

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

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Επιπτώσεις ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτικά άλατα του Παγασητικού  
κόλπου»**

**Φλώρου Μαρία**

**ΒΟΛΟΣ 2017**

**UNIVERSITY OF THESSALY  
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES  
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC  
ENVIRONMENT**

**POSTGRADUATE MASTER'S THESIS**

**« Impact of fish farming on nutrients of Pagasitikos gulf »**

**Florou Maria**

**VOLOS 2017**

**«Επιπτώσεις ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτικά άλατα του Παγασητικού κόλπου»**

**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***.

*Στο φίλο μου  
Μιχάλη.....*

## **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, 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 κα Π. Παναγιωτάκη και τον κ. Χ. Δομενικιώτη, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της διατριβής.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, στο προσωπικό της ιχθυοκαλλιεργητικής μονάδας, “Υδροβίος Υδατοκαλλιέργεια Ε.Π.Ε.”, για τη φιλοξενία τους για την πραγματοποίηση των δειγματοληψιών, καθώς και για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Επίσης, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στη διδακτορική φοιτήτρια Ραφαηλία Συβρή για την αμέριστη βοήθειά της, που ήταν παρούσα καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής δίνοντας μου τις συμβουλές και τη βοήθειά της. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στους φίλους μου, Μαντώ Ασημάκη και Στέφανο Κοντοτόλη, καθώς και στον σύντροφό μου Βασίλη για την άπλετη συμπαράσταση και βοήθειά τους κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

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

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είχε σαν σκοπό την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης από την εγκατάσταση και τη λειτουργία ιχθυοκαλλιέργειας στον Παγασητικό κόλπο και την πιθανή εκτίμηση της μεταβολής αυτών χωρικά και χρονικά.

Οι δειγματοληψίες στην παρούσα έρευνα έλαβαν χώρα στην περιοχή της Μηλίνας του Παγασητικού κόλπου, όπου λειτουργεί η ιχθυοκαλλιεργητική μονάδα “Υδρόβιος Υδατοκαλλιέργεια Ε.Π.Ε.”. Συνολικά επιλέχθηκαν 8 σταθμοί δειγματοληψίας. Σε κάθε σταθμό μετρήθηκαν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, χλωροφύλλη *a*, pH) και λήφθηκαν εποχικά δείγματα νερού από διάφορα βάθη (0, 5, 10, 20, 30m) για τις αναλύσεις των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά και πυριτικά).

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής έδειξαν ότι τα φυσικοχημικά 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.

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 πυριτικά.

Παρ’ όλα αυτά οι συγκεντρώσεις τους σε καμία περίπτωση δεν ξεπέρασαν τα όρια πέραν των οποίων εμφανίζεται το φαινόμενο του ευτροφισμού ή δημιουργούνται προβλήματα στους εκτρεφόμενους οργανισμούς, ενώ οι επιπτώσεις της

ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης φαίνεται να είναι χωρικά περιορισμένες.

*Λέξεις κλειδιά:* υδατοκαλλιέργεια, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, θρεπτικά, ευτροφισμός, Παγασητικός κόλπος



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	1
1.1 Ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών.....	1
1.2 Υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα .....	4
1.3 Επιπτώσεις υδατοκαλλιεργειών στο περιβάλλον .....	7
1.4 Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής έρευνας.....	11
1.5 Ανασκόπηση βιβλιογραφίας .....	15
1.6 Σκοπός.....	16
<b>2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	18
2.1. Γενικά .....	18
2.2 Δειγματοληπτικό πλέγμα σταθμών .....	19
2.3 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά .....	20
2.3.1 Υδάτινη στήλη.....	20
2.3.2 Θρεπτικά άλατα .....	21
<b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	26
3.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά .....	26
3.2 Θρεπτικά άλατα .....	37
3.3 Στατιστική επεξεργασία .....	49
<b>4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b> .....	55
4.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά .....	55
4.2 Θρεπτικά άλατα .....	61
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	66
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	68
6.1 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	68
6.2 Ελληνική βιβλιογραφία .....	76
6.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία.....	77
<b>ABSTRACT</b> .....	78

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών

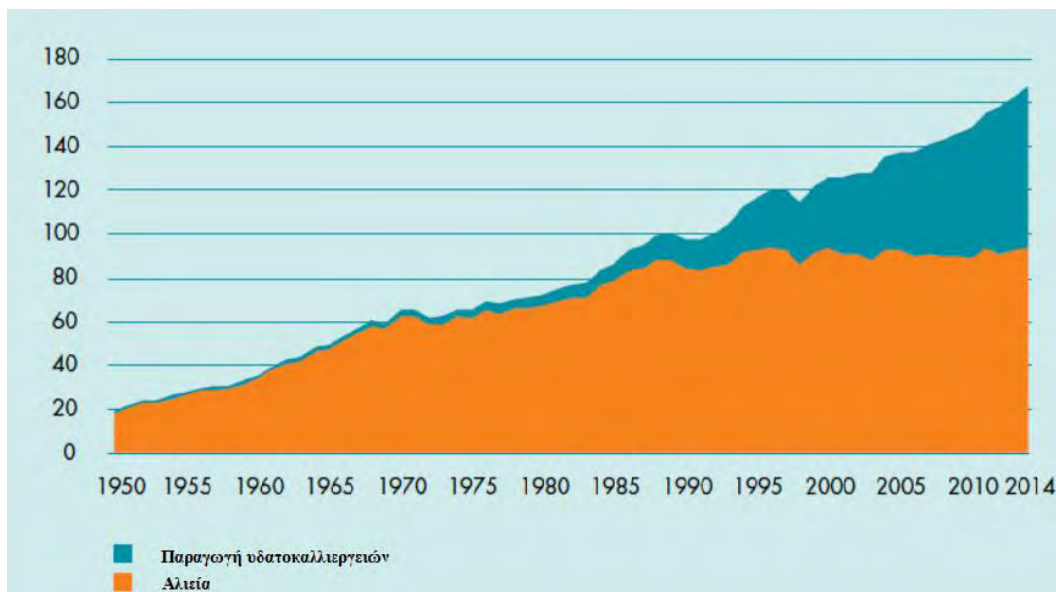
Οι υδατοκαλλιέργειες αποτελούν μια σημαντική δραστηριότητα στην παράκτια ζώνη, που με την εξέλιξή τους τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και στον Ευρωπαϊκό χώρο, συντελούν στην παροχή αγαθών υψηλής διατροφικής αξίας και ενισχύουν ιδιαίτερα τις τοπικές παράκτιες κοινωνίες όπου οι παραδοσιακοί τομείς απασχόλησης των κατοίκων βρίσκονται σε πτωτική πορεία (FAO 2007).

Ο διαρκώς αναπτυσσόμενος κλάδος των υδατοκαλλιεργειών έρχεται να καλύψει τη ζήτηση της αγοράς σε αλιευτικούς πόρους, καθώς τα φυσικά αποθέματα των τελευταίων έχουν μειωθεί δραματικά. Περίπου τα τρία τέταρτα των άγριων αλιευτικών αποθεμάτων έχουν αλιευθεί πλήρως, υπεραλιευθεί είτε εξαντληθεί σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Τροφίμων (FAO) (Giarratano & Amin 2010), ενώ η ζήτηση για αλιευτικά προϊόντα προς ανθρώπινη κατανάλωση αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς (Pauly *et al.* 1998). Σήμερα, ένα σημαντικό ποσοστό των βρώσιμων ψαριών προέρχεται από τις ιχθυοκαλλιέργειες και αναμένεται να αυξηθεί τις επόμενες δεκαετίες προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού (Duarte *et al.* 2009).

Τα τελευταία 50 χρόνια ο τομέας των ιχθυοκαλλιεργειών έχει αυξηθεί σημαντικά σε παγκόσμιο επίπεδο. Περίπου 52,5 εκατομμύρια τόνοι (68.3 εκατομμύρια τόνοι συμπεριλαμβανομένων και των υδρόβιων φυτών) παράχθηκαν το 2008, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 50% της παγκόσμιας παραγωγής σε αλιεύματα. Η ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική ήταν ραγδαία κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980-1990, αλλά έκτοτε παρουσιάζει μικρότερους ρυθμούς ανάπτυξης, εξαιτίας χωρικών περιορισμών και άλλων ανταγωνιστικών

παραγόντων, αν και η ζήτηση για αλιευτικά προϊόντα έχει συνεχίσει να αυξάνεται (Bostock *et al.* 2010).

Κατά την περίοδο 2012-2014, η συνολική παγκόσμια παραγωγή αυξήθηκε κατά 5,1%, από 162 σε 166 εκατομμύρια τόνους (Σχ. 1.1). Στην Ινδονησία σημειώθηκε μια σημαντική αύξηση της τάξης του 50% στην παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας, ενώ αντίθετα στην Ταϊλάνδη παρατηρήθηκε μείωση κατά 27%, λόγω της εμφάνισης του συνδρόμου πρόωρης θνησιμότητας (EMS) που έπληξε την παραγωγή εκτροφής της γαρίδας. Στο Περού, σημειώθηκε μια συνολική πτώση της παραγωγής κατά 25%, κυρίως λόγω των επιπτώσεων του Ελ Νίνιο (Eumofa 2016).



**Σχήμα 1.1:** Παγκόσμια παράγωγή αλιείας και ιχθυοκαλλιέργειας σε τόνους από το έτος 1950 έως το 2014 ([www.weforum.org](http://www.weforum.org)).

Αξίζει να σημειωθεί ότι το 92% της παγκόσμιας παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας και το 72% των παγκόσμιων αλιευμάτων προέρχονται από την Ασία, κυρίως την Κίνα, την Ινδονησία και την Ινδία. Στην Κίνα τα πιο σημαντικά είδη εκτροφής είναι τα ψάρια του γλυκού νερού με παραγωγή 27 εκατομμύρια τόνους, τα

μαλάκια με 15 εκατομμύρια τόνους και τα υδρόβια φυτά με 18 εκατομμύρια τόνους. Από το 2012, η Κίνα έχει αυξήσει την παραγωγή ψαριών του γλυκού νερού κατά 11%. Το κύριο είδος εκτροφής είναι ο Κυπρίνος, που αντιπροσωπεύει το 71% του συνόλου των ψαριών του γλυκού νερού που εκτρέφονται. Στην Ινδονησία, τα πιο σημαντικά είδη εκτροφής είναι τα υδρόβια φυτά, αντιπροσωπεύοντας το 49% της συνολικής παραγωγής, τα ψάρια αλμυρού νερού με 28% και τα ψάρια του γλυκού νερού με 16%. Στην Ινδία τα σημαντικότερα είδη που παράγονται είναι τα ψάρια του γλυκού νερού με 5,6 εκατομμύρια τόνους και τα ψάρια αλμυρού με 2,3 εκατομμύρια τόνους (Nielsen *et al.* 2016).

Στην Ευρώπη η παραγωγή υδατοκαλλιέργειας αντιπροσωπεύει μόνο το 1,7% της παγκόσμιας παραγωγής προϊόντων υδατοκαλλιέργειας όσον αφορά σε βάρος και το 3,2% σε αξία. Η συνολική παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας στην ευρωπαϊκή ένωση έφτασε τους 1,28 εκατομμύρια τόνους το 2014, παρουσιάζοντας μια αύξηση 8% σε σχέση με το 2013. Οι σημαντικότερες χώρες παραγωγής στην ΕΕ στον τομέα των υδατοκαλλιεργειών είναι η Ισπανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία, η Ιταλία και η Ελλάδα. Το 2014, σύμφωνα με τα στοιχεία από τον παγκόσμιο οργανισμό τροφίμων, ο όγκος της παραγωγής των εκτρεφόμενων ειδών στην ΕΕ ήταν 1,3 εκατομμύρια τόνους αξίας πάνω από 4,5 δις € (Halwart *et al.* 2007)

Τα κυριότερα είδη υδατοκαλλιέργειας για το έτος 2014 ήταν τα Μεσογειακά μύδια (321 χιλιάδες τόνοι, το 25% της συνολικής παραγωγής της ΕΕ), ο σολομός του Ατλαντικού (189.000 τόνοι, 15%), τα μπλε μύδια (147 χιλιάδες τόνοι, 11%), η ιριδίζουσα πέστροφα (137 χιλιάδες τόνους, 11%) και τα στρείδια του Ειρηνικού (128 χιλιάδες τόνοι, 10%). Αυτά τα 5 είδη αντιπροσωπεύουν το 72% της συνολικής παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας στην ΕΕ σε βάρος. Το μεσογειακό μύδι εκτρέφεται

κυρίως στην Ισπανία (63% της παραγωγής της ΕΕ) και στην Ιταλία (27%). Ο σολομός του Ατλαντικού ως επί το πλείστον παράγεται στο Ηνωμένο Βασίλειο, με περισσότερο από το 94% της συνολικής παραγωγής και στην Ιρλανδία (5%). Τα στρείδια του Ειρηνικού εκτρέφονται κατά κύριο λόγο στη Γαλλία (88%) και στην Ιρλανδία (7%). Η Ιριδίζουσα πέστροφα κυρίως στη Δανία (32%), στη Γαλλία (25%), στην Ισπανία (11%) και στο Ηνωμένο Βασίλειο (10%) (Eumofa 2016).

## **1.2 Υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα**

Η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς κλάδους της αγροτικής παραγωγής της Ελλάδας και τον πλέον σημαντικό κλάδο ζωικής παραγωγής. Μέχρι το 1980 περιελάμβανε τις ιχθυοκαλλιέργειες εκτατικής εκτροφής σε λιμνοθάλασσες, τη μυδοκαλλιέργεια και τις εντατικές ιχθυοκαλλιέργειες εσωτερικών υδάτων, κυρίως πέστροφας. Η υδατοκαλλιέργεια με παραγωγή σχεδόν 2.000 τόνων, αντιπροσώπευε τότε μόλις το 2% της προσφοράς αλιευτικών προϊόντων της χώρας και το υπόλοιπο 98% προερχόταν από την αλιεία (105.651 τόνοι το 1980). Η αναλογία αυτή άρχισε να μεταβάλλεται ταχύτατα από το 1980 και μετά, καθώς αναδείχθηκαν οι εντατικές ιχθυοκαλλιέργειες ευρύαλων μεσογειακών ειδών, κυρίως τσιπούρας και λαβρακιού. Το 2003, η προσφορά αλιευτικών προϊόντων από την υδατοκαλλιέργεια για πρώτη φορά ξεπέρασε την αντίστοιχη από την αλιεία. Το 2014 το 69% της εγχώριας παραγωγής αλιευτικών προϊόντων προήλθε από την υδατοκαλλιέργεια και το υπόλοιπο 31% από τη συλλεκτική αλιεία. Η δραστηριότητα αυτή έχει εξελιχθεί σε έναν από τους πλέον ανταγωνιστικούς τομείς της πρωτογενούς παραγωγής της χώρας που διατηρεί μια από τις ηγετικές θέσεις στην παραγωγή μεσογειακών ειδών σε ευρωπαϊκό, αλλά και διεθνές επίπεδο (ΣΕΘ 2016).

Η Ελλάδα ήταν ο μεγαλύτερος Ευρωπαίος παραγωγός, άνω των 120.000 τόνων, πριν από την έναρξη της Ελληνικής οικονομικής κρίσης το 2008. Ακόμη και μετά την κρίση, η Ελλάδα παραμένει ένας σημαντικός παραγωγός σε παγκόσμιο επίπεδο. Το 2014 η παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας ήταν 118.100 τόνοι που αντιστοιχεί στην αξία των 613.300.000€. Μια παρόμοια τάση χαρακτηρίζει και την παραγωγή ιχθυδίων, που εκτιμάται ότι έφθασε τα 421 εκατομμύρια ευρώ το 2014, εκ των οποίων 98% ήταν τσιπούρα και λαβράκι (Nielsen *et al.* 2016).

Το 2014, το κυρίαρχο είδος που παράχθηκε από τον τομέα της Ελληνικής ιχθυοκαλλιέργειας ήταν η τσιπούρα, αντιπροσωπεύοντας το 46% του Ελληνικού όγκου παραγωγής σε προϊόντα υδατοκαλλιέργειας και το 55% της αξίας της παραγωγής. Το λαβράκι, ήταν το δεύτερο πιο σημαντικό είδος εκτροφής αντιπροσωπεύοντας το 30% του όγκου της παραγωγής και το 40% της αξίας της παραγωγής. Το Μεσογειακό μύδι αποτελεί ένα σημαντικό είδος όσον αφορά την παραγωγή (20%), αλλά αντιπροσωπεύει μόλις το 2% της συνολικής αξίας της παραγωγής, λόγω της σχετικά χαμηλής τιμής των μυδιών στην αγορά. Η Ιριδίζουσα πέστροφα, το φαγκρί, το μυτάκι και άλλα είδη συμβάλλουν μόλις στο 4% του όγκου παραγωγής και στο 3% της αξίας της παραγωγής. Μια αύξηση της παραγωγής, κυρίως για το λαβράκι και την τσιπούρα, αναμένεται κατά τη διάρκεια του 2017, κυρίως ως αποτέλεσμα των υψηλότερων τιμών (και, επομένως, τα περιθώρια κέρδους) κατά τη διάρκεια του 2014 και 2015 (Nielsen *et al.* 2016).

Οι ιχθυοκαλλιέργειες συμβάλουν θετικά στην ανάπτυξη της χώρας δημιουργώντας θέσεις εργασίας και τονώνοντας την εθνική οικονομία. Η συντριπτική πλειοψηφία (70-80%) της παραγωγής των υδατοκαλλιεργειών εξάγεται κυρίως σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το 2015 η συνολική αξία των εξαγωγών των αλιευτικών προϊόντων ανήλθε σε 589,9 εκ. ευρώ αντιπροσωπεύοντας το 10,3% των

συνολικών αγροτικών εξαγωγών της χώρας (5,7 δισ. ευρώ). Εξ αυτών το 91,3% προέρχεται από εξαγωγές σε χώρες της Ε.Ε. και το υπόλοιπο 8,7% (51,17 εκ. ευρώ) από εξαγωγές σε τρίτες χώρες. Εκτιμάται πως τα ψάρια ιχθυοκαλλιέργειας αντιπροσωπεύουν το 82% της αξίας των εξαγωγών αυτής της κατηγορίας, καθώς η αξία τους ανήλθε το 2015 σε περίπου 480 εκ. ευρώ (ΣΕΘ 2016).

Ο συνολικός αριθμός εκμεταλλεύσεων υδατοκαλλιέργειας το 2014 στην Ελλάδα εκτιμάται σε 1.102 μονάδες. Από αυτές το 93% δραστηριοποιείται σε θαλάσσια ύδατα και το υπόλοιπο 7% είναι εγκαταστάσεις σε γλυκά και υφάλμυρα νερά. Αναλυτικότερα και σύμφωνα με το περιβάλλον εκτροφής υπάρχουν (ΣΕΘ 2016):

- 336 μονάδες θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας όπου εκτρέφονται κυρίως τσιπούρα και λαβράκι,
- 595 μονάδες οστρακοκαλλιέργειας,
- 78 μονάδες εσωτερικών υδάτων όπου εκτρέφονται πέστροφες, κυπρίνοι, χέλια κλπ.,
- 36 ιχθυογεννητικοί σταθμοί μεσογειακών ιχθύων (τσιπούρα, λαβράκι και νέα είδη) και
- 98 εκμεταλλεύσεις σε υφάλμυρα νερά.

