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, Επικ. Καθηγητή κ. Νίκο Νεοφύτου για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή των δειγματοληψιών και των αναλύσεων, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από την Αναπλ. Καθηγήτρια κα Π. Παναγιωτάκη και τον κ. Χ. Δομενικιώτη (ΕΔΙΠ), για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της διατριβής.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, στους ιδιοκτήτες και στο προσωπικό της ιχθυοκαλλιεργητικής μονάδας, “Ιχθυοτροφεία Παγασητικού Α.Ε.”, για τη φιλοξενία τους στις εγκαταστάσεις της μονάδας, την παροχή των πλωτών μέσων για την πραγματοποίηση των δειγματοληψιών, καθώς και για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους φίλους μου Βαγγέλη και Γιάννη για τη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών, τον Στέργιο για την συμπαράστασή του κατά τη διάρκεια των αναλύσεων και τη Μαρία για τις συμβουλές της στη συγγραφή της διατριβής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον Αναπλ. Καθηγητή κ. Αθανάσιο Εξαδάκτυλο, Πρόεδρο του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος για την παρότρυνσή του να ξεκινήσω αυτό το εγχείρημα.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου και στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης, από τη λειτουργία μονάδας εκτροφής ψαριών στη δυτική λεκάνη του Παγασητικού κόλπου και την πιθανή εκτίμηση της μεταβολής αυτών χωροχρονικά.

Οι εργασίες πεδίου έλαβαν χώρα στον όρμο “Λαδικού” στις Νηές Μαγνησίας, όπου λειτουργεί η ιχθυοκαλλιεργητική μονάδα “ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΙΑ ΠΑΓΑΣΗΤΙΚΟΥ Α.Ε.”. Με τη χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών επιλέχθηκαν 11 σταθμοί δειγματοληψίας. Σε κάθε σταθμό μετρήθηκαν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, χλωροφύλλη α, pH) και λήφθηκαν εποχικά δείγματα νερού από διάφορα βάθη για τις αναλύσεις των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά και πυριτικά).

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής έδειξαν ότι τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά στα σημεία δειγματοληψίας παρουσίασαν την αναμενόμενη εποχική διακύμανση. Τα θρεπτικά άλατα παρουσίασαν μια αύξηση στις συγκεντρώσεις τους στους σταθμούς όπου πραγματοποιείται η κύρια εκτροφή και κυρίως στα επιφανειακά στρώματα της υδάτινης στήλης, φτάνοντας στην περίπτωση των αμμωνιακών τα 3,918 μM την εαρινή περίοδο.

Η στατιστική επεξεργασία των συγκεντρώσεων των θρεπτικών, όσον αφορά τους σταθμούς δειγματοληψίας, έδειξε σημαντικές διαφορές. Επίσης, στατιστικά σημαντικές διαφορές βρέθηκαν και για τις δυο εποχές για όλα τα θρεπτικά άλατα εκτός από τα αμμωνιακά και τα νιτρικά.

Παρόλα αυτά οι συγκεντρώσεις τους σε καμία περίπτωση δεν ξεπέρασαν τα όρια πέραν των οποίων εμφανίζεται το φαινόμενο του ευτροφισμού ή δημιουργούνται

συνθήκες που διαταράσσουν την ευζωία των εκτρεφόμενων οργανισμών, ενώ οι επιπτώσεις της ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης φαίνεται να είναι χωρικά περιορισμένες.

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

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΣΕΛΙΔΕΣ	I-VI
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1 Η αναπτυξιακή πορεία των υδατοκαλλιεργειών.....	4
1.2 Ελληνική υδατοκαλλιέργεια.....	9
1.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών.....	11
1.4 Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	16
1.5 Ανασκόπηση βιβλιογραφίας.....	19
1.6 Σκοπός.....	20
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	22
2.1 Γενικά.....	22
2.2 Δειγματοληπτικό πλέγμα σταθμών.....	24
2.3 Μορφολογία βυθού.....	26
2.4 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά.....	29
2.4.1 Υδάτινη στήλη.....	29
2.4.2 Θρεπτικά άλατα.....	30
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	36
3.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά.....	36
3.2 Θρεπτικά άλατα.....	51
3.3 Χωρική παρεμβολή.....	63
3.4 Στατιστική επεξεργασία.....	71
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	74
4.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά.....	74
4.2 Θρεπτικά άλατα.....	81
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	88
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	90
6.1 Ελληνική βιβλιογραφία.....	90
6.2 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	91
6.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία.....	99
ABSTRACT	100

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η αναπτυξιακή πορεία των υδατοκαλλιεργειών

Ο κλάδος των υδατοκαλλιεργειών είναι διαρκώς αναπτυσσόμενος και έρχεται να καλύψει τη ζήτηση της αγοράς σε αλιευτικούς πόρους, καθώς τα φυσικά αποθέματα των αλιευμάτων έχουν μειωθεί δραματικά εξαιτίας κυρίως της υπεραλίευσης. Σχεδόν τα τρία τέταρτα των αλιευτικών αποθεμάτων είτε έχουν αλιευθεί πλήρως, είτε υπεραλιευθεί ή έχουν εξαντληθεί, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων (FAO) (Giarratano & Amin 2010), ενώ η ζήτηση για αλιευτικά προϊόντα προς ανθρώπινη κατανάλωση αυξάνει με γρήγορους ρυθμούς (Pauly et al. 1998).

Το 1976, η ετήσια παραγωγή ψαριών από τις ιχθυοκαλλιέργειες έφτασε τα 6 εκατομμύρια τόνους (FAO 1978). Η ποσότητα αυτή αντιπροσώπευε το 8% περίπου της παγκόσμιας αλιευτικής παραγωγής και ακολουθώντας ανοδική πορεία έφτασε το 2004 τους 59,4 εκατομμύρια τόνους, που αποτελούσε το 50% περίπου της αλιευτικής παραγωγής (FAO 2006). Το 2006, το 36% των παραγόμενων υδρόβιων οργανισμών και το 47% των παραγόμενων ψαριών σε παγκόσμιο επίπεδο προήλθε από τις υδατοκαλλιέργειες (FAO 2008).

Το 2015, για ακόμη μια φορά η παραγωγή προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση, ξεπέρασε την αντίστοιχη από τη συλλεκτική αλιεία, η οποία τα τελευταία δέκα χρόνια έχει σταθεροποιηθεί μεταξύ 90 – 93 εκατομμύρια τόνους. Ειδικότερα, ο συνολικός όγκος παραγωγής ξεπέρασε τους 106 εκατομμύρια τόνους, σημειώνοντας αύξηση 4,9%, ενώ η αξία πωλήσεων ανήλθε σε 130,38 δισ. €, σημειώνοντας πτώση 1,8% σε σχέση πάντα με το προηγούμενο έτος. Από το σύνολο της παραγωγής των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, σε θαλάσσια ύδατα παρήχθησαν 50,18 εκατομμύρια τόνοι, όγκος

που αντιστοιχεί στο 45% της συνολικής παραγωγής, ενώ σε γλυκά και υφάλμυρα ύδατα παρήχθησαν 47,86 και 7,96 εκατομμύρια τόνοι αντίστοιχα (ΣΕΘ 2017).

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία του FAO ως προς τον όγκο και την αξία παραγωγής, το 2015 τα ψάρια αποτέλεσαν σχεδόν το ήμισυ της παγκόσμιας παραγωγής των υδατοκαλλιεργειών. Ο όγκος παραγωγής τους ξεπέρασε το 48 % του συνόλου των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας που παρήχθησαν (51,91 εκατομμύρια τόνοι) και η αξία τους ανήλθε στο 60% (78,25 δισ. €). Σε σχέση με το 2014, παρατηρήθηκε 4,1% αύξηση ως προς τον όγκο παραγωγής και 3,4% ως προς την αξία (FAO 2016).

Η αύξηση της παραγωγής των υδατοκαλλιεργειών είναι η γενικότερη τάση που επικρατεί σε όλες τις ηπείρους, με μόνη εξαίρεση την Ωκεανία. Ωστόσο παραμένει άνιση η κατανομή της δραστηριότητας, αφού στις χώρες της Ασίας εκτρέφονται τα 2/3 της παγκόσμιας παραγωγής. Ειδικότερα, η Ασία αποτελεί μακράν τον μεγαλύτερο παραγωγό προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, αφού εκεί παράγεται το 92 % της παγκόσμιας παραγωγής (97,56 εκατομμύρια τόνοι) με την Κίνα, την Ινδονησία και την Ινδία να βρίσκονται στην κορυφή της παγκόσμιας κατάταξης. Η Κίνα είναι πρώτη στον παγκόσμιο χάρτη με όγκο παραγωγής 61,54 εκατομμύρια τόνους. Η Αμερική παράγει το 3% της παγκόσμιας παραγωγής (3,28 εκατομμύρια τόνοι), η Ευρώπη το 2,8 % (2,98 εκατομμύρια τόνοι) με σχεδόν σταθερή παραγωγή από το 2000. Στην Αφρική παράγεται μόλις το 1,8% της παγκόσμιας παραγωγής (1,97 εκατομμύρια τόνοι), ωστόσο σημείωσε 5,9% ανάπτυξη σε σχέση με το 2014. Τέλος, η Ωκεανία είναι η ήπειρος με τη μικρότερη παραγωγή παγκοσμίως, καθώς αντιπροσωπεύει μόλις το 0,2% (0,2 εκατομμύρια τόνοι περίπου) της παγκόσμιας παραγωγής (FAO 2016).

Όσον αφορά στην απασχόληση, η υδατοκαλλιέργεια είναι μια παραγωγική δραστηριότητα με σημαντικές κοινωνικοοικονομικές προεκτάσεις, στηρίζοντας την

οικονομική και κοινωνική συνοχή ολόκληρων γεωγραφικών περιοχών, ιδίως στην Ασία. Σύμφωνα με τον FAO, στην υδατοκαλλιέργεια απασχολούνται άμεσα 19 εκατομμύρια άτομα παγκοσμίως. Αξίζει να σημειωθεί πως το 95% των θέσεων εργασίας στην υδατοκαλλιέργεια είναι στην Ασία και το υπόλοιπο 5% στη Λατινική Αμερική, στην Αφρική, στην Ευρώπη, στη Βόρεια Αμερική και Ωκεανία (FAO 2016).

Σήμερα, ένα σημαντικό ποσοστό των βρώσιμων ψαριών προέρχεται από τις ιχθυοκαλλιέργειες και αναμένεται να αυξηθεί τις επόμενες δεκαετίες, προκειμένου να καλυφθούν οι διατροφικές ανάγκες του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού (Duarte et al. 2009), ενώ σύμφωνα με τις προβλέψεις του FAO και της Παγκόσμιας Τράπεζας, μέχρι το 2030, πάνω από το 65% των αλιευτικών προϊόντων θα προέρχεται από την υδατοκαλλιέργεια, γεγονός που αναδεικνύει τον σημαντικό ρόλο που καλείται να παίξει στην κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης αλιευτικών προϊόντων, ιδίως στις ταχύτερα αναπτυσσόμενες χώρες. Ταυτόχρονα, ο μέσος όρος της ετήσιας κατά κεφαλήν κατανάλωσης ιχθύων κυμάνθηκε στα 19 κιλά και αυτό εξαιτίας της αύξησης της παραγωγής των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας (ΣΕΘ 2017).

Η συνολική παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση των (28) έφτασε τους 1,30 εκατομμύρια τόνους το 2015, συνολικής αξίας 3,58 δισ. €, παρουσιάζοντας μεν μια αύξηση 1,36% στην παραγωγή αλλά και μια μείωση 13,8% σε αξία σε σχέση με το 2014. Το 2015, σύμφωνα με τα στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων, ως προς τον όγκο παραγωγής προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, στις τρεις πρώτες χώρες της Ε.Ε. βρίσκονται η Ισπανία με 289.821 τόνους, το Ην. Βασίλειο με 206.834 τόνους και η Γαλλία με 206.800 τόνους. Η Ελλάδα βρίσκεται στην 5η θέση με 106.117 τόνους συνολικής παραγωγής υδατοκαλλιέργειας, παρουσιάζοντας μείωση 21% σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Ως προς την αξία παραγωγής, στις τρεις

πρώτες χώρες κατατάσσεται το Ηνωμένο Βασίλειο πρώτο με 878,45 εκ. €, η Γαλλία με 653,63 εκ. €, και η Ελλάδα με 411,12 εκ. € παρουσιάζοντας μείωση 13,06 % σε σχέση με το προηγούμενο έτος (FAO 2016).

Το 2015 παρήχθησαν στην Ευρωπαϊκή Ένωση 671.504 τόνοι ψαριών υδατοκαλλιέργειας, παρουσιάζοντας μείωση 0,03% σε σύγκριση με το 2014. Η συνολική αξία τους ήταν περίπου 2,65 δισ. €, σημειώνοντας μείωση 13,2% σε σχέση με το 2014. Τα κυριότερα είδη των εκτρεφόμενων ψαριών που παρήχθησαν στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2015 ήταν ο σολομός Ατλαντικού, που με 185.994 τόνους παραγωγή παρουσίασε μείωση 1,84% σε σχέση με το προηγούμενο έτος και αντιπροσωπεύει σχεδόν το 27,7% των ψαριών που εκτρέφονται στην Ε.Ε. Ακολουθεί η ιριδίζουσα πέστροφα, που με 185.889 τόνους παραγωγής παρουσίασε μείωση 0,69% της παραγωγής και αντιπροσώπευσε το 27,7% των ψαριών που εκτρέφονται στην Ε.Ε. Τρίτη στην κατάταξη είναι η τσιπούρα, που με 82.526 τόνους παραγωγή παρουσίασε 5,05% μείωση της παραγωγής της και αντιπροσώπευσε σχεδόν το 12,3% της παραγωγής ψαριών υδατοκαλλιέργειας (FAO 2016).

Η τσιπούρα και το λαβράκι αντιπροσωπεύουν το 22,42% του όγκου και το 36,05% της αξίας παραγωγής ψαριών υδατοκαλλιέργειας της Ε.Ε. Παράγονται κυρίως από 7 μεσογειακές χώρες (Ελλάδα, Ισπανία, Ιταλία, Γαλλία, Κροατία, Πορτογαλία, Κύπρος) και τα τελευταία δέκα χρόνια στο σύνολό της η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού παραμένει σχεδόν στάσιμη. Το 2016 παρήχθησαν συνολικά 179.542 τόνοι σημειώνοντας μείωση 0,9% σε σχέση με το 2015. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία εκτιμάται πως το 2017 η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού στην Ε.Ε. θα παρουσιάσει αύξηση 6,15% και θα κυμανθεί στους 190.580 τόνους (ΣΕΘ 2017).

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες οι υδατοκαλλιέργειες της Μεσογείου παρουσίασαν εντυπωσιακή ανάπτυξη. Πιο συγκεκριμένα, ενώ η ολική παραγωγή ήταν 90.000 τόνοι το 1985, το 2007 έφθασε στους 436.401 τόνους θαλάσσιων ψαριών (κυρίως λαβράκι και τσιπούρα) και στους 174.385 τόνους μαλακίων (Grigorakis & Rigos 2011). Σ' αυτό το γεγονός συνετέλεσε και η ύπαρξη κατάλληλων συνθηκών και υποδομών, η οικονομική στήριξη από την Ε.Ε., καθώς και η αποτελεσματική μεταφορά της τεχνογνωσίας που απαιτείται, με συνέπεια να γίνει αυτή η «βιομηχανία» ένα παράδειγμα ταχείας και επιτυχούς ανάπτυξης.

Βέβαια, εκτός από την οικονομική στήριξη από την πολιτεία και την Ε.Ε., η υδατοκαλλιέργεια στη Μεσόγειο έχει αναπτυχθεί λόγω ορισμένων βασικών χαρακτηριστικών του συγκεκριμένου θαλάσσιου περιβάλλοντος, τα οποία συνέβαλαν ακόμη περισσότερο σε αυτή την επιτυχία, όπως:

- οι υψηλές θερμοκρασίες του νερού που επιτρέπουν την ταχύτερη ανάπτυξη των εκτρεφόμενων ειδών,
- τα oligοτροφικά νερά, ιδιαίτερα στην ανατολική λεκάνη, προσφέρουν εξαιρετικές συνθήκες ποιότητας νερού και εξασφαλίζουν ιδανικές συνθήκες για τη διαβίωση των εκτρεφόμενων ειδών,
- η μεγάλη ακτογραμμή, η οποία προσφέρει αρκετές περιοχές που είναι ανεπηρέαστες από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τη ρύπανση και οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της ιχθυοκαλλιέργειας.

Ωστόσο, στο πλαίσιο αυτών των θετικών εξελίξεων για τον κλάδο, οι κυριότερες προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπίσει στο μέλλον είναι η παρασκευή ιχθυοτροφών από αειφόρες πρώτες ύλες και η περιβαλλοντικά ορθή διαχείριση των υδάτινων οικοσυστημάτων.

1.2 Ελληνική υδατοκαλλιέργεια

Η Ελλάδα ξεκίνησε την προσπάθεια ανάπτυξης των υδατοκαλλιεργειών από το 1951 με την εισαγωγή αυγών για εκκόλαψη της ιριδιζουσας πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*). Από τη μικρή απόδοση των εκτατικών ιχθυοκαλλιεργειών, προχώρησε αρχικά στην ημιεντατική και τελικά στην εντατική μέθοδο εκτροφής, κερδίζοντας επάξια την πρώτη θέση στον μεσογειακό χώρο. Γεγονός διόλου παράξενο αν αναλογιστεί κανείς ότι η Ελλάδα διαθέτει 16.500 km ακτών, έχει ιδανικές κλιματολογικές συνθήκες και πολύ καλά ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού για την ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ. 2010).

Η παραγωγή από τις ιχθυοκαλλιέργειες αυξήθηκε από τους 3.000 τόνους το 1987, στους 113.000 τόνους του 2007 (FAO 2008) και το 2003 για πρώτη φορά η προσφορά αλιευτικών προϊόντων από την υδατοκαλλιέργεια ξεπέρασε την αντίστοιχη από την αλιεία. Σύμφωνα με τα τελευταία διαθέσιμα στοιχεία εκτιμάται ότι το 63% της εγχώριας παραγωγής αλιευτικών προϊόντων προήλθε από την υδατοκαλλιέργεια και το υπόλοιπο 37% από τη συλλεκτική αλιεία (ΣΕΘ 2017).

Την τελευταία δεκαετία υπήρξε μια επιβράδυνση στην ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών και ελαφρά μείωση της παραγωγής, κυρίως, εξαιτίας της δημοσιονομικής κατάστασης της χώρας. Το κλίμα έχει ήδη αρχίσει να αντιστρέφεται και ο κλάδος να ανακάμπτει μπαίνοντας σε τροχιά ανάπτυξης, μιας και η δραστηριότητα αυτή έχει αναδειχθεί σε μια από τις πλέον ανταγωνιστικές για την Ελλάδα, η οποία διατηρεί ηγετική θέση στην παραγωγή μεσογειακών ειδών σε ευρωπαϊκό, αλλά και διεθνές επίπεδο.

Στην Ελλάδα εκτρέφονται κυρίως ψάρια ιχθυοκαλλιέργειας και όστρακα. Το 2015 ο συνολικός όγκος παραγωγής ανήλθε σε 134.065 τόνους συνολικής αξίας 628,3 εκ. €.

Σε σχέση με το 2014 καταγράφεται μείωση 1,4% ως προς την όγκο, αλλά αύξηση 4,6% ως προς την αξία παραγωγής, η οποία οφείλεται στη καλύτερη τιμή των ψαριών θαλασσοκαλλιέργειας. Το 2016 η εκτροφή τσιπούρας και λαβρακιού ανήλθε σε 105.000 τόνους αξίας 553 εκ. €, αντιπροσωπεύοντας το 91% του όγκου και το 89% της αξίας των ψαριών ιχθυοκαλλιέργειας. Οι εξαγωγές του κλάδου το 2016 εκτιμώνται σε 82.000 τόνους, εκ των οποίων το 98% διοχετεύτηκε σε αγορές της Ε.Ε. Το 2017 εκτιμάται πως η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού θα προσεγγίσει τους 110.000 τόνους. Τα ψάρια και τα αλιευτικά προϊόντα αποτελούν τον πρώτο εξαγωγικό κλάδο ζωικής παραγωγής της χώρας (ΣΕΘ 2017).

Ο συνολικός αριθμός εκμεταλλεύσεων υδατοκαλλιέργειας στην Ελλάδα το 2016 εκτιμάται σε 1.097 μονάδες. Από αυτές, το 85% βρίσκονται σε θαλάσσια ύδατα (911 μονάδες για παραγωγή ψαριών και μυδιών), το 8% είναι εκτροφές σε εσωτερικά ύδατα (χερσαίες εγκαταστάσεις) και το υπόλοιπο 7% εκτροφές σε υφάλμυρα νερά (λιμνοθάλασσες). Αναλυτικότερα και σύμφωνα με το περιβάλλον εκτροφής υπάρχουν (ΣΕΘ 2017):

- 336 μονάδες θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας όπου εκτρέφονται κυρίως τσιπούρα και λαβράκι,
- 595 μονάδες οστρακοκαλλιέργειας,
- 81 μονάδες εσωτερικών υδάτων όπου εκτρέφονται πέστροφα, κυπρίνος, χέλι, κλπ.,
- 72 εκμεταλλεύσεις σε υφάλμυρα νερά
- 36 ιχθυογεννητικοί σταθμοί μεσογειακών ιχθύων (τσιπούρα, λαβράκι και νέα είδη).

Όσον αφορά στη γεωγραφική κατανομή των εκμεταλλεύσεων ιχθυοκαλλιέργειας, σχεδόν το 77% των μονάδων είναι κατανεμημένο σε τρεις Αποκεντρωμένες Διοικήσεις (Πελοποννήσου – Δυτ. Ελλάδας & Ιονίου, Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας και Αιγαίου) οι οποίες καταλαμβάνουν το 81% των μισθωμένων εκτάσεων και εκτρέφουν το 81,5% της ελληνικής παραγωγής (ΣΕΘ 2017).

Η συνολική απασχόληση στον κλάδο της ελληνικής υδατοκαλλιέργειας (επιστημονικό, τεχνικό και εργατικό προσωπικό) εκτιμάται σε 12.000 υπαλλήλους το 2015, εκ των οποίων, η θαλάσσια υδατοκαλλιέργεια (ψάρια και μύδια) καλύπτει το 85% των θέσεων εργασίας, η καλλιέργεια σε υφάλμυρα νερά το 8%, ενώ η καλλιέργεια εσωτερικών υδάτων το 7% (ΣΕΘ 2017).

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή πλατφόρμα τεχνολογίας και καινοτομίας στον τομέα της υδατοκαλλιέργειας (www.eatip.eu), προβλέπεται ότι στην Ε.Ε. θα υπάρξει ετήσια αύξηση της παραγωγής μεσογειακών ειδών κατά 4% έως το 2030, με παραγωγή 305.000 τόνους. Η ελληνική ιχθυοκαλλιέργεια θα έχει ένα σημαντικό μερίδιο αυτής της ανάπτυξης, καθώς αναμένεται να διπλασιάσει την ετήσια παραγωγή της, φτάνοντας τους 235.000 τόνους. Οι εξαγωγές θα αυξηθούν φτάνοντας στο 85-90% του παραγόμενου προϊόντος και προβλέπεται να δημιουργηθούν 3.000 νέες θέσεις εργασίας.

1.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών

Οι υδατοκαλλιέργειες, παρά τη θετική κοινωνικοοικονομική προσφορά τους, δε φαίνεται να έχουν γίνει ευρύτερα αποδεκτές από το κοινωνικό σύνολο και αυτό γιατί θεωρήθηκε ότι η δραστηριότητα αυτή αποτελεί πιθανό παράγοντα υποβάθμισης του θαλάσσιου περιβάλλοντος (Michler-Cieluch & Kodeih 2008). Οι πιθανές επιπτώσεις

των υδατοκαλλιεργειών στο θαλάσσιο περιβάλλον άρχισαν να καταγράφονται από τα τέλη της δεκαετίας του '70.

Οι εντατικές εκτροφές σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς είναι πιθανό να προκαλούν επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον εντός του οποίου δραστηριοποιούνται, επειδή δεν είναι δυνατή η εφαρμογή κάποιας μορφής επεξεργασίας των όποιων αποβλήτων τους (Klaoudatos et al. 1996). Η ανοικτή φύση αυτού του συστήματος εκτροφής επιτρέπει την ελεύθερη εκροή προϊόντων, που επηρεάζεται από φυσικοχημικές και βιολογικές παραμέτρους που μπορούν να μεταβάλλονται και να δρουν χωροχρονικά.

Έχει διαπιστωθεί ότι οι υδατοκαλλιέργειες επιδρούν σημαντικά, τόσο στους θαλάσσιους οργανισμούς (Karakassis et al. 2000, Neofitou et al. 2010) όσο και στις βιοχημικές παραμέτρους του ιζήματος (Kalantzi & Karakassis 2006), καθώς επίσης και στη στήλη του νερού (Sara 2007, Neofitou & Klaoudatos 2008). Οι μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας συνήθως παράγουν σωματιδιακές οργανικές ενώσεις (παραπροϊόντα του μεταβολισμού των ψαριών, διαφυγή τροφής) και διαλυμένα οργανικά και ανόργανα απόβλητα (Cromeu et al. 2002, Carroll et al. 2003). Τα απόβλητα αυτά, είτε διασπείρονται και διαλυτοποιούνται εξαιτίας του υδροδυναμισμού (ρευματική-κυματική δράση), είτε καταβυθίζονται στο ίζημα (Hall et al. 1992, Fernandes et al. 2001). Σχετικά με τις διαλυμένες οργανικές και ανόργανες ουσίες (αμμωνία, άζωτο, φώσφορος, διαλυμένος οργανικός άνθρακας) που εκρέουν από τις μονάδες εκτροφής, έχει βρεθεί ότι μπορεί να προκαλέσουν μεταβολές στην ποιότητα του νερού, οι οποίες όμως εξαρτώνται από την ποσότητα των ουσιών, τη χρονική κλίμακα κατά την οποία λαμβάνει χώρα η εκροή τους, την ικανότητα αφομοίωσης των ουσιών από το ίδιο το οικοσύστημα και την ικανότητα απομάκρυνσης και διασποράς

των ουσιών, μέσω της κυκλοφορίας των υδάτινων μαζών (Gowen & Bradbury 1987, Carroll et al. 2003).

Σε ορισμένες έρευνες έχουν γίνει προσπάθειες καταγραφής των πιθανών επιπτώσεων στους φυσικούς πληθυσμούς των ψαριών (Grigorakis 2010, Neofitou 2016), ενώ σε άλλες έχουν διερευνηθεί οι πιθανές επιπτώσεις των φαρμάκων (αντιβιοτικών) που χορηγούνται στα εκτρεφόμενα ψάρια, όταν αυτό είναι απαραίτητο. Επίσης έχουν διερευνηθεί οι πιθανές επιπτώσεις των προϊόντων που χρησιμοποιούνται για την αποφυγή προσκόλλησης εδραίων οργανισμών στους κλωβούς (antifouling) (Νικόλαου et al. 2014) καθώς επίσης και της διαφυγής εκτρεφόμενων ειδών (genetic pollution) στο θαλάσσιο περιβάλλον (Pearson & Black 2001).

Έχει παρατηρηθεί ότι το είδος των εκτρεφόμενων οργανισμών, η θέση της εκτροφής, η εκτρεφόμενη βιομάζα, καθώς και η ποιότητα και η ποσότητα της προσφερόμενης τροφής είναι οι πρωταρχικοί παράγοντες που καθορίζουν την έκταση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και καθορίζουν την πιθανότητα εμφάνισης ευτροφισμού (Gowen & Bradbury 1987, Wu et al. 1994, Fernandes et al. 2001).

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι εισερχόμενες ποσότητες θρεπτικών από τις ιχθυοκαλλιέργειες μπορεί να ξεπεράσουν τη φέρουσα ικανότητα (carrying capacity) του οικοσυστήματος και να οδηγήσουν σε συνθήκες ευτροφισμού. Η UNEP (United Nations Environmental Programme) προτείνει ότι ο ευτροφισμός ορίζεται ως μία περιβαλλοντική διαταραχή που προκαλείται από περίσσεια στο ρυθμό παροχής οργανικού υλικού (UNEP 2003).

Αναλυτικότερα, το φαινόμενο του ευτροφισμού εμφανίζεται όταν η εισροή θρεπτικών αλάτων από διάφορες πηγές σε μία υδάτινη μάζα γίνεται τόσο μεγάλη, ώστε η ισορροπημένη αφομοίωση στο τοπικό οικοσύστημα να είναι ανέφικτη. Τα θρεπτικά

άλατα με χαμηλή περιεκτικότητα αποτελούν φυσικά συστατικά του θαλάσσιου νερού και θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικά στην πρωτογενή παραγωγή του. Με τον όρο θρεπτικά άλατα εννοούμε διαλυμένα φωσφορικά, νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνιακά και πυριτικά άλατα, τα οποία χρησιμοποιούνται από το φυτοπλαγκτόν για την ανάπτυξή του. Το φυτοπλαγκτόν αποτελεί τη βάση της τροφικής αλυσίδας του υδάτινου περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα τα θρεπτικά άλατα να μετέχουν στο σύνολο της τροφικής αλυσίδας, καθώς το φυτοπλαγκτόν βυθίζεται και καταναλώνεται από το ζωοπλαγκτόν και τους ανώτερους οργανισμούς. Η αποδόμηση ενός οργανισμού συνεπάγεται την επαναφορά των θρεπτικών αλάτων και πάλι στην υδάτινη στήλη (www.perseus-net.eu).

Στις παράκτιες περιοχές, σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη, η κατανομή των θρεπτικών αλάτων μεταβάλλεται κυρίως εποχιακά. Κατά την άνοιξη, με την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της θάλασσας, αυξάνει σημαντικά και η ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού, με αποτέλεσμα η επιφάνεια της θάλασσας να αποκτά έντονα πράσινο χρώμα (spring phytoplankton bloom). Η βιομάζα του φυτοπλαγκτού που παράγεται καταναλώνει σχεδόν ολοκληρωτικά τα αποθέματα θρεπτικών αλάτων στο ανώτερο στρώμα της υδάτινης στήλης. Μερικές φορές, σημαντικές ποσότητες θρεπτικών αλάτων συγκεντρώνονται πάλι κατά το καλοκαίρι, όταν η τυρβώδης ενέργεια της υδάτινης στήλης έχει μειωθεί σημαντικά, και το ηλιακό φως διεισδύει σε μεγαλύτερα βάθη. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού παραμένει σταθερή σε χαμηλά επίπεδα, καθώς η ανεμογενής δράση αναμιγνύει την υδάτινη στήλη και αναδιανέμει τα θρεπτικά άλατα που επανέρχονται σε αυτή μέσω της αποσύνθεσης των οργανισμών (www.perseus-net.eu).

Οι συνέπειες του ευτροφισμού στη δομή των πελαγικών βιοκοινωνιών είναι:

- Αλλαγές στην ποσότητα και τη σύνθεση της φυτοπλαγκτικής κοινωνίας
- Απώλεια ενδιαιτημάτων και μείωση της βιοποικιλότητας
- Μείωση της διαφάνειας στην υδάτινη στήλη
- Αλλαγές στο pH και μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στην υδάτινη στήλη
- Μείωση της αισθητικής αξίας του υδάτινου αποδέκτη

Ωστόσο, οι πιο σοβαρές συνέπειες του ευτροφισμού είναι οι επιβλαβείς ή/και τοξικές φυτοπλαγκτονικές ανθήσεις (Harmful Algal Blooms-HABs).