Η συνολική απασχόληση στον κλάδο της Ελληνικής ιχθυοκαλλιέργειας εκτιμάται σε 5.129 υπαλλήλους το 2014. Οι άνδρες εργαζόμενοι κυριαρχούν στον κλάδο (83%). Οι γυναίκες συνήθως απασχολούνται στους ιχθυογεννητικούς σταθμούς και σε μονάδες συσκευασίας και αντιπροσωπεύουν μόλις το 17% της απασχόλησης στον κλάδο (Nielsen *et al.* 2016).

Ωστόσο, η εξάπλωση των ιχθυοκαλλιεργειών έχει αντιμετωπίσει ισχυρές αντιδράσεις από τους υπόλοιπους χρήστες της παράκτιας ζώνης, καθώς θεωρήθηκε ότι

η δραστηριότητα αυτή αποτελεί πιθανό παράγοντα υποβάθμισης του θαλάσσιου περιβάλλοντος (Michler - Cieluch & Kodeih 2008). Έτσι, από την δεκαετία του 1990, άρχισαν να καταγράφονται σε εντατικό βαθμό οι πιθανές επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών στο θαλάσσιο περιβάλλον.

### 1.3 Επιπτώσεις υδατοκαλλιεργειών στο περιβάλλον

Γενικά, οι ιχθυοκαλλιέργειες σε χερσαίες εγκαταστάσεις δεν προκαλούν επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον, γιατί τα απόβλητά τους πριν τη διοχέτευσή τους στον υδάτινο αποδέκτη υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία. Επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον, εντός του οποίου δραστηριοποιούνται, πιθανό να προκαλούν οι εντατικές εκτροφές σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς, επειδή δεν είναι δυνατή η εφαρμογή κάποιας μορφής επεξεργασίας των όποιων αποβλήτων τους (Klaoudatos *et al.* 1996). Η ανοικτή φύση αυτού του συστήματος επιτρέπει στις εκροές του να συμμετέχουν σε βιολογικές, χημικές και οικολογικές διεργασίες οι οποίες μπορούν να προξενήσουν ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Αυτές είναι πολύπλοκες και διαφοροποιούνται στον χώρο και στον χρόνο. Οι σημαντικότερες επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών στο περιβάλλον συνοψίζονται επιγραμματικά ως εξής (Grigorakis & Rigos 2011):

- Γενετικές αλληλεπιδράσεις: Διαφυγές ειδών από τις υδατοκαλλιέργειες, εισαγωγή νέων ειδών για εκτροφή, αναπαραγωγή ψαριών στους κλωβούς πάχυνσης.
- Μετάδοση ασθeneιών μεταξύ καλλιεργούμενων και άγριων ειδών.
- Προσθήκη οργανικού φορτίου στο περιβάλλον.
- Χημική ρύπανση: Βαρέα μέταλλα, χημικά σύμπλοκα και αντιβιοτικά.



- Χρήση φυσικών πόρων για τις ανάγκες των υδατοκαλλιεργειών: Αλιεία άγριων πληθυσμών ψαριών για την παραγωγή ιχθυοτροφών.
- Αλλαγή στην ηθολογία των άγριων ειδών: Συγκέντρωση ψαριών κοντά στις εγκαταστάσεις των υδατοκαλλιεργειών.

Έχει διαπιστωθεί ότι οι υδατοκαλλιέργειες επιδρούν σημαντικά τόσο στους ζώντες θαλάσσιους οργανισμούς (Karakassis *et al.* 2000) όσο και στις βιογεωχημικές παραμέτρους του ιζήματος (Kalantzi & Karakassis 2006) και της στήλης του νερού (Sara 2007). Οι μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας συνήθως παράγουν σωματιδιακές οργανικές ενώσεις (παραπροϊόντα του μεταβολισμού των ψαριών, διαφυγή τροφής) όσο και διαλυμένα οργανικά και ανόργανα απόβλητα (Cromeey *et al.* 2002, Carroll *et al.* 2003). Τα απόβλητα αυτά, είτε διασπείρονται και διαλυτοποιούνται εξαιτίας του υδροδυναμισμού (ρευματική - κυματική δράση), είτε καταβυθίζονται στο ιζήμα (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 πάχυνσης, 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). Η επίδραση των μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας στην υδάτινη στήλη δεν είναι εύκολα ανιχνεύσιμη, παρά το γεγονός ότι μέσω των απεκκρίσεων των ψαριών προστίθενται στην υδάτινη στήλη σημαντικές ποσότητες θρεπτικών συστατικών άμεσα αφομοιώσιμων από το φυτοπλαγκτό.

Τα είδη που εκτρέφονται σε εντατικά συστήματα ιχθυοκαλλιέργειας ανήκουν σε υψηλά τροφικά επίπεδα και είναι κατά κύριο λόγο σαρκοφάγα. Η τροφή τους απαιτεί υψηλό ποσοστό πρωτεΐνης και καθώς διαλύεται στο περιβάλλον απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες αζώτου και φωσφόρου οι οποίες δεν αφομοιώνονται εύκολα από αυτό (Serpa *et al.* 2008). Ο εμπλουτισμός της υδάτινης στήλης με αυξημένες ποσότητες θρεπτικών αλάτων κυρίως αζώτου και φωσφόρου μπορεί να οδηγήσει στο φαινόμενο του ευτροφισμού (La Rosa *et al.* 2002). Ως ευτροφισμός, θα μπορούσε να οριστεί η προσθήκη περίσσειας θρεπτικών συστατικών σε ένα υδάτινο οικοσύστημα με αποτέλεσμα την αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής. Τα μορφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος, όπως το βάθος και ο ρυθμός ανανέωσης των υδάτων, επηρεάζουν την ευαισθησία του σε προβλήματα ευτροφισμού. Μεγαλύτερο κίνδυνο αντιμετωπίζουν οι παράκτιες περιοχές, οι κλειστοί κόλποι και οι λιμνοθάλασσες που βρίσκονται κοντά σε αστικά κέντρα (Καστρίτης 2007).

Ωστόσο, σε oligοτροφικά συστήματα όπως η Μεσόγειος, οι επιπτώσεις της ιχθυοκαλλιέργειας στη στήλη του νερού είναι ελάχιστες, παρουσιάζοντας μόνο παροδικές ή ελάχιστες επιπτώσεις στις περισσότερες παραμέτρους της ποιότητας του νερού (Maldonado *et al.* 2005).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο εμπλουτισμός των υδάτων με σωματιδιακό οργανικό φορτίο το οποίο καταβυθίζεται στον θαλάσσιο πυθμένα, με αποτέλεσμα να προκαλούνται μια σειρά από αλλαγές στη μορφή και στη γεωχημεία των ιζημάτων. Το επιφανειακό στρώμα του ιζήματος κάτω από τους ιχθυοκλωβούς, σε περιοχές με μικρό βάθος και μειωμένη κυκλοφορία νερού, εμφανίζεται σε ορισμένες περιπτώσεις (ιδίως σε περιοχές όπου η μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας είναι εγκατεστημένη πολλά χρόνια) να είναι πλούσιο σε οργανική ύλη, να έχει μαύρο χρώμα, χαλαρή συνεκτικότητα και να

παρουσιάζονται έντονες αναγωγικές συνθήκες (Hall *et al.* 1992, Morrisey *et al.* 2000). Στις περιπτώσεις αυτές, η βακτηριακή αποικοδόμηση επιφέρει σημαντική μείωση του οξυγόνου στο ίζημα, ενώ το δυναμικό οξειδαναγωγής εμφανίζεται να έχει μικρές τιμές που πολλές φορές μπορεί να είναι και αρνητικές (Wildish *et al.* 2001). Αυτή η κατάσταση είναι ανάλογη με αυτή που συναντάται σε παράκτιες θαλάσσιες περιοχές που έχουν υποστεί διατάραξη, όπως κλειστοί κόλποι, λιμάνια και λιμνοθάλασσες, λόγω της αυξημένης παρουσίας οργανικής ύλης (Pearson & Rosenberg 1978, Dewarumez *et al.* 1991, Koutsoubas *et al.* 2000).

Επίσης, τα μέταλλα που υπάρχουν ως πρόσθετα συστατικά στις ιχθυοτροφές και στα υφαλοχρώματα (τα οποία χρησιμοποιούνται στα δίχτυα των κλωβών ώστε να αποφεύγεται η βιοεπίστρωση) αποτελούν κίνδυνο, τόσο για το περιβάλλον όσο και για τους ίδιους τους οργανισμούς, καθώς τα κατάλοιπά τους είναι εξαιρετικά ανθεκτικά και συσσωρεύονται στον πυθμένα (Serpa *et al.* 2008). Ωστόσο, η ένταση των μεταβολών αυτών στα ιζήματα, εξαρτάται από το είδος και την ποσότητα των οργανισμών που εκτρέφονται, τον τύπο της τροφής που χορηγείται στα ψάρια, το βάθος, το υδροδυναμικό καθεστώς και τον τύπο του υποστρώματος (Pearson & Black 2001).

Ένας ακόμη περιβαλλοντικός κίνδυνος που σχετίζεται με τις υδατοκαλλιέργειες είναι οι πιθανές γενετικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εκτρεφόμενων οργανισμών που διαφεύγουν και των άγριων ψαριών (Grigorakis 2010). Τα εκτρεφόμενα ψάρια προέρχονται από άγρια αποθέματα και υποτίθεται ότι έχουν την ίδια γενετική ικανότητα προσαρμογής στο περιβάλλον σε σχέση με τους άγριους πληθυσμούς. Ωστόσο, στα εκτρεφόμενα είδη ψαριών πραγματοποιούνται γενετικές βελτιώσεις μέσω της τεχνητής αναπαραγωγής, ώστε οι οργανισμοί να αποκτούν εμπορικά επιθυμητές ιδιότητες, όπως υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης, ανθεκτικότητα στις ασθένειες, μειωμένη

επιθετικότητα και προσαρμογή σε υψηλές πυκνότητες εκτροφής. Τέτοια προγράμματα αναπαραγωγής έχουν επίσης αναφερθεί και για τη Μεσογειακή τσιπούρα και το λαβράκι (Thorland *et al.* 2006, Dupont-Nivet *et al.* 2008, Antonello *et al.* 2009, Navarro *et al.* 2009).

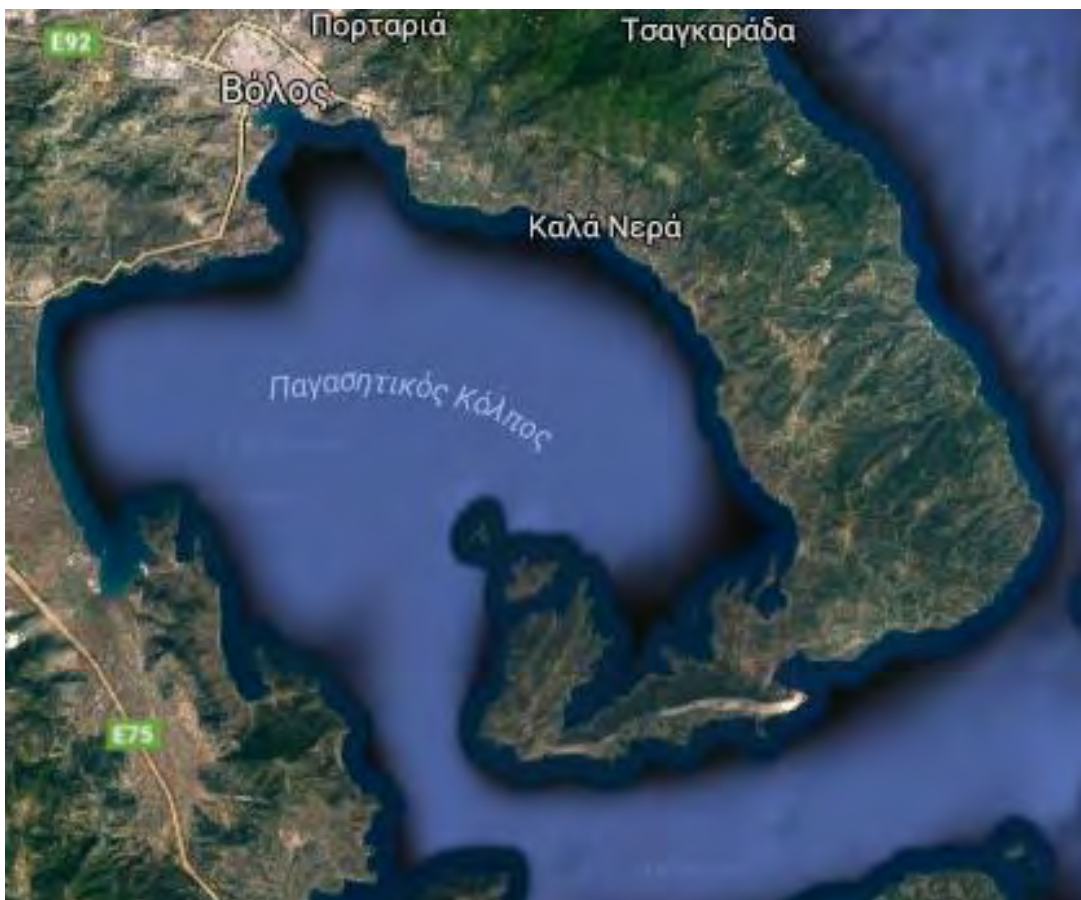
#### 1.4 Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής έρευνας

Ο Παγασητικός κόλπος βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του Αιγαίου και περιβάλλεται από το Χαλκοδόνιο όρος (βόρεια), τα βουνά Γούρας (δυτικά), το όρος Όθρυς (νοτιοδυτικά) και τον εκτεταμένο όγκο του όρους Πήλιο (ανατολικά-νοτιοανατολικά)(Petihakis *et al.* 2005).

Αποτελεί έναν σχετικά αβαθή ημίκλειστο κόλπο με μέσο και μέγιστο βάθος 69 και 102 m, αντίστοιχα, με επιφάνεια 520 Km<sup>2</sup> και μέσο όγκο 36 Km<sup>3</sup>. Οι μεγαλύτερες διαστάσεις του από βορρά προς νότο και ανατολή προς δύση είναι 16 και 17 Km, αντίστοιχα. Η ακτογραμμή του παρουσιάζει πολλές εγκοιλώσεις, οι μεγαλύτερες από τις οποίες σχηματίζουν τους όρμους του Βόλου και του Αλμυρού. Επικοινωνεί με το Αιγαίο Πέλαγος μέσω του διαύλου του Τρίκερι, που βρίσκεται βόρεια της Εύβοιας με άνοιγμα 5,5 Km και βάθος 80 m (Εικ.1.1). 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).

Στον πυθμένα επικρατούν τα λεπτόκοκκα ιζήματα, που προέρχονται από τα μικρά ποτάμια που εκβάλλουν στον κόλπο. Στο μεγαλύτερο μέρος του κόλπου, ο πυθμένας

είναι καλυμμένος με ιλύ, εκτός από το Β.Δ. (περιοχή Αλμυρού) και το ανατολικό τμήμα της εισόδου του κόλπου (περιοχή Τρικερίου), τα οποία καλύπτονται με άμμο (Περισοράκης και συν. 1993). Η στήλη του νερού εμφανίζεται πλήρως ομογενοποιημένη τον χειμώνα, ενώ κατά τις άλλες εποχές είναι εμφανής ο σχηματισμός του θερμοκλινούς και του αλοκλινούς, στην περιοχή του ενδιάμεσου στρώματος (20-40 m). Η θερμοκρασία του νερού μεταβάλλεται εποχικά, με μέγιστη και ελάχιστη τιμή 25 και 11°C, αντίστοιχα. Η αλατότητα (S) στο επιφανειακό στρώμα κυμαίνεται από 36.5 psu το θέρος, έως 38 psu το χειμώνα. Γενικά, η ανατολική λεκάνη του κόλπου παρουσιάζει υψηλότερες τιμές αλατότητας, κατά τους περισσότερους μήνες του έτους και ιδιαίτερα το χειμώνα (Gabrielidis & Theocharis 1978, Theocharis & Laskaratos 1985).



**Εικόνα 1.1:** Η ευρύτερη περιοχή έρευνας (Παγασητικός κόλπος).

Ο Παγασητικός συγκεντρώνει περιμετρικά του ένα σύνολο αστικών, βιομηχανικών, αγροτικών και τουριστικών δραστηριοτήτων. Στο βόρειο τμήμα του, βρίσκεται το λιμάνι και η βιομηχανική πόλη του Βόλου με πληθυσμό περίπου 144.449 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ 2012).

Το αστικό συγκρότημα του Βόλου, η βιομηχανική περιοχή, οι κωμοπόλεις και οι κοινότητες που βρίσκονται περιμετρικά του κόλπου, εξαρτώνται άμεσα από το θαλάσσιο χώρο (αλιεία, τουρισμός, θαλάσσιες συγκοινωνίες) (Κόλιου-Μήτσου 1998).

Ο Παγασητικός αποτελεί τον αποδέκτη αστικών λυμάτων, καθώς και βιομηχανικών και γεωργικών αποβλήτων (ελαιοτριβεία, φυτοφάρμακα, λιπάσματα και ζωικά απόβλητα) από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην ευρύτερη περιοχή (Κολιού-Μήτσου 1991). Από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, με την εξάπλωση του αστικού συγκροτήματος του Βόλου, την επέκταση της βιομηχανίας της περιοχής και την εντατικοποίηση της γεωργίας στον Θεσσαλικό κάμπο, ο κόλπος άρχισε να δέχεται σημαντικές ποσότητες των παραπάνω ρυπαντών.

Μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων, πλούσιων σε φώσφορο, άζωτο και θείο, χρησιμοποιούνται κάθε χρόνο στις εκτάσεις περιμετρικά του κόλπου, κυρίως λόγω της εντατικής καλλιέργειας δημητριακών και βάμβακος (Μήτσιος και συν. 2000). Ο προγραμματισμένος από το 1964 βιολογικός καθαρισμός λυμάτων, του οποίου η κατασκευή άρχισε το 1979, τέθηκε τελικά σε λειτουργία το 1987 και μέχρι το 1998 ολοκληρώθηκε η σύνδεση των δύο βιομηχανικών περιοχών. Σήμερα, όλα τα λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα της μείζονος περιοχής του Βόλου υφίστανται βιολογική επεξεργασία με συνέπεια την αφαίρεση των αζωτούχων και των φωσφορικών ενώσεων πριν καταλήξουν στον κόλπο.