Το 2010 ψηφίσθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο η Οδηγία Πλαίσιο για τη Θάλασσα Στρατηγική (Marine Strategy Framework Directive 2010/477/EU, MSFD), η οποία έχει ενσωματωθεί στο Ελληνικό Δίκαιο με την Υ.Α. 1175 (ΦΕΚ 2929/Β/2-11-2012) και περιλαμβάνει δέσμη περιβαλλοντικών στόχων και δεικτών (συμπεριλαμβανομένου και του ευτροφισμού) για τον προσανατολισμό δράσεων προς μια καλή περιβαλλοντική κατάσταση στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Στη Μεσόγειο, που θεωρείται από τις πλέον ολιγοτροφικές θάλασσες του κόσμου (φτωχή σε θρεπτικά άλατα, υψηλή βιοποικιλότητα, διαυγής) τα φαινόμενα ευτροφισμού σε ορισμένες παράκτιες περιοχές είναι σημαντικά. Η μειωμένη παλιρροϊκή δράση, η υψηλή θερμοκρασία, η μεγάλη ηλιοφάνεια και ο ολιγοτροφικός χαρακτήρας της ανατολικής μεσογειακής λεκάνης δημιουργούν ένα διαφορετικό περιβάλλον, στο οποίο οι όποιες πιθανές επιπτώσεις είναι λιγότερο αισθητές απ' ό,τι σ' ένα ήδη μέσο-εύτροφο σύστημα (Νεοφύτου 2007).

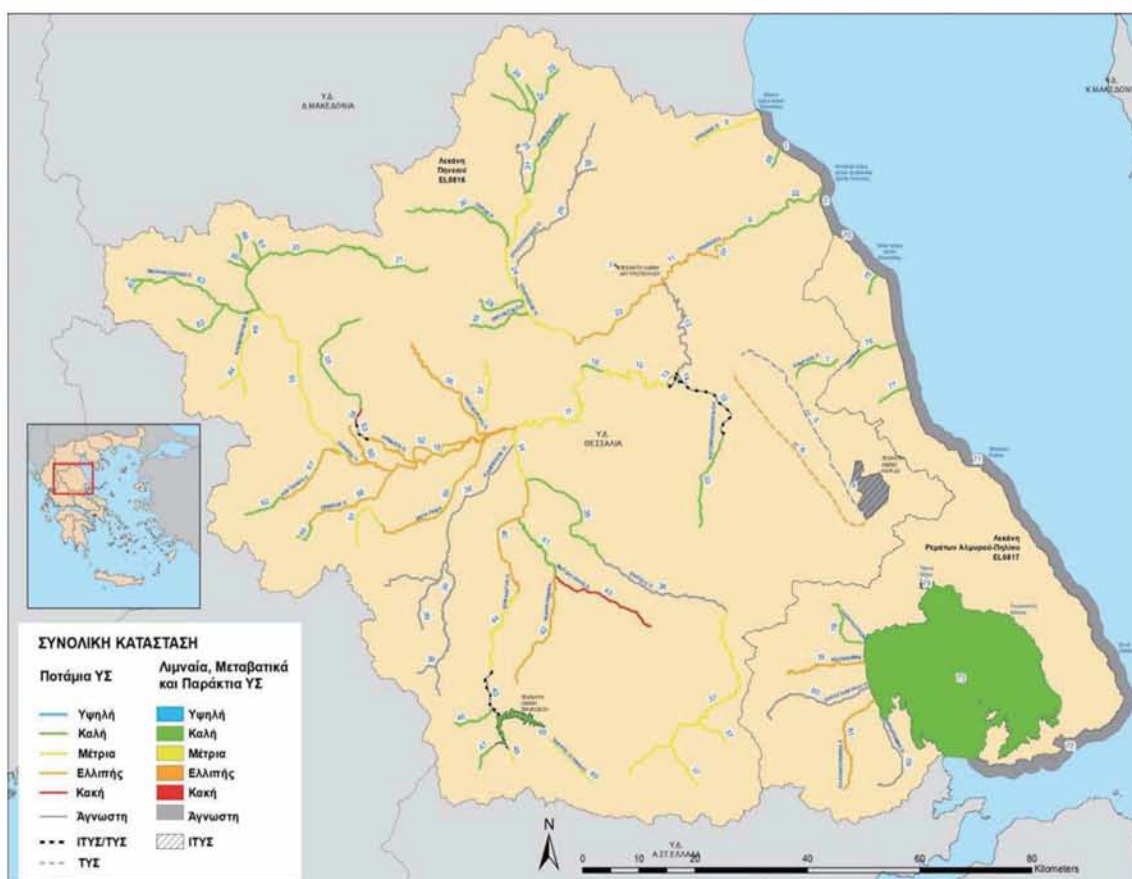
1.4 Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Ο Παγασητικός κόλπος είναι μια κλειστή και σχετικά αβαθής θάλασσα, που σχηματίζεται ανάμεσα στην κύρια ελληνική χερσόνησο και την χερσόνησο του Πηλίου. Ο κόλπος έχει έκταση περίπου 175 Km² και μέγιστο βάθος 108 m. Το άνοιγμα (είσοδος) του κόλπου περιορίζεται νότια, προς τον Ευβοϊκό κόλπο και το Αιγαίο πέλαγος, ανάμεσα στο ακρωτήριο Τρίκερι της Μαγνησίας (ανατολικά), και το ακρωτήριο Σταυρός της βορειοανατολικής χερσαίας λωρίδας της Φθιώτιδας (δυτικά), διατηρώντας άνοιγμα μόλις 4 Km. Στο δυτικό και βόρειο τμήμα του Παγασητικού εκβάλλουν μικρά ποτάμια και χείμαρροι, τα οποία εξομαλύνουν το ανάγλυφο της ξηράς. Γεωμορφολογικά, το μέγιστο βάθος παρατηρείται στο ανατολικό τμήμα του κόλπου, σε μια περιοχή σχήματος λεκάνης με έντονο ανάγλυφο. Στο δυτικό και βόρειο τμήμα ο πυθμένας παρουσιάζει ομαλή κλίση, ενώ στην ανατολική ακτή του το ανάγλυφο εμφανίζεται απότομο (Petihakis et al. 2002).

Στο μεγαλύτερο μέρος του κόλπου, ο πυθμένας είναι καλυμμένος με ιλύ, εκτός από τη Β.Δ. περιοχή (Αλμυρός) και το ανατολικό τμήμα της εισόδου του κόλπου (Τρίκερι), τα οποία καλύπτονται με άμμο (Περισοράτης και συν. 1993).

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). Με βάση όμως τα αποτελέσματα του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/EK και τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν για όλες τις παραμέτρους (βιολογικές και φυσικοχημικές) στους

σταθμούς παρακολούθησης του παράκτιου υδατικού σώματος «Παγασητικός Κόλπος» για την περίοδο 2012-2015, τα οποία ενσωματώθηκαν στην 1^η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας, η οικολογική και χημική κατάσταση του κόλπου αξιολογείται ως καλή (Εικ 1.1).



Εικόνα 1.1 : Ταξινόμηση της συνολικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων 2017).

Σύμφωνα με το μητρώο ταυτοτήτων υδάτων κολύμβησης της Ελλάδας (www.bathingwaterprofiles.gr), η κοντινότερη ακτή κολύμβησης στη μονάδα έρευνας, σε απόσταση 2,35 km (σε ευθεία επί χάρτου) είναι η “Νηές 2”, με κωδικό ταυτότητας:

GRBW089104014101, στην οποία η ποιότητα των υδάτων κολύμβησης παρακολουθείται από το 1991 με ευθύνη του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας και θεωρείται εξαιρετική. Στα κολυμβητικά ύδατα της ακτής δεν έχουν καταγραφεί περιστατικά ραγδαίας ανάπτυξης μακροφυκών ή φυτοπλαγκτού, έχουν δε καθαρότητα και διαύγεια και δεν δέχονται έντονες πιέσεις. Εκτιμάται χαμηλός βαθμός επικινδυνότητας ανάπτυξης μακροφυκών και φυτοπλαγκτού στην ακτή.

Στον Παγασητικό κόλπο η αλιευτική παραγωγή προέρχεται κυρίως από τα γρι-γρι (61%) και τα μικρά παράκτια σκάφη (36,7%) (Stergiou et al. 1997), καθώς η αλιεία με μηχανότρατα απαγορεύεται καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και στο σύνολο της έκτασης του κόλπου. Η αλιεία με γρι-γρι περιορίζεται στο χρονικό διάστημα από Μάρτιο έως Νοέμβριο. Αποτέλεσμα των παραπάνω μέτρων είναι οι πληθυσμοί των βενθοπελαγικών ειδών ιχθύων του να συγκαταλέγονται στους πλέον εύρωστους της χώρας μας (Πετράκης 2000).

Στη Θεσσαλία και τη Μαγνησία ειδικότερα υπάρχουν δυο μονάδες υδατοκαλλιέργειας και για το λόγο αυτό δεν έχει δρομολογηθεί ούτε προβλέπεται η θεσμοθέτηση Περιοχής Οργανωμένης Ανάπτυξης Υδατοκαλλιεργειών (ΠΟΑΥ) ή Περιοχή Άτυπης Συγκέντρωσης Μονάδων (ΠΑΣΜ) στον Παγασητικό κόλπο. Με βάση το εγκεκριμένο Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Υδατοκαλλιέργειες δεν προκύπτει ότι η περιοχή υπάγεται σε κάποιο ιδιαίτερο καθεστώς αναφορικά με τις ιχθυοκαλλιέργειες.

Η μονάδα όπου πραγματοποιήθηκε η παρούσα έρευνα εντάσσεται στο άρθρο 5, παρ. β (μεμονωμένη χωροθέτηση εκτός ΠΑΥ) του Εθνικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδίου Υδατοκαλλιεργειών (Ε.Π.Χ.Σ.Υ.) το οποίο προβλέπει ότι υφισταμένες μεμονωμένες μονάδες εκτός ΠΑΥ μπορούν να επεκταθούν εντός του ορίου των 40

στρεμμάτων, εφόσον η μισθωμένη έκτασή τους είναι μικρότερη. Επισημαίνεται ότι η απόσταση από την εγγύτερη μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας είναι μεγαλύτερη των 5 Km. Επίσης τηρούνται τα κριτήρια και η συμβατότητα χωροθέτησης του άρθρου 7 του Ε.Π.Χ.Σ.Υ. σε σχέση με την απόσταση από την εγγύς ακτή, τη φέρουσα ικανότητα, τις αποστάσεις από τουριστικές μονάδες, υφιστάμενες ή προγραμματιζόμενες οικιστικές αναπτύξεις βάσει Γενικών Πολεοδομικών Σχεδίων (ΓΠΣ) και Σχεδίων Χωρικής και Οικιστικής Οργάνωσης Ανοικτής Πόλης (ΣΧΟΟΑΠ), βιομηχανικές και λιμενικές εγκαταστάσεις, καταδυτικά πάρκα κλπ. Οι χερσαίες υποστηρικτικές εγκαταστάσεις υπάγονται στο άρθρο 6, παρ. Γ του Ε.Π.Χ.Σ.Υ. το οποίο προβλέπει τη χωροθέτηση μονάδων συσκευασίας και εξυπηρέτησης των ιχθυοκαλλιεργειών στην εγγύς ακτή.

1.5 Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

Η έρευνα των επιπτώσεων των ιχθυοκαλλιεργειών στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων στην υδάτινη στήλη τις τελευταίες δεκαετίες απασχόλησε πλήθος ερευνητών. Οι περισσότερες από αυτές αφορούν εκτροφές σαλμοειδών (Gowen & Bradbury 1987, Gowen et al. 1988, Ackefors & Enell 1990, Hall et al. 1990, Holby & Hall 1991, Gowen & Ezzi 1992, Hall et al. 1992, Wildish et al. 1993, Berry 1996, Dosdat et al. 1996, Davies 2000, McGarvin 2000, Gillibrand et al. 2002, Nordvarg & Johansson 2002, Soto & Norambuena 2004, Nash et al. 2005, Sowles 2005, Strain & Hargrave 2005, Tlusty et al. 2005, Rensel et al. 2007, Norði et al. 2011). Στη λεκάνη της Μεσογείου οι έρευνες επικεντρώθηκαν στις εκτροφές τσιπούρας και λαβρακιού, που αποτελούν την πλειοψηφία των εκμεταλλεύσεων (Krom et al. 1985, Porter et al. 1987, Krom et al. 1995, Kladatos et al. 1996, Lupatsch & Kissil 1998, Pitta et al. 1999, Dosdat 2001, Karakassis et al. 2001, La Rosa et al. 2002, Belias et al. 2003,

Karakassis et al. 2003, Doglioli et al. 2004, Maldonado et al. 2005, Pitta et al. 2005, Dalsgaard & Krause-Jensen 2006, Klaoudatos et al. 2006, Mantzavrakos et al. 2007, Neofitou & Klaoudatos 2008, Basaran et al. 2010, Neofitou et al. 2010, Neofitou 2016). Στην πλειονότητα των ερευνών η αύξηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων περιορίζεται χωρικά και χρονικά σε μικρή απόσταση γύρω από τους ιχθυοκλωβούς, χωρίς να επηρεάζει την ευρύτερη περιοχή γύρω από αυτούς (Pitta et al. 1999, Belias et al. 2003, Pitta et al. 2005, Mantzavrakos et al. 2007, Neofitou & Klaoudatos 2008, Aksu et al. 2010, Holmer 2010, Price et al. 2015). Οι μοναδικές περιπτώσεις που έχει αναφερθεί συσσώρευση θρεπτικών αλάτων και ευτροφικές συνθήκες με τοξικές ανθίσεις φυτοπλαγκτού είναι σε ημίκλειστες θαλάσσιες περιοχές της Βαλτικής θάλασσας (Hakanson et al. 1988, Rosenthal et al. 1988, Samuelsen et al. 1988, Walin & Hakanson 1991, Enell 1995, Nordvarg & Jahansson 2002, Pittenger et al. 2007). Επίσης, έχουν γίνει και ορισμένες έρευνες σχετικά με το ποσοστό επίδρασης των ιχθυοκαλλιεργειών στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων έναντι όλων των άλλων ανθρωπογενών επιδράσεων και τα αποτελέσματα αυτών συμπεραίνουν ότι το ποσοστό αυτό δεν ξεπερνά το 5% (Mäkinen 1991, Folke et al. 1994, Klaoudatos et al. 1996, Karakassis et al. 2005, McIver et al 2018).

1.6 Σκοπός

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είχε ως σκοπό την παρακολούθηση της επίδρασης των ιχθυοκαλλιεργειών στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού πραγματοποιήθηκε:

- καταγραφή βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων και
- υπολογισμός του εμπλουτισμού της περιοχής με θρεπτικά άλατα ως αποτέλεσμα της ιχθυοκαλλιεργητικής δραστηριότητας.

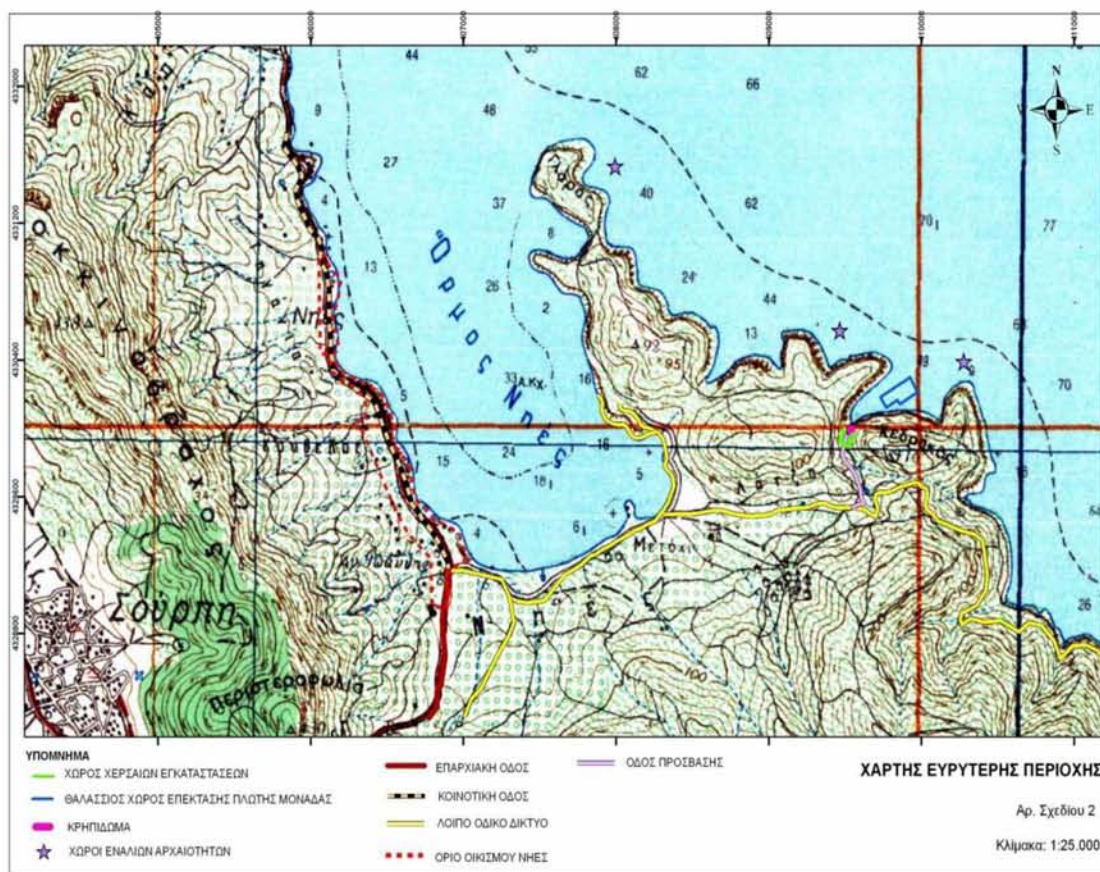
Πιο συγκεκριμένα, η χωροχρονική παρακολούθηση της επίδρασης των ιχθυοκαλλιεργειών αφορά:

- την καταγραφή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κυρίως κατά τη θερμότερη περίοδο του έτους, όπου η άνοδος της θερμοκρασίας και οι ήπιες καιρικές συνθήκες (στρωμάτωση του νερού, μειωμένη ένταση ανέμων και κυμάτων, άνθιση φυτοπλαγκτού) ευνοούν το φαινόμενο του ευτροφισμού και
- την ποσοτική εκτίμηση των προϊόντων του μεταβολισμού των ψαριών και των υπολειμμάτων τροφής τους στην στήλη του νερού (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά, πυριτικά) και άλλων σημαντικών παραμέτρων ευζωίας των ψαριών (περιεκτικότητα σε οξυγόνο, διαφάνεια νερού) κατά την παραγωγική περίοδο του έτους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Γενικά

Για την παρούσα έρευνα επιλέχθηκαν οι εγκαταστάσεις της μονάδας ιχθυοκαλλιέργειας, ιδιοκτησίας της εταιρείας «ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΕΙΑ ΠΑΓΑΣΗΤΙΚΟΥ Α.Ε.», στη θέση "Όρμος Λαδικού", στις Νηές, της Δ.Ε. Σούρπης, του Δήμου Αλμυρού της Περιφερειακής Ενότητας Μαγνησίας, στην Περιφέρεια Θεσσαλίας (Εικ. 2.1).



Εικόνα 2.1: Χάρτης με τη θέση εγκατάστασης της μονάδας (Χάρτης Γ.Υ.Σ., Βαβίζος & Ζαννάκη 2016).

Στην προαναφερόμενη ιχθυοκαλλιεργητική μονάδα εκτρέφονται τα δύο βασικά είδη της μεσογειακής ιχθυοκαλλιέργειας, το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) και η

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

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

Για την παραγωγή 300 t ψαριών ανά έτος εισάγονται 967.700 ιχθύδια σε 2 παραγωγικές περιόδους, μία τον Μάρτιο και μία τον Ιούνιο. Ανάλογα με το στάδιο πάχυνσης των ιχθύων χρησιμοποιούνται δίχτυα, που είναι κατασκευασμένα από νήματα χωρίς κόμβους, με άνοιγμα ματιού διαστάσεων 5-17 mm. Το εμπορεύσιμο μέγεθος (350 gr/άτομο) της τσιπούρας επιτυγχάνεται σε 15 μήνες, ενώ του λαβρακιού σε 18 μήνες. Τα ιχθύδια προμηθεύονται από ελληνικούς ιχθυογεννητικούς σταθμούς και για τη διατροφή τους χορηγούνται σύμπηκτα (pellets) διαφόρων διαμετρημάτων, ανάλογα με το μέγεθος των εκτρεφόμενων ψαριών. Οι ημερήσιες χορηγούμενες ποσότητες τροφής κυμαίνονται από 800 έως 3.000 Kg ανάλογα με τον μήνα του έτους, με τη συνολική ετήσια καταναλισκόμενη ποσότητα να ανέρχεται σε 607 t. Η τελική ιχθυοφόρτιση δεν ξεπερνά τα 12 kg/m³ και η μετατρεψιμότητα της τροφής είναι περίπου 2 kg τροφής ανά 1kg ψαριού.

Στην περιοχή πραγματοποιήθηκαν δυο εποχιακές δειγματοληψίες, τον Μάιο και τον Ιούλιο του 2017, έτσι ώστε να υπάρχει μία, κατά το δυνατόν, πιο ολοκληρωμένη

άποψη για τις επιδράσεις των ιχθυοκαλλιεργειών στο υδάτινο περιβάλλον. Εξ' άλλου, από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας είναι γνωστό ότι οι εποχιακές δειγματοληψίες είναι ικανοποιητικές για την εκτίμηση και παρακολούθηση τέτοιων επιδράσεων (Pitta et al. 1999, Neofitou et al 2008). Η θερινή περίοδος, όπου διεξήχθη η δεύτερη δειγματοληψία, είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εκτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον, καθώς τα αποτελέσματα αναμένεται να είναι περισσότερο εμφανή.

2.2 Δειγματοληπτικό πλέγμα σταθμών

Για τον προσδιορισμό των σταθμών δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών ArcGIS. Ο αρχικός σχεδιασμός (GIS sampling planning) έγινε ψηφιοποιώντας την περιοχή έρευνας με υπόβαθρο δορυφορική εικόνα του Google Earth, οριοθετήθηκε η περιοχή ως πολύγωνο και δημιουργήθηκε το σχέδιο δειγματοληψίας (sampling direction). Μέσα σε αυτό το πλέγμα ορίστηκαν έντεκα (11) δειγματοληπτικοί σταθμοί όπως φαίνεται στην Εικ 2.2. Οι συντεταγμένες των σημείων σε συνδυασμό με το χάρτη που σχηματίστηκε (Εικ 2.2) χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των θέσεων δειγματοληψίας τόσο με Global Positioning System (GPS) όσο και οπτικά.

Οι έντεκα σταθμοί δειγματοληψίας ονομάστηκαν S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10 και S11. Με βάση τις συντεταγμένες που προέκυψαν από το GIS για τη θέση των δειγματοληπτικών σταθμών και τη βοήθεια φορητού GPS η πρόσβαση στα σημεία δειγματοληψίας ήταν ακριβής και για τις δυο εποχιακές μετρήσεις. Οι σταθμοί S2, S4 και S7 είναι οι σταθμοί της μονάδας, ο σταθμός S11 (σε απόσταση 620 m περίπου από την μονάδα) είναι ο σταθμός αναφοράς (control) και οι υπόλοιποι θεωρούνται συμπληρωματικοί σταθμοί, τα δεδομένα των οποίων χρησιμοποιήθηκαν για την

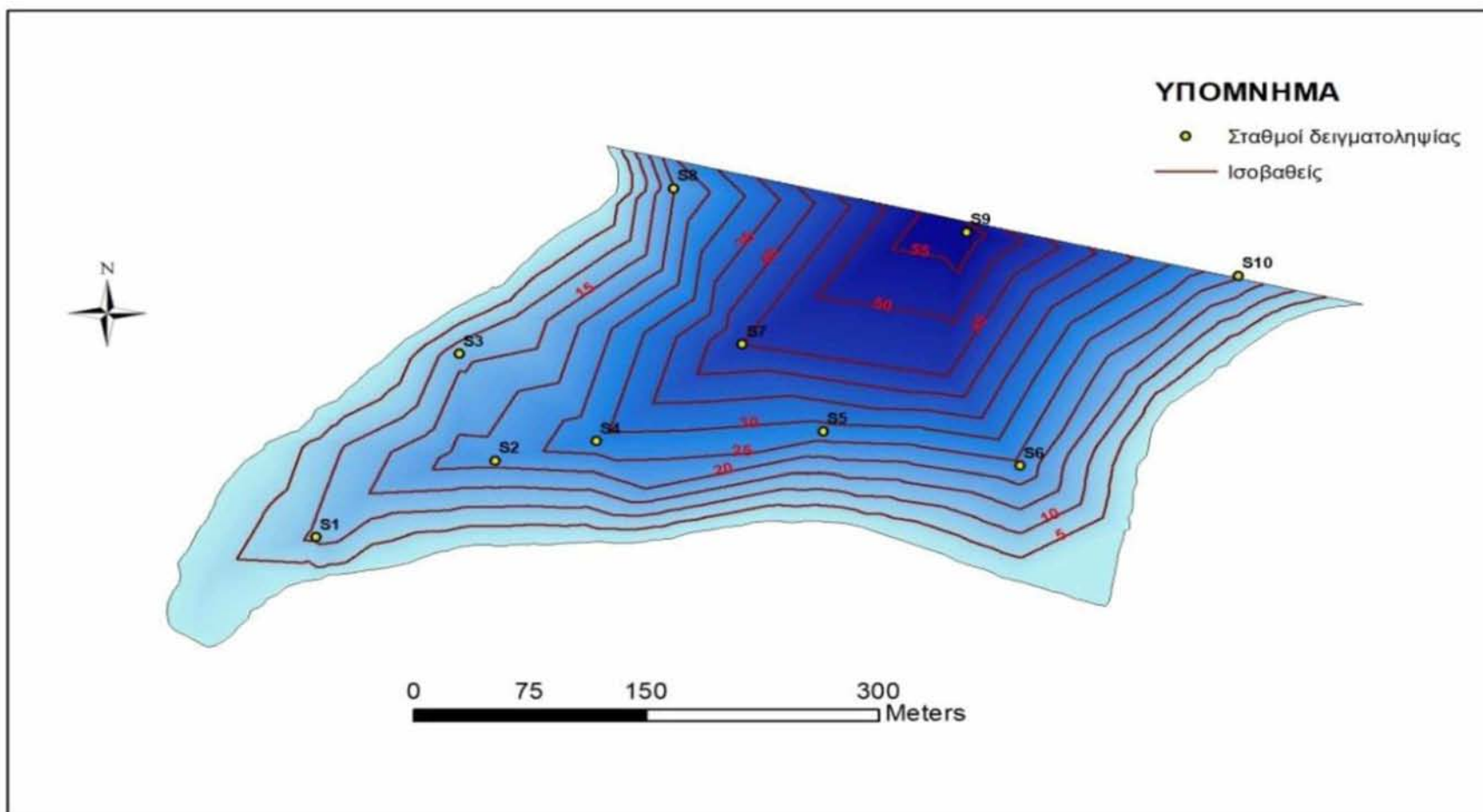


Εικόνα 2.2: Θέση των σταθμών δειγματοληψίας στην περιοχή έρευνας.

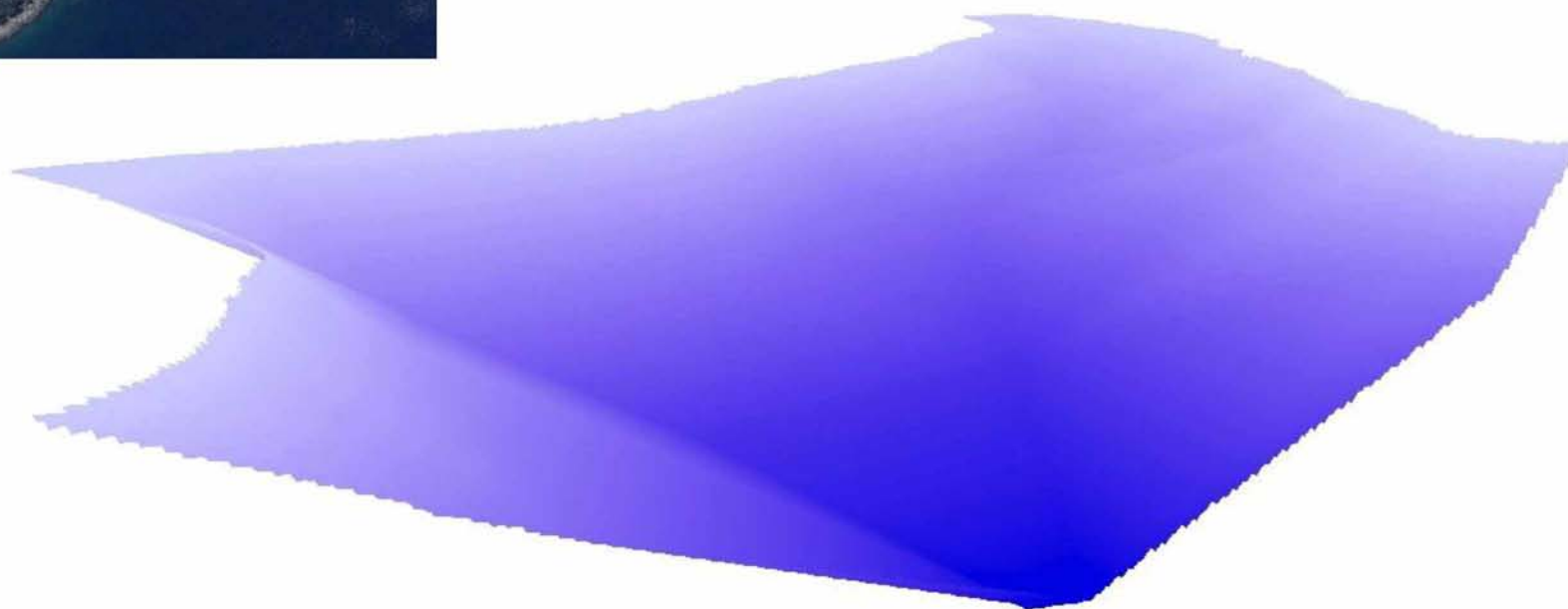
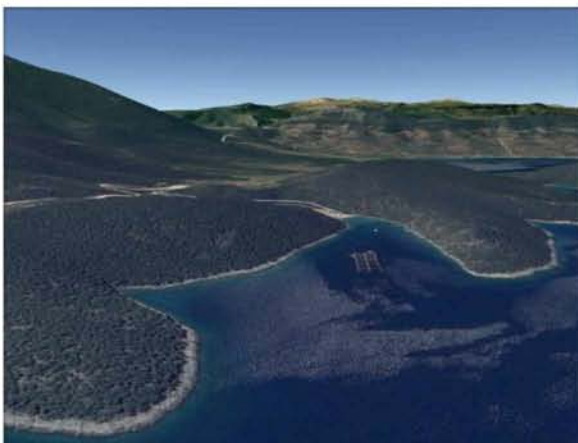
εκτίμηση της διασποράς των θρεπτικών αλάτων στην ευρύτερη περιοχή της μονάδας. Οι μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού, καθώς και τα δείγματα του νερού λήφθηκαν σε εποχιακή βάση και πάντα κατά το ίδιο χρονικό διάστημα της ημέρας (10:00-12:00) μετά το πρωινό τάϊσμα των εκτρεφόμενων οργανισμών.

2.3 Μορφολογία βυθού

Για να δημιουργηθεί όσο το δυνατόν ακριβέστερη αναπαράσταση του θαλάσσιου πυθμένα, χρησιμοποιήθηκαν εκτός των δεδομένων βάθους των έντεκα σταθμών δειγματοληψίας και επιπλέον δεδομένα βάθους, από εννέα σημεία που προσδιορίστηκαν από το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών. Με τη χρήση του προγράμματος ArcGIS και της εφαρμογής TIN (Triangular irregular networks: Τριγωνικό ακανόνιστο δίκτυο), δημιουργήθηκαν ο ψηφιακός χάρτης ισοβαθών καμπυλών (Σχ. 2.1) και η τρισδιάστατη απεικόνιση του θαλάσσιου πυθμένα στην περιοχή έρευνας (Εικ. 2.3). Χρησιμοποιώντας τις ισοβαθείς καμπύλες καθορίστηκαν 4 πολύγωνα στα 0, 5, 10 και 20 m βάθους. Τα πολύγωνα αυτά οριοθετούν τις περιοχές παρεμβολής, βάσει των οποίων σχηματίστηκαν στη συνέχεια οι χάρτες κατανομής των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων, του διαλυμένου οξυγόνου και της χλωροφύλλης α.



Σχήμα 2.1: Χάρτης απεικόνισης του βάθους και των σταθμών δειγματοληψίας στην περιοχή έρευνας.



Εικόνα 2.3: Τρισδιάστατη απεικόνιση του θαλάσσιου πυθμένα στην περιοχή έρευνας.

2.4 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

2.4.1 Υδάτινη στήλη

Σε κάθε έναν από τους 11 συνολικά σταθμούς μετρήθηκαν σε εποχιακή βάση σε όλη την υδάτινη στήλη, από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα, η θερμοκρασία, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, το pH και η χλωροφύλλη α, με τη βοήθεια συνεχής καταγραφέα (CTD, SEABIRD-19plus) (Εικ. 2.4).



Εικόνα 2.4: Αυτογραφικό όργανο καταγραφής φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού της εταιρείας Sea Bird Electronics.

2.4.2 Θρεπτικά άλατα

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακών, νιτροδών, νιτρικών, φωσφορικών και πυριτικών) στην υδάτινη στήλη συλλέχθηκαν από κάθε σταθμό δειγματοληψίας 3 επαναληπτικά δείγματα νερού, με τη χρήση φιάλης Lymnos 1.4 ℓ, από την επιφάνεια της θάλασσας, από το βάθος των 5 m και, στη συνέχεια για κάθε 10 m βάθους μέχρι τον πυθμένα (σύνολο 300 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 συντήρησή τους. 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 SHIMADZU UV-1800 (Εικ. 2.5), 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 (oxidising 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 εξαρτάται από το pH και τη θερμοκρασία του νερού τη στιγμή της δειγματοληψίας και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:



Εικόνα 2.5: Φασματοφωτόμετρο SHIMADZU UV-1800.

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

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

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

Θερμοκρασία (°C)	5	10	15	20	25	30
pKa	9,90	9,73	9,56	9,40	9,24	9,09

Στο τέλος υπολογίστηκε 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 (NO_2): Για τον προσδιορισμό των νιτρωδών προστέθηκαν στο δείγμα θαλασσινού νερού συγκεκριμένες ποσότητες αντιδραστηρίων σουλφανυλαμιδίου (sulphanilamide solution) σε όξινο περιβάλλον. Η προκύπτουσα διαζω-ένωση αντιδρά με και N-(1-ναφθυλο)-αιθυλενοδιαμίνης (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine) και σχηματίζεται αζωχρωστική, που η ένταση του χρώματός της είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των νιτρωδών και μετράται φασματοφωτομετρικά, σε μήκος κύματος 543 nm έναντι απεσταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε νιτρώδες νάτριο (NaNO_2) συγκέντρωσης 50 $\mu\text{g-at N/l}$ (Parsons et al. 1984).

Νιτρικά (NO_3): 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 (KNO_3) συγκέντρωσης 2 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ (APHA 1980).

Φωσφορικά (PO_4): Για τον προσδιορισμό των φωσφορικών αλάτων το δείγμα αφήνεται να αντιδράσει με ένα σύνθετο αντιδραστήριο που περιέχει μολυβδαινικό οξύ και τρισθενές αντιμόνιο (molybdate acid-antimony solution). Το προκύπτον σύμπλεγμα ανάγεται για να δώσει τελικά ένα έντονα κυανό διάλυμα, που μετράται

φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 885 nm. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιείται δισόξινο φωσφορικό κάλιο (KH_2PO_4) συγκέντρωσης 0,0816 g/l (Parsons et al. 1984).

Πυριτικά (SiO_2): Για τον προσδιορισμό των πυριτικών αλάτων το θαλασσίνο νερό αφήνεται να αντιδράσει με μολυβδαινικό διάλυμα (molybdate reagent) κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, παράγοντας πυριτομολυβδικά, φωσφορομολυβδικά και αρσενομολυβδικά σύμπλοκα. Στη συνέχεια, προστίθεται ένα αναγωγικό διάλυμα (reducing reagent) που περιέχει θειική παρα-μεθυλο-αμινο-φαινόλη (p-methylaminophenol sulfate) και οξαλικό οξύ (oxalic acid), που αντιδρά με το πυριτομολυβδικό σύμπλοκο για να δώσει ένα βαθυγάλαζο χρώμα, ενώ ταυτόχρονα αποσυνθέτει τα φωσφορομολυβδικά και πυριτομολυβδικά σύμπλοκα. Το τελικό διάλυμα μετράται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 810 nm έναντι απεσταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιείται διάλυμα πυριτοφθοριδίου (Na_2SiF_6) συγκέντρωσης 5.000 micro 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), ενώ για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση των τιμών μεταξύ των σταθμών και για τις δυο εποχές χρησιμοποιήθηκε το General Linear Model (GLM), με τη χρήση του λογισμικού MINITAB. Προκειμένου να διαπιστωθεί σε ποιους σταθμούς δειγματοληψίας οφείλονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές πραγματοποιήθηκε Tukey's test. Τα διαγράμματα με τις εποχιακές συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων, καθώς και αυτά με τις κατακόρυφες κατανομές τους, έγιναν με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος Excel.

Για τη δημιουργία των χαρτών κατανομής των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων, του διαλυμένου οξυγόνου και της χλωροφύλλης a , στα 0,5,10 και 20 m, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS και πιο συγκεκριμένα η μέθοδος της παρεμβολής επιφανειών IDW (Inverse Distance Weighted). Η μέθοδος της χωρικής παρεμβολής παράγει μια απεικονιζόμενη επιφάνεια, χρησιμοποιώντας έναν γραμμικώς σταθμισμένο συνδυασμό ενός συνόλου σημείων δειγματοληψίας και δίνοντας βαρύτητα στα σημεία τα οποία βρίσκονται πιο κοντά στους σταθμούς δειγματοληψίας, σύμφωνα με την παρακάτω συνάρτηση (www.esri.com/en-us/home):

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n w_i(s) Z_i}{\sum_{i=1}^n w_i(s)}$$

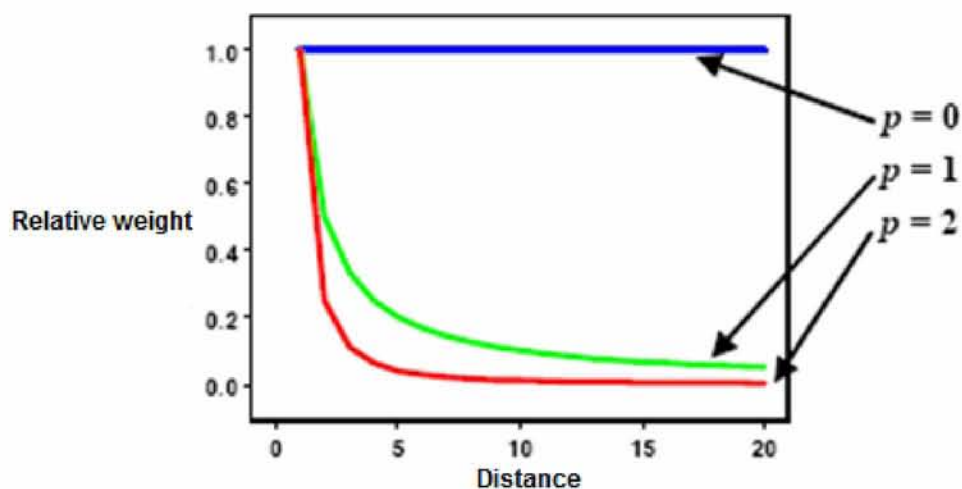
όπου: $w_i(s) = h_i^{-p}$

h_i : η απόσταση μεταξύ του υπό εξέταση σημείου s και άλλων s_i

p : ο συντελεστής στάθμισης ($p > 0$)

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, τα σημεία πρόβλεψης υπολογίζονται από το άθροισμα της σταθμισμένης τιμής, διαιρεμένο με το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας (w_i). Τα βάρη είναι ανάλογα με το αντίστροφο της απόστασης μεταξύ του σημείου δειγματοληψίας και της θέσης πρόβλεψης και καθορίζονται από την τιμή του συντελεστή στάθμισης (p). Όσο πιο κοντά βρίσκεται το εκτιμώμενο σημείο, από κάποιο σημείο δειγματοληψίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση ή το βάρος που έχει στη διαδικασία υπολογισμού της προβλεπόμενης τιμής. Η μέθοδος IDW υποθέτει ότι κάθε μετρούμενο σημείο έχει τοπική επιρροή που μειώνεται με την απόσταση. Ως αποτέλεσμα, καθώς η απόσταση αυξάνεται τα βάρη μειώνονται. Ο ρυθμός με τον οποίο μειώνονται τα βάρη εξαρτάται από την τιμή του συντελεστή στάθμισης p . Αν $p = 0$

(Σχήμα 2.2), δεν υπάρχει μείωση τιμών σε συνάρτηση με την απόσταση και επειδή κάθε βάρος είναι το ίδιο η πρόβλεψη θα είναι ο μέσος όρος όλων των τιμών δεδομένων στη γειτονιά αναζήτησης. Καθώς αυξάνεται το p , το w_i για τα απομακρυσμένα σημεία μειώνεται γρήγορα. Εάν η τιμή p είναι πολύ υψηλή, μόνο τα άμεσα σημεία γύρω από αυτήν θα επηρεάσουν την πρόβλεψη (ArcGIS 10.3.1 Help).



Σχήμα 2.2 : Επίδραση του συντελεστή στάθμισης (p) στη IDW (ArcGIS 10.3.1 Help).

Στην παρούσα διατριβή ο συντελεστής στάθμισης έλαβε την τιμή 2. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε σύμφωνα με την κατανομή των σημείων δειγματοληψίας, θεωρώντας πως είναι αντιπροσωπευτική χωρίς να αλλοιώνει τα αποτελέσματα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

Στον Πίνακα 3.1 δίνονται το εύρος, ο μέσος όρος και το τυπικό σφάλμα των φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, Chl *a* και pH) της στήλης του νερού κατά την εαρινή περίοδο και για τους 11 σταθμούς δειγματοληψίας, ενώ στον Πίνακα 3.2 δίνονται τα αντίστοιχα στοιχεία για τη θερινή περίοδο. Στα Σχήματα 3.1-3.11 απεικονίζεται η εποχιακή διακύμανση των παραμέτρων αυτών σε σχέση με το βάθος της υδάτινης στήλης στους 11 σταθμούς δειγματοληψίας.

Η ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας νερού (13,26 °C) καταγράφηκε κατά την εαρινή περίοδο στον σταθμό S11 (Πιν. 3.1), ενώ η μέγιστη (26,44 °C) καταγράφηκε το καλοκαίρι στον σταθμό S6 (Πιν. 3.2).

Στο σταθμό S1 οι τιμές της αλατότητας τον Μάιο κυμάνθηκαν από 37,7-38,0 psu, στον S2 από 37,7-37,9 psu, στον S3 από 37,6-37,8 psu, στον S4 και S5 από 37,7-38,0 psu, στον S6 από 37,7-37,9 psu, στον S7 από 37,7-38,6 psu, στον S8 από 37,6-37,9 psu, στον S9 από 37,6-38,5 psu, στον S10 από 37,7-37,9 psu και στον S11 από 37,7-38,6 psu (Πιν. 3.1). Τον Ιούλιο η τιμή της αλατότητας στους σταθμούς S1, S3, S6, S8 και S10 ήταν 36,7 psu, στον S2 οι τιμές κυμάνθηκαν από 36,6-37,9 psu, στον S4 από 36,7-38,0 psu, στον S5 από 36,7-38,4 psu, στον S7 από 36,7-38,3 psu, στον S9 από 36,7-38,4 psu και στον S11 από 36,6-38,6 psu (Πιν. 3.2).

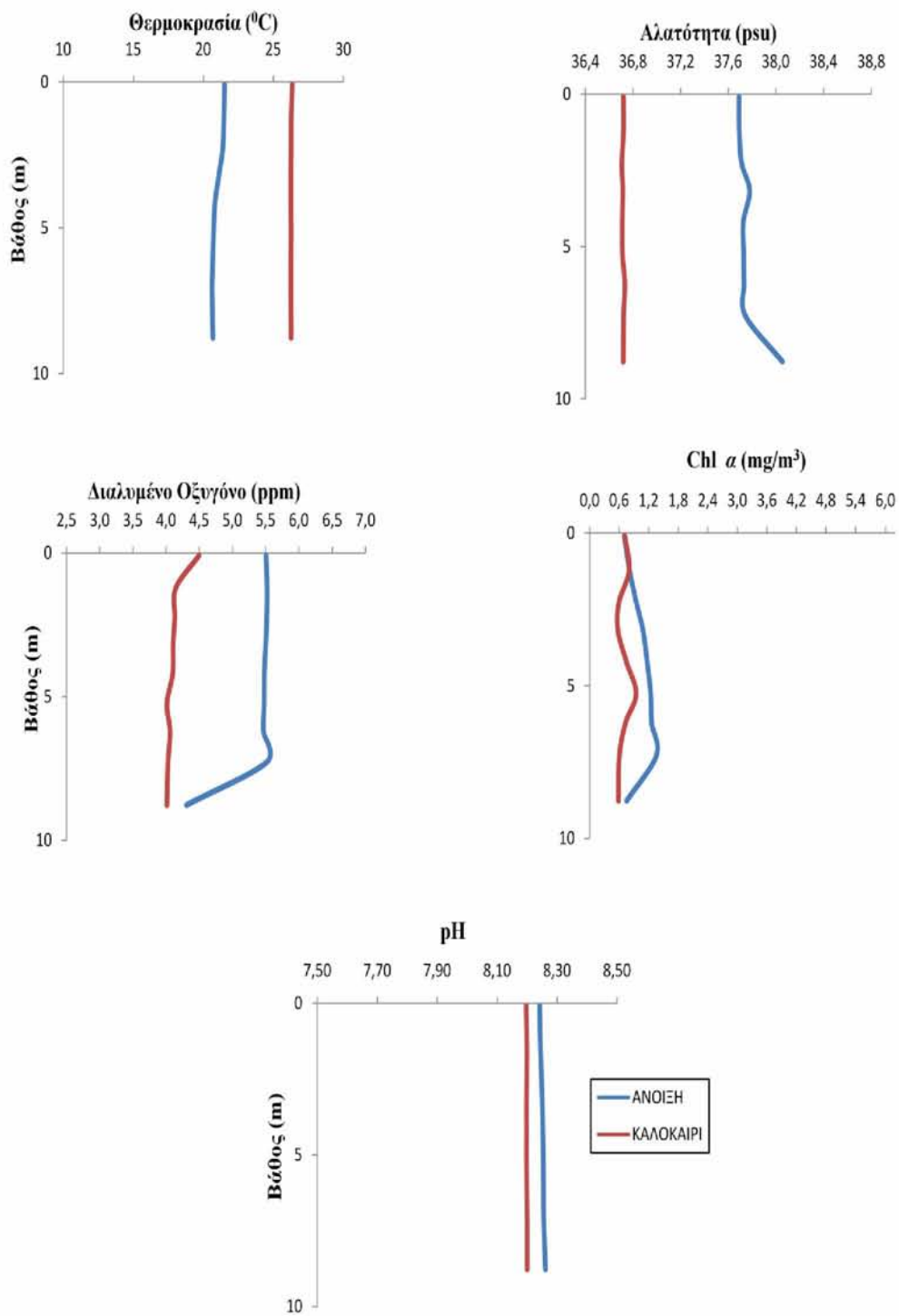
Στον σταθμό S1 οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου για τον μήνα Μάιο κυμάνθηκαν από 4,3-5,5 ppm, στους S2 & S3 από 5,2-5,6 ppm, στον S4 από 4,2-5,6 ppm, στον S5 από 4,6-5,7 ppm, στον S6 από 5,0-5,7 ppm, στον S7 από 4,8-5,8 ppm, στους S8 & S10 από 5,3-5,6 ppm, στον S9 από 5,3-6,0 ppm και στον S11 4,7-6,0 ppm

Πίνακας 3.1: Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι του νερού στους 11 δειγματοληπτικούς σταθμούς κατά τον μήνα Μάιο (Μ.Ο: Μέσος όρος, Τ.Α: Τυπική απόκλιση).

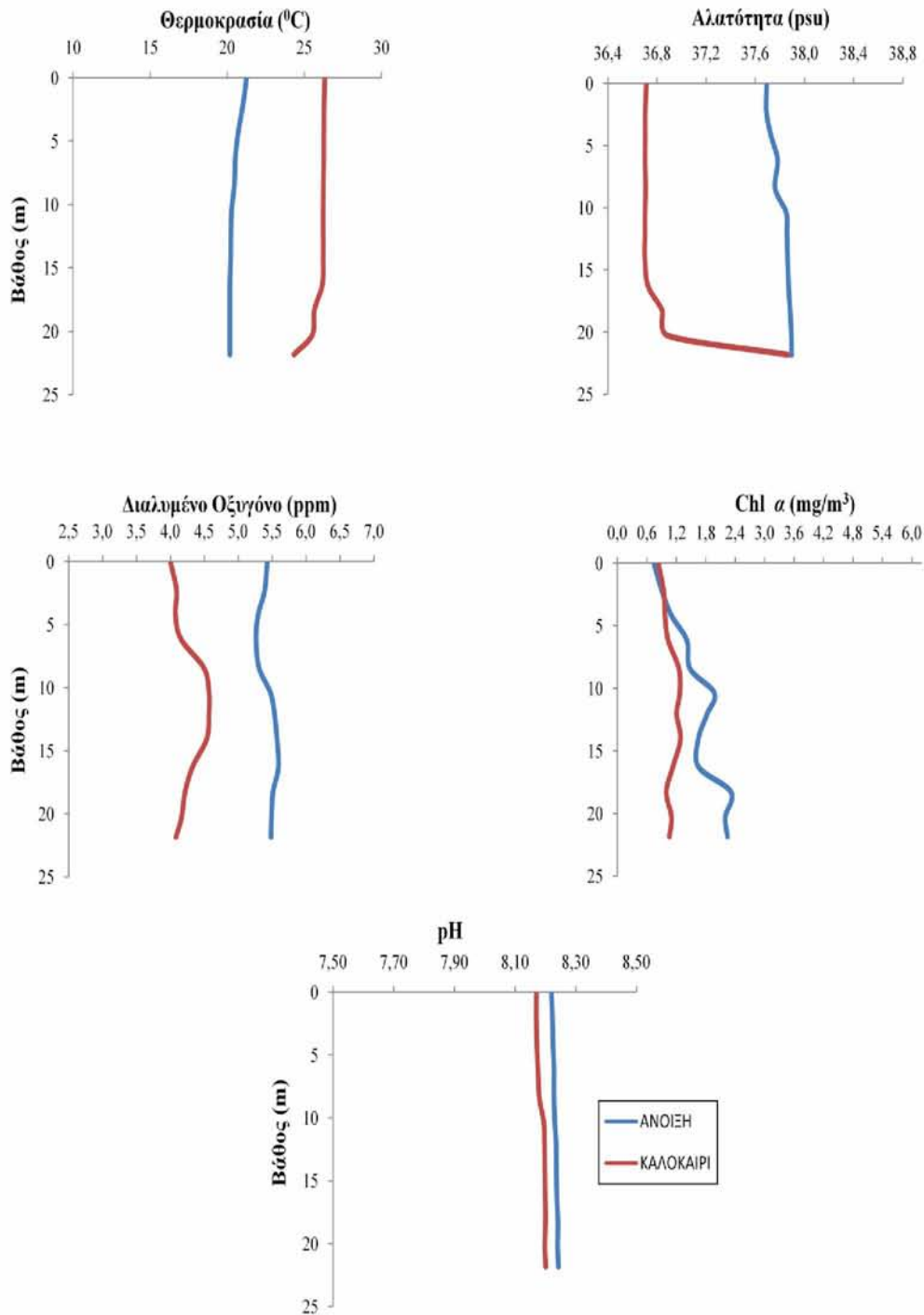
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
Θερμοκρασία (°C)											
Εύρος	20,58-21,54	20,17-21,29	20,37-21,51	19,92-21,30	19,75-21,70	20,14-21,22	13,50-21,19	20,10-21,51	13,30-21,26	20,10-21,29	13,26-21,22
Μ.Ο ± Τ.Α	21,01±0,38	20,46±0,35	20,73±0,38	20,35±0,36	20,39±0,47	20,53±0,38	18,85±2,30	20,56±0,41	17,88±3,03	20,48±0,35	17,06±3,10
Αλατότητα (psu)											
Εύρος	37,68-38,05	37,66-37,90	37,63-37,84	37,69-37,97	37,66-38,00	37,69-37,90	37,73-38,61	37,63-37,92	37,65-38,35	37,68-37,87	37,66-38,64
Μ.Ο ± Τ.Α	37,74±0,08	37,81±0,08	37,75±0,05	37,84±0,08	37,83±0,09	37,79±0,07	38,00±0,22	37,79±0,08	38,03±0,21	37,78±0,06	38,12±0,30
Διαλυμένο οξυγόνο (ppm)											
Εύρος	4,31-5,55	5,24-5,60	5,22-5,58	4,20-5,63	4,62-5,66	5,01-5,67	4,83-5,84	5,33-5,62	5,34-5,99	5,27-5,63	4,70-6,01
Μ.Ο ± Τ.Α	5,44±0,27	5,44±0,11	5,40±0,10	5,29±0,43	5,42±0,29	5,51±0,21	5,54±0,22	5,46±0,11	5,65±0,13	5,49±0,12	5,51±0,38
Χλωροφύλλη α (mg/m³)											
Εύρος	0,70-1,61	0,75-2,32	0,64-1,83	0,92-2,42	0,72-2,37	0,81-1,43	0,85-2,79	0,80-1,59	0,72-3,27	0,69-1,37	0,66-3,48
Μ.Ο ± Τ.Α	1,09±0,27	1,60±0,48	1,16±0,32	1,60±0,43	1,27±0,40	1,09±0,18	1,90±0,50	1,33±0,23	1,83±0,80	1,05±0,20	1,71±0,76
pH											
Εύρος	8,24-8,26	8,22-8,24	8,24-8,25	8,21-8,25	8,21-8,25	8,23-8,27	8,22-8,30	8,24-8,25	8,17-8,23	8,14-8,17	7,70-7,81
Μ.Ο ± Τ.Α	8,25±0,01	8,23±0,01	8,24±0,00	8,23±0,01	8,24±0,01	8,25±0,01	8,26±0,02	8,24±0,00	8,19±0,02	8,14±0,01	7,75±0,03

Πίνακας 3.2: Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι του νερού στους 11 δειγματοληπτικούς σταθμούς κατά τον μήνα Ιούλιο (Μ.Ο: Μέσος όρος, Τ.Α: Τυπική απόκλιση).

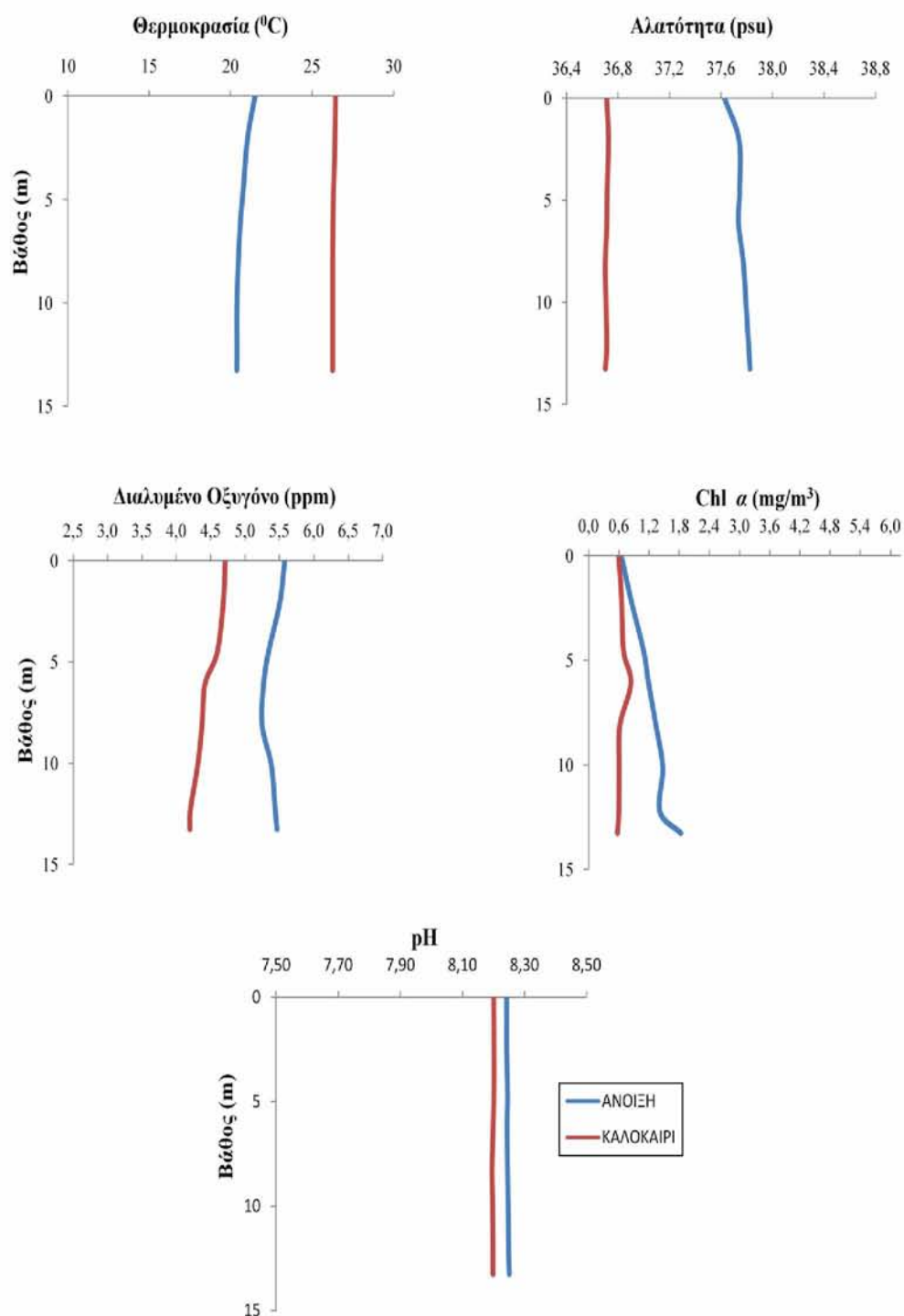
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
Θερμοκρασία (°C)											
Εύρος	26,27-26,37	24,34-26,33	26,25-26,43	18,43-26,28	17,19-26,42	26,12-26,44	14,69-26,43	26,23-26,29	13,81-26,27	26,20-26,31	13,82-26,26
Μ.Ο ± Τ.Α	26,29±0,03	26,07±0,40	26,30±0,07	24,45±2,93	24,38±3,23	26,23±0,08	20,85±4,91	26,26±0,02	19,69±5,40	26,23±0,03	18,57±5,32
Αλατότητα (psu)											
Εύρος	36,71-36,73	36,59-37,86	36,70-36,74	36,68-38,06	36,68-38,40	36,69-36,74	36,69-38,35	36,68-36,73	36,69-38,42	36,70-36,73	36,59-38,58
Μ.Ο ± Τ.Α	36,72±0,01	36,77±0,21	36,71±0,01	37,03±0,53	37,07±0,60	36,71±0,01	37,53±0,71	36,72±0,01	37,65±0,75	36,71±0,01	37,82±0,77
Διαλυμένο οξυγόνο (ppm)											
Εύρος	4,01-4,50	4,01-4,58	4,20-4,71	4,00-5,91	4,74-6,07	4,30-4,87	4,15-6,15	4,71-5,06	4,61-6,21	4,18-4,79	4,70-6,24
Μ.Ο ± Τ.Α	4,12±0,14	4,17±0,21	4,47±0,18	4,73±0,71	5,15±0,49	4,75±0,14	5,45±0,72	4,94±0,13	5,51±0,57	4,68±0,17	5,49±0,52
Χλωροφύλλη α (mg/m³)											
Εύρος	0,57-1,24	0,83-1,43	0,57-0,84	0,66-2,47	0,53-1,85	0,51-1,21	0,52-2,13	0,49-0,74	0,56-6,18	0,60-1,09	0,35-5,96
Μ.Ο ± Τ.Α	0,74±0,17	1,09±0,15	0,67±0,07	1,28±0,49	0,99±0,37	0,95±0,17	1,19±0,37	0,58±0,07	1,74±1,42	0,88±0,15	1,65±1,40
pH											
Εύρος	8,20-8,20	8,17-8,20	8,20-8,20	8,17-8,22	8,20-8,24	8,21-8,22	8,14-8,24	8,20-8,22	8,15-8,21	8,17-8,18	8,00-8,10
Μ.Ο ± Τ.Α	8,20±0,00	8,19±0,01	8,20±0,00	8,19±0,02	8,21±0,01	8,21±0,00	8,20±0,03	8,21±0,01	8,18±0,02	8,17±0,00	8,05±0,02



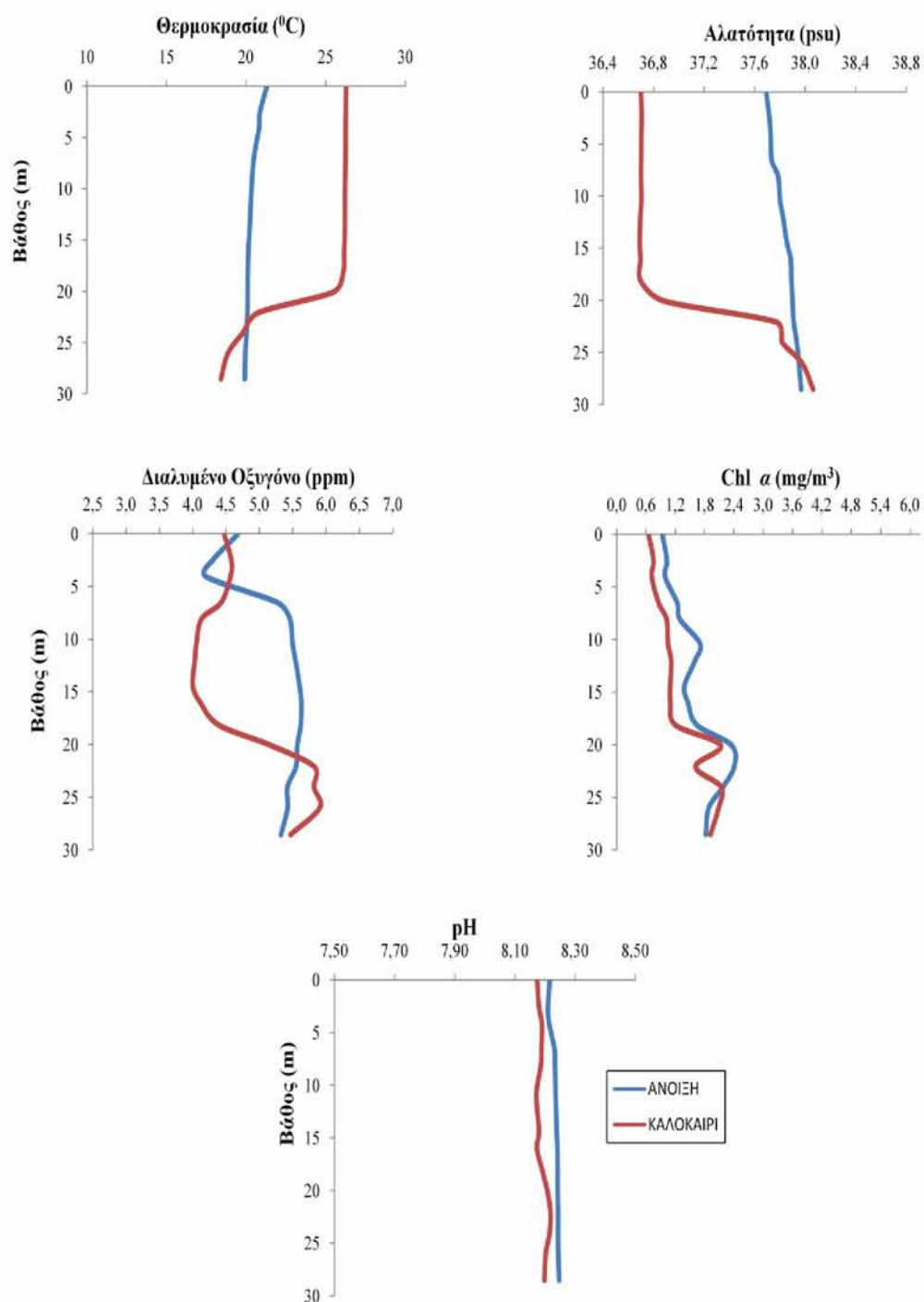
Σχήμα 3.1: Κατανομή φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος και για τις δυο εποχές στον σταθμό S1.