Ακόμη, τη δεκαετία του '60 λήφθηκε μια άλλη διαχειριστική απόφαση με σημαντικές συνέπειες στη σημερινή κατάσταση του Παγασητικού κόλπου. Αυτή ήταν η αποξήρανση της λίμνης Κάρλας και η σύνδεσή της με τον κόλπο μέσω μιας σήραγγας, η οποία από το 1988 λειτουργεί περιοδικά μόνο τους υγρούς μήνες του έτους και έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταφορά σημαντικών ρυπαντικών φορτίων από το Θεσσαλικό κάμπο σ' αυτόν. Η εισροή υδάτων από τη σήραγγα προς τον κόλπο μέσω του χειμάρρου Ξηριά Βόλου, θεωρείται ότι ευθύνεται για τον παροδικό και περιστασιακό, πλην σημαντικό, εμπλουτισμό του εσωτερικού τμήματός του με θρεπτικά άλατα, καθώς και για την εμφάνιση του φαινομένου συσσώρευσης «ζελατινώδους αφρού» (Kesary *et al.* 2002). Ο παραπάνω χειμάρρος επιβαρύνει σε περιορισμένη έκταση το θαλάσσιο περιβάλλον με υψηλές συγκεντρώσεις βρωμιούχων, φθοριούχων και νιτρικών ιόντων (Μήτσιος και συν. 2000).

Κατά τη διάρκεια του 1982 παρατηρήθηκε έντονο το φαινόμενο της εμφάνισης «ζελατινώδους αφρού», ο οποίος κάλυψε ένα μεγάλο τμήμα του κόλπου δημιουργώντας μεγάλα προβλήματα στην αλιεία και στον τουρισμό. Ο αφρός αυτός δημιουργείται από τη συσσώρευση φυτοπλαγκτονικών κυττάρων, βακτηρίων, ζωοπλαγκτονικών απεκκριμάτων και ανόργανων μικροσκοπικών αιωρούμενων σωματιδίων. Το φαινόμενο αυτό μειώθηκε σημαντικά τα επόμενα χρόνια μέχρι το 1987, οπότε εμφανίστηκε εντονότερο. Η τελευταία φορά που παρατηρήθηκε το φαινόμενο αυτό, σε πολύ έντονο βαθμό, ήταν το καλοκαίρι του 1997 κατά μήκος της εσωτερικής περιμέτρου του κόλπου (Kesary *et al.* 2002). Η εμφάνιση του φαινομένου αυτού στον Παγασητικό κόλπο, πιστεύεται ότι οφείλεται κυρίως στην εισροή θρεπτικών και στις υψηλές θερμοκρασίες του θέρους σε συνδυασμό με το μικρό του βάθος (Friligos 1987). Σήμερα το φαινόμενο

αυτό περιορίστηκε πάρα πολύ εξαιτίας του κλεισίματος της σήραγγας και της λειτουργίας της μόνο σε πολύ ακραίες περιπτώσεις.

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).

### **1.5 Ανασκόπηση βιβλιογραφίας**

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας. Όσον αφορά την επίδραση των ιχθυοκαλλιεργειών στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων στην υδάτινη στήλη, οι περισσότερες έρευνες αφορούν εκτροφές σαλμοειδών, που είναι παλαιότερες και έχουν ερευνηθεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (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). Πιο πρόσφατα τις επιπτώσεις από την εκτροφή σαλμοειδών σε διάφορες περιοχές αναφέρουν οι 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. Στην περιοχή της Μεσογείου, οι περισσότερες έρευνες αφορούν εκτροφές τσιπούρας και λαβρακιού (Krom *et al.* 1985, Porter *et al.* 1987, Krom *et al.* 1995, Klaoudatos *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, Mantzavrakos *et al.* 2005, Pitta *et al.* 2005, Dalsgaard & Krause-Jensen 2006, Klaoudatos *et al.* 2006, Neofitou & Klaoudatos 2008.), ενώ υπάρχουν και μερικές που αφορούν άλλα είδη σε διαφορετικές περιοχές του κόσμου (Wu *et al.* 1994, Davies & Slaski 2002, Holmer *et al.* 2002, Matijevic 2009). Στις περισσότερες περιπτώσεις, 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, Mantzavrakos *et al.* 2005, Pitta *et al.* 2005, Neofitou & Klaoudatos 2008). 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 εργασίες στις οποίες προσπάθησαν να υπολογίσουν 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).

## 1.6 Σκοπός

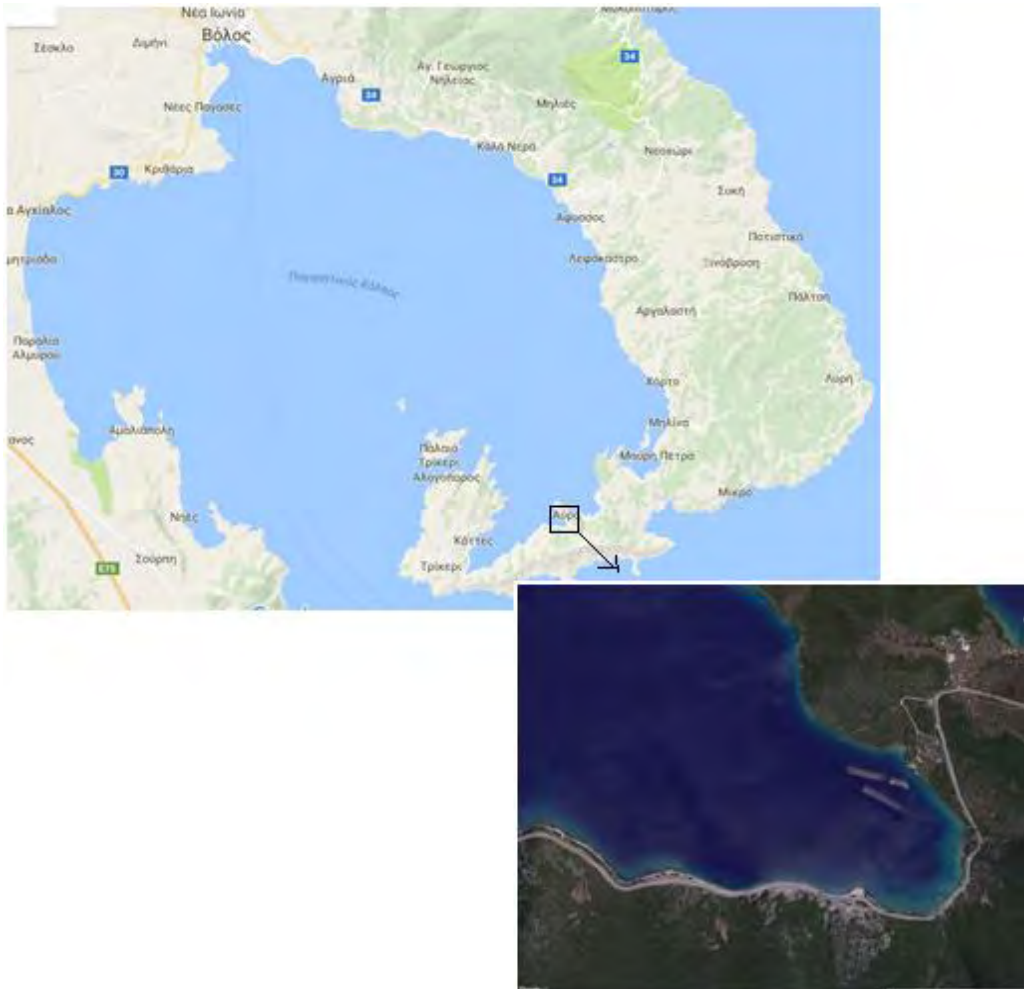
Με γνώμονα όλα τα παραπάνω εκπονήθηκε η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, που **σκοπό** είχε την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης από την εγκατάσταση και τη λειτουργία της ιχθυοκαλλιέργειας

στον Παγασητικό κόλπο και την πιθανή εκτίμηση της μεταβολής αυτών χωρικά αλλά και χρονικά.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1. Γενικά

Η παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε στον Όρμο Λημιώνα στην περιοχή Μηλίνα, που βρίσκεται στις νοτιοανατολικές ακτές του Παγασητικού κόλπου, μεταξύ των οικισμών Τρίκερι και Μηλίνα όπου λειτουργεί η μονάδα της εταιρείας “Υδρόβιος Υδατοκαλλιέργεια ΕΠΕ” (Εικ. 2.1). Στην περιοχή πραγματοποιήθηκαν δυο εποχιακές δειγματοληψίες, τον Ιούνιο και τον Οκτώβριο του 2016 έτσι ώστε να υπάρχει μία κατά το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη άποψη για τις επιδράσεις των ιχθυοκαλλιεργειών στο υδάτινο περιβάλλον.



**Εικόνα 2.1:** Χάρτης με τη θέση εγκατάστασης της μονάδας στον Παγασητικό Κόλπο και τις συστοιχίες των ιχθυοκλωβών.

Η συγκεκριμένη μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας λειτουργεί από το 1990, είναι δυναμικότητας 130 t και αποτελείται από 80 ιχθυοκλωβούς διαστάσεων από 5X5 m μέχρι 7,5X7,5 m. Το βάθος των διχτυών τους φθάνει τα 5 έως τα 7,5 m. Τα δίχτυα είναι κατασκευασμένα από νήματα χωρίς κόμβους με άνοιγμα ματιού από 5-17 mm ανάλογα με το μέγεθος των ψαριών που εκτρέφονται και η τελική πυκνότητα της εκτροφής (ιχθυοφόρτιση) αναφέρεται ότι φθάνει τα 8 kg/m<sup>3</sup>. Κατά τη διάρκεια ενός πλήρους κύκλου εκτροφής γίνεται μία διαλογή όταν τα ιχθύδια φθάσουν περίπου στα 80-130 g. Τα κύρια είδη εκτροφής είναι η τσιπούρα (*Sparus aurata*) και το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*). Η εκτροφή περιλαμβάνει την πάχυνση των ιχθυδίων και των δύο ειδών από το μέσο βάρος των 1,5 g/άτομο μέχρι το μέσο εμπορεύσιμο βάρος των 350 g/άτομο. Τα ιχθύδια τα προμηθεύονται από ελληνικούς ιχθυογεννητικούς σταθμούς και για τη διατροφή τους χορηγούνται σύμπηκτα (pellets) διαφόρων διαμετρημάτων, ανάλογα με το μέγεθος των εκτρεφόμενων ψαριών. Η μετατρεψιμότητα της τροφής είναι περίπου 1,7 kg τροφής ανά 1kg ψαριού.

## 2.2 Δειγματοληπτικό πλέγμα σταθμών

Η περιοχή εγκατάστασης της μονάδας είναι ένας ημίκλειστος κολπίσκος με βάθος κάτω από τις συστοιχίες των ιχθυοκλωβών 15-36 m. Στην περιοχή έρευνας υιοθετήθηκε ένα δειγματοληπτικό πλέγμα από 8 σταθμούς. Οι σταθμοί δειγματοληψίας επιλέχθηκαν σύμφωνα με την κατεύθυνση των κύριων ρεμάτων του κόλπου (Εικ. 2.2).



**Εικόνα 2.2:** Χαρακτηριστική άποψη των σταθμών δειγματοληψίας στην περιοχή έρευνας με την κατεύθυνση των κύριων ρευμάτων

Οι σταθμοί S2, S3 και S4 είναι οι σταθμοί της μονάδας, ο S1 είναι ο σταθμός μάρτυρας και οι υπόλοιποι θεωρούνται ως συμπληρωματικοί σταθμοί που μας βοηθούν να κατανοήσουμε το πώς κατανέμονται χωρικά οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών γύρω από τη μονάδα. Οι μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού, καθώς και τα δείγματα του νερού λαμβάνονταν σε εποχιακή βάση και πάντα κατά το ίδιο χρονικό διάστημα της ημέρας (10:00-15:00), αμέσως μετά το πρωινό τάισμα.

## 2.3 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

### 2.3.1 Υδάτινη στήλη

Σε κάθε έναν από τους 8 συνολικά σταθμούς, μετρήθηκαν και για τις δυο εποχές η θερμοκρασία, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, η χλωροφύλλη  $a$  και το pH, στη στήλη του νερού με τη βοήθεια συνεχή καταγραφέα CTD (SEABIRD-19plus)(Εικ. 2.3).



**Εικόνα 2.3:** Συνεχής καταγραφέας φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού (SEABIRD-19plus).

### **2.3.2 Θρεπτικά άλατα**

Από κάθε σταθμό δειγματοληψίας και για κάθε βάθος πάρθηκαν 3 επαναληπτικά δείγματα νερού με φιάλη Lymnos 1.4 ℓ, από την επιφάνεια, τα 5 m και κάθε 10 m βάθους από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα, ώστε να πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά και πυριτικά).

Τα δείγματα νερού τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια (500 ml) στα οποία προστέθηκε χλωριούχος υδράργυρος (2 ml HgCl<sub>2</sub> σε 500 ml δείγματος) για τη συντήρησή τους. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν άμεσα στο εργαστήριο όπου πραγματοποιήθηκε διήθηση με φίλτρα τύπου (GF/F 47mm διάμετρο και 0.7 μm άνοιγμα οπών) και διατηρήθηκαν σε κατάψυξη (-20 °C) μέχρι τη διενέργεια των αναλύσεων. Η ανάλυση έγινε με φασματοφωτόμετρο τύπου SHIMADZU, σύμφωνα με τις μεθόδους που περιγράφονται παρακάτω (Εικ. 2.4).

**Αμμωνιακά:** Για τον προσδιορισμό της ολικής αμμωνίας προστέθηκαν στο δείγμα νερού συγκεκριμένες ποσότητες αντιδραστηρίων φαινόλης, νιτροπρωσσικού νατρίου και οξειδωτικού διαλύματος. Στη συνέχεια το δείγμα τοποθετήθηκε σε σκοτεινό χώρο (ώστε να αποφευχθεί η 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 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) και τη μη ιονισμένη (NH<sub>3</sub>) μορφή. Το ποσοστό 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:

$$\% \text{NH}_3 = \frac{100}{1 + \text{antilog}(\text{pKa} - \text{pH})}$$

Όπου pKa: 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

**Νιτρώδη:** Τα νιτρώδη άλατα του δείγματος του θαλασσινού νερού αφήνονται να αντιδράσουν με σουλφανιλαμίδη σε όξινο περιβάλλον. Η προκύπτουσα διαζωένωση αντιδρά με N-(1-ναφθυλ)-αιθυλενοδιαμίνη και σχηματίζει ένα έντονο αζώχρωμα που μετράται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 543 nm έναντι απεσταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιείται νιτρώδες νάτριο ( $\text{NaNO}_2$ ) συγκέντρωσης 50  $\mu\text{g-at N } \ell^{-1}$  (Parsons *et al.* 1984).



**Εικόνα 2.4:** Φασματοφωτόμετρο για τις αναλύσεις των θρεπτικών αλάτων του νερού (SHIMADZU UV-1800).



**Νιτρικά:** Για τον προσδιορισμό των νιτρικών αλάτων προστέθηκε στο δείγμα νερού συγκεκριμένη ποσότητα υδροχλωρικού οξέος και στη συνέχεια μετρήθηκε η απορρόφηση στα 220 nm. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε νιτρικό κάλιο ( $\text{KNO}_3$ ) συγκέντρωσης 2 mg/ℓ  $\text{NO}_3\text{-N}$  (APHA 1980).

**Φωσφορικά:** Για τον προσδιορισμό των φωσφορικών αλάτων, το δείγμα αφήνεται να αντιδράσει με ένα σύνθετο αντιδραστήριο που περιέχει μολυβδικό οξύ και τρισθενές αντιμμώνιο. Το προκύπτον σύμπλεγμα ανάγεται για να δώσει τελικά ένα βαθυγάλαζο διάλυμα που μετράται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 885 nm. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιείται δισόξινο φωσφορικό κάλιο ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) συγκέντρωσης 0,0816 g ℓ<sup>-1</sup> (Parsons *et al.* 1984).

**Πυριτικά:** Για τον προσδιορισμό των πυριτικών αλάτων, το θαλασσινό νερό αφήνεται να αντιδράσει με μολυβδικό διάλυμα κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, παράγοντας πυριτομολυβδικά, φωσφορομολυβδικά και αρσενομολυβδικά σύμπλοκα. Στη συνέχεια προστίθεται ένα αναγωγικό διάλυμα, που περιέχει θειική π-μεθυλαμινοφαινόλη και οξαλικό οξύ, που αντιδρά με το πυριτομολυβδικό σύμπλοκο για να δώσει ένα βαθυγάλαζο χρώμα ενώ ταυτόχρονα αποσυνθέτει τα φωσφορομολυβδικά και πυριτομολυβδικά σύμπλοκα. Το τελικό διάλυμα φασματοφωτομετρείται σε μήκος κύματος 810 nm έναντι απεσταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιείται διάλυμα πυριτοφθοριδίου ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ) συγκέντρωσης 500 μg-at Si ℓ<sup>-1</sup> (Parsons *et al.* 1984).

Για τη στατιστική επεξεργασία των δειγμάτων νερού μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης, ενώ για να πραγματοποιηθεί σύγκριση μεταξύ των σταθμών και για τις δυο εποχές χρησιμοποιήθηκε το General Linear Model με τη χρήση του λογισμικού MINITAB.

Προκειμένου να διαπιστωθεί σε ποιους σταθμούς δειγματοληψίας οφείλονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές πραγματοποιήθηκε Turkey 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 στα 0, 5 & 10 m χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα GIS (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών) και πιο συγκεκριμένα η μέθοδος της παρεμβολής επιφανειών IDW (Inverse Distance Weighted). Η μέθοδος της παρεμβολής παράγει μια απεικονιζόμενη επιφάνεια δίνοντας βαρύτητα στα σημεία τα οποία βρίσκονται πιο κοντά στους σταθμούς δειγματοληψίας.

Στη μέθοδο παρεμβολής IDW, τα σημεία δειγματοληψίας είναι σταθμισμένα κατά τη διάρκεια της παρεμβολής έτσι ώστε η επιρροή ενός σημείου σε σχέση με το άλλο να μειώνεται με την απόσταση από το άγνωστο σημείο που θέλουμε να δημιουργήσουμε.

Η στάθμιση πραγματοποιείται με τη χρήση ενός συντελεστή στάθμισης που ελέγχει, πώς η επιρροή στάθμισης μειώνεται καθώς η απόσταση από τα νέα σημεία αυξάνεται. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής στάθμισης, τόσο λιγότερο επηρεάζει τα σημεία δειγματοληψίας, αν αυτά είναι αρκετά απομακρυσμένα από τα άγνωστα σημεία κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παρεμβολής. Καθώς ο συντελεστής αυξάνεται, η τιμή του αγνώστου σημείου προσεγγίζει την τιμή του κοντινότερου σημείου δειγματοληψίας.

Στην παρούσα εργασία ο συντελεστής στάθμισης έλαβε την τιμή 3. 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 χαρακτηριστικά

Στον Πίνακα 3.1 δίνονται το εύρος, ο μέσος ορός και το τυπικό σφάλμα των φυσικοχημικών παραμέτρων (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, Chl *a* και pH) στη στήλη του νερού κατά τη θερινή περίοδο και για τους 8 σταθμούς δειγματοληψίας, ενώ στον Πίνακα 3.2 δίνονται τα αντίστοιχα στοιχεία για τη φθινοπωρινή περίοδο. Στα Σχήματα 3.1-3.8 απεικονίζεται η εποχιακή διακύμανση των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού σε σχέση με το βάθος της υδάτινης στήλης στους 8 σταθμούς δειγματοληψίας.