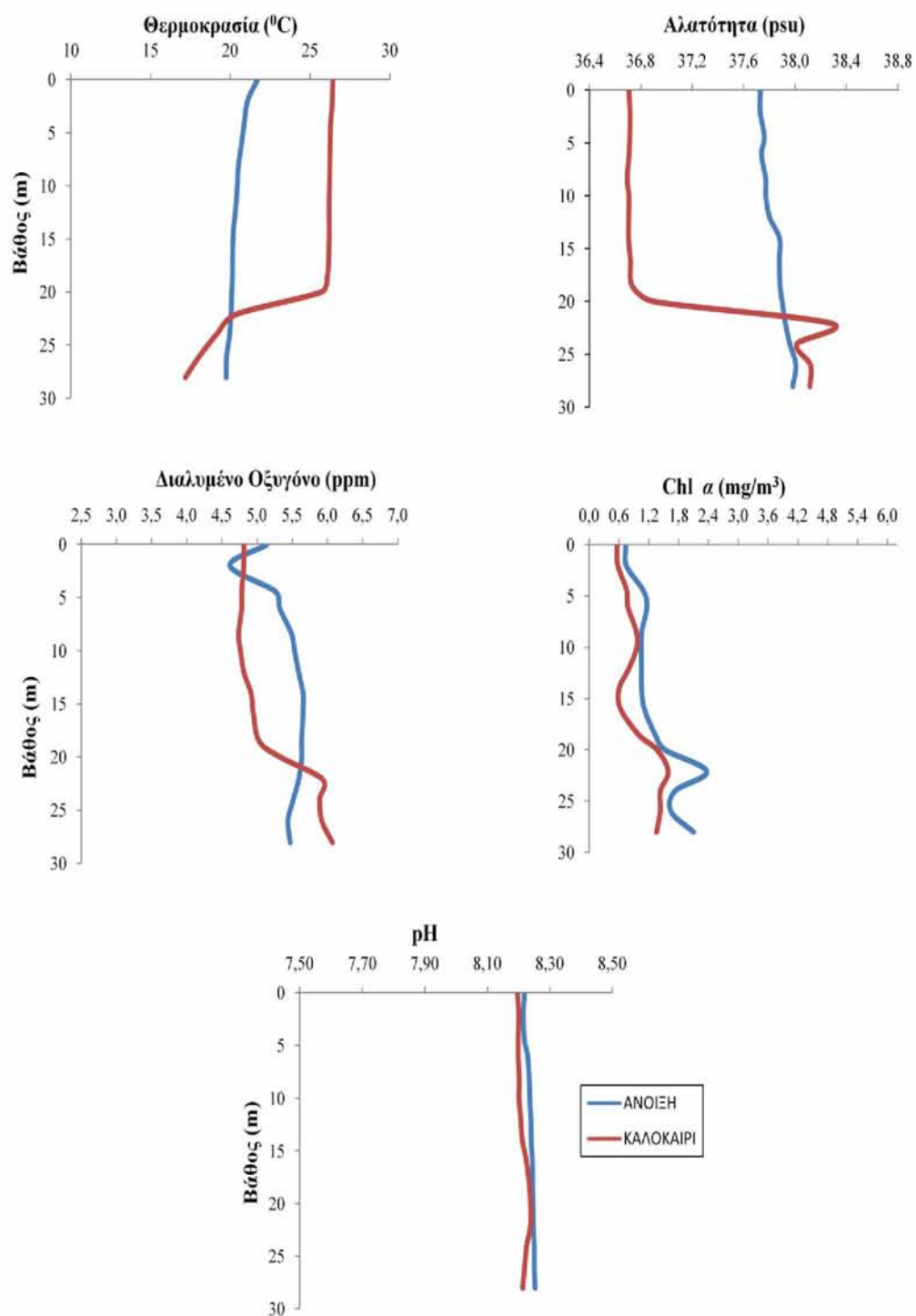
Σχήμα 3.2: Κατανομή φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος και για τις δυο εποχές στον σταθμό S2.



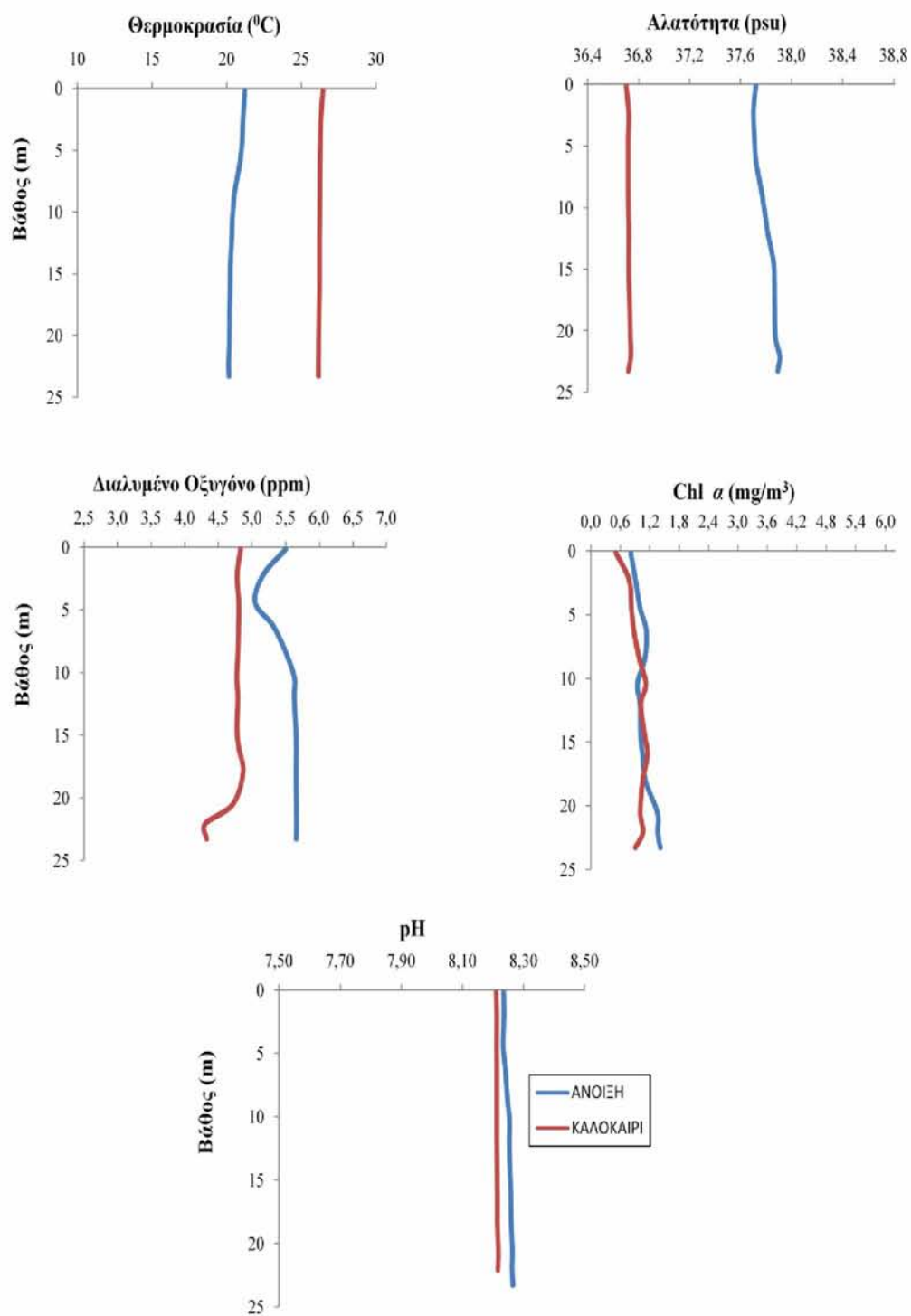
Σχήμα 3.3: Κατανομή φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος και για τις δυο εποχές στον σταθμό S3.



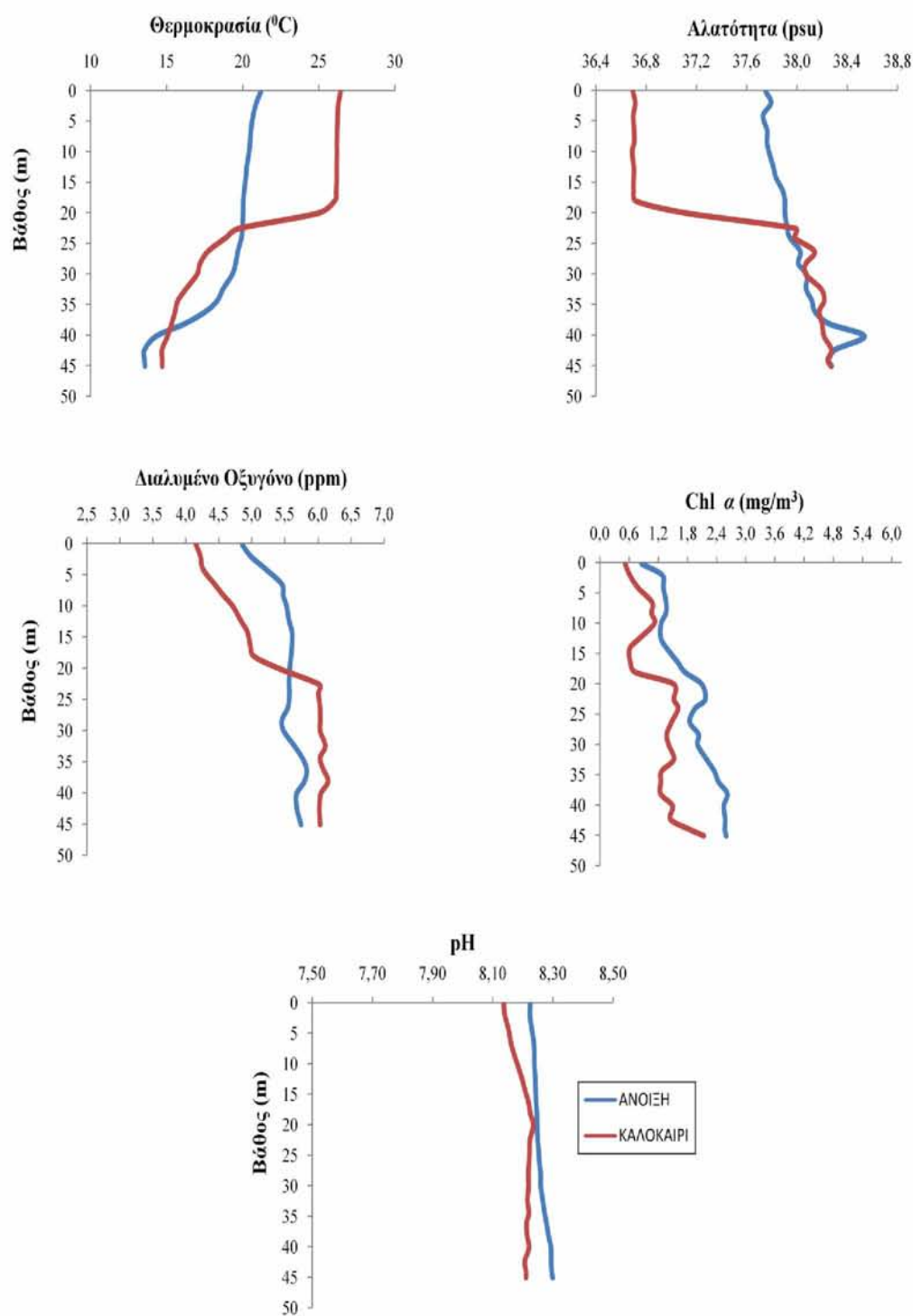
Σχήμα 3.4: Κατανομή φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος και για τις δυο εποχές στον σταθμό S4.



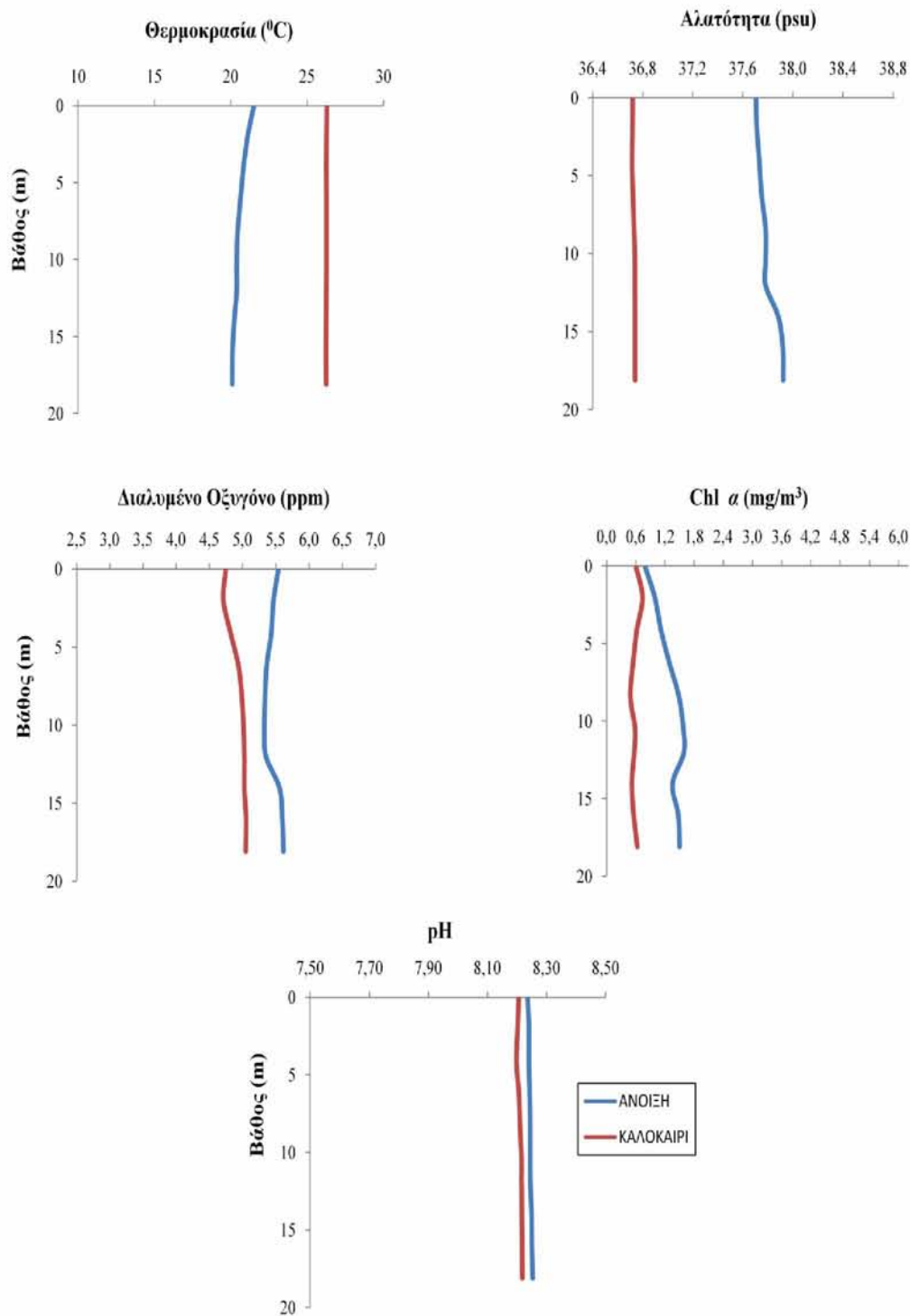
Σχήμα 3.5: Κατανομή φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος και για τις δυο εποχές στον σταθμό S5.



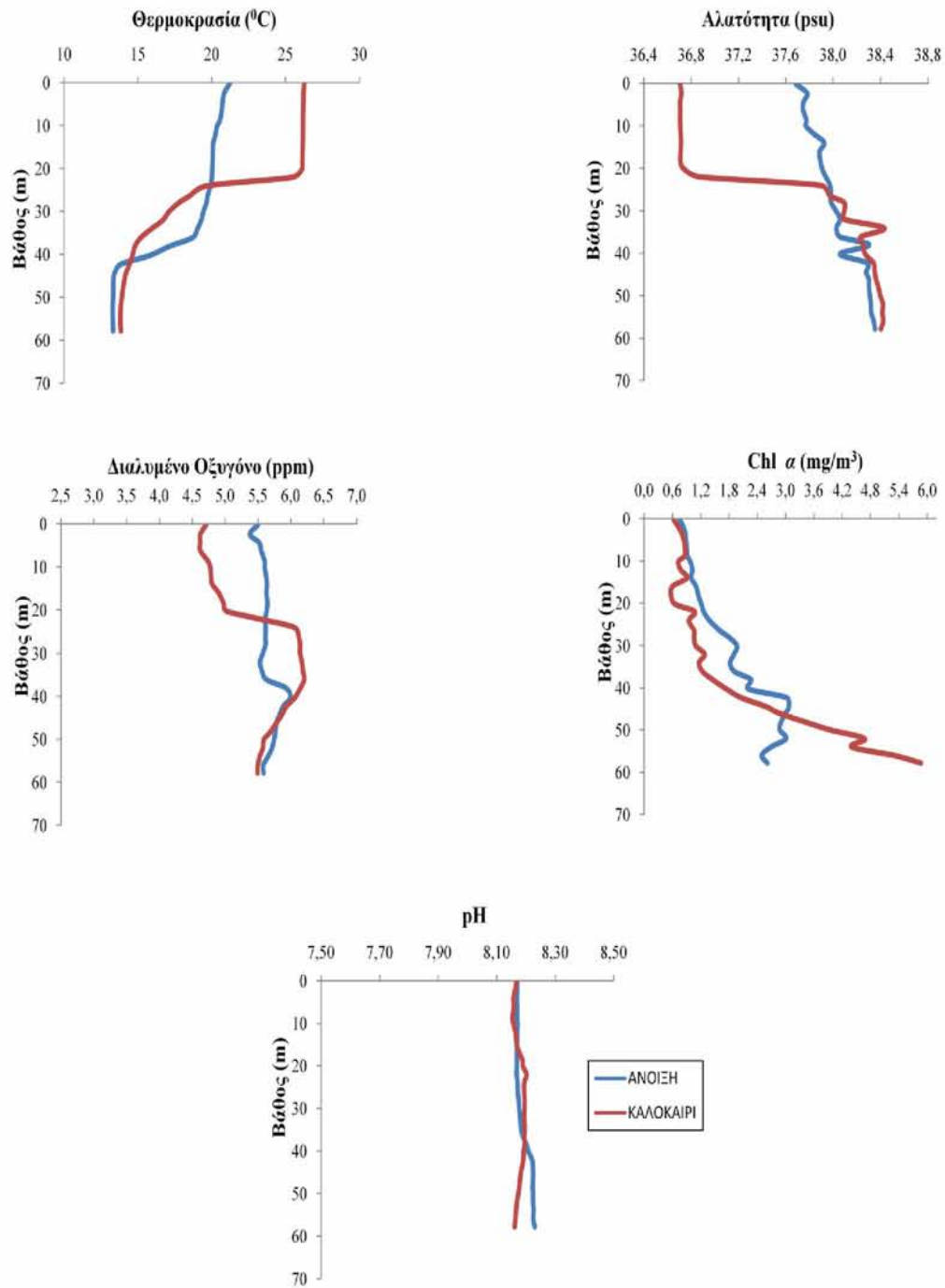
Σχήμα 3.6: Κατανομή φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος και για τις δυο εποχές στον σταθμό S6.



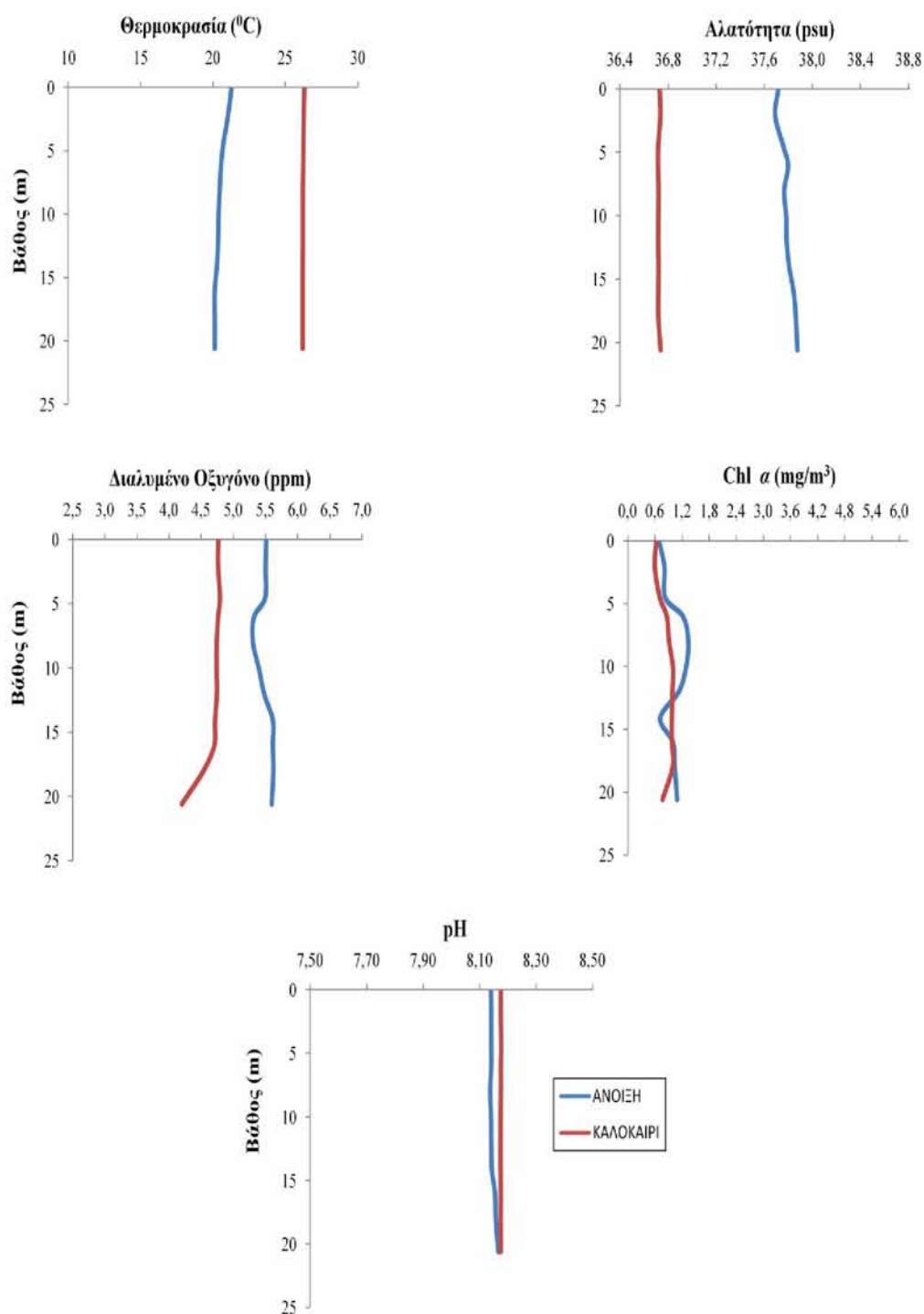
Σχήμα 3.7: Κατανομή φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος και για τις δυο εποχές στον σταθμό S7.



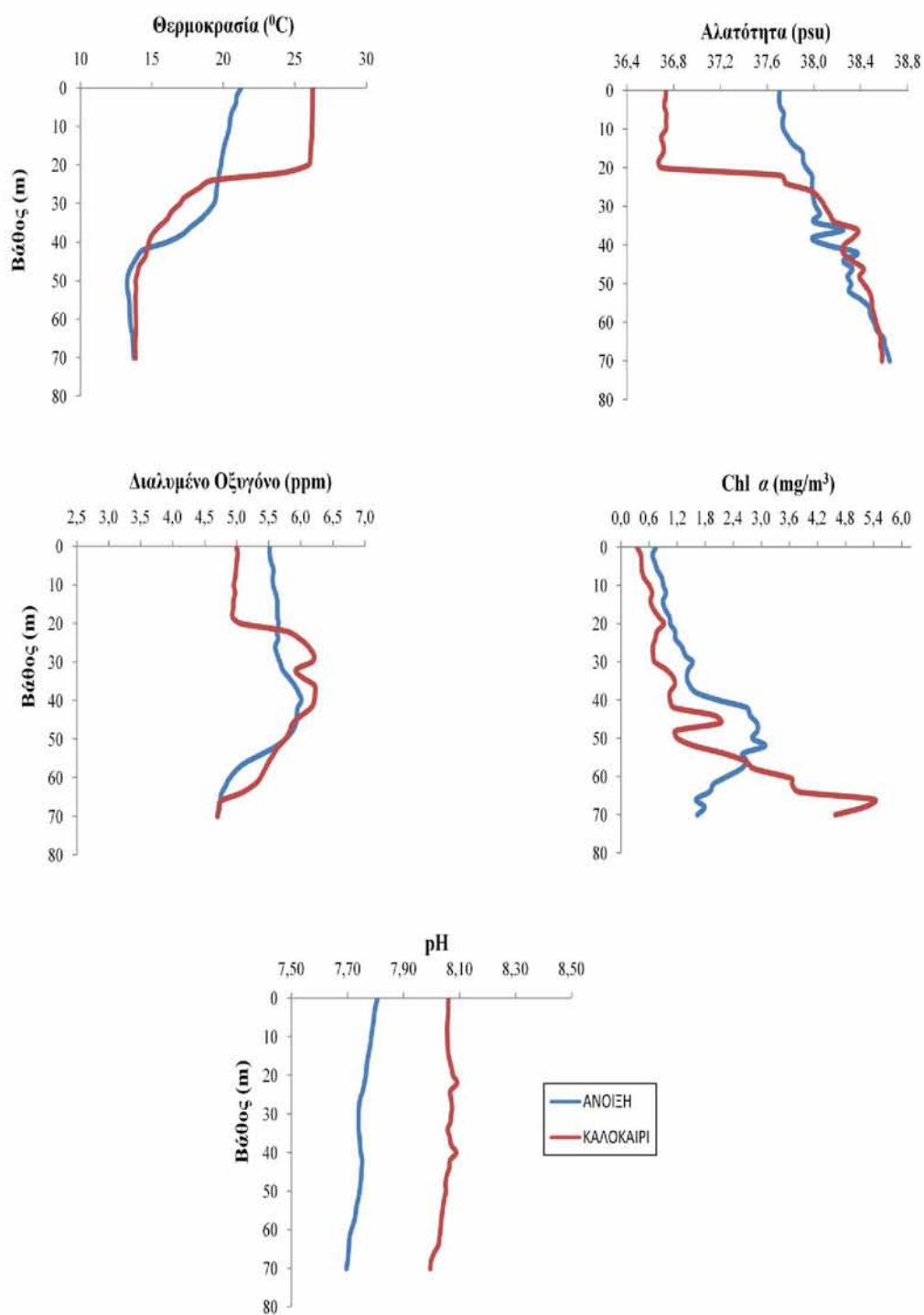
Σχήμα 3.8: Κατανομή φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος και για τις δυο εποχές στον σταθμό S8.



Σχήμα 3.9: Κατανομή φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος και για τις δυο εποχές στον σταθμό S9.



Σχήμα 3.10: Κατανομή φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος και για τις δυο εποχές στον σταθμό S10.



Σχήμα 3.11: Κατανομή φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος και για τις δυο εποχές στον σταθμό S11.

(Πιν. 3.1). Τον Ιούλιο οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου στον σταθμό S1 κυμάνθηκαν από 4,1-4,5 ppm, στον S2 από 4,0-4,6 ppm, στον S3 από 4,2-4,7 ppm, στον S4 από 4,0-5,9 ppm, στον S5 από 4,7-6,1 ppm, στον S6 από 4,3-4,9 ppm, στον S7 από 4,2-6,1 ppm στον S8 από 4,7-5,1 ppm, στον S9 από 4,6-6,2 ppm, στον S10 από 4,2-4,8 ppm και στον S11 από 4,7-6,2 ppm (Πιν. 3.2).

Η μέγιστη τιμή της χλωροφύλλης α καταγράφηκε το καλοκαίρι στον σταθμό S8 (6,18 mg/m³), ενώ η ελάχιστη στον σταθμό S11 (0,35 mg/m³) την ίδια εποχή. Στον σταθμό S1, οι τιμές της χλωροφύλλης α για τις μετρήσεις που έγιναν τον μήνα Μάιο, κυμάνθηκαν από 0,70-1,61 mg/m³, στον S2 από 0,75-2,32 mg/m³, στον S3 από 0,64-1,83 mg/m³, στον S4 από 0,92-2,42 mg/m³, στον S5 από 0,72-2,37 mg/m³, στον S6 από 0,81-1,43 mg/m³, στον S7 από 0,85-2,79 mg/m³, στον S8 από 0,80-1,59 mg/m³, στον S9 από 0,72-3,27 mg/m³, στον S10 από 0,69-1,37 mg/m³ και στον S11 από 0,66-3,48 mg/m³ (Πιν. 3.1). Τον Ιούλιο οι τιμές της χλωροφύλλης α στον σταθμό S1 κυμάνθηκαν από 0,57-1,24 mg/m³, στον S2 από 0,83-1,43 mg/m³, στον S3 από 0,57-0,84 mg/m³, στον S4 από 0,66-2,47 mg/m³, στον S5 από 0,53-1,85 mg/m³, στον S6 από 0,51-1,21 mg/m³, στον S7 από 0,52-2,13 mg/m³, στον S8 από 0,49-0,74 mg/m³, στον S9 από 0,56-6,18 mg/m³, στον S10 από 0,60-1,09 mg/m³ και στον S11 από 0,35-5,96 mg/m³ (Πιν. 3.2).

Οι τιμές του pH παρουσίασαν μικρές διακυμάνσεις σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας κατά την εαρινή περίοδο και ήταν από 7,7-8,3. Η υψηλότερη τιμή εμφανίστηκε στον σταθμό S7 (8,3), ενώ η ελάχιστη στον σταθμό S11 (7,7) (Πιν. 3.1). Για την καλοκαιρινή περίοδο οι τιμές του pH κυμάνθηκαν από 8,0-8,2. Η μέγιστη τιμή εμφανίστηκε στους σταθμούς S5 & S7 (8,2) και η ελάχιστη στον S11 (8,0) (Πιν. 3.2).

3.2 Θρεπτικά άλατα

Στους Πίνακες 3.3 & 3.4 δίνεται το εύρος, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των θρεπτικών αλάτων του νερού στους 11 σταθμούς δειγματοληψίας και για τις δυο εποχές δειγματοληψίας.

Οι τιμές των αμμωνιακών και στις δυο εποχές κυμάνθηκαν από 0,022-3,918 μM . Η μέγιστη τιμή των αμμωνιακών εμφανίστηκε την άνοιξη στον σταθμό S2 που βρίσκεται στην περιοχή των ιχθυοκλωβών. Η μέγιστη τιμή των νιτρωδών εμφανίστηκε την άνοιξη και το καλοκαίρι (0,030 μM) στον σταθμό S5, όπως και η ελάχιστη τιμή (0,002 μM) στον σταθμό (S10).

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών κυμάνθηκαν από 1,505-2,090 μM την άνοιξη και 1,589-2,116 μM το καλοκαίρι. Τα φωσφορικά παρέμειναν σε χαμηλές συγκεντρώσεις, με εύρος τιμών από 0,008-0,054 μM και για τις δυο εποχές. Τέλος, οι συγκεντρώσεις των πυριτικών την άνοιξη κυμάνθηκαν από 0,870-1,306 μM και το καλοκαίρι από 0,952-1,290 μM .