Η ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας νερού (15,7°C) καταγράφηκε κατά τη θερινή περίοδο στον σταθμό S7 (Πιν. 3.1), ενώ η μέγιστη (27,5°C) καταγράφηκε το φθινόπωρο στον σταθμό S8 (Πιν. 3.2).

Στους σταθμούς S1 και S2 οι τιμές της αλατότητας τον Ιούλιο κυμάνθηκαν από 36,8-38,2 psu, στον S3 36,9-38,0 psu, στον S4 36,9 psu, στον S5 36,8-36,9 psu, στον S6 36,8-38,0 psu, στον S7 36,9- 38,4 psu και στον S8 36,9-37,1 psu (Πιν. 3.1). Τον μήνα Οκτώβριο οι τιμές της αλατότητας στους σταθμούς S1, S2, S3, S4 και S5 κυμάνθηκαν από 37,1-37,2 psu, στον S6 37,2-37,6 psu, στον S7 37,1-38,5 psu και στον S8 36,9-37,2 psu (Πιν. 3.2).

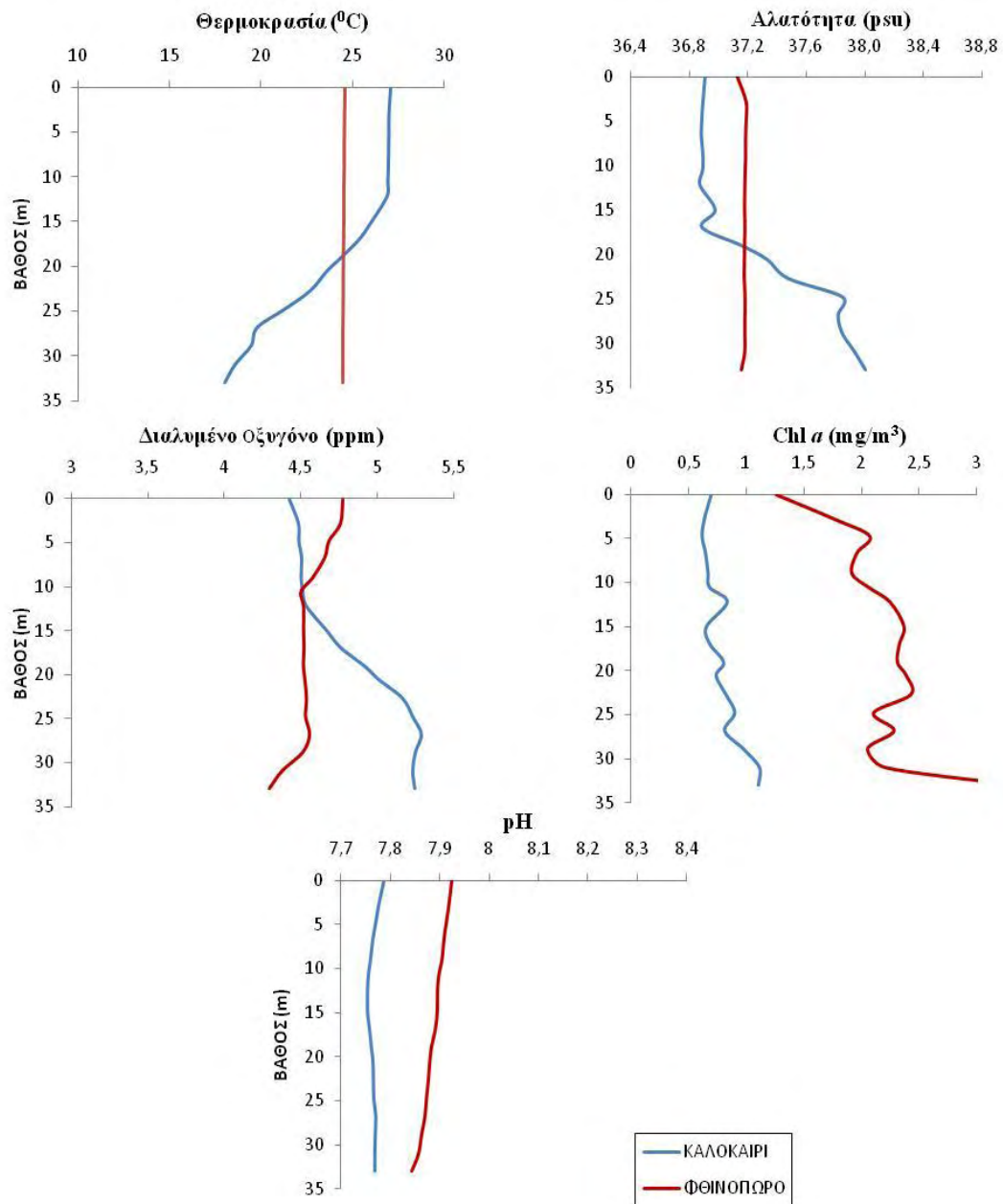
Στον σταθμό S1 οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου για τον μήνα Ιούλιο κυμάνθηκαν από 4,4-5,3 ppm, στον S2 3,7-5,1 ppm, στον S3 3,7-5,0 ppm, στον S4 3,5-4,4 ppm, στον S5 3,3-4,5 ppm, στον S6 4,3- 5,3 ppm, στον S7 4,5-5,4 ppm και στον S8 3,6-4,6 ppm (Πιν. 3.1). Τον Οκτώβριο οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου στον σταθμό S1 κυμάνθηκαν από 3,7-4,8 ppm, στον S2 3,8-4,5 ppm, στον S3 3,2-4,5 ppm, στον S4

**Πίνακας 3.1:** Φυσικοχημικές παράμετροι του νερού στους 8 δειγματοληπτικούς σταθμούς κατά τον Ιούλιο (Μ.Ο: Μέσος όρος, Τ.Α: Τυπική απόκλιση).

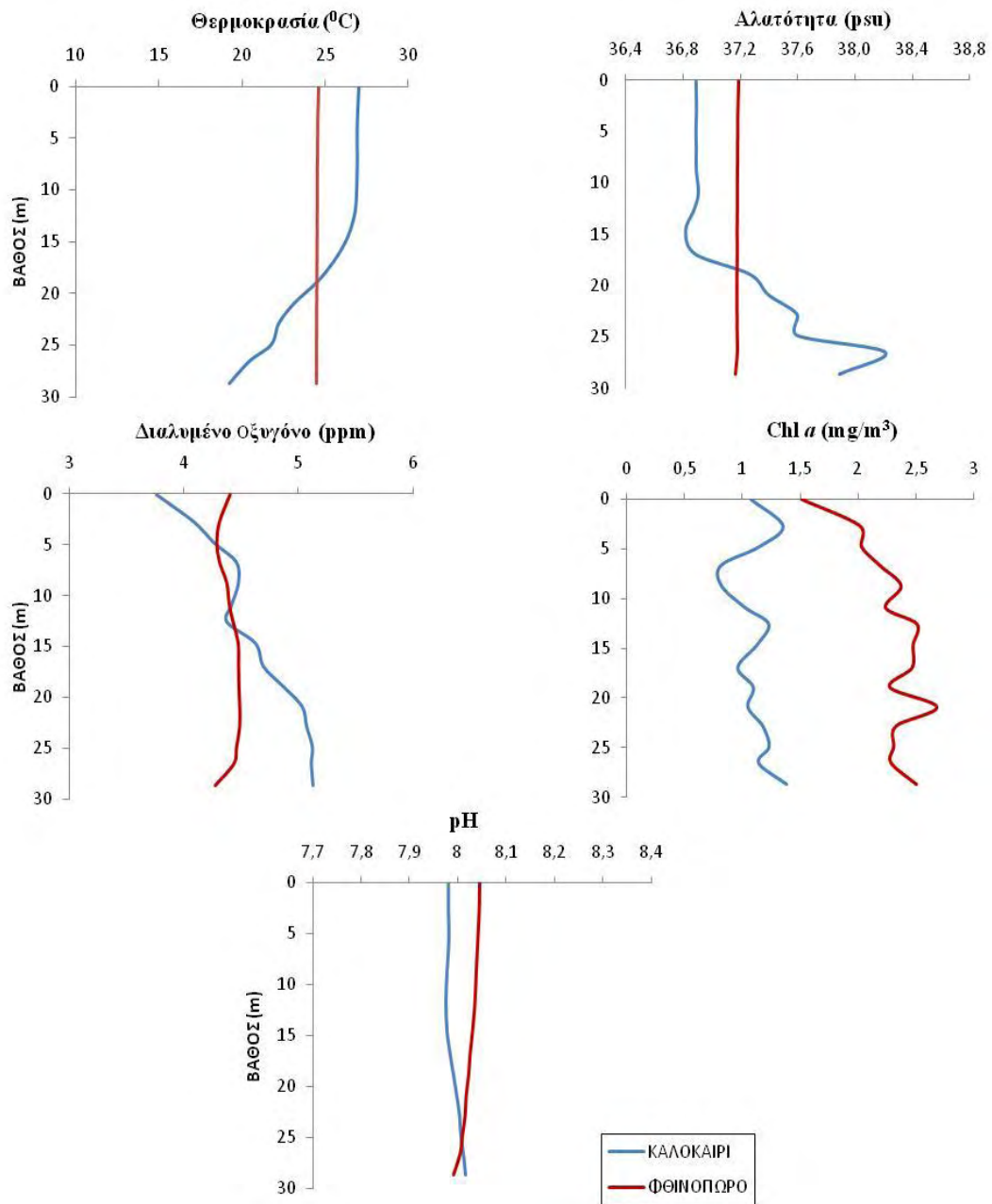
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
<b>Θερμοκρασία (°C)</b>								
Εύρος	17,99-27,07	17,77-27,02	20,17-27,00	26,85-26,99	26,86-27,03	18,80-27,09	15,71-27,25	26,46-27,45
Μ. Ο ± Τ.Α	23,73±3,38	23,62±3,45	24,87±2,50	26,91±0,04	26,91±0,04	23,75±3,15	22,37±4,34	27,00±0,31
<b>Αλατότητα (psu)</b>								
Εύρος	36,81-38,20	36,79-38,21	36,87-38,03	36,86-36,88	36,83-36,88	36,84-37,99	36,87-38,42	36,89-37,09
Μ.Ο ± Τ.Α	37,31±0,47	37,31±0,48	37,18±0,40	36,87±0,01	36,86±0,01	37,33±0,45	37,53±0,58	36,93±0,04
<b>Διαλυμένο οξυγόνο (ppm)</b>								
Εύρος	4,42-5,29	3,73-5,14	3,72-5,00	3,52-4,37	3,25-4,49	4,35-5,28	4,52-5,40	3,58-4,62
Μ.Ο ± Τ.Α	4,86±0,33	4,68±0,38	4,50±0,44	4,06±0,29	4,16±0,45	4,92±0,32	5,01±0,32	4,22±0,38
<b>Χλωροφύλλη α (mg/m<sup>3</sup>)</b>								
Εύρος	0,62-1,24	0,79-1,79	1,14-2,21	1,66-2,07	1,11-1,52	0,92-2,43	0,64-1,62	0,47-0,91
Μ.Ο ± Τ.Α	0,82±0,17	1,20±0,26	1,64±0,27	1,90±0,10	1,22±0,08	1,48±0,42	1,04±0,29	0,61±0,07
<b>pH</b>								
Εύρος	7,74-7,79	7,97-8,02	8,07-8,13	8,13	8,16	8,16-8,30	8,15-8,26	8,19-8,20
Μ.Ο ± Τ. Α	7,76±0,01	7,99±0,02	8,09±0,02	8,13±0,00	8,16±0,00	8,23±0,07	8,20±0,04	8,19±0,00

**Πίνακας 3.2** Φυσικοχημικές παράμετροι του νερού στους 8 δειγματοληπτικούς σταθμούς κατά τον Οκτώβριο (Μ.Ο: Μέσος όρος, Τ.Α: Τυπική απόκλιση).

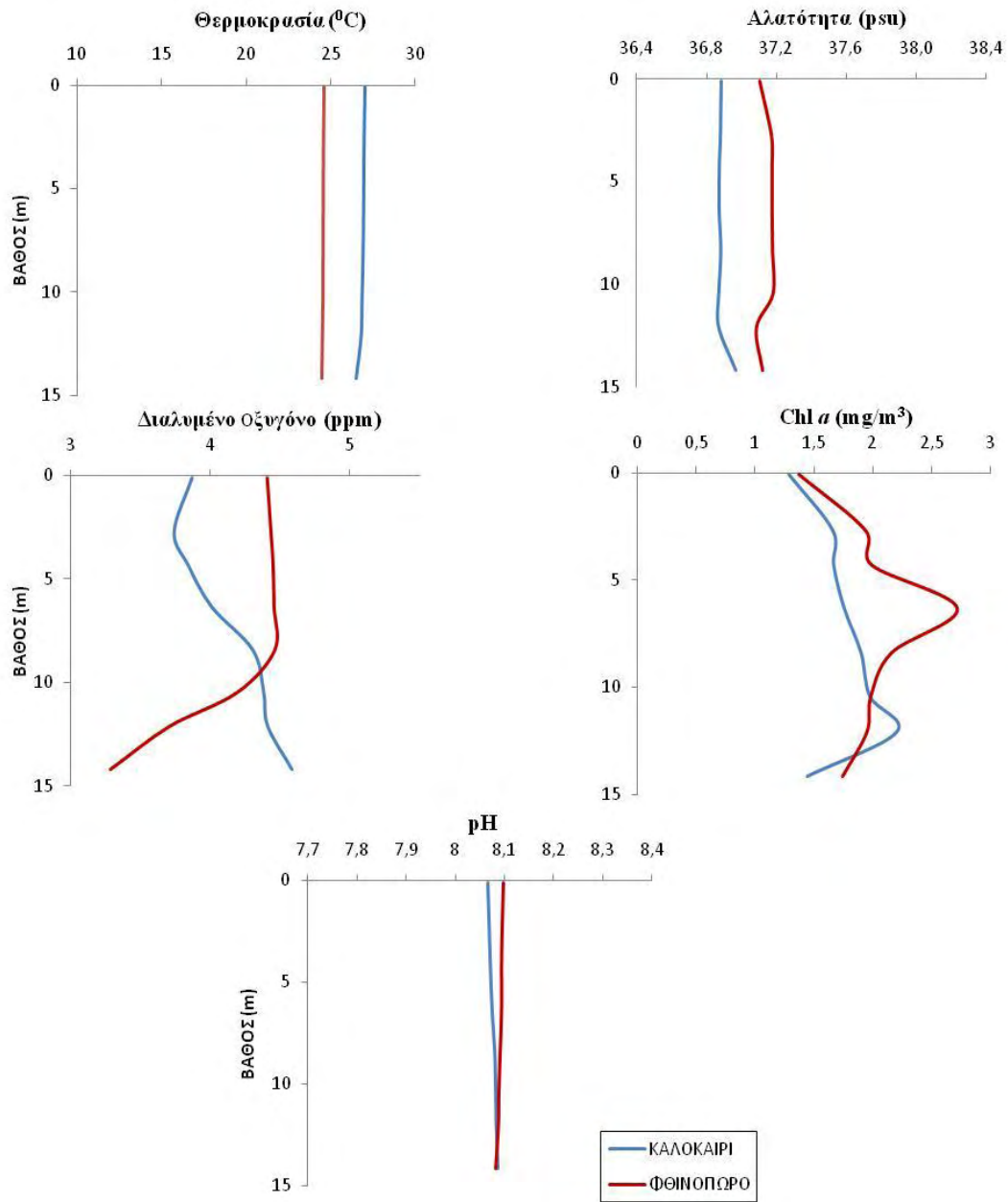
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
<b>Θερμοκρασία (°C)</b>								
Εύρος	24,47-24,63	24,50-24,63	24,48-24,61	24,48-24,66	24,51-24,67	23,85-24,72	15,89-24,66	26,46-27,45
Μ.Ο ± Τ.Α	24,53±0,04	24,54±0,03	24,56±0,03	24,56±0,05	24,57±0,04	24,56±0,11	22,28±3,28	27,00±0,31
<b>Αλατότητα (psu)</b>								
Εύρος	37,13-37,39	37,16-37,18	37,08-37,21	37,10-37,19	37,11-37,19	37,18-37,55	37,15-38,45	36,89-37,17
Μ.Ο ± Τ.Α	37,18±0,01	37,18±0,00	37,16±0,03	37,15±0,03	37,17±0,02	37,20±0,05	37,55±0,51	36,93±0,05
<b>Διαλυμένο οξυγόνο (ppm)</b>								
Εύρος	3,67-4,77	3,78-4,50	3,22-4,46	3,83-4,81	3,60-4,81	4,82-4,92	5,41-5,50	3,59-4,62
Μ.Ο ± Τ.Α	4,55±0,14	4,39±0,13	2,23±0,38	4,34±0,38	4,32±0,47	4,87±0,02	5,04±0,25	4,22±0,38
<b>Χλωροφύλλη α (mg/m<sup>3</sup>)</b>								
Εύρος	1,27-3,32	1,43-2,68	1,37-2,72	1,16-2,45	1,14-2,95	0,92-2,85	0,85-2,62	0,47-0,83
Μ.Ο ± Τ.Α	2,20±0,30	2,30±0,24	1,95±0,29	1,63±0,49	1,69±0,42	1,77±0,47	1,57±0,41	0,61±0,06
<b>pH</b>								
Εύρος	7,84-7,93	7,99-8,05	8,08-8,09	8,14	8,15	8,19	8,17-8,25	8,19-8,20
Μ.Ο ± Τ.Α	7,89±0,02	8,03±0,01	8,09±0,00	8,14±0,00	8,15±0,00	8,19±0,00	8,20±0,03	8,19±0,00



**Σχήμα 3.1:** Κατανομή φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S1.

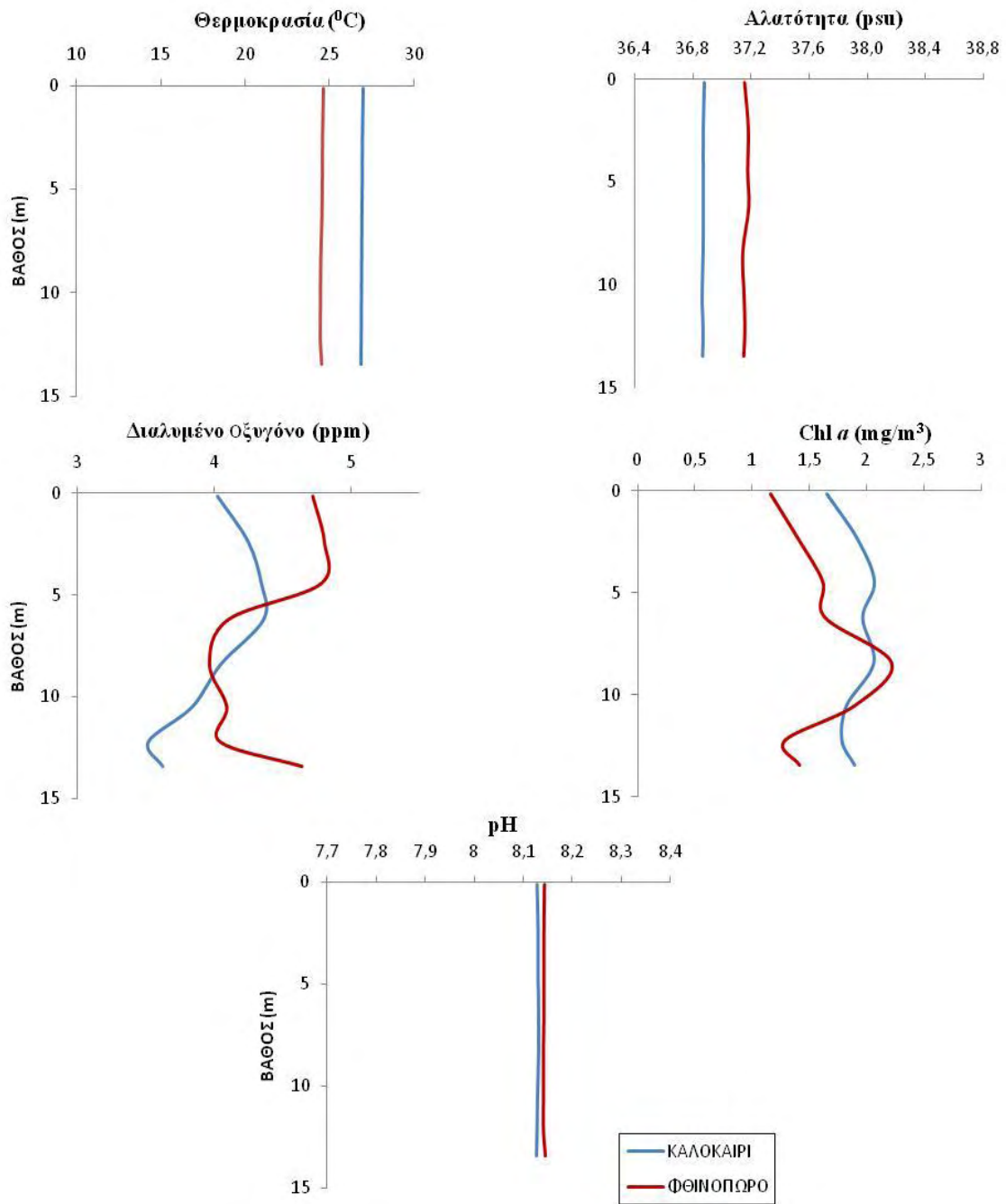


**Σχήμα 3.2:** Κατανομή φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S2.

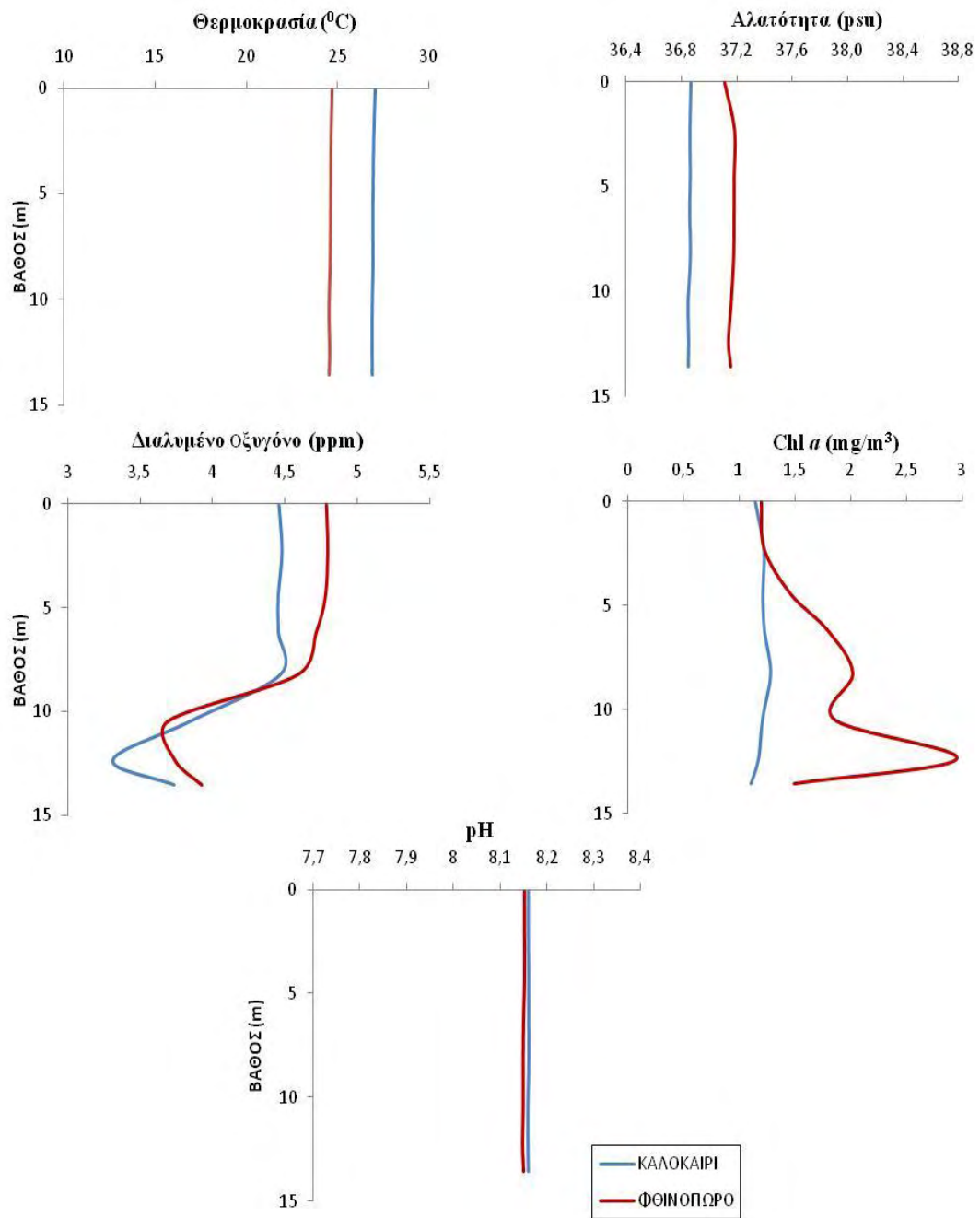


**Σχήμα 3.3:** Κατανομή φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S3.

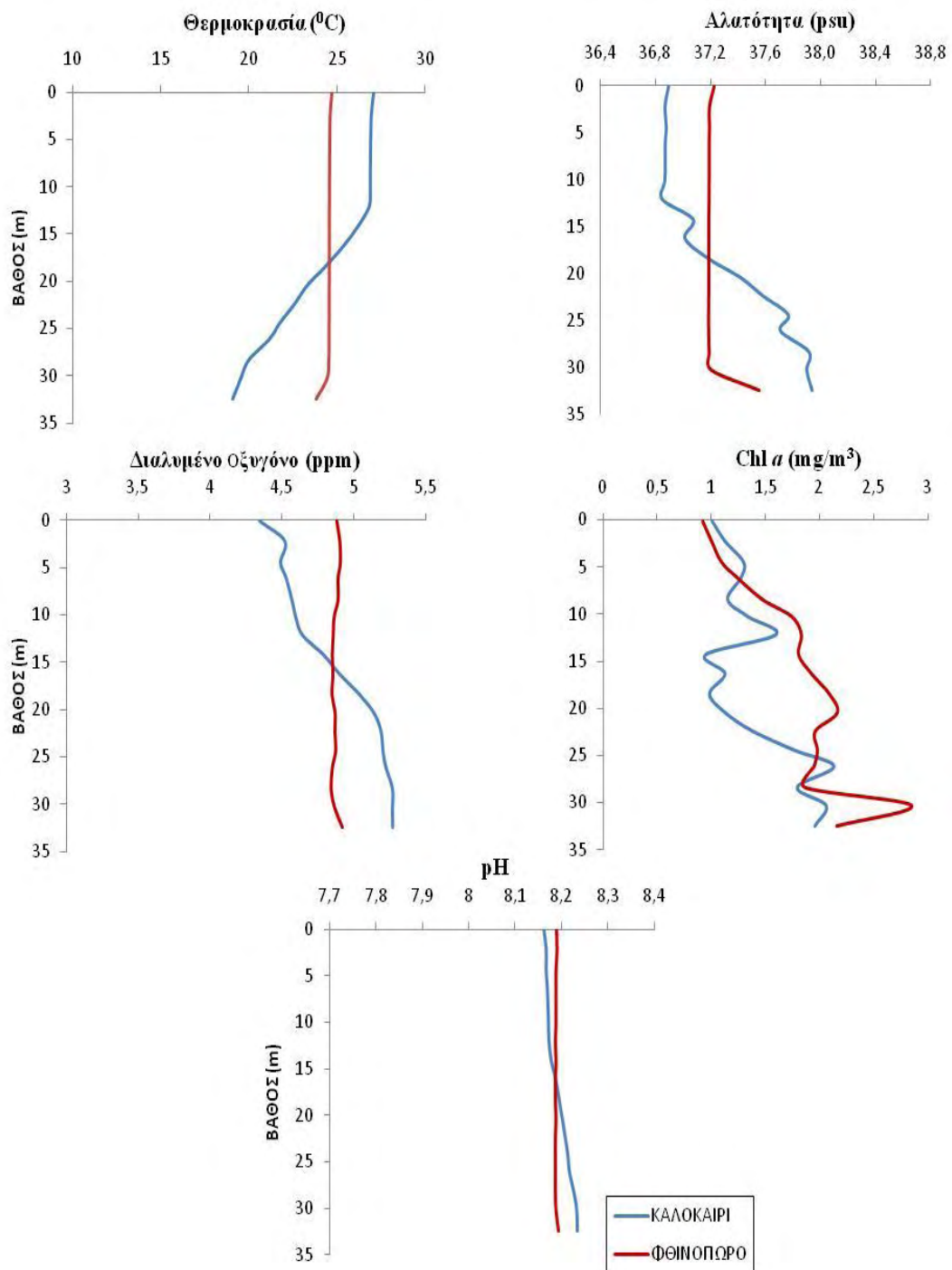




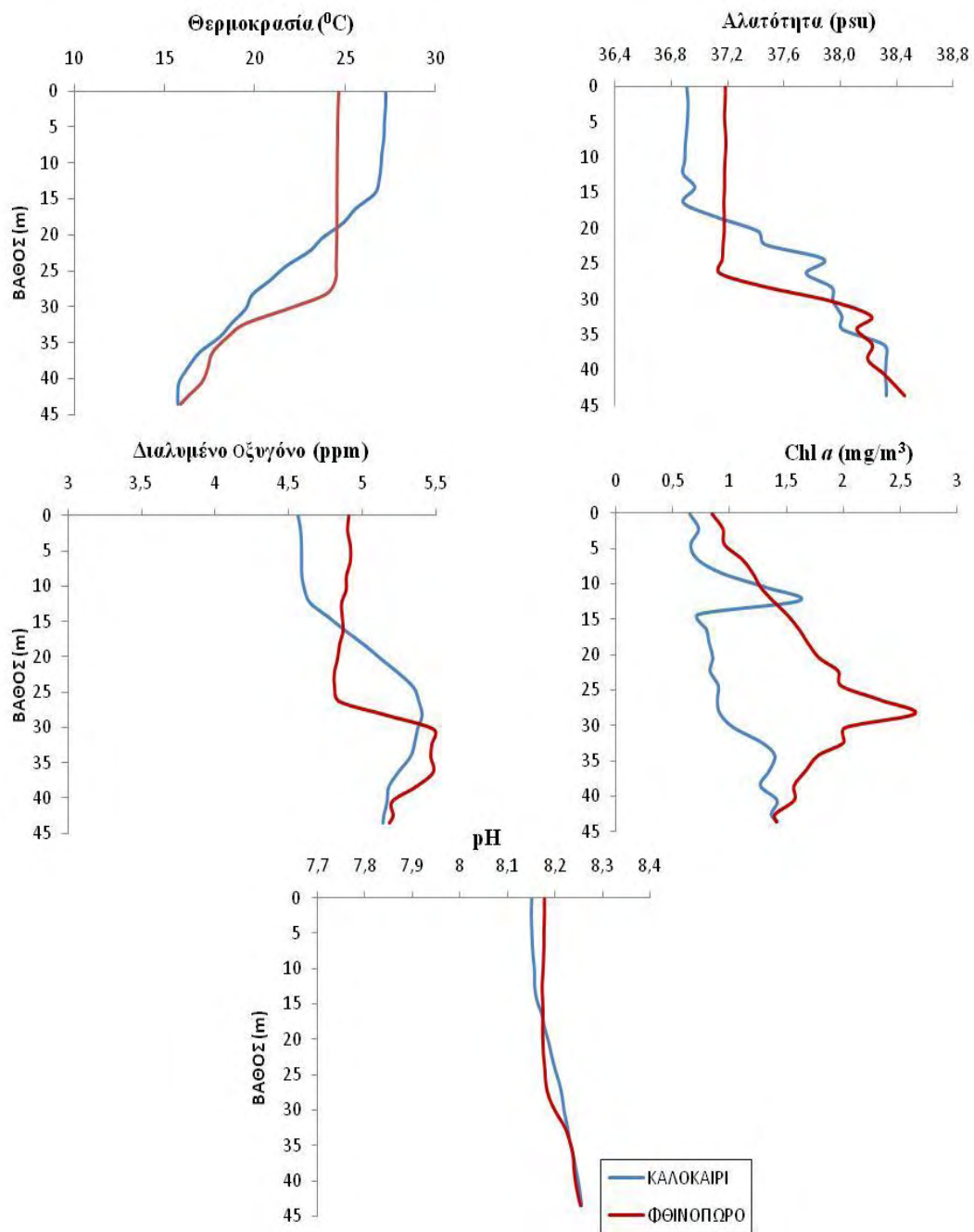
**Σχήμα 3.4:** Κατανομή φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S4.



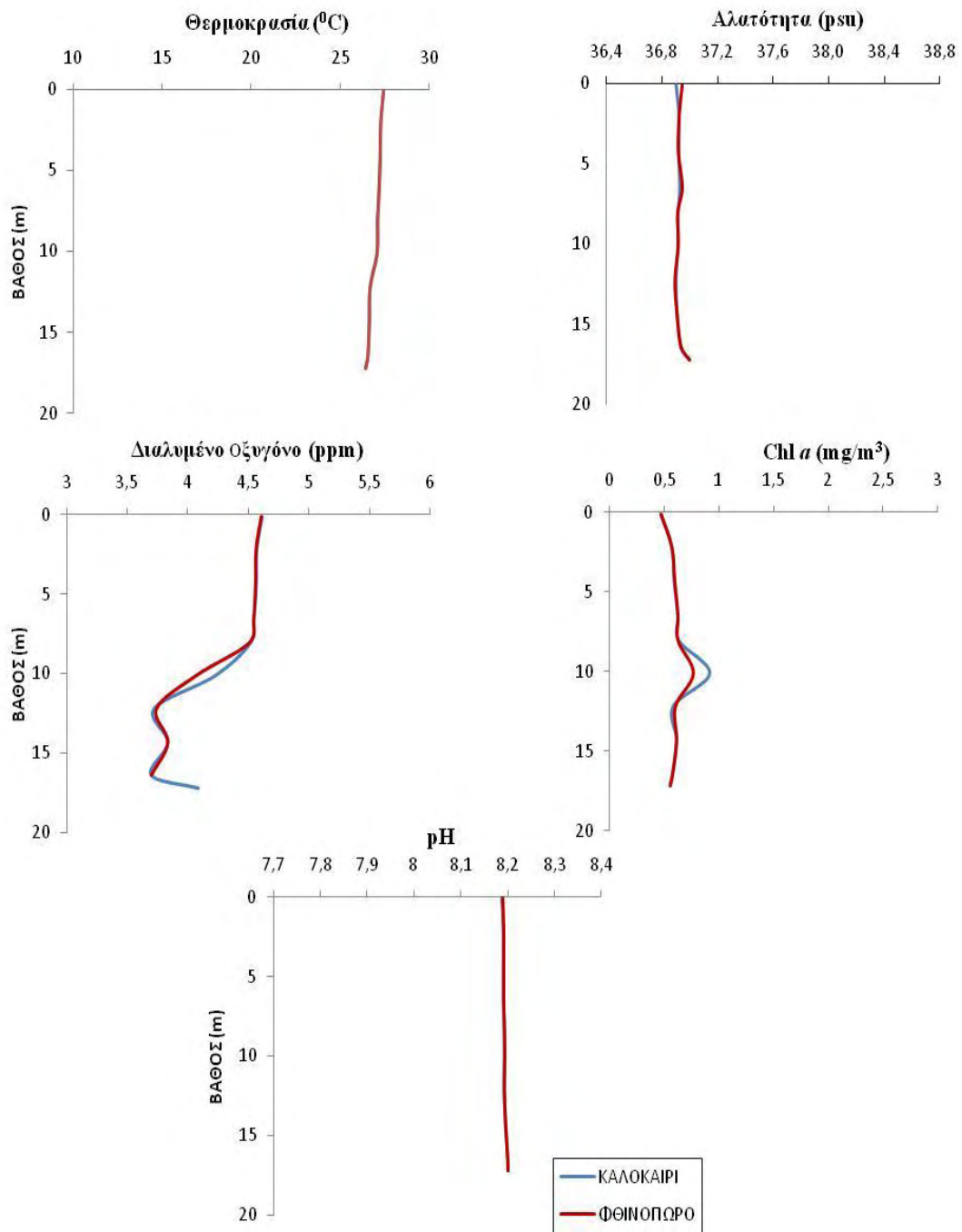
**Σχήμα 3.5:** Κατανομή φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S5.



**Σχήμα 3.6:** Κατανομή φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S6.



**Σχήμα 3.7:** Κατανομή φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S7.



**Σχήμα 3.8:** Κατανομή φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού σε συνάρτηση με το βάθος στον σταθμό S8.

3,8-4,8 ppm, στον S5 3,6-4,8 ppm, στον S6 4,8-4,9 ppm, στον S7 4,4-5,5 και στον S8 3,6-4,6 ppm (Πιν. 3.2).

Η μέγιστη τιμή της χλωροφύλλης καταγράφηκε το φθινόπωρο στον σταθμό S6, ενώ η ελάχιστη στον σταθμό S8 ( $0,47 \text{ mg/m}^3$ ) και για τις δυο εποχές. Στον σταθμό S1 οι τιμές της χλωροφύλλης  $a$  για τον μήνα Ιούλιο κυμάνθηκαν από  $0,62-1,24 \text{ mg/m}^3$ , στον S2  $0,79-1,79 \text{ mg/m}^3$ , στον S3  $1,14-2,21 \text{ mg/m}^3$ , στον S4  $1,66-2,07 \text{ mg/m}^3$ , στον S5  $1,11-1,52 \text{ mg/m}^3$ , στον S6  $0,92-2,43 \text{ mg/m}^3$ , στον S7  $0,64-1,62 \text{ mg/m}^3$  και στον S8  $0,47-0,91 \text{ mg/m}^3$  (Πιν. 3.1). Τον Οκτώβριο οι τιμές της χλωροφύλλης  $a$  στον σταθμό S1 κυμάνθηκαν από  $1,27-3,32 \text{ mg/m}^3$ , στον S2  $1,43-2,68 \text{ mg/m}^3$ , στον S3  $1,37-2,72 \text{ mg/m}^3$ , στον S4  $1,16-3,45 \text{ mg/m}^3$ , στον S5  $1,14-2,95 \text{ mg/m}^3$ , στον S6  $0,92-3,85 \text{ mg/m}^3$ , στον S7  $0,85-2,62 \text{ mg/m}^3$  και στον S8  $0,47-0,83 \text{ mg/m}^3$  (Πιν. 3.2).