Στα Σχήματα 3.12-3.16 απεικονίζεται η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων του νερού στους 11 σταθμούς δειγματοληψίας. Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών εμφανίστηκαν αυξημένες κατά τη εαρινή περίοδο σε σύγκριση με τη θερινή. Η συγκέντρωση των αμμωνιακών βρέθηκε αυξημένη στους σταθμούς εκτροφής (S2, S4 και S7) και για τις δυο εποχές (Σχ. 3.12).

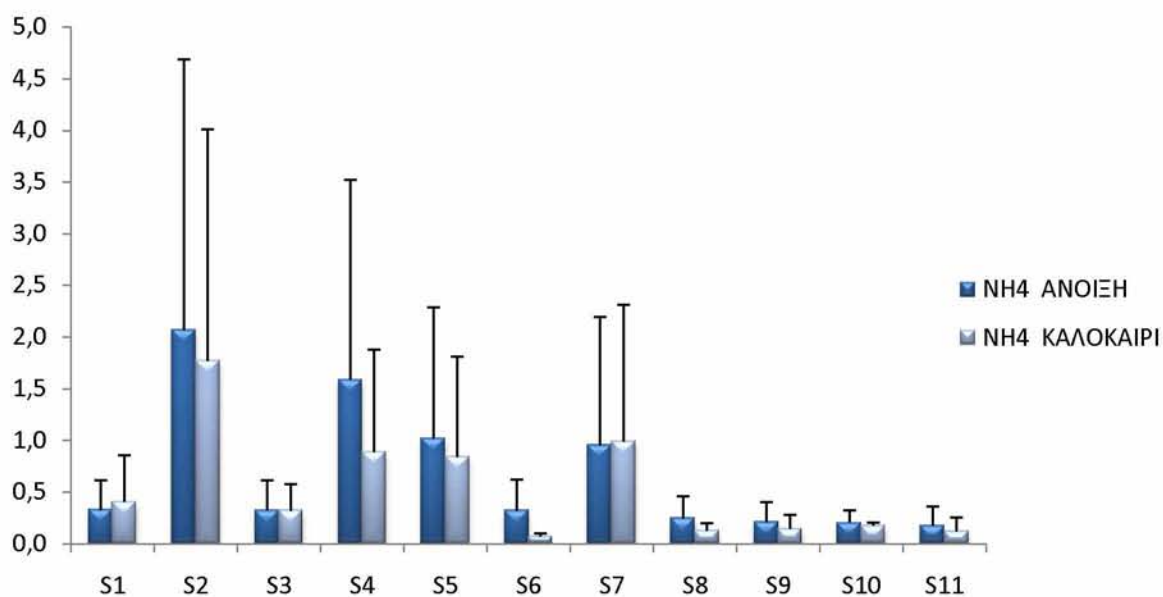
Η μέση τιμή των νιτρωδών ήταν μεγαλύτερη τον Μάιο σχεδόν σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας σε σύγκριση με τον Ιούλιο (Σχ. 3.13). Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών και πυριτικών εμφάνισαν μικρή διακύμανση και στις δυο εποχές δειγματοληψίας (Σχ. 3.14 & Σχ. 3.16 αντίστοιχα). Τα φωσφορικά εμφανίστηκαν αυξημένα κατά την εαρινή περίοδο σε σύγκριση με το καλοκαίρι. Η αύξηση αυτή

Πίνακας 3.3: Συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων στη στήλη του νερού (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά, πυριτικά) στους 11 δειγματοληπτικούς σταθμούς κατά τον μήνα Μάιο (Μ.Ο: Μέσος όρος, Τ.Α: Τυπική απόκλιση).

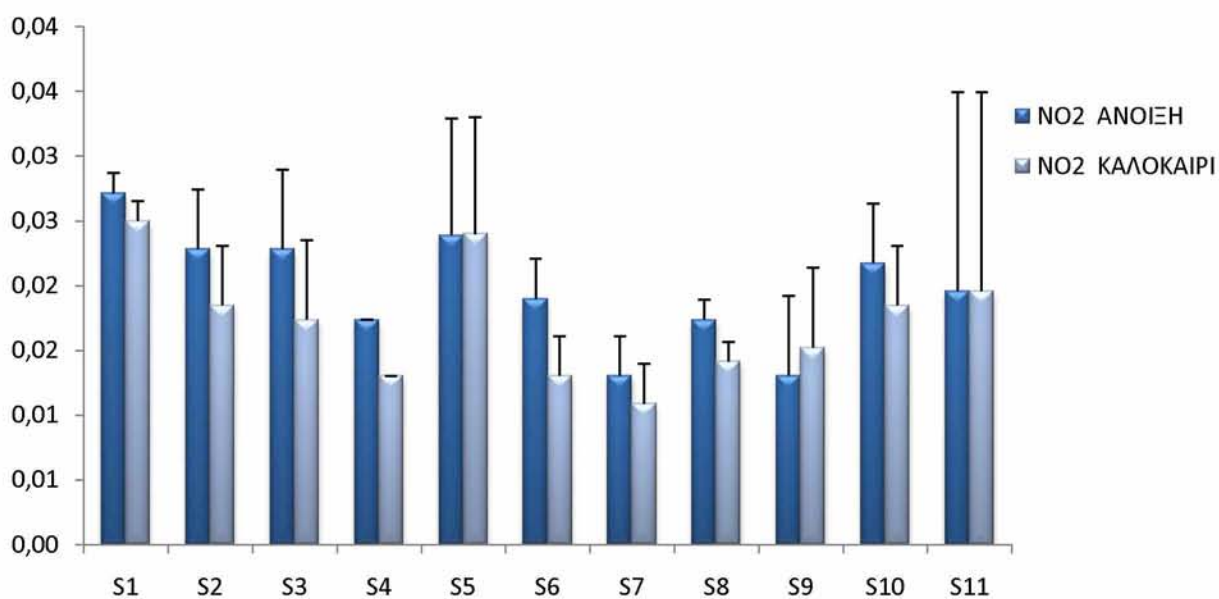
(μM)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
NH₄											
Εύρος	0,124-0,530	0,218-3,918	0,114-0,530	0,223-2,956	0,119-1,914	0,109-0,530	0,074-1,828	0,093-0,395	0,069-0,346	0,116-0,290	0,038-0,152
M.O \pm T.A	0,327 \pm 0,287	2,068 \pm 2,616	0,322 \pm 0,294	1,589 \pm 1,932	1,017 \pm 1,269	0,320 \pm 0,298	0,951 \pm 1,241	0,244 \pm 0,213	0,028 \pm 0,196	0,205 \pm 0,119	0,174 \pm 0,184
NO₂											
Εύρος	0,024-0,030	0,015-0,028	0,017-0,026	0,011-0,020	0,017-0,030	0,014-0,024	0,011-0,015	0,017-0,022	0,011-0,028	0,017-0,024	0,013-0,026
M.O \pm T.A	0,027 \pm 0,005	0,023 \pm 0,008	0,023 \pm 0,005	0,017 \pm 0,003	0,024 \pm 0,009	0,019 \pm 0,007	0,013 \pm 0,000	0,017 \pm 0,000	0,013 \pm 0,003	0,022 \pm 0,003	0,020 \pm 0,009
NO₃											
Εύρος	1,768-1,776	1,776-1,955	1,684-1,918	1,524-1,953	1,632-2,090	1,524-1,971	1,523-1,842	1,810-2,113	1,505-1,935	1,626-1,953	1,508-2,006
M.O \pm T.A	1,772 \pm 0,006	1,865 \pm 0,127	1,739 \pm 0,078	1,802 \pm 0,213	1,861 \pm 0,324	1,891 \pm 0,087	1,828 \pm 0,001	1,899 \pm 0,127	1,632 \pm 0,023	1,717 \pm 0,129	1,602 \pm 0,109
PO₄											
Εύρος	0,023-0,025	0,044-0,051	0,012-0,015	0,017-0,025	0,017-0,020	0,018-0,025	0,018-0,023	0,016-0,023	0,016-0,024	0,016-0,019	0,016-0,025
M.O \pm T.A	0,024 \pm 0,001	0,047 \pm 0,001	0,014 \pm 0,001	0,021 \pm 0,006	0,018 \pm 0,001	0,022 \pm 0,005	0,018 \pm 0,001	0,019 \pm 0,005	0,021 \pm 0,004	0,018 \pm 0,001	0,021 \pm 0,007
SiO₂											
Εύρος	1,038-1,067	1,135-1,188	1,155-1,230	1,150-1,306	0,870-0,982	1,145-1,285	1,012-1,140	1,022-1,085	0,894-1,018	1,136-1,200	0,908-1,072
M.O \pm T.A	1,052 \pm 0,020	1,144 \pm 0,001	1,192 \pm 0,053	1,176 \pm 0,036	0,955 \pm 0,038	1,185 \pm 0,057	1,052 \pm 0,026	1,053 \pm 0,045	0,988 \pm 0,042	1,146 \pm 0,013	1,020 \pm 0,073

Πίνακας 3.4: Συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων στη στήλη του νερού (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά, πυριτικά) στους 11 δειγματοληπτικούς σταθμούς κατά τον μήνα Ιούλιο (Μ.Ο: Μέσος όρος, Τ.Α: Τοπική απόκλιση).

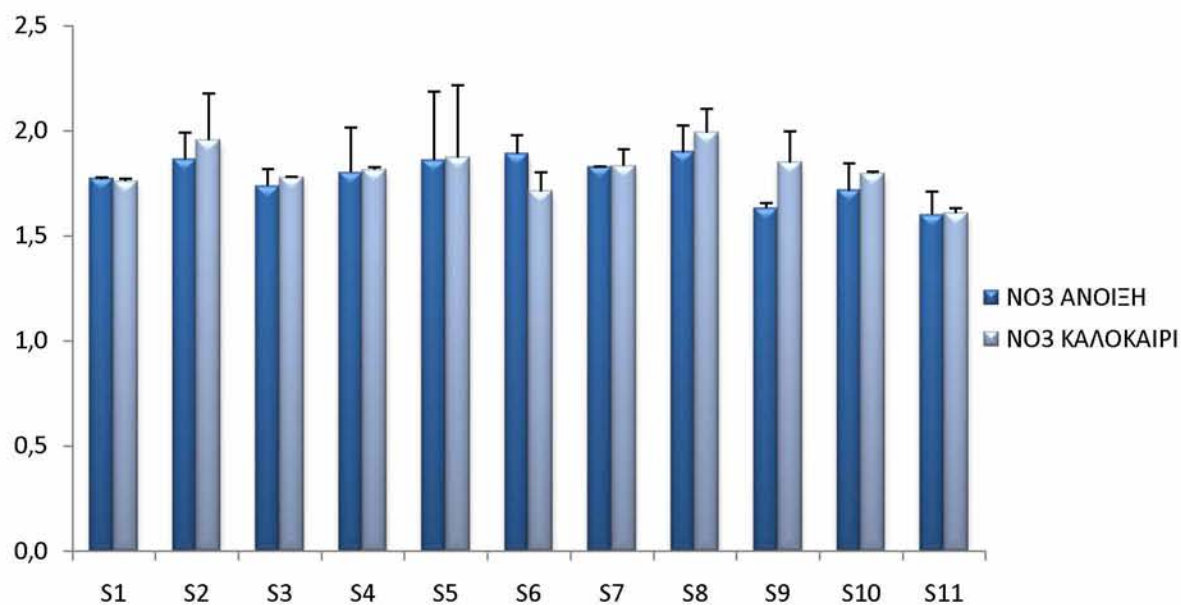
(μM)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
NH₄											
Εύρος	0,092-0,723	0,188-3,353	0,138-0,499	0,187-1,589	0,157-1,525	0,046-0,091	0,053-1,926	0,071-0,178	0,053-0,241	0,148-0,194	0,022-0,214
M.O \pm T.A	0,408 \pm 0,447	1,771 \pm 2,238	0,318 \pm 0,256	0,888 \pm 0,992	0,841 \pm 0,967	0,069 \pm 0,032	0,989 \pm 1,324	0,125 \pm 0,076	0,147 \pm 0,132	0,174 \pm 0,029	0,120 \pm 0,132
NO₂											
Εύρος	0,024-0,026	0,015-0,024	0,013-0,022	0,011-0,013	0,017-0,030	0,011-0,015	0,009-0,013	0,013-0,017	0,011-0,030	0,002-0,022	0,009-0,030
M.O \pm T.A	0,025 \pm 0,002	0,018 \pm 0,005	0,017 \pm 0,006	0,013 \pm 0,000	0,024 \pm 0,009	0,013 \pm 0,003	0,011 \pm 0,003	0,014 \pm 0,002	0,015 \pm 0,006	0,018 \pm 0,005	0,020 \pm 0,015
NO₃											
Εύρος	1,753-1,768	1,797-2,113	1,779-1,782	1,589-1,824	1,629-2,116	1,579-1,776	1,610-1,890	1,915-2,087	1,589-1,955	1,653-1,803	1,592-1,845
M.O \pm T.A	1,760 \pm 0,010	1,955 \pm 0,224	1,780 \pm 0,001	1,816 \pm 0,011	1,873 \pm 0,344	1,712 \pm 0,090	1,835 \pm 0,079	1,993 \pm 0,111	1,850 \pm 0,148	1,798 \pm 0,008	1,609 \pm 0,024
PO₄											
Εύρος	0,022-0,028	0,027-0,054	0,008-0,011	0,013-0,018	0,011-0,013	0,016-0,018	0,011-0,017	0,013-0,018	0,013-0,025	0,008-0,013	0,012-0,031
M.O \pm T.A	0,025 \pm 0,004	0,041 \pm 0,019	0,009 \pm 0,001	0,015 \pm 0,004	0,012 \pm 0,001	0,018 \pm 0,000	0,013 \pm 0,000	0,015 \pm 0,004	0,016 \pm 0,003	0,011 \pm 0,002	0,021 \pm 0,013
SiO₂											
Εύρος	1,138-1,156	1,156-1,205	1,173-1,290	1,161-1,236	0,968-1,033	1,156-1,200	0,952-1,067	1,018-1,050	0,992-1,141	1,143-1,236	0,955-1,121
M.O \pm T.A	1,147 \pm 0,013	1,173 \pm 0,016	1,231 \pm 0,082	1,199 \pm 0,053	1,005 \pm 0,040	1,176 \pm 0,027	0,977 \pm 0,009	1,028 \pm 0,014	1,043 \pm 0,045	1,200 \pm 0,052	1,012 \pm 0,080



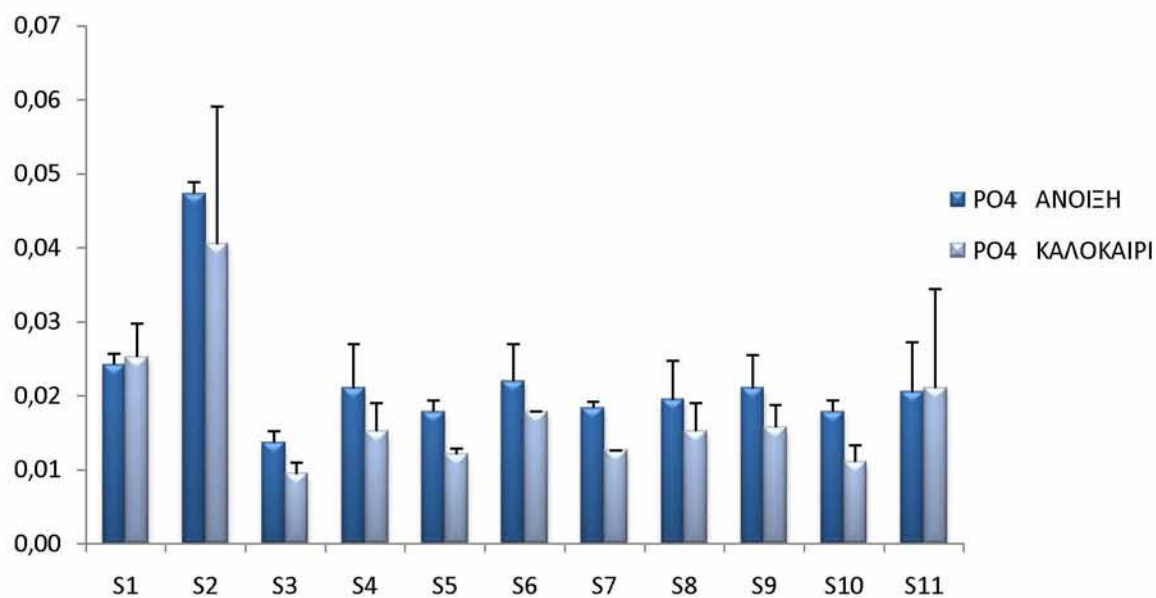
Σχήμα 3.12: Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των αμμωνιακών (μM).



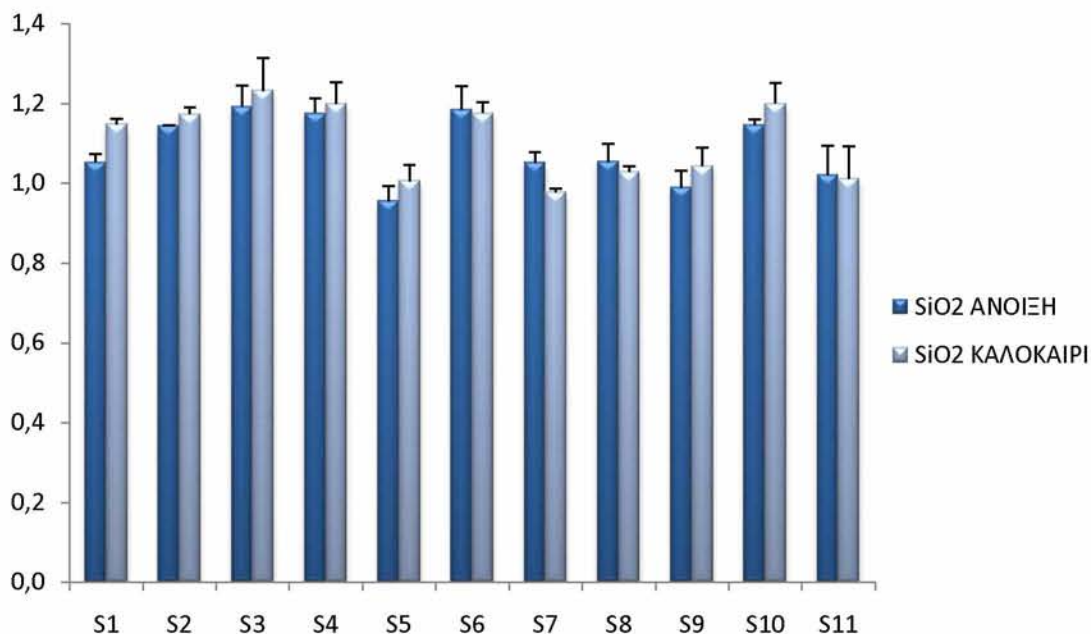
Σχήμα 3.13: Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των νιτρικών (μM).



Σχήμα 3.14: Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των νιτρικών (μM).



Σχήμα 3.15: Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των φωσφορικών (μM).



Σχήμα 3.16: Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των πυριτικών (μM).

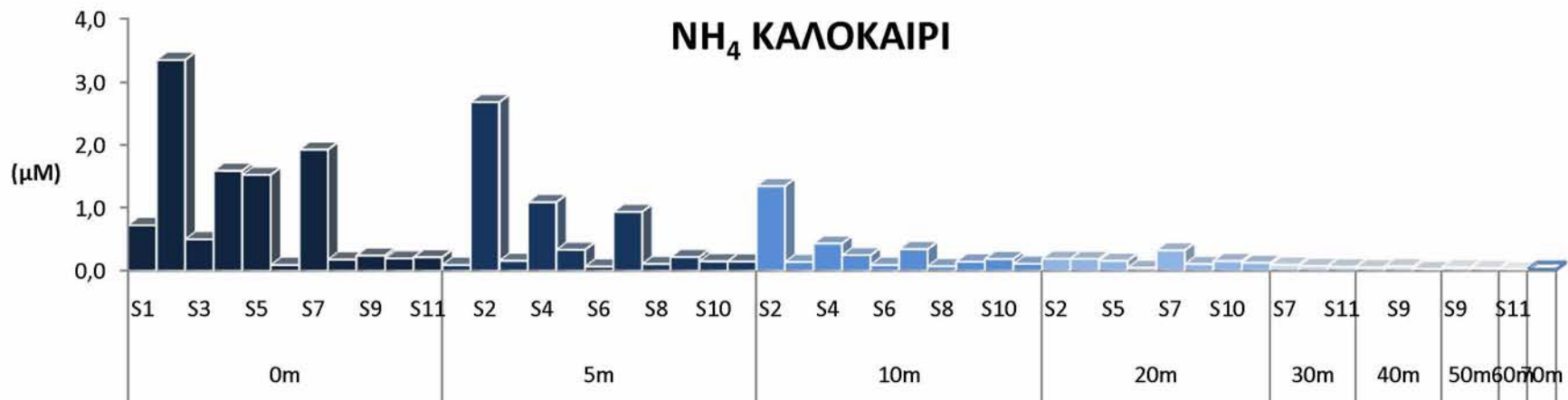
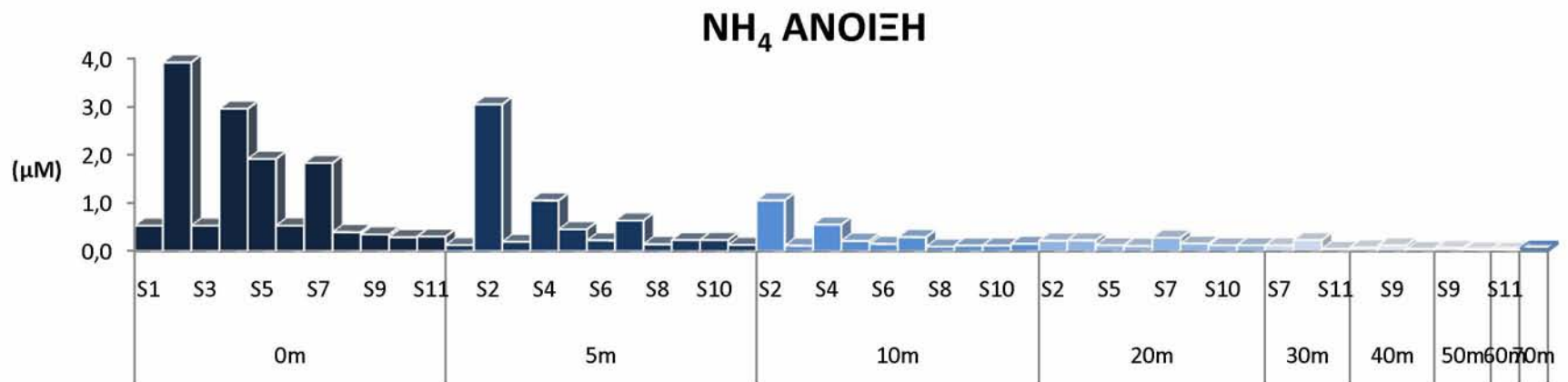
παρατηρήθηκε κυρίως στους σταθμούς S1, S2, S4, S6 & S11 για την άνοιξη και στους σταθμούς S1, S2, S6 & S11 για το καλοκαίρι (Σχ. 3.15).

Στα Σχήματα 3.17-3.21 απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων σε κάθε βάθος (0, 5,10,20, ...,70m) για όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας και για τις δυο εποχές.

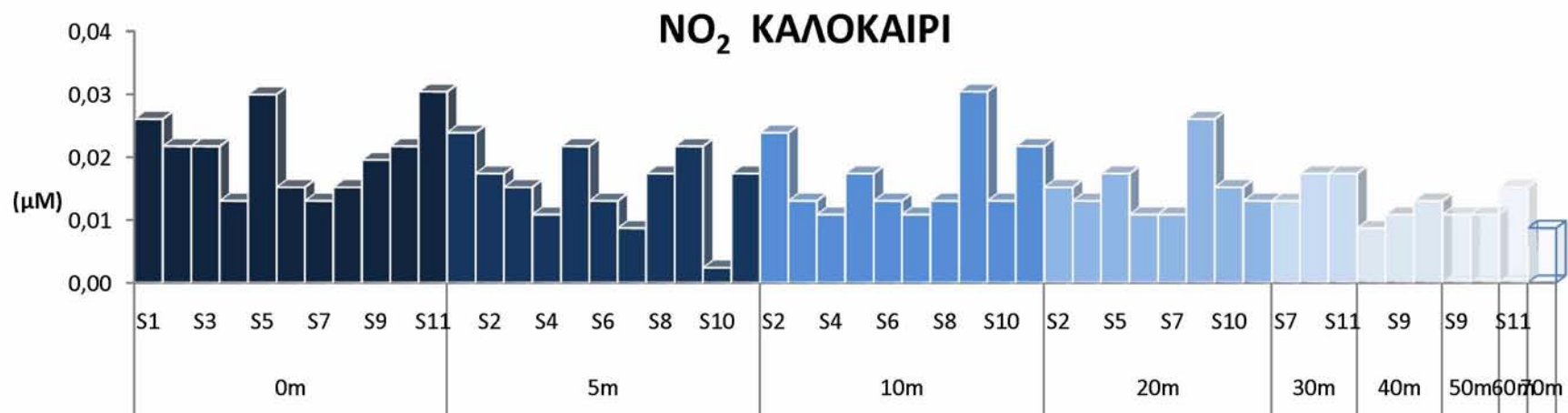
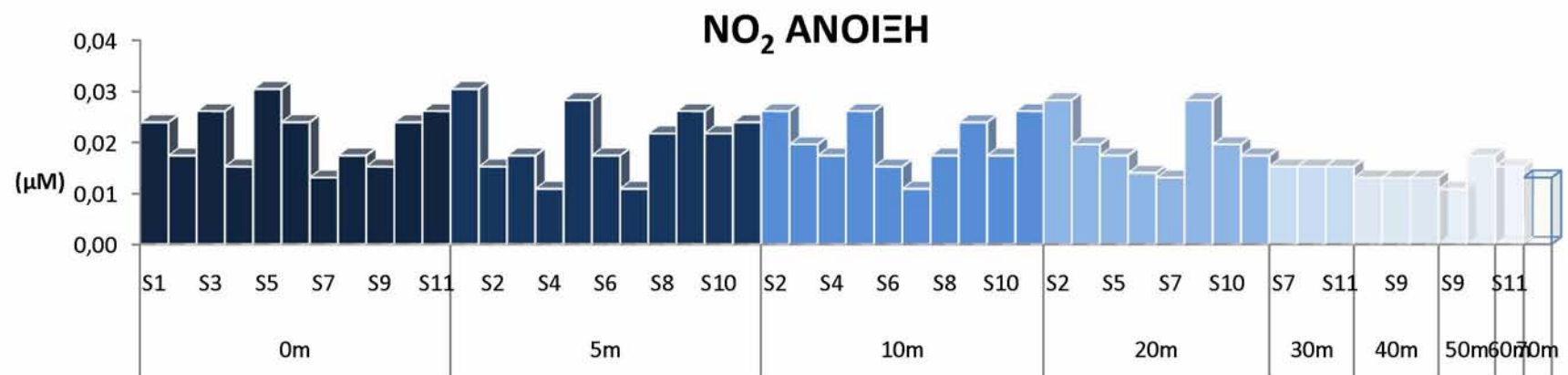
Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των αμμωνιακών και για τις δυο εποχές εμφανίστηκαν στους σταθμούς S2, S4 & S7 (σταθμοί δειγματοληψίας εντός των κλωβών εκτροφής) στην επιφάνεια (0m) και μειώνονται σταδιακά με το βάθος (Σχ. 3.17).

Τα νιτρώδη βρέθηκαν αυξημένα στους σταθμούς S1, S3, S5, S9 & S11 σε όλα τα βάθη, ενώ οι μέγιστες τιμές εμφανίστηκαν στα 0m. Οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών

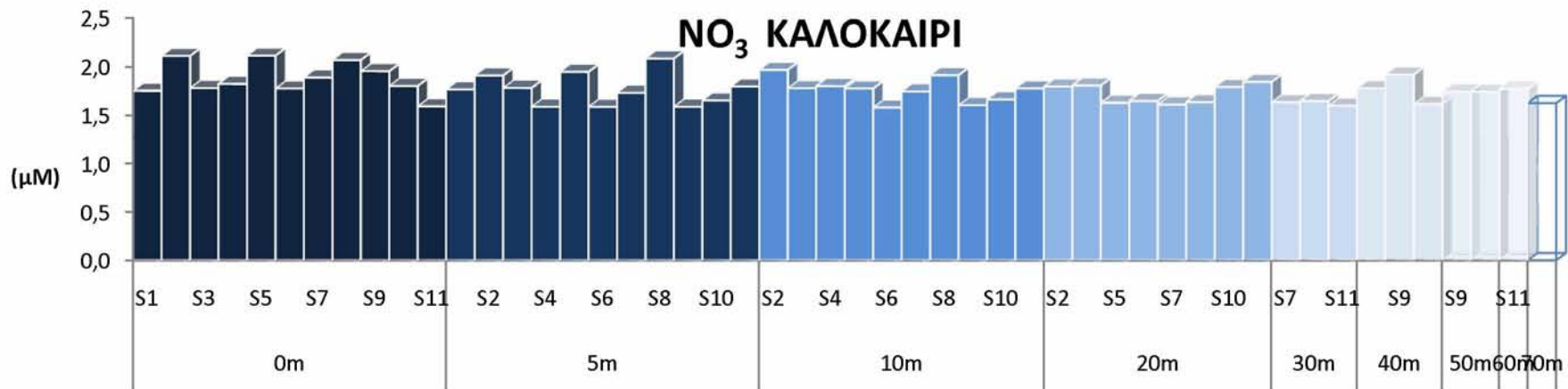
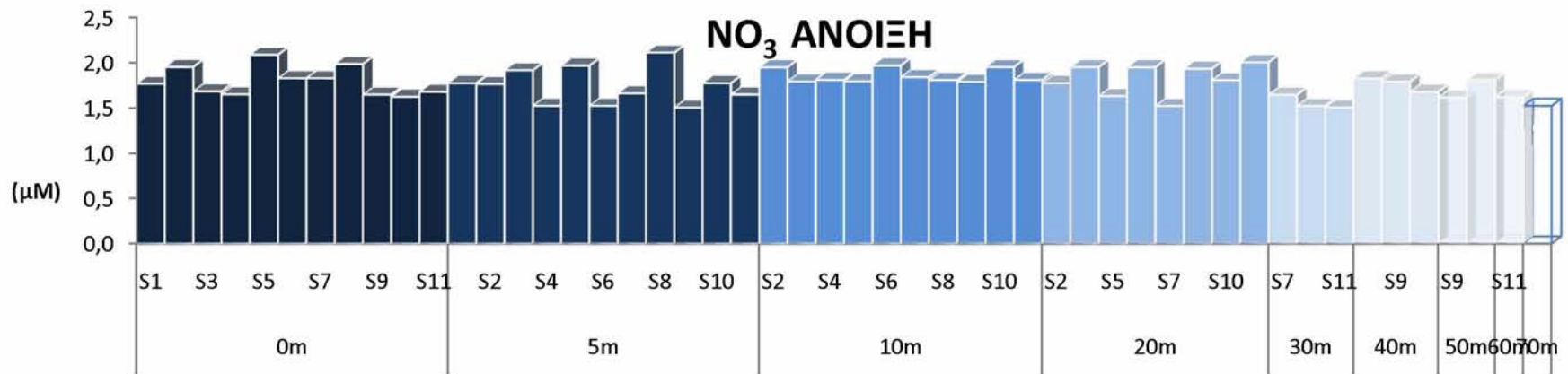
μειώνονται με το βάθος, άλλα με μικρότερο ρυθμό σε σύγκριση με τα αμμωνιακά (Σχ. 3.18). Τα νιτρικά και τα πυριτικά παρουσίασαν ομοιομορφία στις συγκεντρώσεις τους σε όλα τα βάθη (Σχ. 3.19 & Σχ. 3.21, αντίστοιχα). Τέλος, στα φωσφορικά μια μικρή μείωση των συγκεντρώσεων παρατηρήθηκε μετά τα 20m βάθους (Σχ. 3.20).