Οι τιμές του pH παρουσίασαν μικρές διακυμάνσεις σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας κατά την καλοκαιρινή περίοδο και ήταν από 7,7-8,3. Η υψηλότερη τιμή εμφανίστηκε στους σταθμούς S6 και S7 (8,3), ενώ η ελάχιστη στον σταθμό S1 (Πιν. 3.1). Για τη φθινοπωρινή περίοδο οι τιμές του pH κυμάνθηκαν από 7,8-8,3. Η μέγιστη τιμή εμφανίστηκε στον S7 και η ελάχιστη στον S1 (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 8 σταθμούς δειγματοληψίας και για τις δυο εποχές δειγματοληψίας.

Οι τιμές των αμμωνιακών και στις δυο εποχές κυμάνθηκαν από  $0,010-2,922 \mu\text{M}$ . Η μέγιστη τιμή των αμμωνιακών εμφανίστηκε το καλοκαίρι στον σταθμό S3 που βρίσκεται στο κέντρο της μονάδας. Η μέγιστη τιμή των νιτρικών εμφανίστηκε το

**Πίνακας 3.3.** Συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων στη στήλη του νερού (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά, πυριτικά) στους 8 δειγματοληπτικούς σταθμούς κατά τον μήνα Ιούλιο (Μ.Ο: Μέσος όρος, Τ.Α: Τυπική απόκλιση).

μM	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
<b>NH<sub>4</sub></b>								
Εύρος	0,100-0,376	0,106-1,229	0,074-2,922	0,182-2,822	0,096-0,206	0,136-0,341	0,075-0,308	0,159-0,568
M.O ± T.A	0,265±0,117	0,753±0,453	1,136±1,240	1,097±1,494	0,154±0,055	0,216±0,081	0,175±0,089	0,395±0,211
<b>NO<sub>2</sub></b>								
Εύρος	0,178-0,201	0,150-0,174	0,076-0,206	0,059-0,078	0,050-0,074	0,052-0,096	0,035-0,054	0,048-0,059
M.O ± T.A	0,186±0,04	0,158±0,009	0,150±0,055	0,067±0,010	0,060±0,012	0,071±0,020	0,046±0,008	0,053±0,006
<b>NO<sub>3</sub></b>								
Εύρος	2,152-2,402	2,253-2,440	2,411-2,440	2,320-2,434	2,281-2,440	1,236-1,839	2,440	2,433-2,440
M.O ± T.A	2,266±0,119	2,403±0,083	2,432±0,014	2,366±0,060	2,384±0,089	1,668±0,252	2,343±0,00	2,437±0,004
<b>PO<sub>4</sub></b>								
Εύρος	0,007-0,029	0,008-0,029	0,013-0,029	0,015-0,023	0,010-0,013	0,002-0,016	0,002-0,019	0,002-0,007
M.O ± T.A	0,014±0,010	0,021±0,010	0,024±0,008	0,018±0,005	0,012±0,002	0,005±0,006	0,010±0,006	0,004±0,003
<b>SiO<sub>2</sub></b>								
Εύρος	0,598-0,960	0,516-1,715	0,399-0,981	0,502-0,793	0,197-0,988	0,468-0,858	0,193-1,059	0,014-0,983
M.O ± T.A	0,770±0,151	0,972±0,463	0,656±0,268	0,638±0,146	0,299±0,096	0,607±0,168	0,657±0,425	0,340±0,557

**Πίνακας 3.4.** Συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων στη στήλη του νερού (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά, πυριτικά) στους 8 δειγματοληπτικούς σταθμούς κατά τον Οκτώβριο (Μ.Ο: Μέσος όρος, Τ.Α: Τυπική απόκλιση).

μM	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
<b>NH<sub>4</sub></b>								
Εύρος	0,026-0,264	0,073-0,192	0,010-1,463	0,344-0,572	0,099-0,326	0,007-0,146	0,099-0,151	0,152-0,160
M.O ± T.A	0,097±0,112	0,153±0,048	0,699±0,623	0,518±0,155	0,191±0,119	0,060±0,051	0,123±0,019	0,157±0,004
<b>NO<sub>2</sub></b>								
Εύρος	0,246-0,263	0,188-0,267	0,201-0,246	0,195-0,200	0,146-0,201	0,043-0,059	0,087-0,097	0,249-0,225
M.O ± T.A	0,255±0,009	0,221±0,033	0,232±0,021	0,198±0,003	0,181±0,031	0,050±0,006	0,093±0,004	0,242±0,014
<b>NO<sub>3</sub></b>								
Εύρος	2,440	2,440	2,436-2,440	2,440	2,440	2,435-2,440	2,440	2,423-2,440
M.O ± T.A	2,440±0,000	2,440±0,000	2,439±0,002	2,440±0,000	2,440±0,000	2,439±0,002	2,440±0,000	2,434±0,010
<b>PO<sub>4</sub></b>								
Εύρος	0,020-0,046	0,048-0,058	0,012-0,022	0,025-0,045	0,019-0,043	0,006-0,013	0,003-0,008	0,006-0,010
M.O ± T.A	0,029±0,011	0,055±0,004	0,017±0,004	0,033±0,010	0,029±0,012	0,009±0,003	0,005±0,002	0,008±0,002
<b>SiO<sub>2</sub></b>								
Εύρος	0,427-0,717	0,383-1,090	0,597-0,865	0,216-0,525	0,150-0,188	0,399-1,035	0,329-0,824	0,183-0,420
M.O ± T.A	0,552±0,132	0,710±0,262	0,754±0,115	0,372±0,155	0,166±0,019	0,733±0,266	0,464±0,204	0,271±0,130



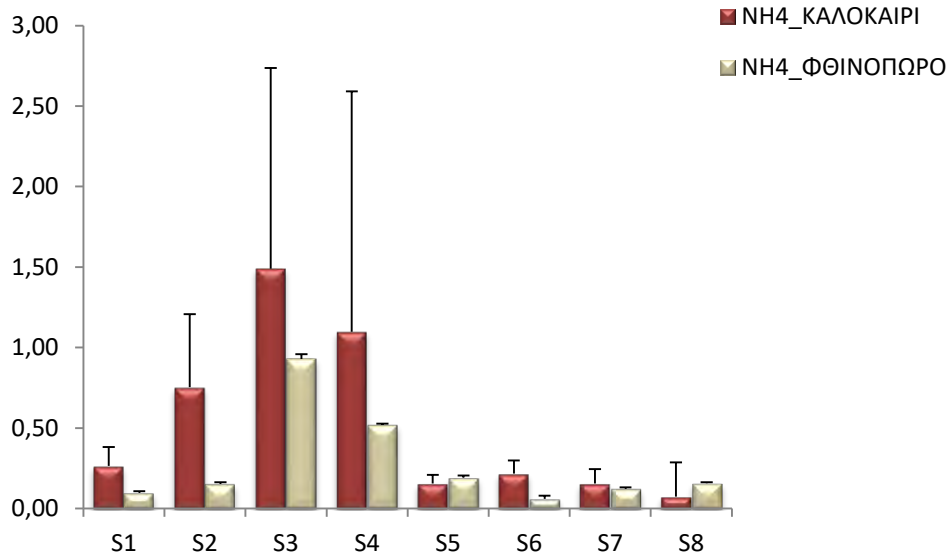
φθινόπωρο (0,267  $\mu\text{M}$ ) στον σταθμό S2, ενώ η ελάχιστη τιμή (0,035  $\mu\text{M}$ ) το καλοκαίρι στον σταθμό μάρτυρα (S1).

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών κυμάνθηκαν από 1,839-2,440  $\mu\text{M}$  το καλοκαίρι και 2,423-2,440  $\mu\text{M}$  το φθινόπωρο. Τα φωσφορικά παρέμειναν σε χαμηλές συγκεντρώσεις, με εύρος τιμών από 0,002-0,058  $\mu\text{M}$  και για τις δυο εποχές. Τέλος, οι συγκεντρώσεις των πυριτικών το καλοκαίρι κυμάνθηκαν από 0,014-1,715  $\mu\text{M}$  και το φθινόπωρο από 0,216-1,090  $\mu\text{M}$ .

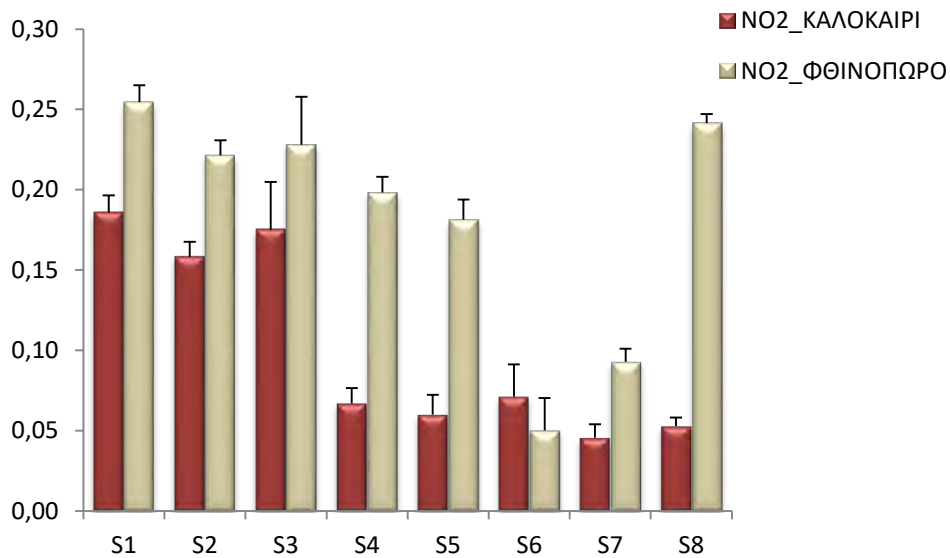
Στα Σχήματα 3.9-3.13 απεικονίζεται η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων του νερού στους 8 σταθμούς δειγματοληψίας. Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών εμφανίστηκαν αυξημένες κατά τη θερινή περίοδο σε σύγκριση με το φθινόπωρο. Η συγκέντρωση των αμμωνιακών βρέθηκε αυξημένη στους σταθμούς της κύριας εκτροφής (S2, S3, S4) και για τις δυο εποχές (Σχ. 3.9).

Η μέση τιμή των νιτρικών ήταν μεγαλύτερη τον Οκτώβριο σχεδόν σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας σε σύγκριση με τον Ιούλιο (Σχ. 3.10). Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών εμφάνισαν μικρή διακύμανση και στις δυο εποχές δειγματοληψίας (Σχ. 3.11). Τα φωσφορικά εμφανίστηκαν αυξημένα κατά τη φθινοπωρινή περίοδο σε σύγκριση με το καλοκαίρι. Η αύξηση αυτή παρατηρήθηκε κυρίως στους σταθμούς S2 & S4 για το φθινόπωρο και στους S2, S3 & S4 για το καλοκαίρι (Σχ. 3.12).

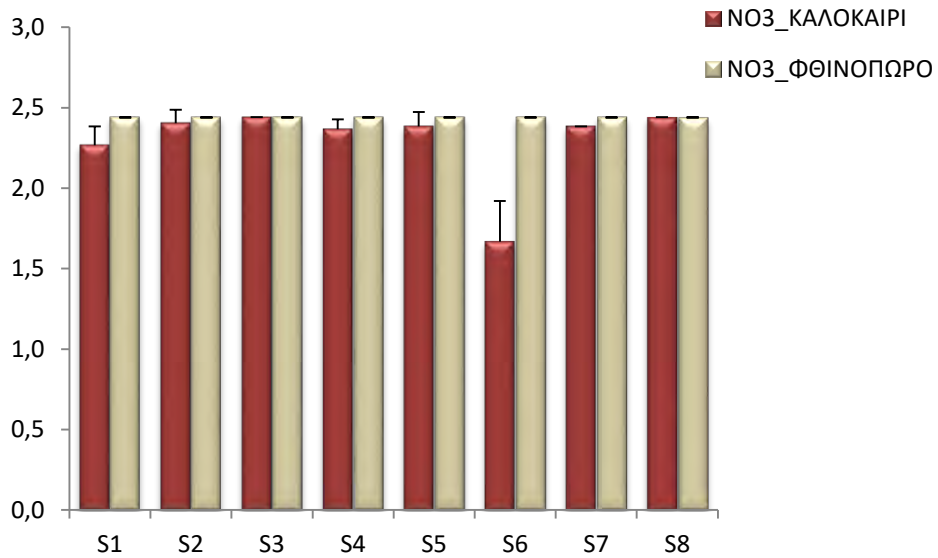
Στα Σχήματα 3.14-3.18 απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων σε κάθε βάθος (0, 5, 10, 20, 30m) για όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας και για τις δυο εποχές.



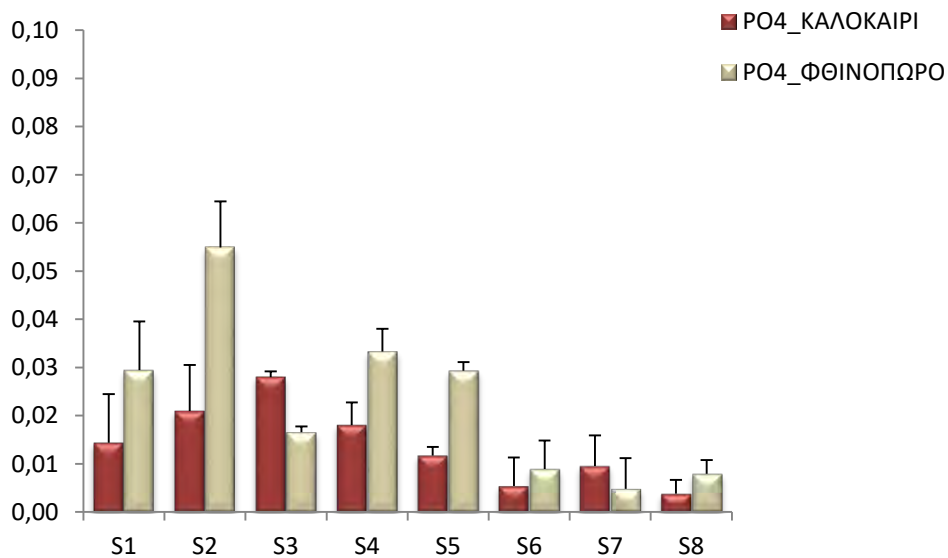
**Σχήμα 3.9:** Διάγραμμα με τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση των αμμωνιακών (μM).



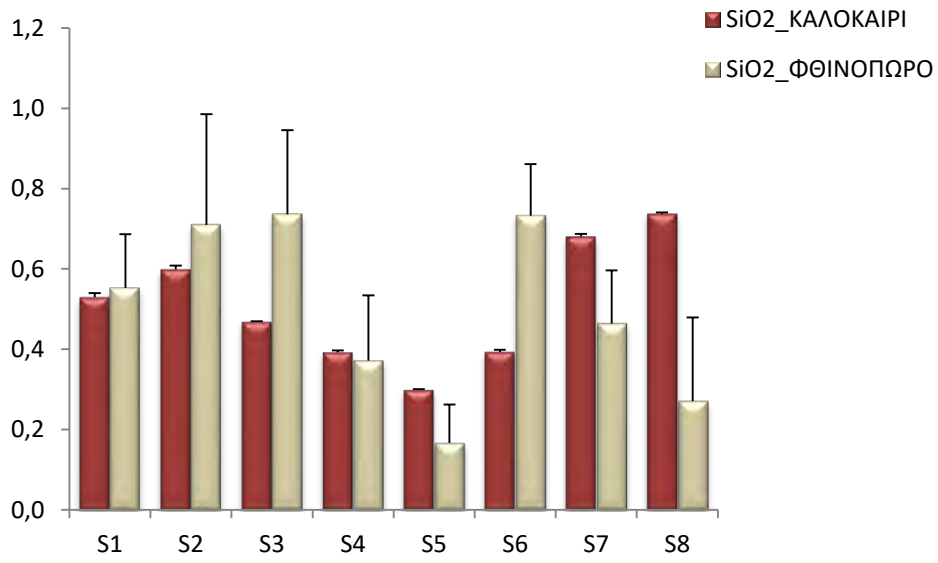
**Σχήμα 3.10:** Διάγραμμα με τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση των νιτρωδών (μM).



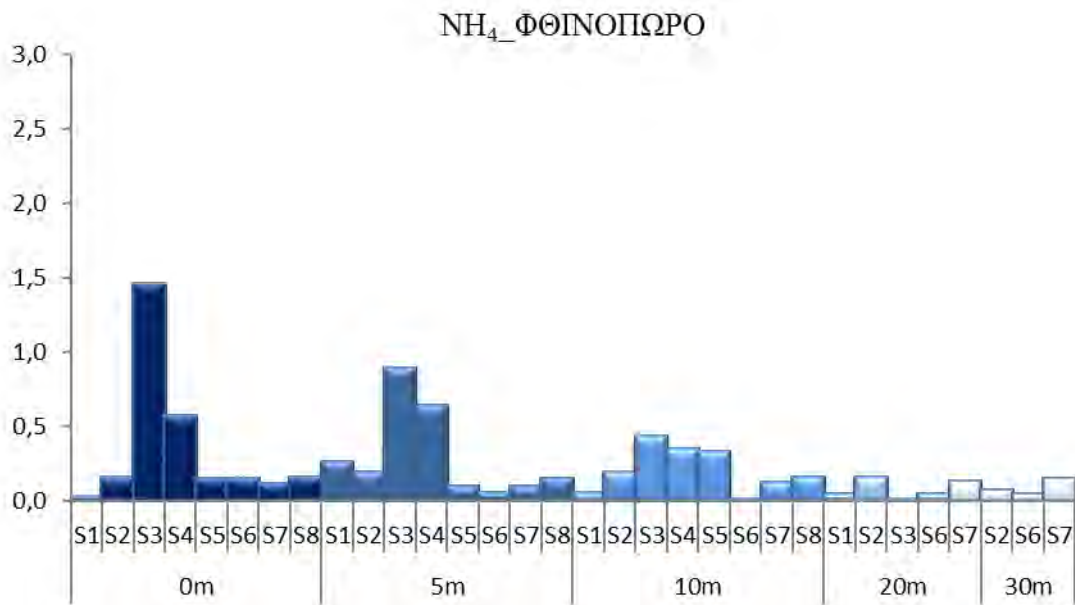
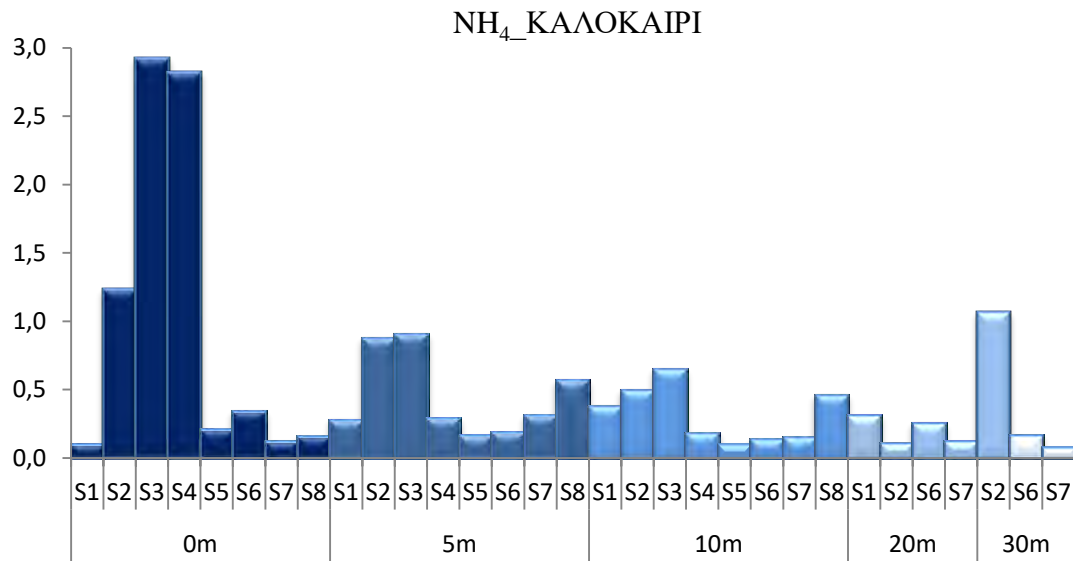
**Σχήμα 3.11:** Διάγραμμα με τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση των νιτρικών (μM).



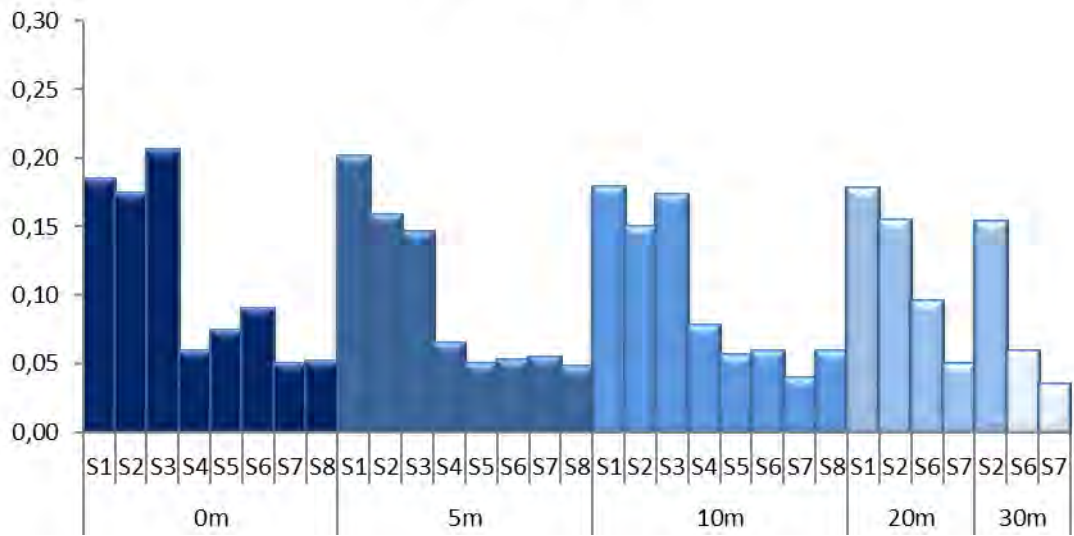
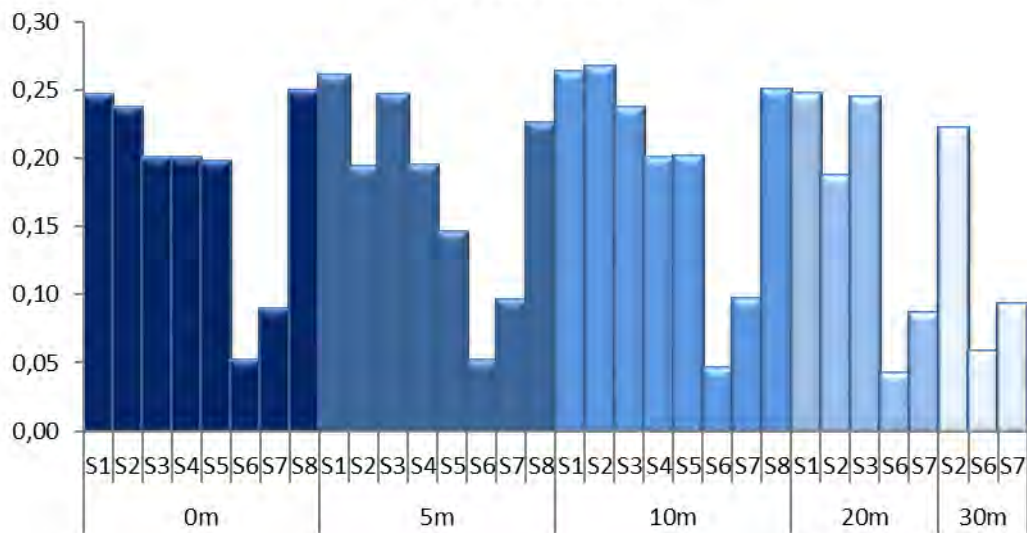
**Σχήμα 3.12:** Διάγραμμα με τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση των φωσφορικών (μM).



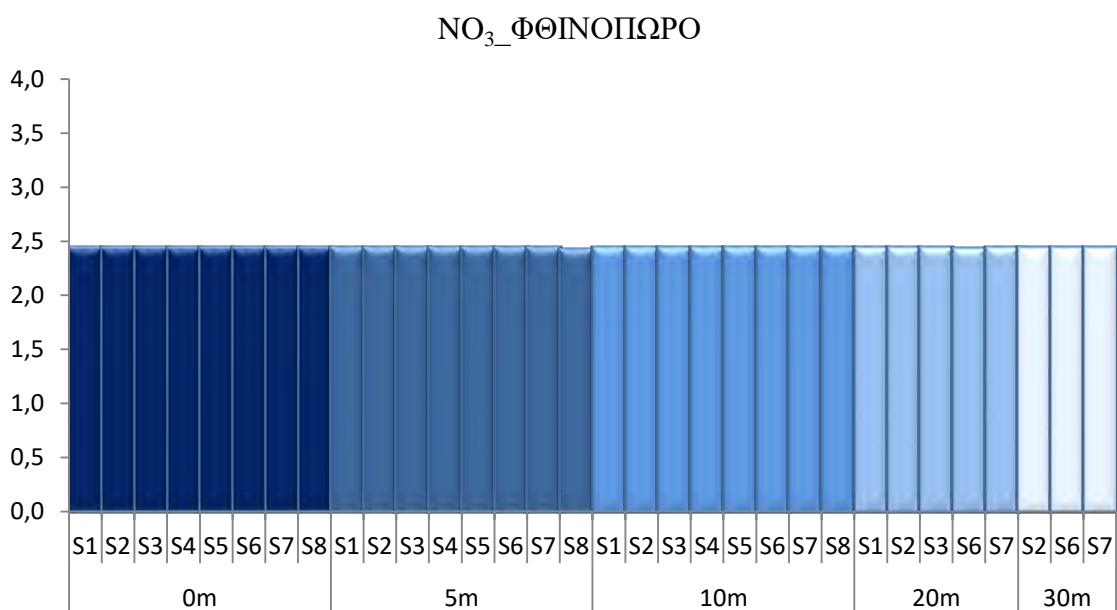
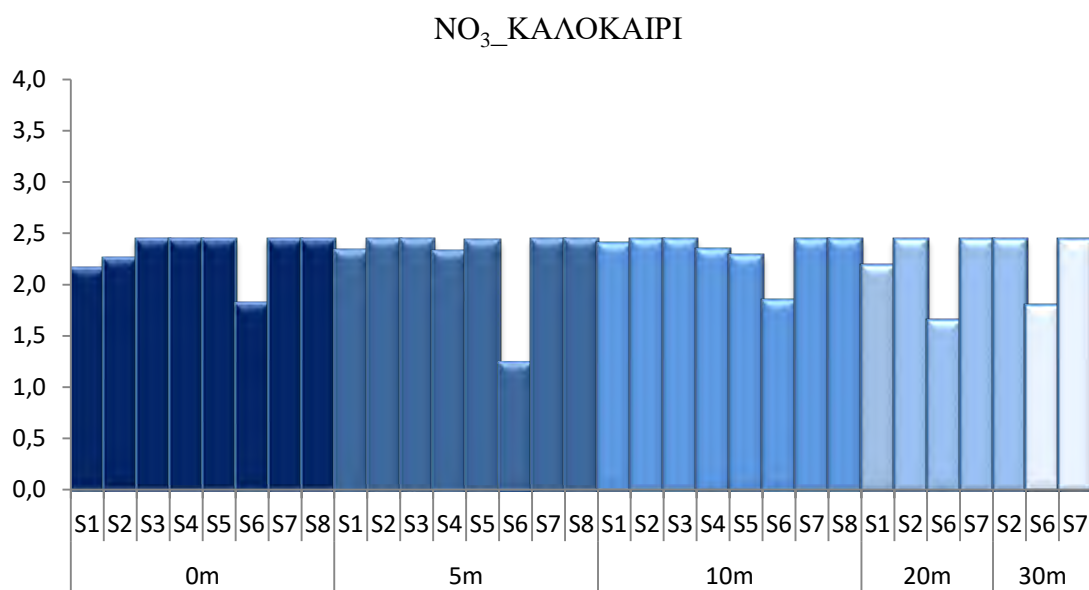
**Σχήμα 3.13:** Διάγραμμα με τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση των πυριτικών (μM).



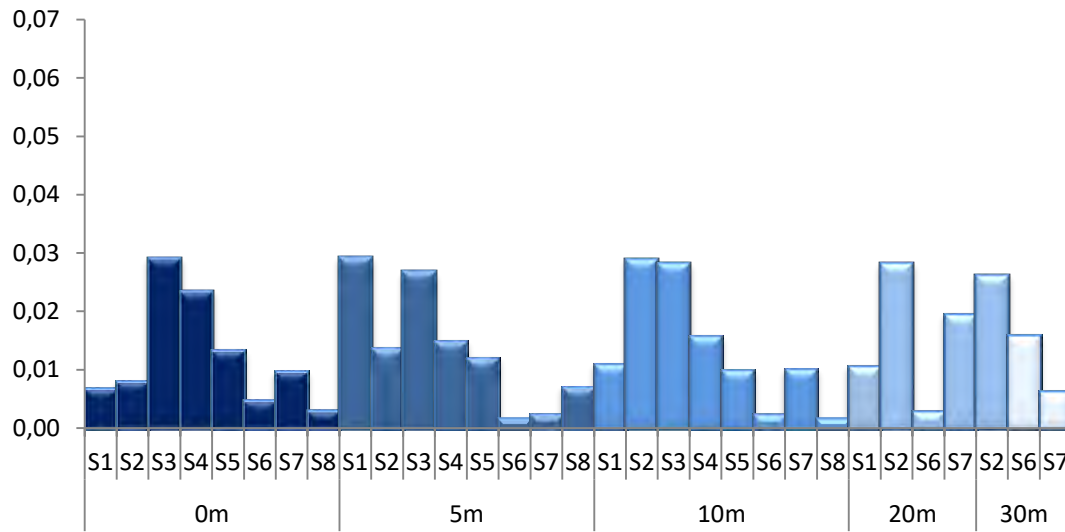
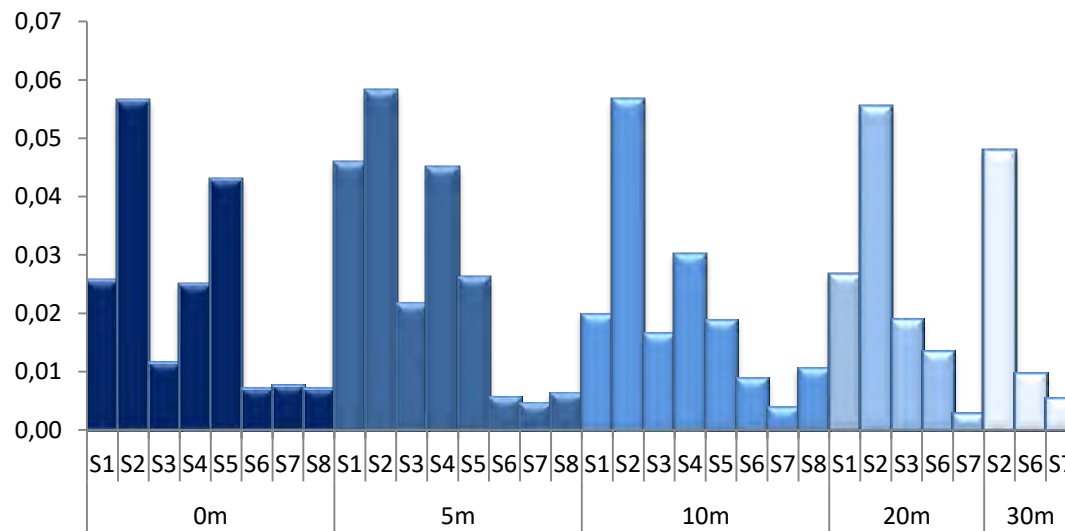
**Σχήμα 3.14:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων των αμμωνιακών ( $\mu\text{M}$ ) στα διάφορα βάθη της υδάτινης στήλης.

NO<sub>2</sub>\_ΚΑΛΟΚΑΙΡΙNO<sub>2</sub>\_ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ

**Σχήμα 3.15:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων των νιτρικών (μM) στα διάφορα βάθη της υδάτινης στήλης.

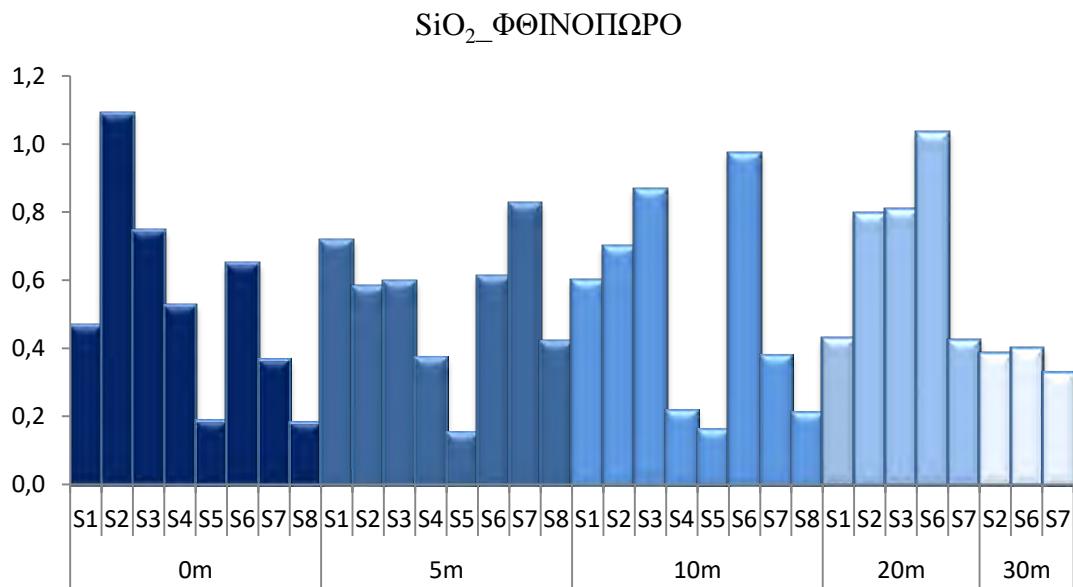
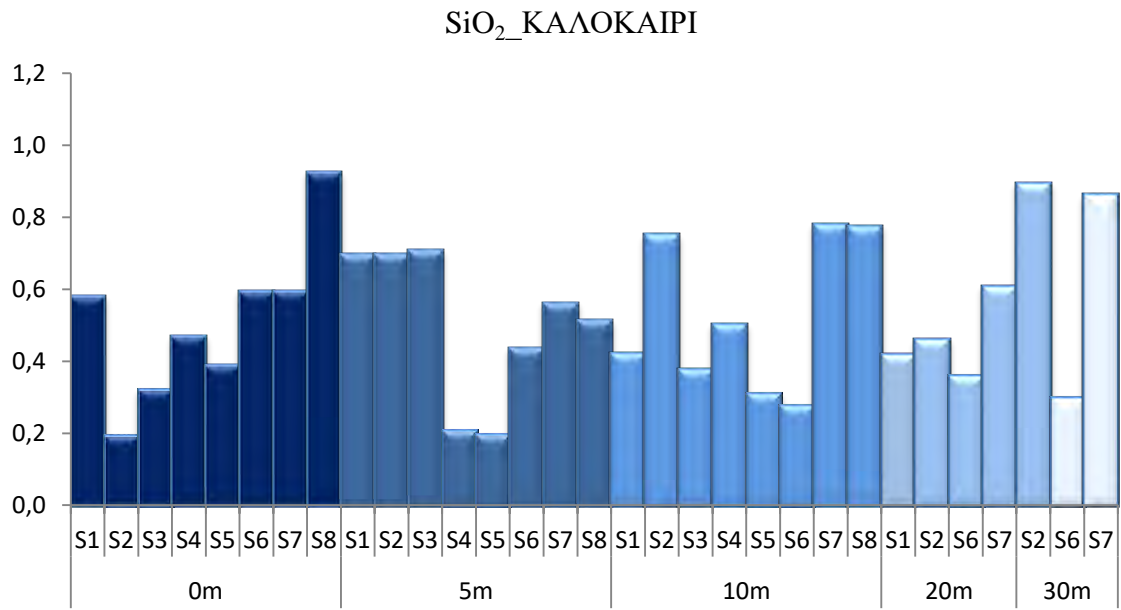


**Σχήμα 3.16:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων των νιτρικών ( $\mu\text{M}$ ) στα διάφορα βάθη της υδάτινης στήλης.

PO<sub>4</sub>\_ΚΑΛΟΚΑΙΡΙPO<sub>4</sub>\_ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ

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





**Σχήμα 3.18:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων των πυριτικών ( $\mu\text{M}$ ) στα διάφορα βάθη της υδάτινης στήλης.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των αμμωνιακών και για τις δυο εποχές εμφανίστηκαν στους κύριους σταθμούς της μονάδας στην επιφάνεια (0m), και μειώθηκαν σταδιακά με το βάθος (Σχ. 3.14).