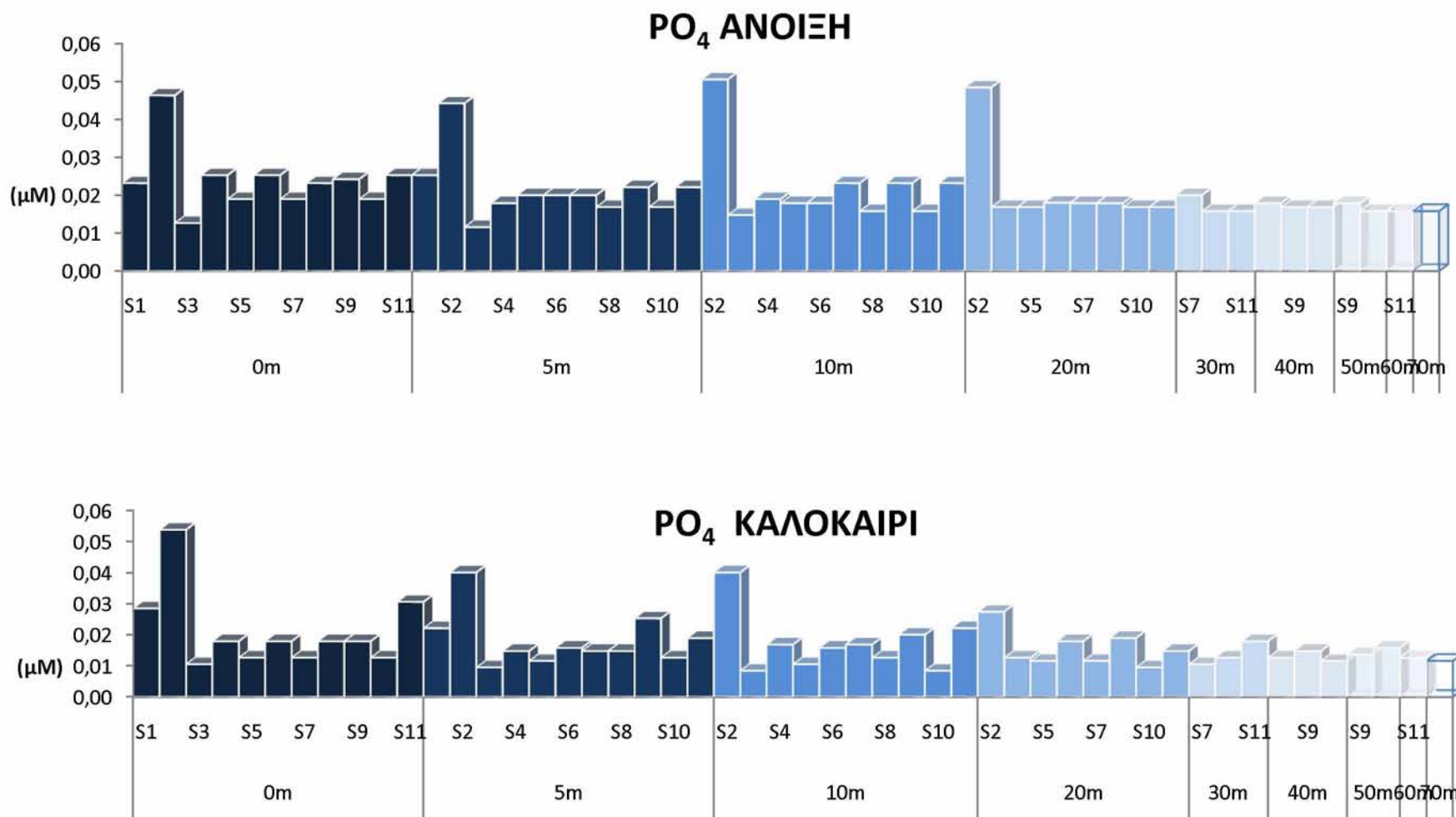
Σχήμα 3.17: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων των αμμωνιακών (μM) στα διάφορα βάθη της υδάτινης στήλης.



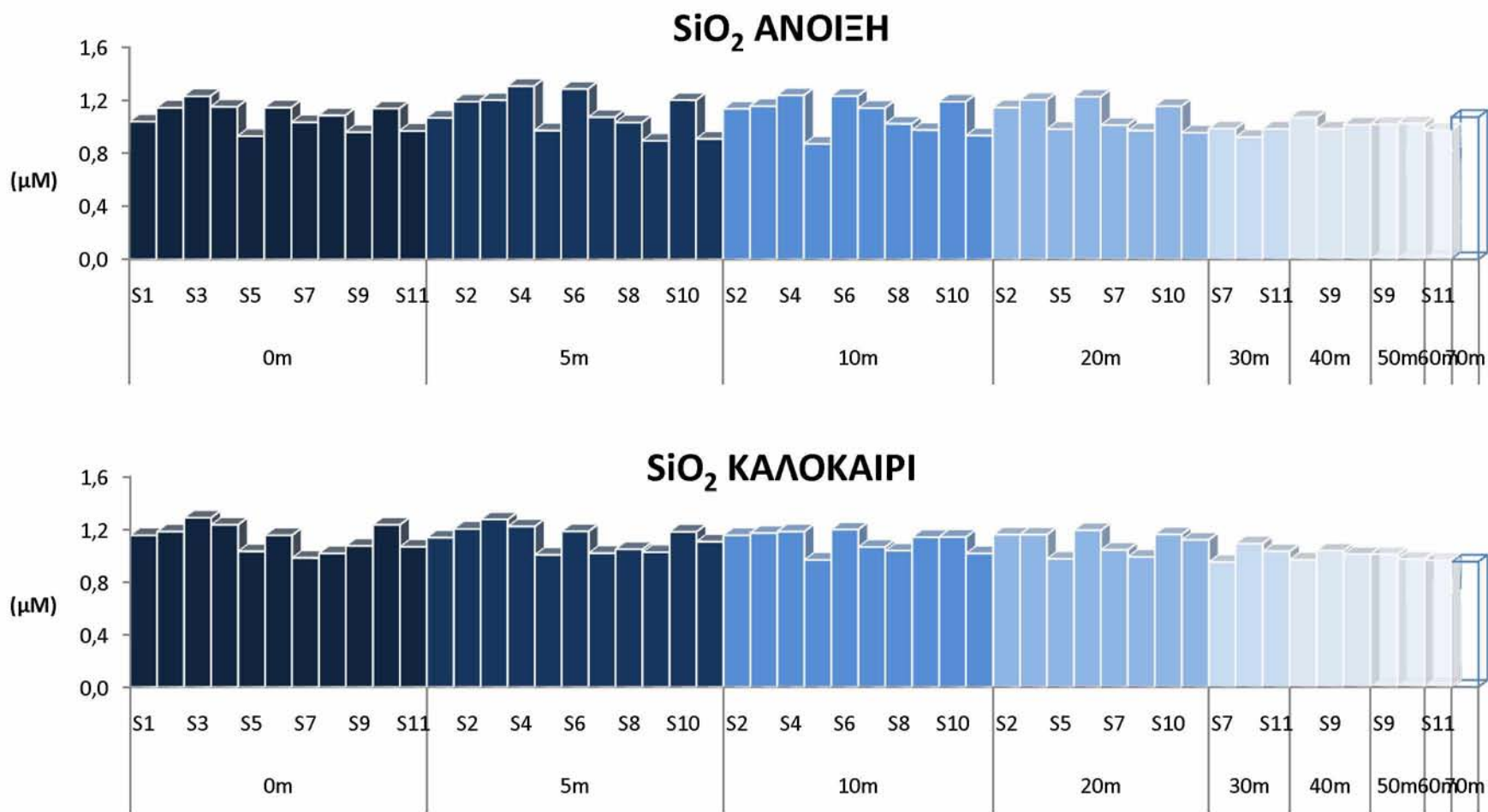
Σχήμα 3.18: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων των νιτρικών (μM) στα διάφορα βάθη της υδάτινης στήλης.



Σχήμα 3.19: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων των νιτρικών (μM) στα διάφορα βάθη της υδάτινης στήλης.



Σχήμα 3.20: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων των φωσφορικών (μM) στα διάφορα βάθη της υδάτινης στήλης.



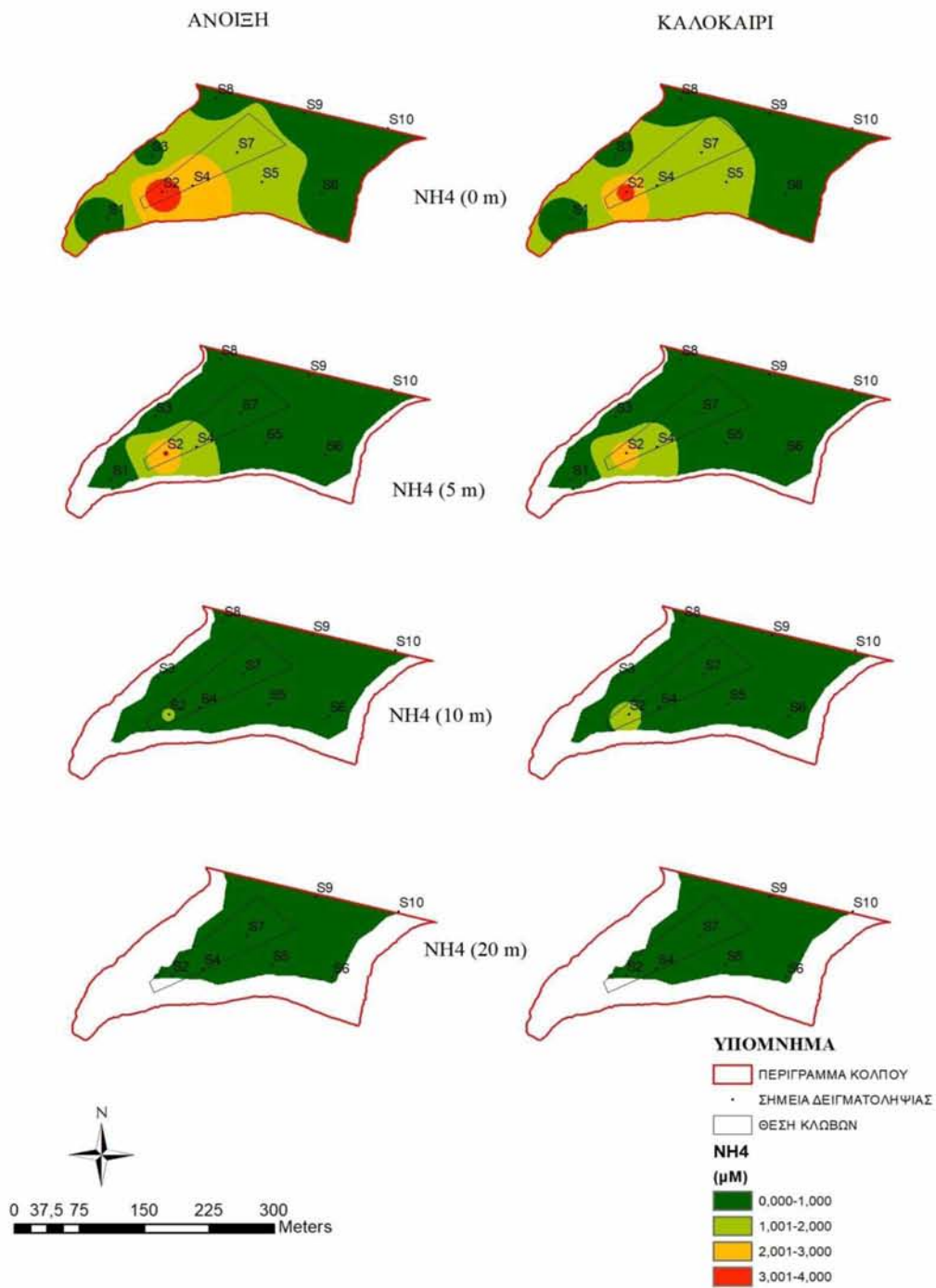
Σχήμα 3.21: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων των πυριτικών (μM) στα διάφορα βάθη της υδάτινης στήλης.

3.3 Χωρική παρεμβολή

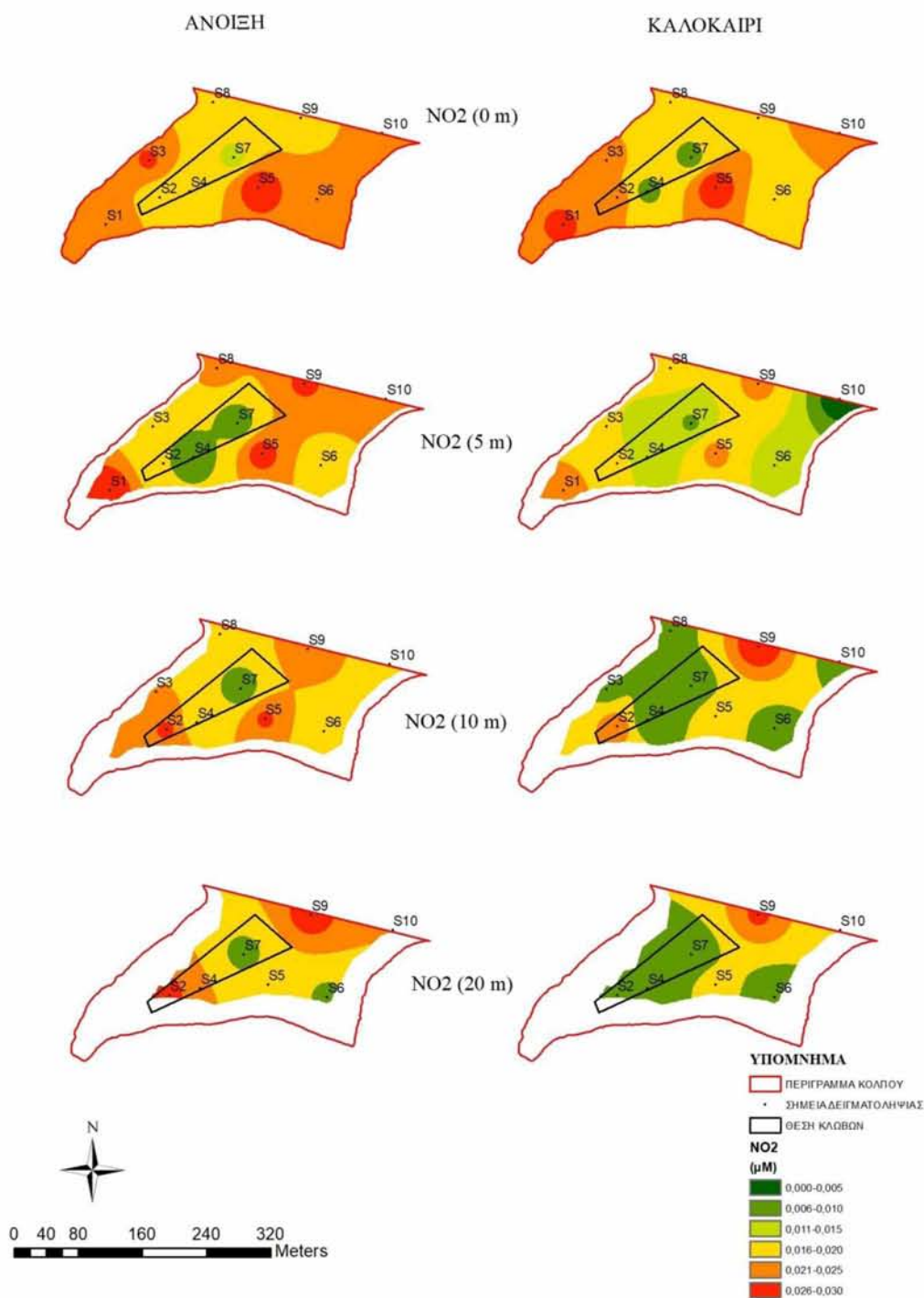
Στα παρακάτω Σχήματα 3.22-3.28, παρουσιάζονται οι κατακόρυφες κατανομές των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων του νερού, του διαλυμένου οξυγόνου και της χλωροφύλλης α στα 0, 5, 10 και 20m βάθους και για τις δυο εποχές του έτους δειγματοληψίας, με την μέθοδο της παρεμβολής επιφανειών IDW (Inverse Distance Weighted) του προγράμματος ArcGIS.

Η επίδραση των αμμωνιακών αλάτων φάνηκε να είναι περιορισμένη γύρω από τους κλωβούς εκτροφής, κυρίως στο επιφανειακό στρώμα. Τα νιτρώδη και τα φωσφορικά εμφάνισαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις την άνοιξη σε σύγκριση με το καλοκαίρι. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών και των πυριτικών εμφάνισαν μια ομοιόμορφη κατανομή στην περιοχή έρευνας.

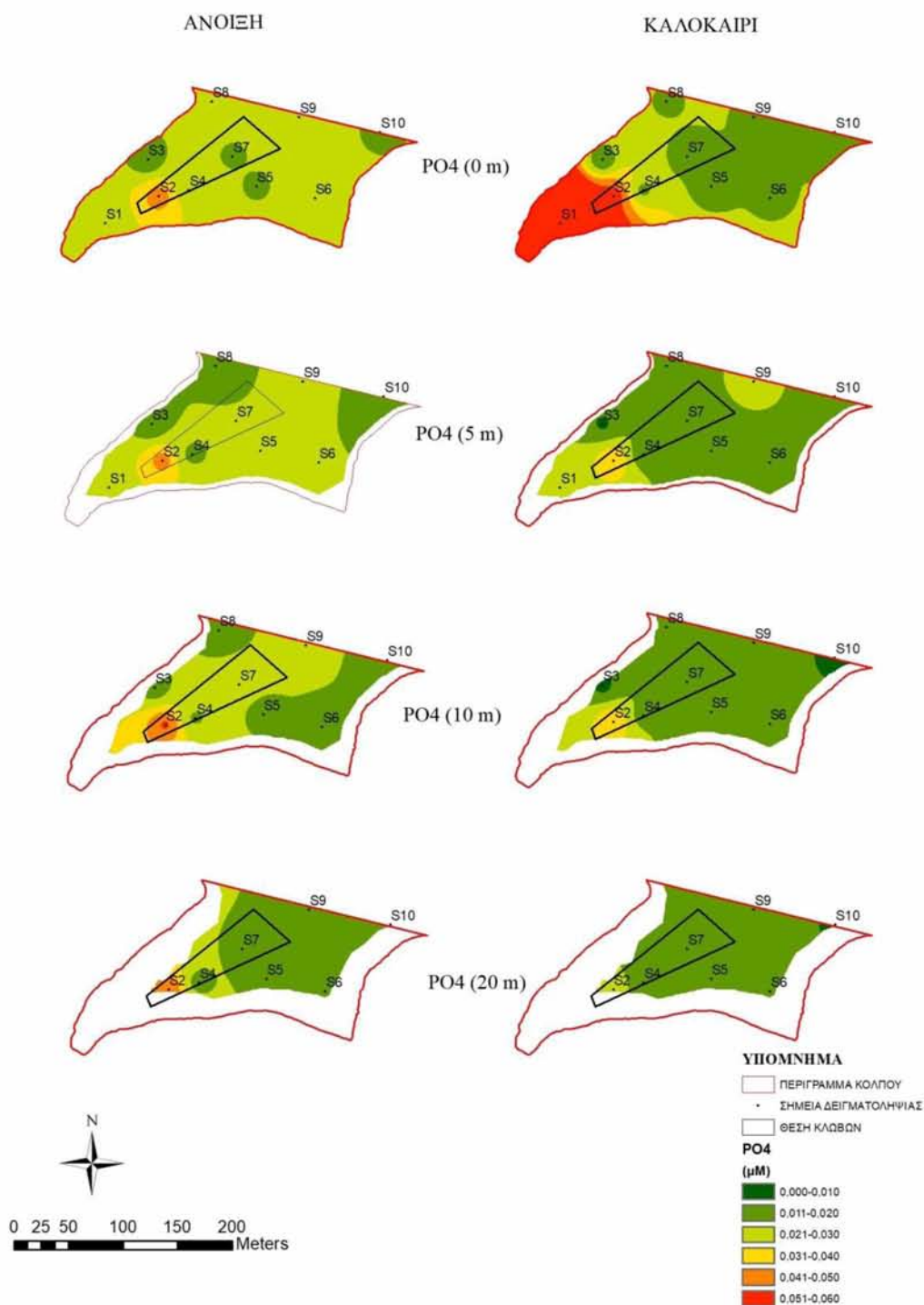
Οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου εμφανίστηκαν χαμηλότερες στην περιοχή όπου πραγματοποιείται η εκτροφή, ιδιαίτερα το καλοκαίρι. Αντίθετα η χλωροφύλλη α , παρουσίασε υψηλότερες τιμές την εαρινή περίοδο, αυξανόμενες σταδιακά σε σχέση με το βάθος.



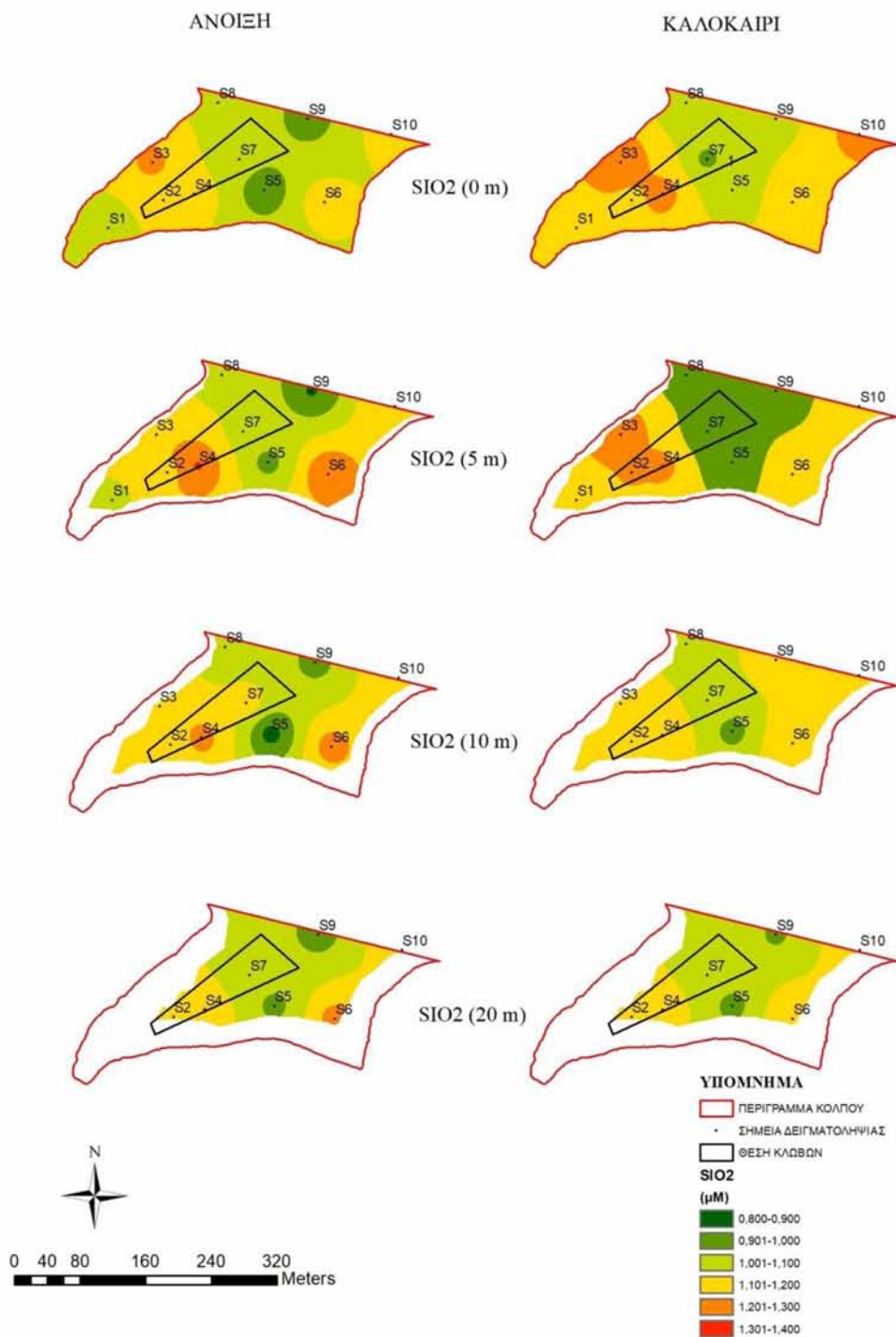
Σχήμα 3.22: Χάρτης κατανομής των συγκεντρώσεων των αμμωνιακών στα 0, 5, 10 και 20 m κατά τη διάρκεια των δυο εποχών (Ανοιξη & Καλοκαίρι 2017).



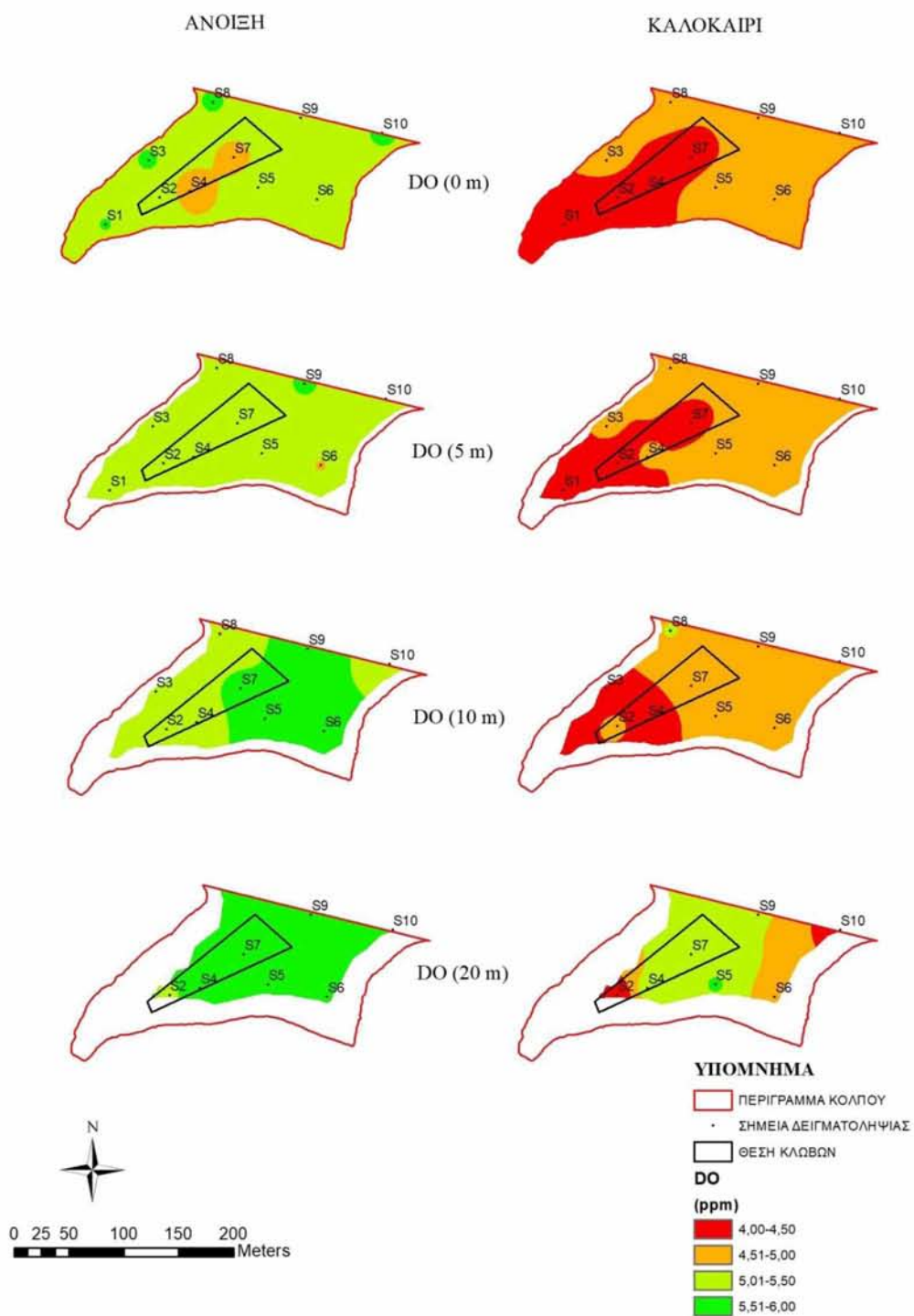
Σχήμα 3.23: Χάρτης κατανομής των συγκεντρώσεων των νιτρωδών στα 0, 5, 10 και 20 m κατά τη διάρκεια των δυο εποχών (Άνοιξη & Καλοκαίρι 2017).



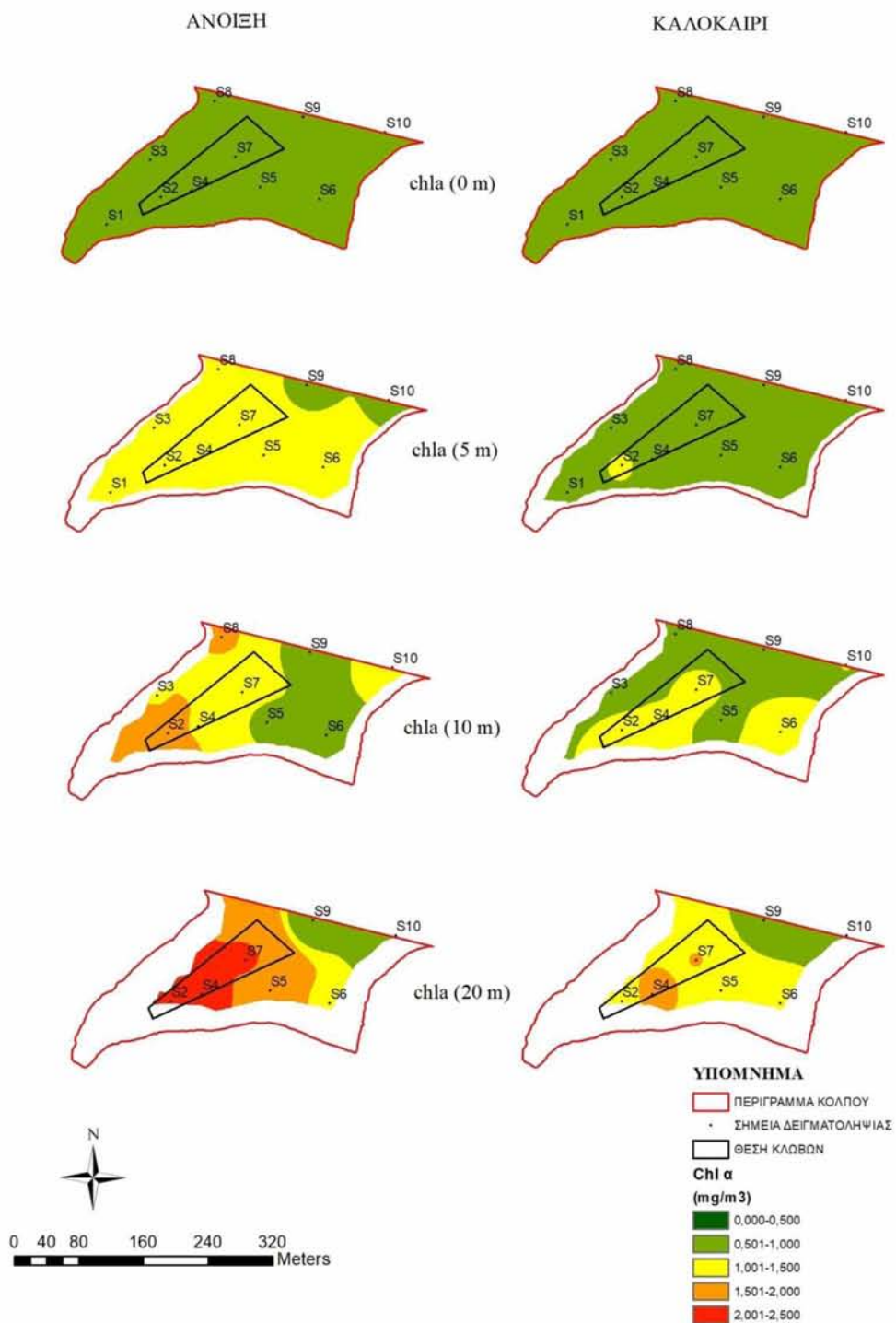
Σχήμα 3.25: Χάρτης κατανομής των συγκεντρώσεων των φωσφορικών στα 0, 5, 10 και 20 m κατά τη διάρκεια των δυο εποχών (Ανοιξη & Καλοκαίρι 2017).



Σχήμα 3.26: Χάρτης κατανομής των συγκεντρώσεων των πυρρτικών στα 0, 5, 10 και 20 m κατά τη διάρκεια των δυο εποχών (Άνοιξη & Καλοκαίρι 2017).



Σχήμα 3.27: Χάρτης κατανομής των τιμών του διαλυμένου οξυγόνου στα 0, 5, 10 και 20 m κατά τη διάρκεια των δυο εποχών (Ανοιξη & Καλοκαίρι 2017).



Σχήμα 3.28: Χάρτης κατανομής των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης *a* στα 0, 5, 10 και 20 m κατά τη διάρκεια των δυο εποχών (Ανοιξη & Καλοκαίρι 2017).

3.4 Στατιστική επεξεργασία

Τα αποτελέσματα από τη σύγκριση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων για τους 11 σταθμούς δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5. Η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών σε όλες τις παραμέτρους.

Πίνακας 3.5: Σύγκριση της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών της περιοχής έρευνας με την μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (F: Λόγος, P level: Επίπεδο σημαντικότητας).

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ (d.f)	F	P
NH ₄	299	7,99	*
NO ₂	299	4,68	*
NO ₃	299	3,98	*
PO ₄	299	30,65	*
SiO ₂	299	31,34	*

* P<0,001, ΜΣ (Μη Σημαντικό) P>0,05.

Σύμφωνα με το Tukey's test, στον σταθμό S2 οφείλονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές των συγκεντρώσεων των αμμωνιακών και φωσφορικών, ενώ στους σταθμούς S1 και S8 οφείλονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές των νιτρωδών και των νιτρικών, αντίστοιχα. Για τα πυριτικά, οι διαφορές σύμφωνα με το Tukey's test παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.6: Στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους σταθμούς δειγματοληψίας για τα πυριτικά με το Tukey's test.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
S2	ΜΣ									
S3	*	ΜΣ								
S4	*	ΜΣ	ΜΣ							
S5	*	*	*	*						
S6	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	*					
S7	ΜΣ	*	*	*	ΜΣ	*				
S8	ΜΣ	*	*	*	ΜΣ	*	ΜΣ			
S9	ΜΣ	*	*	*	ΜΣ	*	ΜΣ	ΜΣ		
S10	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	*	ΜΣ	*	*	*	
S11	*	*	*	*	ΜΣ	*	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	*

* $P < 0,05$, ΜΣ (Μη Σημαντικό).

Στον Πίνακα 3.7 παρουσιάζεται η σύγκριση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων για τους 11 σταθμούς και τις δυο εποχές δειγματοληψίας. Η στατιστική ανάλυση GLM (General Linear Model) έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δυο εποχές για όλα τα θρεπτικά άλατα εκτός από τα αμμωνιακά και τα νιτρικά.

Πίνακας 3.7: Σύγκριση της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών και για τις δυο εποχές με το GLM (F: Λόγος, P level: Επίπεδο σημαντικότητας).

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΒΑΘΜΟΙ		ΣΤΑΘΜΟΙ		ΕΠΟΧΗ	
	ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ	(d.f)	F	P	F	P
NH₄		299	7,94	**	0,42	ΜΣ
NO₂		299	4,97	**	6,61	*
NO₃		299	3,93	**	0,00	ΜΣ
PO₄		299	38,58	**	24,01	**
SiO₂		299	33,21	**	6,30	*

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

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

Η θερμοκρασία αποτελεί το φυσικό μέγεθος μέτρησης της θερμότητας, η οποία είναι μια μορφή ενέργειας που προέρχεται κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία στα υδάτινα οικοσυστήματα απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας στη λειτουργία ενός υδάτινου οικοσυστήματος, επειδή επηρεάζει ένα πλήθος παραγόντων (διαλυτότητα του οξυγόνου και άλλων αερίων, πρωτογενή παραγωγικότητα οικοσυστήματος, μεταβολισμό των οργανισμών, διάσπαση των οργανικών ενώσεων, κ.ά.) που είναι σημαντικοί για τον ρυθμό ανάπτυξης των εκτρεφόμενων οργανισμών (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ. 2010).

Όσο η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αυξάνεται προς το βέλτιστο όριο των θερμοκρασιών για τα εκτρεφόμενα είδη, τόσο οι οργανισμοί αυτοί γίνονται περισσότερο δραστήριοι, καταναλώνουν περισσότερη τροφή και χρησιμοποιούν περισσότερο οξυγόνο. Τα βέλτιστα όρια για την ανάπτυξη του λαβρακιού και της τσιπούρας είναι μεταξύ 23-25 °C, ενώ τα όρια αντοχής τους είναι μεταξύ 4-34 °C (Barnabe 1980, Dutrieux 1984).

Οι τιμές της θερμοκρασίας εμφάνισαν την αναμενόμενη εποχιακή διακύμανση, με τις χαμηλότερες τιμές να καταγράφονται κατά την περίοδο της άνοιξης και τις υψηλότερες την καλοκαιρινή περίοδο, παρουσιάζοντας ταυτόχρονα και εντονότερες μεταβολές από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα. Το φαινόμενο του θερμοκλινούς εμφανίστηκε στην περιοχή έρευνας κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου, το οποίο ήταν περισσότερο εμφανές στους σταθμούς S4, S5, S7, S9 και S11, στο βάθος των 20-40 m (Σχ. 3.4, 3.5, 3.7, 3.9 & 3.11) και διαχώριζε την υδάτινη μάζα σε τρία

ευδιάκριτα στρώματα. Την εαρινή περίοδο η ύπαρξη του θερμοκλινούς εμφανίστηκε μόνο στους σταθμούς S7, S9 και S11 και σε βάθος περίπου 40 m, ενώ στους υπόλοιπους σταθμούς δειγματοληψίας η μάζα του νερού εμφανίστηκε ομογενοποιημένη καθ' όλο το βάθος της. Το φαινόμενο του θερμοκλινούς, το οποίο εμφανίστηκε κυρίως κατά την καλοκαιρινή περίοδο, δε φαίνεται να επηρεάζει τη λειτουργία της μονάδας, λόγω του ότι οι ιχθυοκλωβοί βρίσκονται πάνω από το διαχωριστικό επίπεδο εμφάνισής του μιας και το βάθος των διχτύων τους δεν ξεπερνά τα 10 m.

Αλατότητα ορίζεται ως η συγκέντρωση του συνόλου των ανόργανων διαλυμένων στερεών σε 1 Kg νερού, με την προϋπόθεση ότι όλες οι ανθρακικές ρίζες έχουν μετατραπεί σε οξείδια, το βρώμιο και το ιώδιο έχουν αντικατασταθεί από χλώριο και όλα τα οργανικά υλικά έχουν πλήρως οξειδωθεί. Η αλατότητα είναι ένας φυσικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει έμμεσα τους οργανισμούς, γιατί η μεταβολή της προκαλεί τροποποίηση της φυσικοχημικής κατάστασης του νερού (μεταβολή της διαλυτότητας των αερίων, αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για ωσμωρύθμιση, κ.ά.). Η αλατότητα των ελληνικών θαλασσών κυμαίνεται από 30 έως 40 psu. Με βάση την ανθεκτικότητα στις μεταβολές της αλατότητας, οι οργανισμοί διακρίνονται σε ευρύαλους (μεγάλη αντοχή στις διακυμάνσεις της αλατότητας) και στενύαλους (μικτή αντοχή στις διακυμάνσεις της αλατότητας) (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ. 2010).

Στα ευρύαλα ψάρια η αλατότητα παίζει σημαντικό ρόλο, γιατί χαρακτηρίζει κάθε στάδιο της ζωής τους και κυρίως τα αρχικά στάδια, αφού τα νεαρά τους άτομα από την ανοικτή θάλασσα συγκεντρώνονται σε δέλτα ποταμών και λιμνοθάλασσες, όπου επικρατούν μειωμένες τιμές αλατότητας σε σχέση με αυτές που επικρατούν στην

ανοικτή θάλασσα, και στις οποίες υπάρχει ταυτόχρονα αφθονία κατάλληλης τροφής (Kelley 1988). Διάφορες έρευνες σε ευρύαλα θαλασσινά ψάρια (*Mugil cephalus*, *Sparus auratus*, *Dicentrarchus labrax*, κ.ά.) διαπίστωσαν ότι στην πλειονότητά τους η επιβίωση και η ανάπτυξη είναι άριστη σε ενδιάμεσες αλατότητες, από 20-35 psu (Febry & Lutz 1987, Kelley 1988, Κονίδης 1992). Έχει γίνει σαφές, ότι όταν η αλατότητα είναι ανώτερη του ισοοσμωτικού σημείου των 10 ± 2 psu του πλάσματος των ψαριών, τότε ο οργανισμός επιβιώνει με βάση την ικανότητά του να ρυθμίζει την οσμωτική του πίεση στις τιμές της αλατότητας, ανεξάρτητα από το εάν είναι στενύαλος ή ευρύαλος (Brett 1979). Σε περίπτωση αδυναμίας ρύθμισης της οσμωτικής του πίεσης, λαμβάνει χώρα αναστροφή του μηχανισμού οσμωρύθμισης και επέρχεται ο θάνατος (Davenport & Vahl 1979). Η επιτυχία ή αποτυχία της αναστροφής αποτελεί τον κύριο λόγο θνησιμότητας κατά τη μετάβαση των οργανισμών σε περιοχές με διαφορετικές τιμές αλατότητας, ακόμη και στην περίπτωση των ευρύαλων ψαριών (Κονίδης 1992).

Παράλληλα, έχει διαπιστωθεί ότι οι ορμόνες του θυροειδούς στα ψάρια καθορίζουν την προτίμηση του οργανισμού στο γλυκό ή στο θαλασσινό νερό, ακόμη και στα μεταναστευτικά ψάρια (σολομός, πέστροφα) σε συνδυασμό ή όχι με την προλακτίνη της υπόφυσης (Leatherland 1970, Holiday 1971).

Από τα διαγράμματα της αλατότητας σε σχέση με το βάθος, παρατηρούμε ότι στα επιφανειακά στρώματα έχουμε μικρότερες τιμές αλατότητας, οι οποίες αυξάνονται κοντά στον πυθμένα. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται έντονα στους σταθμούς S2, S4, S5, S7, S9 και S11 την περίοδο του καλοκαιριού, ενώ την άνοιξη η αλατότητα παρουσιάζει ομοιογένεια σε όλους τους σταθμούς, με τιμές $\approx 37,7$ psu. Τα παραπάνω αποτελέσματα συμφωνούν με παλαιότερες έρευνες που έχουν γίνει για τον Παγασητικό κόλπο. Συγκεκριμένα, οι Gabrielides & Theocharis (1978), κατέληξαν στο συμπέρασμα

ότι εκτός από τον χειμώνα, όπου η υδάτινη στήλη εμφανίζεται πλήρως ομογενοποιημένη, τις υπόλοιπες εποχές διακρίνονται τρία διαφορετικά στρώματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από διαφορετικό βάθος: το επιφανειακό στρώμα (10-30 m), το ενδιάμεσο (20-40 m) και το βαθύ στρώμα (>50 m). Επίσης, επισημαίνουν ότι είναι εμφανής ο σχηματισμός τόσο του θερμοκλινούς όσο και του αλοκλινούς στο ενδιάμεσο στρώμα της υδάτινης στήλης. Η αλατότητα στο επιφανειακό στρώμα είναι χαμηλότερη (36,5 το καλοκαίρι και 38 psu τον χειμώνα) σε σύγκριση με το ενδιάμεσο και το βαθύ στρώμα (38 & 38,5 τιμές καλοκαιριού και χειμώνα, αντίστοιχα).

Το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο είναι ουσιώδες για τις αναπνευστικές λειτουργίες των αερόβιων οργανισμών και είναι το πλέον χαρακτηριστικό στοιχείο που καθορίζει τις βιολογικές δυνατότητες του υδάτινου περιβάλλοντος για τη διαβίωση και την εκτροφή των υδρόβιων οργανισμών. Διευκολύνει την ολοκλήρωση των βιοχημικών αντιδράσεων και αποτελεί δείκτη μεταβολής της ποιότητας των υδάτων.

Οι συνθήκες για τους υδρόβιους οργανισμούς που εκτρέφονται στις ιχθυοκαλλιεργητικές εγκαταστάσεις είναι ικανοποιητικές όταν το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό παραμένει άνω του 70 %. Τα επίπεδα κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου επηρεάζονται, μεταξύ των άλλων, από τη θερμοκρασία, τις συγκεντρώσεις των διαλυμένων οργανικών και ανόργανων θρεπτικών που παράγονται ή βρίσκονται στην περιοχή, από τις υδρογραφικές συνθήκες της περιοχής, τον ρυθμό ανανέωσης των νερών, την πιθανή στρωμάτωση ή την κάθετη ανάμειξη των υδάτινων μαζών, καθώς και από άλλους παράγοντες, είναι δε πιθανό να εμποδίζουν τη διαθεσιμότητά του στα εκτρεφόμενα είδη (Beveridge 1996, Mente et al. 2006). Επίσης, ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας της διαθεσιμότητας του οξυγόνου είναι η επιανίδα και η επιχλωρίδα που αναπτύσσονται στις εγκαταστάσεις και, ανάλογα με

την ανάπτυξή τους, είναι δυνατό να μεταβάλουν τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου, ιδίως κατά τις νυχτερινές ώρες (Alzieu 1989). Σημαντικό στοιχείο για την παρουσία και την κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου στην υδάτινη στήλη είναι η εκτίμηση του ποσοστού κατανάλωσής του από το βενθικό υπόστρωμα και τις διαλυμένες στο νερό ενώσεις (Hall & Holby 1986). Οι Persson & Hakanson (1991), διαπίστωσαν ότι τα 2/3 του διαλυμένου οξυγόνου, καταναλώνονται κατά τη μικροβιακή διάσπαση των σωματιδίων των διαλυτών οργανικών ενώσεων, καθώς και κατά την οξείδωση της αμμωνίας, κυρίως στην επιφάνεια του βενθικού υποστρώματος.

Η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να επηρεάσει τον ρυθμό ανάπτυξης των εκτρεφόμενων οργανισμών και, κατά συνέπεια, να εμφανιστούν προβλήματα όπως χαμηλή ποιότητα τελικού προϊόντος, εμφάνιση ασθενειών κ.ά. Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου δε θα πρέπει να είναι κάτω από τα 5 ppm, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι οι οργανισμοί δεν μπορούν να επιβιώσουν και σε χαμηλότερα επίπεδα για ορισμένο χρονικό διάστημα (Klaoudatos et al. 1996, Klaoudatos 2002).

Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου στην παρούσα έρευνα κατά την εαρινή περίοδο ήταν αυξημένα σε σχέση με την καλοκαιρινή. Η υψηλότερη τιμή των 6,24 ppm εμφανίστηκε στο σταθμό μάρτυρα (S11) και τις δυο εποχές, στο βάθος των 40 m. Την περίοδο της άνοιξης το διαλυμένο οξυγόνο ήταν κοντά στα 5,5 ppm για τα πρώτα 20 m της υδάτινης στήλης, με μόνη εξαίρεση τα επιφανειακά στρώματα του νερού στους σταθμούς δειγματοληψίας εντός των κλωβών εκτροφής (S4 & S7), που κυμάνθηκαν στα 4,67 και 4,85 ppm, αντίστοιχα. Την καλοκαιρινή περίοδο στην περιοχή έρευνας οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου για τα πρώτα 10 m του βάθους κυμάνθηκαν από 4,0 έως 5,0 ppm, ενώ ειδικότερα στους σταθμούς δειγματοληψίας εντός των κλωβών εκτροφής (S2, S4 & S7) οι τιμές κυμάνθηκαν από 4,0 έως 4,5 ppm.

Ωστόσο, οι τιμές αυτές ανταποκρίνονται στα φυσικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής έρευνας. Ο Friligos (1988), αναφέρει ότι στην επιφάνεια του Παγασητικού το διαλυμένο οξυγόνο τον χειμώνα κυμαίνεται από 5,5 μέχρι 6 ppm, ενώ το καλοκαίρι έχει τιμές 4,5-5 ppm. Ο κόλπος, εκτός από το βαθύ στρώμα του κεντρικού τμήματός του, εμφανίζεται κορεσμένος σε οξυγόνο όλες τις εποχές του έτους (Gabrielides & Theocharis 1978).

Η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στους σταθμούς δειγματοληψίας εντός των κλωβών εκτροφής (S2, S4 & S7), κυρίως στα επιφανειακά στρώματα, πιθανό να οφείλεται στην υψηλή ιχθυοφόρτιση της μονάδας (η οποία την περίοδο των δειγματοληψιών βρισκόταν σε μεταβατικό στάδιο ώστε να αυξήσει την συνολική δυναμικότητά της από 150 σε 300 t) αλλά και στην παρεμπόδιση της ανανέωσης του νερού λόγω της βιοεπίστρωσης των δικτύων (Fitridge et al. 2012). Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρουν και οι Neofitou & Kladatos (2008) στην ίδια περιοχή έρευνας, ενώ οι Aksu & Kocatas (2007) οι οποίοι διερεύνησαν τις επιδράσεις τριών ιχθυοτροφείων στον κόλπο της Σμύρνης, ανέφεραν χαμηλότερες τιμές οξυγόνου κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών και δε βρήκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ιχθυοκλωβών και του σταθμού μάρτυρα.

Η χλωροφύλλη α στα πρώτα 20 m της υδάτινης στήλης κυμάνθηκε από 0,44-2,35 mg/m³. Μια μικρή αύξηση παρατηρήθηκε στους σταθμούς των ιχθυοκλωβών και για τις δυο εποχές, αυξανόμενη σταδιακά με την αύξηση του βάθους. Στον Παγασητικό Κόλπο η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης α κυμαίνεται μεταξύ 0,205 και 0,748 $\mu\text{g/l}$ και βρίσκεται εντός του εύρους που βρέθηκε και σε άλλες oligοτροφικές παράκτιες περιοχές (Neofitou & Kladatos 2008). Για θάλασσες της Βορείου Ευρώπης η μέγιστη

τιμή των 10 $\mu\text{g/l}$ χλωροφύλλης *a* αναφέρεται ως όριο για την αποφυγή του ευτροφισμού.

Οι La Rosa et al. (2002), επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας και αναφέρουν ότι δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ της εκτροφής και του σταθμού μάρτυρα στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a* στα επιφανειακά ύδατα. Ωστόσο, επισημαίνουν ότι η χλωροφύλλη *a* ήταν αυξημένη στην επιφάνεια, σε σύγκριση με τα βαθύτερα στρώματα, σε όλους τους σταθμούς, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με την παρούσα έρευνα.

Στην ανατολική Μεσόγειο, οι Pitta et al. (2005), ερεύνησαν περιοχές σε απόσταση 2-3 ναυτικών μιλίων και σε μεγαλύτερη από 20 ναυτικά μίλια από μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας για να εξετάσουν εάν ο εμπλουτισμός σε θρεπτικά συστατικά από τη λειτουργία αυτών προκαλεί επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού και στη συγκέντρωση του πλαγκτού. Η χλωροφύλλη *a* ήταν σημαντικά και σταθερά αυξημένη κοντά στις μονάδες και παρουσίασε σημαντική εποχιακή και χωρική διακύμανση. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι υπήρξε ταχεία αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών από το πλαγκτόν και μεταφορά τους μέσω της τροφικής αλυσίδας, χωρίς να εμφανίζονται φαινόμενα ευτροφισμού. Στην παρούσα εργασία, η χλωροφύλλη *a* δεν παρουσίασε σημαντικές χωρικές και χρονικές διακυμάνσεις. Ωστόσο, μικρές αυξήσεις παρατηρήθηκαν την άνοιξη σε σύγκριση με το καλοκαίρι στους σταθμούς εκτροφής S2, S4 & S7.

Η ενεργός οξύτητα εκφράζει τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου στο υδάτινο περιβάλλον και εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα, τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα, του διαλυμένου οξυγόνου, των διαφόρων αλάτων και άλλων ενώσεων, τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (φωτοσύνθεση, αναπνοή) και την αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων (Κουσουρής και συν. 1995).

Το θαλασσινό νερό είναι αλκαλικό με τιμές pH 8,0 και μικρές διακυμάνσεις της τάξης του $\pm 0,2$. Τα περισσότερα από τα εκτρεφόμενα είδη προτιμούν τιμές pH μεταξύ 6-8, ενώ τιμές μεταξύ 6,5-8,5 είναι συνήθως ακίνδυνες για τους υδρόβιους οργανισμούς. Πολλές φορές η ανθεκτικότητα των ειδών ως προς το pH αυξάνεται με την ηλικία, το μέγεθος ή ακόμη και με την περίοδο εγκλιματισμού των ειδών σε ακραία επίπεδα (Petit 1989).

Το pH δεν παρουσίασε μεγάλες διακυμάνσεις και κυμάνθηκε μεταξύ 7,7-8,3 και για τις δυο εποχές δειγματοληψίας. Οι τιμές του βρέθηκαν εντός των ορίων σύμφωνα με τον Boyd (1981), ο οποίος αναφέρει ότι το άριστο όριο διαβίωσης για τους περισσότερους οργανισμούς είναι ανάμεσα στο 6,5-9. Το pH αποτελεί μια σημαντική παράμετρο για τις υδατοκαλλιέργειες, γιατί δεν αυξάνει μόνο την τοξική δράση της αμμωνίας, αλλά και την τοξικότητα πολλών μετάλλων, πολλά από τα οποία είναι ακίνδυνα σε αλκαλικό περιβάλλον, αλλά γίνονται τοξικά σε όξινο (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ. 2010).

4.2 Θρεπτικά άλατα

Οι ιχθυοκαλλιέργειες απελευθερώνουν στο θαλάσσιο περιβάλλον απόβλητα (μη καταναλωθείσα τροφή, απεκκρίματα) πλούσια σε N και P σε διαλυμένη μορφή (La Rosa et al. 2002). Το άζωτο στα υδάτινα οικοσυστήματα μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορες μορφές όπως NH_3 , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , ελεύθερο αέριο (N_2) και οργανικές ενώσεις όπως τα αμινοξέα και οι πρωτεΐνες (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ. 2010).

Έχει διαπιστωθεί ότι, οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων στην περιοχή των ιχθυοκλωβών μπορεί να παρουσιάσουν αύξηση εάν οι δειγματοληψίες πραγματοποιηθούν κατά τις πρώτες μεσημεριανές ώρες και μετά την προσφορά τροφής

στους εκτρεφόμενους οργανισμούς (Pitta et al. 1999). Με το γεγονός αυτό συμφωνούν και τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, αφού οι δειγματοληψίες μας πραγματοποιήθηκαν στο χρονικό διάστημα από 10:00 έως 12:00, αμέσως μετά το πρώτο πρωινό τάισμα των ιχθύων και οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στις περιοχές των ιχθυοκλωβών ήταν σημαντικά υψηλότερες, συγκριτικά με αυτές που καταγράφηκαν στους υπόλοιπους σταθμούς. Η αύξηση αυτή ίσως οφείλεται όχι μόνο στην προσφορά τροφής στα εκτρεφόμενα ψάρια, αλλά και στην μείωση του ρυθμού ανανέωσης του νερού στους σταθμούς των ιχθυοκλωβών. Έχει παρατηρηθεί ότι στην περιοχή όπου είναι εγκατεστημένοι οι ιχθυοκλωβοί περιορίζεται η κίνηση του νερού, λόγω της φυσικής του παρεμπόδισης από τα δίχτυα και τους οργανισμούς που αναπτύσσονται πάνω σε αυτά (Inoue 1972). Υπολογίστηκε ότι η ταχύτητα του ρεύματος του νερού μπορεί να μειωθεί κατά 35-50% όταν παρεμβάλλεται δίχτυ με άνοιγμα ματιού 50 mm (Edwards & Edelsten 1976). Στην παρούσα έρευνα το άνοιγμα ματιού των δικτύων των ιχθυοκλωβών ήταν μεταξύ 5 και 17 mm.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις ισχύουν στην περίπτωση που οι κλωβοί είναι τετράγωνοι και οι συστοιχίες τους σχηματίζονται με τον ένα στη συνέχεια του άλλου. Στην παρούσα περιοχή έρευνας υπήρχαν δυο τύποι ιχθυοκλωβών. Ωστόσο στο κέντρο της μονάδας οι κλωβοί είναι τετράγωνοι δημιουργώντας δυο συστοιχίες, κάτι που εξηγεί την αύξηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στην περιοχή εγκατάστασης της συστοιχίας των ιχθυοκλωβών.

Παρόλα αυτά, οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στην παρούσα έρευνα σε καμία περίπτωση δεν ξεπέρασαν τα επιτρεπτά όρια πέραν των οποίων εμφανίζεται το φαινόμενο του ευτροφισμού ή δημιουργούνται σοβαρές βλάβες στους εκτρεφόμενους οργανισμούς (Sawyer 1966). Επίσης, οι μέγιστες τιμές που καταγράφηκαν είναι κατά

πολύ μικρότερες από αυτές που έχουν παρατηρηθεί στον Παγασητικό κόλπο από άλλους ερευνητές (Koliou-Mitsou 2000, Petihakis et al 2002). Ο Sawyer (1966) αναφέρει ότι για να αυξηθούν τα φυτικά κύτταρα στο υδάτινο περιβάλλον και να έχουμε ευτροφικές συνθήκες θα πρέπει οι συγκεντρώσεις του ολικού ανόργανου αζώτου να ξεπεράσουν τα 0,3 mg/l και του ανόργανου φωσφόρου τα 0,01 mg/l. Στην έρευνά μας οι συγκεντρώσεις αυτές δεν ξεπέρασαν τα 0,201 mg/l και τα 0,0051 mg/l, αντίστοιχα. Ο φωσφόρος αποτελεί περιοριστικό θρεπτικό συστατικό για το φυτοπλαγκτόν και την ανάπτυξη των βακτηρίων σε ένα μεγάλο μέρος της Μεσογείου. Τα κλειστά και ημίκλειστα συστήματα χαρακτηρίζονται από φωσφορικό περιορισμό, επειδή η ποσότητα του βιολογικά διαθέσιμου φωσφόρου είναι μικρή σε σχέση με την ποσότητα που απαιτείται για την ανάπτυξη των άλγων (Mason 1983). Η αναλογία N/P στην περιοχή έρευνας δείχνει ότι ο φώσφορος αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα, καθώς βρίσκεται σε έλλειψη σε σύγκριση με το άζωτο. Ο Παγασητικός κόλπος ακολουθεί την παραπάνω τάση, με το ανόργανο άζωτο να είναι σε περίσσεια στο ανώτερο στρώμα του κεντρικού-εξωτερικό μέρος του (Petihakis et al. 2005).

Αν και τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για τα περισσότερα θρεπτικά άλατα, αυτό που μας ενδιαφέρει περισσότερο είναι οι συγκεντρώσεις της αμμωνίας. Η τοξικότητα της αμμωνίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το pH του νερού. Περισσότερο τοξική γίνεται σε αλκαλικά και θερμά νερά, παρά σε όξινα και ψυχρά (Χοχτούλας 2008). Παρόλο που τα θαλασσινά νερά έχουν πολύ καλή ρυθμιστική ικανότητα, φαινόμενα τοξικότητας από την παρουσία αμμωνίας εμφανίζονται όταν υπάρχει υψηλή πυκνότητα εκτροφής, ανεπαρκής κυκλοφορία του νερού, υψηλές θερμοκρασίες, ρυπασμένα νερά κ.ά (Shepherd & Bromage 1988).

Στην παρούσα έρευνα τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση των αμμωνιακών την άνοιξη σε σύγκριση με το καλοκαίρι. Οι τιμές των αμμωνιακών κυμάνθηκαν από 0,038-3,918 μM την άνοιξη και από 0,022-3,353 μM το καλοκαίρι. Το γεγονός ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των αμμωνιακών βρέθηκαν κατά την εαρινή περίοδο μπορεί να αποδοθεί στην επέκταση της μονάδας που συνέβαινε εκείνη την περίοδο και στην αύξηση του πληθυσμού των ιχθύων μέσα στους κλωβούς. Γενικότερα, η αυξημένη θερμοκρασία του νερού αλλά και η εντατικοποίηση της εκτροφής έχουν ως αποτέλεσμα την υψηλότερη προσφορά τροφής στους ιχθυοκλωβούς και κατά συνέπεια μεγαλύτερες απώλειες των διαλυμένων ουσιών στο περιβάλλον (Pitta et al. 2005). Η μέγιστη τιμή των αμμωνιακών και για τις δυο εποχές βρέθηκε στον σταθμό S2, ο οποίος βρισκόταν στους κλωβούς με την υψηλότερη ιχθυοφόρτιση. Επίσης, οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών φαίνεται να μειώνονται σταδιακά με το βάθος, ενώ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίστηκαν κυρίως στα επιφανειακά στρώματα. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και από τους Neofitou & Kloudatos (2008), οι οποίοι ερεύνησαν τις χωροχρονικές μεταβολές των θρεπτικών αλάτων στην ίδια περιοχή. Επίσης, σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από την Φλώρου (2017) σε ιχθυοκαλλιέργεια στην περιοχή της Μηλίνας στον Παγασητικό κόλπο, οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών παρουσίασαν το ίδιο προφίλ, με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται στα επιφανειακά στρώματα της υδάτινης στήλης κυρίως στα 0 & 5 m. Παρομοίως, σε μια ιχθυοκαλλιέργεια με κύρια είδη εκτροφής την τσιπούρα και το λαυράκι, στην Αδριατική, οι Matijevic et al. (2009) ανέφεραν ελαφρώς αυξημένες συγκεντρώσεις αζώτου σε σύγκριση με τον σταθμό αναφοράς, αλλά μόνο στα επιφανειακά ύδατα. Οι Mantzavrakos et al. (2007), σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στον Αργολικό κόλπο, παρατήρησαν ότι οι μεγαλύτερες

συγκεντρώσεις των αμμωνιακών εμφανίστηκαν στον σταθμό δειγματοληψίας που βρίσκεται ακριβώς δίπλα στην εκτροφή. Πιο συγκεκριμένα, η συγκέντρωση της αμμωνίας στον σταθμό αυτό ήταν 2,16 mg/l, σχεδόν 2 φορές μεγαλύτερη από τον σταθμό μάρτυρα. Αντίθετα, σε μια μονάδα πάχυνσης τόνου στη Μάλτα, οι Schembri et al. (2002) δε βρήκαν σημαντικές διαφορές στην ποιότητα των υδάτων.

Τα νιτρώδη στην παρούσα έρευνα παρέμειναν σε χαμηλές συγκεντρώσεις αφού δεν ξεπέρασαν τα 0,030 μM , γεγονός απολύτως φυσιολογικό αν αναλογιστούμε ότι τα νιτρώδη σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα οξειδώνονται και μετατρέπονται σε νιτρικά (λειτουργεί το σύστημα απονιτροποίησης στο υδάτινο περιβάλλον) (US EPA 1986).

Τα νιτρικά αποτελούν μια πιο σταθερή μορφή του αζώτου και είναι ακόμη λιγότερο τοξικά για τους υδρόβιους οργανισμούς (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ. 2010). Τα νιτρικά στην παρούσα έρευνα κυμάνθηκαν από 1,505-2,090 μM την άνοιξη, ενώ το καλοκαίρι από 1,589-2,116 μM . Παρόμοιες τιμές νιτρικών μέτρησαν και οι Aksu et al. (2010) στο ΝΑ Αιγαίο, στα παράλια της Τουρκίας, όπου λειτουργεί μια ιχθυοκαλλιέργεια τόνου. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στην παρούσα εργασία ήταν μέσα στα όρια που έχουν αναφερθεί για τον Παγασητικό κόλπο. Οι Petihakis et al. (2005), αναφέρουν ότι οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στο Παγασητικό κόλπο κυμαίνονται από 0,07-2,21 μM .

Οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών στην παρούσα εργασία κυμαίνονται από 0,008-0,054 μM . Η μέγιστη τιμή των φωσφορικών εντοπίστηκε και για τις δυο εποχές στον σταθμό S2 (εντός των κλωβών εκτροφής). Αύξηση των φωσφορικών αναφέρουν και οι La Rosa et al. (2002), οι οποίοι επισημαίνουν ότι η συγκέντρωση του φωσφόρου βρέθηκε 6 φορές υψηλότερη στην περιοχή της εκτροφής σε σύγκριση με τον μάρτυρα.

Επίσης, οι Mantzavrakos et al. (2007), αναφέρουν ότι οι συγκεντρώσεις του φωσφόρου βρέθηκαν αυξημένες κυρίως στα επιφανειακά στρώματα της υδάτινης στήλης, κάτι που συμφωνεί απόλυτα με την παρούσα έρευνα.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί και από τους Pitta et al. (1999) οι οποίοι αναφέρουν ότι η συγκέντρωση των φωσφορικών ήταν 2-6 φορές υψηλότερη από τον σταθμό μάρτυρα, κατά τη διάρκεια έρευνας που διεξήχθη σε ένα ιχθυοτροφείο που βρίσκεται σε ένα μικρό κόλπο στη δυτική ακτή της Ιθάκης, σε βάθος που κυμαίνεται από 20 έως 30 m. Στατιστικά σημαντικές διαφορές για τις συγκεντρώσεις του φωσφόρου στους σταθμούς της εκτροφής, σε σύγκριση με το σταθμό μάρτυρα για την ίδια περιοχή έρευνας, έχουν αναφερθεί και στο παρελθόν από άλλους ερευνητές (Neofitou & Kliaoudatos 2008).

Τα πυριτικά στην παρούσα έρευνα παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές όσον αφορά την εποχή αλλά και τους σταθμούς δειγματοληψίας. Οι συγκεντρώσεις τους βρέθηκαν παρόμοιες σε σύγκριση με άλλες έρευνες (Pitta et al. 2005, Neofitou & Kliaoudatos 2008) αλλά πολύ χαμηλότερες από αυτές που αναφέρονται στον Παγασητικό κόλπο. Ο βιογεωχημικός κύκλος των πυριτικών μπορεί να επηρεαστεί από τη διάλυση των διατόμων και την επαναιώρηση του ιζήματος. Η διαδικασία αυτή μπορεί να απελευθερώσει σημαντικές ποσότητες πυριτίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού έως το φθινόπωρο (Li et al. 2016). Η μείωση στη συγκέντρωση του πυριτίου στη στήλη του νερού είναι πιθανόν να σχετίζεται με την ταχεία απορρόφησή του από τα διάτομα, τα οποία είναι γνωστό ότι είναι πολύ ανταγωνιστικά σε συνθήκες όπου υπάρχει εμπλουτισμός θρεπτικών (Margalef 1978, Parsons et al. 1978).

Η μέγιστη τιμή των πυριτικών (1,306 μM) βρέθηκε στον S4, στην επιφάνεια, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με προηγούμενη έρευνα στην ίδια περιοχή μελέτης από τους

Neofitou & Kladatos (2008), οι οποίοι αναφέρουν ότι η μέγιστη τιμή των πυριτικών ήταν 2,4 μM και εντοπίστηκε κοντά στον πυθμένα. Οι Pitta et al. 2005, εντόπισαν μια εντυπωσιακή αύξηση (117%) στα πυριτικά κατά το μήνα Σεπτέμβριο, στο βαθύ στρώμα νερού στην περιοχή της εκτροφής, η οποία πιθανώς σχετίζεται με την εκ νέου ανοργανοποίηση του διοξειδίου του πυριτίου, που έχει εναποτεθεί σε όλη τη διάρκεια της εκτροφής στον πυθμένα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Οι τιμές της **θερμοκρασίας** εμφάνισαν την αναμενόμενη εποχιακή διακύμανση, με τις χαμηλότερες τιμές να καταγράφονται κατά την περίοδο της άνοιξης και τις υψηλότερες την καλοκαιρινή περίοδο. Το φαινόμενο του θερμοκλινούς που εμφανίστηκε στην περιοχή έρευνας κυρίως κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου (την εαρινή περίοδο εμφανίστηκε σε λίγους σταθμούς και σε βάθος > 40 m), δε φαίνεται να επηρεάζει τη λειτουργία της μονάδας λόγω, του ότι οι ιχθυοκλωβοί βρίσκονται πάνω από το διαχωριστικό επίπεδο της υδάτινης μάζας, μιας και το βάθος των διχτύων τους δεν ξεπερνά τα 10 m.
- Τα επίπεδα του **διαλυμένου οξυγόνου** στην παρούσα έρευνα ήταν αυξημένα κατά την εαρινή περίοδο σε σχέση με την καλοκαιρινή. Η υψηλότερη τιμή των 6,24 ppm εμφανίστηκε στο σταθμό μάρτυρα (S11) και τις δυο εποχές, στο βάθος των 40 m. Η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στους σταθμούς δειγματοληψίας εντός των κλωβών εκτροφής (S2, S4 & S7), κυρίως στα επιφανειακά στρώματα, πιθανό να οφείλεται στην υψηλή ιχθυοφόρτιση της μονάδας (η οποία την περίοδο των δειγματοληψιών βρισκόταν σε μεταβατικό στάδιο ώστε να αυξήσει την συνολική δυναμικότητά της από 150 σε 300 t) αλλά και στην παρεμπόδιση της ανανέωσης του νερού λόγω της βιοεπίστρωσης των διχτύων.
- Οι τιμές της **χλωροφύλλης α** δεν παρουσίασαν σημαντικές χωρικές και χρονικές διακυμάνσεις. Μια μικρή αύξηση παρατηρήθηκε στους σταθμούς δειγματοληψίας εντός των κλωβών εκτροφής και για τις δυο εποχές, αυξανόμενη σταδιακά με την αύξηση του βάθους. Η ευρύτερη περιοχή δε φαίνεται να επηρεάζεται από τη λειτουργία της εκτροφής, λόγω του ολιγοτροφικού χαρακτήρα της και της ταχείας αφομοίωσης των θρεπτικών από τους οργανισμούς.

- Οι τιμές του **pH** δεν παρουσίασαν μεγάλες διακυμάνσεις και κυμάνθηκαν μεταξύ 7,7-8,3 και για τις δυο εποχές δειγματοληψίας, που είναι εντός των επιτρεπτών ορίων για την ανεμπόδιστη εκτροφή των ψαριών.
- Η στατιστική επεξεργασία των συγκεντρώσεων των θρεπτικών και για τις δυο εποχές έδειξε σημαντικές διαφορές για όλα τα στοιχεία, εκτός από τα αμμωνιακά και τα νιτρικά.
- Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις **θρεπτικών** εμφανίστηκαν στους σταθμούς S2, S4 και S7 που βρίσκονται εντός των κλωβών εκτροφής, κυρίως στα επιφανειακά στρώματα και παρατηρήθηκε μία σημαντική σταδιακή μείωση όσο απομακρυνόμαστε από αυτούς. Οι υψηλές τιμές που εμφανίστηκαν στο σταθμό S2, πιθανό να οφείλονται αφενός στην υψηλή ιχθυοφόρτιση της μονάδας και αφετέρου στην παρεμπόδιση της ανανέωσης του νερού λόγω της βιοεπίστρωσης των δικτύων.
- Οι συγκεντρώσεις των **θρεπτικών** σε καμία περίπτωση δεν ξεπέρασαν τα επιτρεπτά όρια πέραν των οποίων εμφανίζεται το φαινόμενο του ευτροφισμού ή δημιουργούνται σοβαρές βλάβες στους εκτρεφόμενους οργανισμούς.
- Οι μέγιστες τιμές των **θρεπτικών** που καταγράφηκαν είναι μικρότερες από αυτές που έχουν παρατηρηθεί μέχρι σήμερα στον Παγασητικό κόλπο από άλλους ερευνητές.
- Οι επιπτώσεις της εκτροφής στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των **θρεπτικών αλάτων** στη στήλη του νερού περιορίζονται σε μικρή απόσταση γύρω από την περιοχή εκτροφής χωρίς να επηρεάζουν σημαντικά την ευρύτερη περιοχή, που είναι ο Παγασητικός κόλπος.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 Ελληνική βιβλιογραφία

- Βαβίζος Γ., Ζαννάκη Κ.**(2016) Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την επέκταση και εκσυγχρονισμό ιχθυοτροφείου της "Ιχθυοτροφεία Παγασητικού Α.Ε.", 83 σελ.
- Κλαουδάτος Σ., Κλαουδάτος Δ.** (2010) Κατασκευές υδατοκαλλιεργητικών συστημάτων Θαλάσσιες – Λιμνοθαλάσσιες – Χερσαίες. Προπομπός, 230 σελ.
- Κλαουδάτος Σ., Κλαουδάτος Δ.** (2012) Καλλιέργειες φυτικών και εκτροφές υδρόβιων ζωικών οργανισμών. Προπομπός, 477 σελ.
- Κονίδης Α.** (1992) Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη των ιχθυδίων της τσιπούρας (*Sparus aurata*), καλλιεργούμενων υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Αθηνών, 135 σελ.
- Κουσουρής Θ., Φώτης Γ., Κονίδης Α.** (1995) Περιβάλλον & Υδατοκαλλιέργεια. Η αμφίδρομη σχέση των επιπτώσεων. Αγροτική Τράπεζα της Ελλάδος Α.Ε., 187 σελ.
- Νεοφύτου Ν.** (2007) Διερεύνηση των επιπτώσεων από την εγκατάσταση και λειτουργία ιχθυοκαλλιεργητικών μονάδων, με έμφαση στην επιλογή δεικτών καθοριστικών του βαθμού της προκαλούμενης ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 214 σελ.
- Περισοράτης Κ., Ζαχαράκης Π., Ανδρινόπουλος Α.** (1993) Ιζηματολογία των επιφανειακών ιζημάτων του Παγασητικού κόλπου και του δίαυλου του Τρίκερι, Δ. Αιγαίο Πέλαγος. Τεχνική Έκθεση ΙΓΜΕ.
- Πετράκης Γ.** (2000) Ανάπτυξη Ολοκληρωμένης Πολιτικής για την Αειφόρο Διαχείριση του Παγασητικού Κόλπου. Τελική Έκθεση. ΕΚΘΕ.
- ΣΕΘ** (2017) (Σύνδεσμος Ελληνικών Θαλασσοκαλλιεργειών): Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια 2017. Ετήσια Έκθεση, 64 σελ.
- Φλώρου Μ.** (2017) Επιπτώσεις ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτικά άλατα του Παγασητικού κόλπου. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 78 σελ.
- Χοχτούλας Ν.** (2008) Περιβάλλον και υδατοκαλλιέργειες. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 140 σελ.

6.2 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Ackefors H.,** Enell M. (1990) Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas. *AMBIO*, 19:28-35.
- Aksu M.,** Kocatas A. (2007) Environmental effects of the three fish farms in Izmir Bay (Aegean Sea, Turkey) on water column and sediment. *Rapport Commission International de la Mer Mediterranee*, 38:414.
- Aksu M.,** Kaymakçi-Başaran A., 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*, 171:681–688.
- Alzieu C.** (1989) Water - the medium of culture. In: *Aquaculture* (Ed. G. Gilbert), Ellis Florwood Ltd., 2nd edition, 1:37-62.
- APHA A.,** WPCF (1980) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association.
- Baranbe G.** (1980) Expose synoptique des donnees biologiques sur le loup ou bar, *Dicentrarchus labrax* (Linne 1758). *Synopsis FAO Peches*, 70 p.
- Basaran AK.,** Aksu M, Egemen O (2010) Impacts of the fish farms on the water column nutrient concentrations and accumulation of heavy metals in the sediments in the easterneastern Aegean Sea (Turkey). *Environment Monitoring Assess* 162: 439–451.
- Belias C.V.,** Bikas V.G., Dassenakis M.J., Scoullou M.J. (2003) Environmental impacts of coastal aquaculture in eastern Mediterranean bays: the case of Astakos Gulf, Greece. *Environmental Science and Pollution Research International*, 10:287-295.
- Berry A.W.** (1996) Aquaculture and sea loch nutrient ratios: a hypothesis. In: Black KD (ed) *Aquaculture and sea loch*. The Scottish Association for Marine Science, Oban, 7-15.
- Beveridge M.** (1996) *Cage aquaculture*. Fishing News Books, 346 p.
- Boyd C.E.** (1981) *Water quality in warmwater fish ponds*. Agricultural Experiment Station, Auburn University, 359 p.
- Brett J.R.** (1979) Environmental factors and growth. In: *Fish Physiology*, 11:599-675.
- Carroll M.L.,** Cochrane S., Fieler R., Velvin R., White P. (2003) Organic enrichment of sediments from salmon farming: environmental factors, management practises, and monitoring techniques. *Aquaculture*, 226:165–180.
- Cromeey C.J.,** Nickell T.D., Black K.D. (2002) DEPOMOD modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture*, 214:211-239.

- Dalsgaard T., Krause-Jensen D.** (2006) Monitoring nutrient release from fish farms with macroalgal and phytoplankton bioassays. *Aquaculture*, 256:302-310.
- Davenport J., Vahl O.** (1979) Responses of the fish *Blennius pholis* to fluctuating salinities. *Marine Ecology Progress Series*, ar. *Ecol.-Prog.*, 1:101-107.
- Davies I.M.** (2000) Waste production by farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Scotland. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, CM 2000/0:01.
- Doglioli A.M., Magaldi M.G., Vezzulli L., Tucci S.** (2004) Development of a numerical model to study the dispersion of wastes coming from a marine fish farm in the Ligurian Sea (western Mediterranean). *Aquaculture*, 231:215-235.
- Dosdat A., Servais E., Metailler R., Huelvan C., Desbruyeres E.** (1996) Comparison of nitrogenous losses in five teleost fish species. *Aquaculture*, 141:107-127.
- Dosdat A.** (2001) Environmental impact of aquaculture in the Mediterranean: nutritional and feeding aspects. In: *Proc. Seminar CIHEAM Network Technol. Aquacult. Mediterr.*, 55:23-36.
- Duarte C.M., Holmer M., Olsen Y., Soto D., Marbà N., Guiu J., Black K., Karakassis I.** (2009) Will oceans help feed humanity? *BioScience*, 59:967–976.
- Dutrieux E.** (1984) Elements pour une plantification écologique du milieu lagunaire Méditerranéen. Application 1st Aquaculture, CEMAGREF, Section Amanagements Littoraux et Aquaculture, Montpellier, 152 p.
- Edwards A., Edelsten D.J.** (1976) Marine fish cages – the physical environment. *Proc. Royal Soc. Edinburgh*, 75:207-221.
- Enell M.** (1995) Environmental impact of nutrients from Nordic fish farms. *Water Science Technology*, 31:61-71.
- FAO** (1978) Food and Agricultural Organization. Year book of fishery statistics. Catches and Landing. Vol. 44 FAO Rome, p. 343.
- FAO** (2006) Food and Agricultural Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome, Italy.
- FAO** (2008) Food and Agricultural Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome, Italy.
- FAO** (2016) Food and Agricultural Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture.
- Febry R., Lutz P.** (1987) Energy partitioning in fish: activity related cost of osmoregulation in a euryhaline cichlid. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 128:63-85.

- Fernandes T.F.**, Eleftheriou A., Ackefors H., Eleftheriou M., Ervik A., Sanchez -Mata A., Scanlon T., White P., Cochrane S., Pearson T.H., Read P.A. (2001) The scientific principles underlying the monitoring of the environmental impacts of aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology*, 17:181–193.
- Fitridge I.**, Dempster T., Guenther J., Nys R. (2012) The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling*, 28:649–69.
- Folke N.**, Kautsky N., Troell M. (1994) The costs of eutrophication from salmon farming: Implications for Policy. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 40:173-182.
- Friligos N.** (1987) Eutrophication assessment in Greek coastal waters. *Toxicology and Environmental Chemistry*, 15:185-196.
- Gabrielides G.P.**, Theocharis A.C. (1978) Physical and chemical characteristics of Pagasitikos Gulf, Greece. *Thalass.*, 2:135-154.
- Giarratano E.**, Amin O.A. (2010) Heavy metals monitoring in the southernmost mussel farm of the world (Beagle Channel, Argentina). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73:1378-1384.
- Gillibrand P.A.**, Gubbins M.J., Greathead C., Davies I.M. (2002) Scottish executive locational guidelines for fish farming: predicted levels of nutrient enhancement and benthic impact. *Scottish Fisheries Research Report 63/2002*. Fisheries Research Services, Aberdeen.
- Gowen R.J.**, Bradbury N.B. (1987) The ecological impact of Salmonid farming in coastal waters: A Review. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 25:563-575.
- Gowen R.J.**, Brown J.R., Bradbury N.B., McLusky D.S. (1988) Investigations into benthic enrichment, hypernutrification and eutrophication associated with mariculture in Scottish coastal waters (1984-1988). *Dep. Biol. Scien.*, The university of Stirling, Stirling.
- Gowen R.J.**, Ezzi I.A. (1992) Assessment and prediction of the potential for hypernutrification and eutrophication associated with cage culture of salmonids in Scottish coastal waters. *Dunstaffnage Marine Laboratory, Oban Scotland and NERC*. ISBN: 0-9518959-0-7.
- Grigorakis K.** (2010) Ethical issues in aquaculture production. *J. Agric. Environ. Ethics*, 23:345–370.
- Grigorakis K.**, Rigos G. (2011) Aquaculture effects on environmental and public welfare - The case of Mediterranean mariculture. *Chemosphere*, 85:899–919.
- Hakanson L.**, Ervik A., Maekinen T., Moeller B. (1988) Basic concepts concerning assessments of environmental effects of marine fish farms. *Nordic council of ministers*, Copenhagen.

- Hall P.O.G.,** Holby O. (1986) Environmental impact of marine fish cage culture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 46:14.
- Hall P.O.J.,** Holby O., Kollberg S., Samuelsson M.O. (1992) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. *Marine Ecology Progress Series*, 89:81–91.
- Holby O.,** Hall P.O.J. (1991) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Marine Ecology Progress Series*, 70:263-272.
- Holliday F.G.T.** (1971) Salinity-Animals-Fishes. In: *Fish Physiology*. Academic Press: New York, 293-311.
- Holmer M.** (2010) Environmental issues of fish farming in offshore waters: Perspectives, concerns and research needs. *Aquaculture Environment Interactions*, 1, 57–70.
- Inone H.** (1972) On water exchange in a net cage stocked with the fish hamachi. *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries*, 38:167-176.
- Kalantzi I.,** Karakassis I. (2006) Benthic impacts of fish farming: meta-analysis of community and geochemical data. *Marine Pollution Bulletin*, 52:484-493.
- Karakassis I.,** Papadopoulou N.K., Machias A., Koutsoubas D. (2003) The environmental impact of fish farming on the marine environment. Final report to the EU.
- Karakassis I.,** Pitta P., Krom M.D., (2005) Contribution of fish farming to the nutrient loading of the Mediterranean. *Scientia Marina*, 69:313-321.
- Karakassis I.,** Tsapakis M., Hatziyanni E., Papadopoulou K.N., Plaiti W. (2000) Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas. *ICESJ. Mar. Sci.*, 57:1462-1471.
- Karakassis I.,** Tsapakis M., Hatziyanni E., Pitta P. (2001) Diel variation of nutrients and chlorophyll in sea bream and sea bass cages in the Mediterranean. *Fresenius Environmental Bulletin*, 10:278-283.
- Kelley D.F.** (1988) The importance of estuaries for sea bass *Dicentrarchus labrax* (L.). *Journal of Fish Biology*, 33:25-33.
- Klaoudatos S.,** Conides A., Chatziefstathiou M. (1996) Environmental impact Assessment studies in floating cage culture systems in Greece. «Partnership in Coastal Zone Management». (Eds. J. Taussik and J. Mitchell), Samara Publishing Ltd, Cardican, 9:525-533.
- Klaoudatos S.D.** (2002) Environmental impact of aquaculture in Greece. Practical experiences. *Cahier Options Mediterrannes*, 55:109-127.

- Klaoudatos S.D.**, Klaoudatos D.S., Smith J., Bogdanos K., Papageorgiou E. (2006) Assessment of site specific benthic impact of floating cage farming in the eastern Hios island, Eastern Aegean Sea, Greece. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 338:96-111.
- Koliou-Mitsou A.** (2000) Development of an integrated policy for the sustainable management of Pagasitikos Gulf. Nutrients, Public Company of Water Resources, Magnisia, Volos.
- Krom M.D.**, Ellner S., van-Rijn J., Neori A. (1995) Nitrogen and phosphorus cycling and transformation in a prototype “non-polluting” integrated mariculture system, Eilat, Israel. *Marine Ecology Progress Series*, 118:25-36.
- Krom M.D.**, Porter C., Gordin H. (1985) Nutrient budget of a marine fish pond in Eilat, Israel. *Aquaculture*, 51:65-80.
- La Rosa T.**, Mirto S., Favalaro E., Savona B., Sarà G., Danovaro R., Mazzola A. (2002) Impact on the water column biogeochemistry of a Mediterranean mussel and fish farm. *Water Research*, 36:713–721.
- Leatherland J.F.** (1970) Seasonal variation in the structure and ultra structure of the pituitary in the marine from (*Trachurus*) of the three spined stickleback, *Gasterosteus aculatus* L.1. Rostral pars distalis. *Z. Zellforsch, mikrosk. Ant.*, 104:301-317.
- Li Ruihuan**, Sumei Liu, Jing Zhang, Zengjie Jiang, Jianguang Fang (2016) Sources and export of nutrients associated with integrated multi-trophic aquaculture in Sanggou Bay, China. *Aquaculture Environmental Interactions*, 8: 285–309
- Lupatsch I.**, Kissil G.W. (1998) Predicting aquaculture waste from gilthead seabream *Sparus aurata* culture using a nutritional approach. *Aquaculture Living Resources*, 11:265-268.
- Mäkinen T.** (1991) Nutrient load from marine aquaculture. In: Mäkinen T. (Ed), *Marine aquaculture and environment*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen 1-8.
- Maldonado M.**, Carmona M.C., Echeverria Y., Riesgo A. (2005) The environmental impact of Mediterranean cage fish farms at semiexposed locations: does it need a reassessment. *Helgoland Marine Research*, 59:121–135.
- Mantzavrakos E.**, Kornaros M., Lyberatos G., Kaspiris P. (2007) Impacts of a marine fish farm in Argolikos Gulf (Greece) on the water column and the sediment. *Desalination*, 210:110–124.
- Margalef R.** (1978) Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta*, 1:493-509.
- Mason C.F.** (1983) *Biology of Freshwater Pollution*. Longman, London, UK, 250 p.

- Matijevic S.**, Kuspilic G., Morovic M., Grbec B., Bogner D., Skejic S., Veza J. (2009) Physical and chemical properties of the water column and sediments at sea bass/sea bream farm in the middle Adriatic (Maslinova Bay). *Acta Adriatica*, 50:59-76.
- McGarvin M.** (2000) Scotland's secret? Aquaculture, nutrient pollution, eutrophication and toxic blooms. WWF, Aberfeldy, Scotland.
- McIveral R.**, Milewski I., Loucks R., Smith R. (2018) Estimating nitrogen loading and far-field dispersal potential from background sources and coastal finfish aquaculture: A simple framework and case study in Atlantic Canada. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1-40.
- Mente E.**, Pierce G.J., Santos M.B., Neofitou C. (2006) Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquaculture International*, 14:499-522.
- Michler-Cieluch T.**, Kodeih S. (2008) Mussel and seaweed cultivation in offshore wind farms: an opinion survey. *Coastal Management*, 36:392-411.
- Nash C.E.**, Burbridge P.R., Volkman J.K. (2005) Guidelines for ecological risk assessment of marine fish aquaculture. U.S. Department of Commerce. NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC-71.
- Neofitou N.**, Klaoudatos S. (2008) Effect of fish farming on the water column nutrient concentration in a semi-enclosed gulf of the Eastern Mediterranean. *Aquaculture Research*, 39:482-490.
- Neofitou N.**, Vafidis D., Klaoudatos S. (2010) Spatial and temporal effects of fish farming on benthic community structure in a semi-enclosed gulf of the Eastern Mediterranean. *Aquaculture Environmental Interactions*, 1(2):95-105.
- Neofitou N.** (2016) Waste feed from fish farms of the Eastern Mediterranean and attraction of wild fish. *Universal Journal of Geosciences*, 4(5) :112-115.
- Nikolaou M.**, Neofitou N., Skordas K., Castritsi-Catharios I., Tziantziou L. (2014) Fish farming and anti-fouling paints: a potential source of Cu and Zn in farmed fish. *Aquaculture Environmental Interactions*, 5 (2):163-171.
- Norði G.**, Glud R.N., Gaard E., Simonse K. (2011) Environmental impacts of coastal fish farming: Carbon and nitrogen budgets for trout farming in Kaldbaksfjørður (Faroe Islands). *Marine Ecology Progress Series*, 431:223-241.
- Nordvarg L.**, Johansson T. (2002) The effects of fish farm effluents on the water quality in the Aland Archipelago, Baltic Sea. *Aquacultural Engineering*, 25:253-279.
- Parsons T.R.**, Maita Y., Lalli C.M. (1984) A manual of chemical and biological methods for sea water analysis. Pergamon, Oxford.

- Parsons T.R.**, Harrison P.J., Waters R. (1978) An experimental simulation of changes in diatom and flagellate blooms. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 32:285-294.
- Pauly D.**, Christensen V., Dalsgaard J., Froese R., Torres F. (1998) Fishing down marine food webs. *Science*, 279:860–863.
- Pearson J.**, Hakanson L. (1991) An operative system for coastal water planning. *Nord* 22: 25-38.
- Pearson T.H.**, Black K.D. (2001) The environmental impacts of marine fish cage culture. In: Black KD (Ed.), *Environmental Impacts of Aquaculture*. Academic Press, Sheffield, UK 1–27.
- Petihakis G.**, Triantafyllou G., Koliou A., Theodorou A. (2002) Exploring the dynamics of a marine ecosystem (Pagasitikos Gulf, Western Aegean, Greece) through the analysis of temporal and spatial variability of nutrients. *Littoral, The Changing Coast, EUROCOAST/EUCC*, pp. 513–522. Porto Portugal.
- Petihakis G.**, Triantafyllou G., Pollani A., Koliou A., Theodorou A. (2005) Field data analysis and application of a complex water column biogeochemical model in different areas of a semi-enclosed basin: Towards the development of an ecosystem management tool. *Marine Environmental Research*, 59:493–518.
- Petit J.** (1989) Water supply treatment and recycling in aquaculture. In: *Aquaculture*, (Ed. G. Gilbert), Ellis Horwood Ltd., 2nd Edition, 2:63-196.
- Pitta P.**, Apostolaki E.T., Giannoulaki M., Karakassis I. (2005) Mesoscale changes in the water column in response to fish farming zones in three coastal areas in the Eastern Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65:501–512.
- Pitta P.**, Karakassis I., Tsapakis M., Zivanovic S. (1999) Natural vs. mariculture induced variability in nutrients and plankton in the eastern Mediterranean. *Hydrobiologia*, 391:181-194.
- Pittenger R.**, Anderson B., Benetti D.D., Dayton P., Dewey B., Goldburg R., Rieser A., Sher B., Sturgulewski A. (2007) Sustainable marine aquaculture: Fulfilling the promise; managing the risks. *Marine Aquaculture Task Force*.
- Porter C.B.**, Krom M.D., Robins M.G., Brickell L., Davidson A. (1987) Ammonia excretion and total N budget for gilt-head seabream (*Sparus aurata*) and its effect on water quality conditions. *Aquaculture*, 66:287-297.
- Price C.**, Black K. D., Hargrave B. T. & Morris J. A. (2015) Marine cage culture and the environment: effects on water quality and primary production. *Aquaculture Environment Interactions*, 6(2): 151–174.
- Rensel J.E.**, Forster J.R.M. (2007) Beneficial environmental effects of marine finfish mariculture. Final Report to the National Oceanic and Atmospheric Administration Award, Washington, D.C.

- Rosenthal H.**, Weston D., Gowen R., Black E. (1988) Environmental impact of mariculture. Cooperative Research Report, 154:1-83.
- Samuelsen O.B.**, Ervik A., Solheim E. (1988) A qualitative and quantitative analysis of the sediment gas and diethylether extract of the sediment from salmon farms. *Aquaculture*, 74:277-285.
- Sarà G.** (2007) A meta-analysis on the ecological effects of aquaculture on the water column: Dissolved nutrients. *Marine Environmental Research*, 63:390–408.
- Sawyer C.N.** (1966) Basic concepts of Eutrophication. *Journal Water Pollution Control Federation*, 38: 737-744.
- Schembri P.J.**, Baldacchino A.E., Mallia A., Schembri T., Sant M.J., Stevens D.T., Vella S.J. (2002) Living resources, fisheries and agriculture, 162-346.
- Shepherd J.**, Bromage N. (1988) Intensive fish farming. BSP Professional Books: Oxford.
- Soto D.**, Norambuena F. (2004) Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile: A large-scale mensurative experiment. *Journal of Applied Ichthyology*, 20:493-501.
- Sowles J.W.** (2005) Assessing nitrogen carrying capacity for Blue Hill Bay, Maine: A management case history. Environmental effects of marine finfish aquaculture. *Handbook of Environmental Chemistry*, 5:359-380.
- Stergiou K.I.**, Christou E.D., Georgopoulos D., Zenetos A., Souvermezoglou C. (1997) The Hellenic seas: physics, chemistry, biology and fisheries. *Oceanography and Marine Biology an Annual Review*, 35:415-538.
- Strain P.**, Hargrave B. (2005) Salmon aquaculture, nutrient fluxes and ecosystem processes in southwestern New Brunswick. Environmental effects of marine finfish aquaculture. *Handbook of Environmental Chemistry*, 5:29-57
- Strickland J.D.H.**, Parsons T.R. (1972) A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada, 311 p.
- Tlusty M.F.**, Pepper V.A., Anderson M.R. (2005) Reconciling aquaculture's influence on the water column and benthos of an estuarine fjord – A case study from Bay d'Espoir, Newfoundland. Environmental effects of marine finfish aquaculture. *Handbook of Environmental Chemistry*, 5:115-128.
- US EPA** (1986) Quality criteria for water 1986. United States Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards Washington, 477 p.
- Wallin M.**, Hakanson L. (1991) Nutrient loading models for estimating the environmental effects of marine fish farms. In T. Makinen (ed.), *Mar. Aquacult. Environ.*, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 39-56.

Wildish D.J., Keizer P.D., Wilson A.J., Martin J.L. (1993) Seasonal changes of dissolved oxygen and plant nutrients in seawater near salmonid net pens in the microtidal bay of Fundy. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50:303-311.

Wu R.S.S., Lam K.S., MacKay D.W., Lau T.C., Yam V. (1994) Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: A case study in the sub-tropical environment. *Marine Environmental Research*, 38:115–145.

6.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

- <http://www.eatip.eu/>
- <http://www.perseus-net.eu/>
- <http://www.bathingwaterprofiles.gr>
- <http://www.esri.com/en-us/home>

ABSTRACT

The aim of the present study was the evaluation of the environmental impact of nutrients on water column from the operation of fish farming in western basin of Pagasitikos Gulf and the assessment of spatial and temporal changes.

The field research took place in the region of Nies at Pagasitikos Gulf, where the fish farm "Pagasitikos Aquaculture SA" is operating. Using geographic information systems (GIS), eleven sampling stations were chosen. At each station the physicochemical and biological characteristics of the water column (temperature, salinity, dissolved oxygen, chlorophyll α , pH) were measured and seasonal water samples were taken from various depths (surface, 5 m and every 10 m to the bottom) in order to analyze nutrients (ammonia, nitrites, nitrates, phosphates and silicates).

The results regarding this thesis showed that the physicochemical and biological characteristics of the sampling stations presented the expected seasonal variation. The nutrients displayed an increase in their concentrations at the stations near the fish farm, mainly in the surface layers of the water column, reaching in the case of ammonia the 3.918 μM in the spring period.

Statistical analysis of nutrient concentrations among the sampling stations showed statistically significant differences. Also, significant differences were found for both seasons, for all nutrients except for ammonia and nitrates (GLM).

Nevertheless, their concentrations did not exceed the eutrophication limits or affect in welfare of cultivated organisms, while the impact of aquaculture on nutrients concentration seems to be spatially limited.

Keywords: *Fish farming, environmental impacts, nutrients, eutrophication*