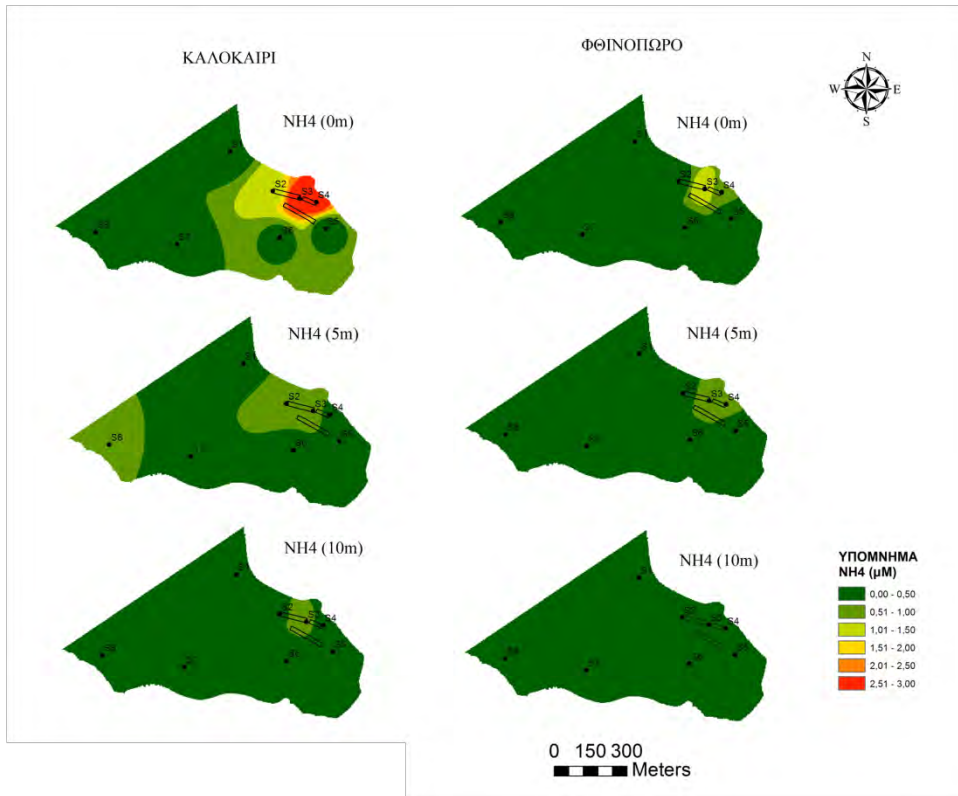
Τα νιτρώδη βρέθηκαν αυξημένα στους σταθμούς S1, S2 & S3 σε όλα τα βάθη, ενώ οι μέγιστες τιμές εμφανίστηκαν στα 0 m. Οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών μειώθηκαν με το βάθος άλλα με μικρότερο ρυθμό σε σύγκριση με τα αμμωνιακά (Σχ. 3.15). Τα νιτρικά παρουσίασαν ομοιομορφία στις συγκεντρώσεις τους σε όλα τα βάθη (Σχ. 3.16). Όσον αφορά τα φωσφορικά, μια μικρή μείωση παρατηρήθηκε μετά τα 10m βάθους, η οποία έγινε αισθητή κυρίως στα 30 m (Σχ. 3.17).

Στα παρακάτω Σχήματα 3.19-3.23 παρουσιάζονται οι κατακόρυφες κατανομές των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων του νερού στα 0, 5 και 10 m και για τις δυο εποχές.

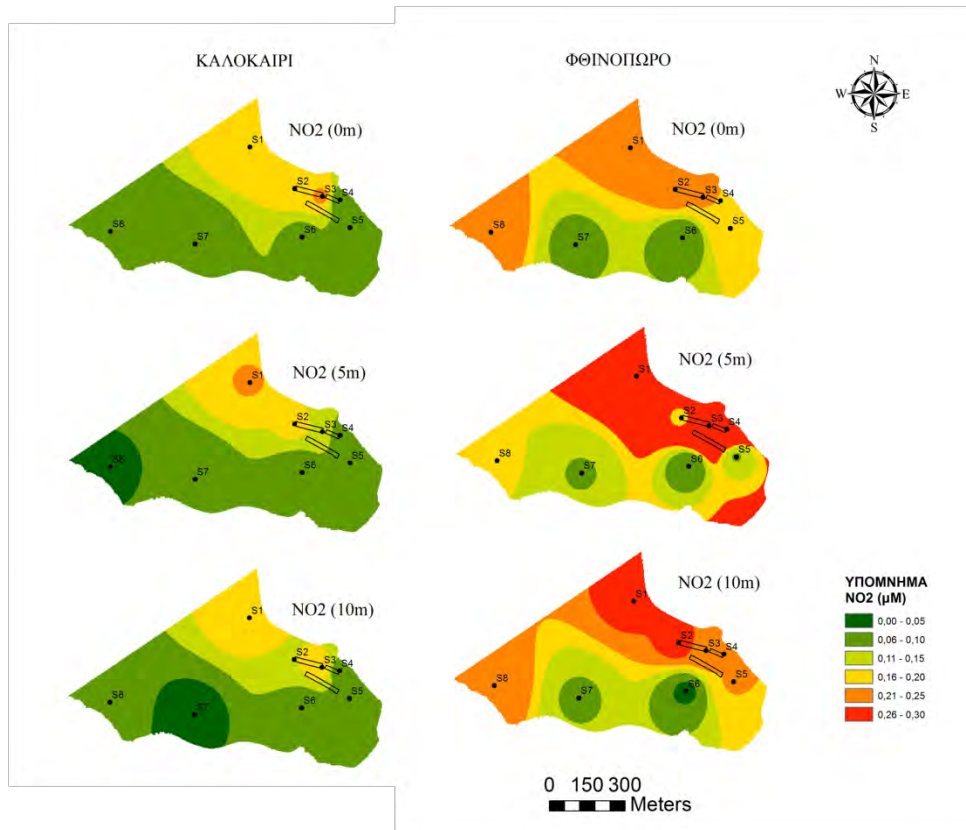
Η επίδραση των θρεπτικών αλάτων φάνηκε να είναι περιορισμένη γύρω από τους σταθμούς δειγματοληψίας όπου πραγματοποιείται η εκτροφή, εκτός από τα νιτρικά που εμφάνισαν μια ομοιόμορφη κατανομή σε όλη την περιοχή έρευνας. Τα νιτρώδη, τα φωσφορικά και τα πυριτικά εμφάνισαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις το φθινόπωρο σε σύγκριση με το καλοκαίρι. Αντίθετα τα αμμωνιακά εμφανίστηκαν αυξημένα τη θερινή περίοδο, κυρίως στο επιφανειακό στρώμα γύρω από τη συστοιχία των ιχθυοκλωβών.

### **3.3 Στατιστική επεξεργασία**

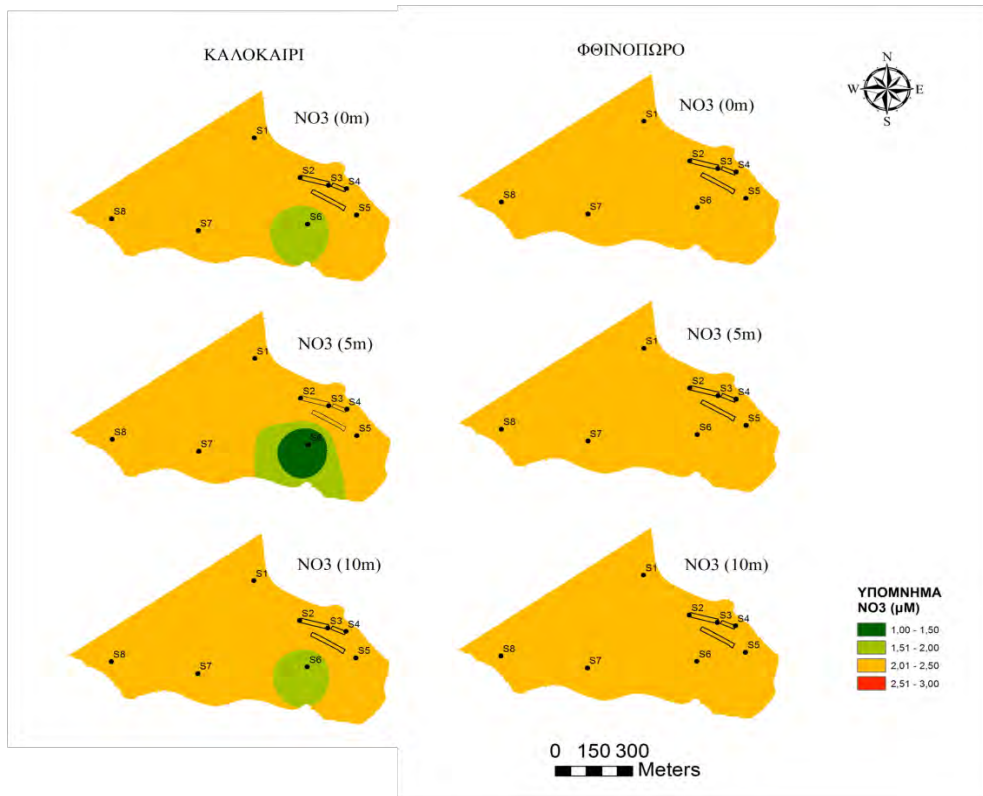
Τα αποτελέσματα από τη σύγκριση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων για τους 8 σταθμούς δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5. Η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης έδειξε σημαντικές στατιστικά διαφορές μεταξύ των σταθμών σε όλες τις παραμέτρους.



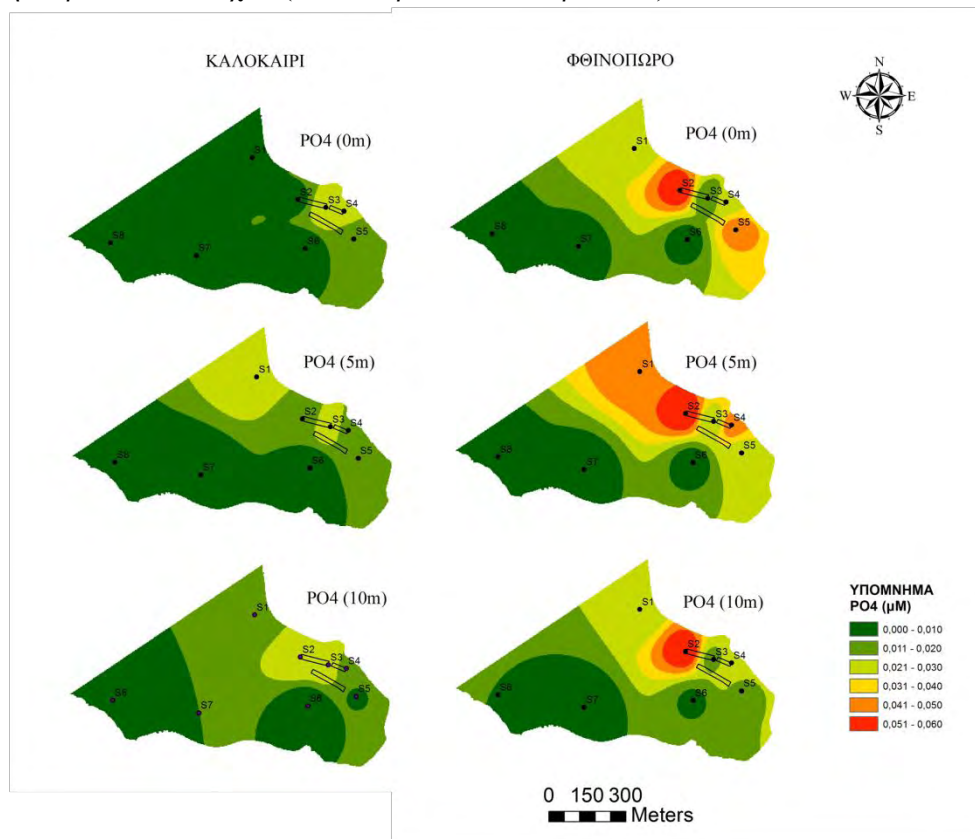
**Σχήμα 3.19:** Χάρτης κατανομής των συγκεντρώσεων των αμμωνιακών στα 0, 5 και 10 m κατά τη διάρκεια δυο εποχών (Καλοκαίρι & Φθινόπωρο 2016).



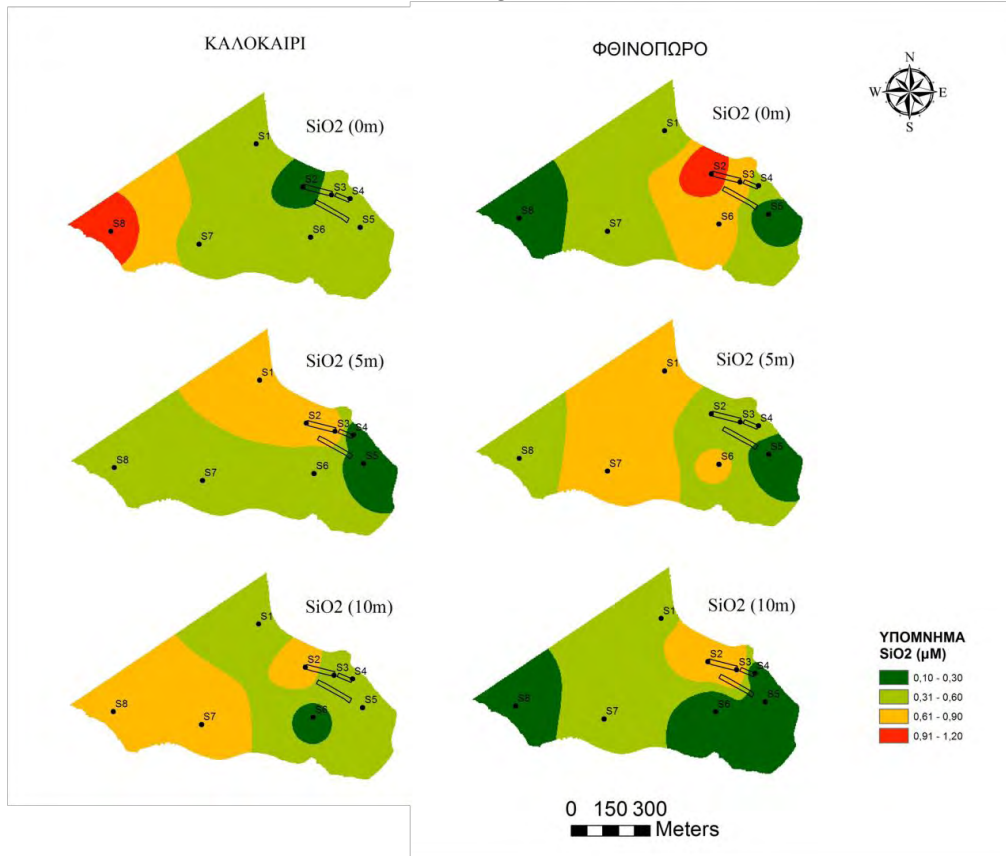
**Σχήμα 3.20:** Χάρτης κατανομής των συγκεντρώσεων των νιτρικών στα 0, 5 και 10 m κατά τη διάρκεια δυο εποχών (Καλοκαίρι & Φθινόπωρο 2016).



**Σχήμα 3.21:** Χάρτης κατανομής των συγκεντρώσεων των νιτρικών στα 0, 5 και 10 m κατά τη διάρκεια δυο εποχών (Καλοκαίρι & Φθινόπωρο 2016).



**Σχήμα 3.22:** Χάρτης κατανομής των συγκεντρώσεων των φωσφορικών στα 0, 5 και 10 m κατά τη διάρκεια δυο εποχών (Καλοκαίρι & Φθινόπωρο 2016).



**Σχήμα 3.23:** Χάρτης κατανομής των συγκεντρώσεων των πυριτικών στα 0, 5 και 10 m κατά τη διάρκεια δυο εποχών (Καλοκαίρι & Φθινόπωρο 2016).

**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 <sub>4</sub>	183	4,81	**
NO <sub>2</sub>	183	11,45	**
NO <sub>3</sub>	183	4,60	**
PO <sub>4</sub>	183	9,25	**
SiO <sub>2</sub>	183	2,68	*

\* P < 0,05, \*\* P < 0,01, ΜΣ (Μη Σημαντικό)

Οι σταθμοί δειγματοληψίας στους οποίους οφείλονται αυτές οι διαφορές σύμφωνα με το Turkey's test παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.

**Πίνακας 3.6** Στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους σταθμούς δειγματοληψίας.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S1	ΜΣ							
S2	ΜΣ	ΜΣ						
S3	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ					
S4	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ				
S5	*	*	*	ΜΣ	ΜΣ			
S6	*	*	*	*	*	ΜΣ		
S7	ΜΣ	*	*	*	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	
S8	ΜΣ	ΜΣ	*	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

\*  $P < 0,05$ , ΜΣ (Μη Σημαντικό)

Στον Πίνακα 3.7 παρουσιάζεται η σύγκριση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων για τους 8 σταθμούς δειγματοληψίας στις δυο εποχές. Η στατιστική ανάλυση General Linear Model έδειξε σημαντικές στατιστικά διαφορές ανάμεσα στις δυο εποχές για όλα τα θρεπτικά άλατα εκτός από τα πυριτικά.

**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
<b>NH<sub>4</sub></b>		183	5,28	**	6,28	*
<b>NO<sub>2</sub></b>		183	24,49	**	62,48	**
<b>NO<sub>3</sub></b>		183	5,81	**	15,09	**
<b>PO<sub>4</sub></b>		183	11,74	**	15,52	**
<b>SiO<sub>2</sub></b>		183	2,63	*	0,01	ΜΣ

\* P < 0,05, \*\* P < 0,01, ΜΣ (Μη Σημαντικό)

## 4.ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

Η θερμοκρασία του νερού επιδρά ουσιαστικά στον μεταβολικό ρυθμό και στην κατανάλωση του οξυγόνου από τα εκτρεφόμενα είδη. Για τον λόγο αυτό η θερμοκρασία αποτελεί τη βασική παράμετρο για την αξιολόγηση της καταλληλότητας ή όχι μιας περιοχής για υδατοκαλλιέργεια. Ειδικότερα, 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. Η θερμοκρασία δηλαδή αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τα εκτρεφόμενα είδη, ενώ η ηλικία, το μέγεθος, η υγιεινή κατάσταση και το γενετικό υλικό αυτών, διαφοροποιεί κάθε φορά και τα όρια βέλτιστης ανάπτυξής τους, καθώς και τα όρια της ανθεκτικότητάς τους στις μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

Τα βέλτιστα όρια για την ανάπτυξη του λαυρακιού και της τσιπούρας είναι 23-25 °C, ενώ άλλα είδη όπως τα κυπρινοειδή, που είναι θερμόφιλα, αναπτύσσονται καλύτερα σε θερμοκρασίες μεταξύ 20-26 °C. Μάλιστα τα είδη αυτά φαίνεται ότι προτιμούν περισσότερο τις υψηλότερες θερμοκρασίες νερού. Τα σολομοειδή αντίθετα που θεωρούνται ψυχρόφιλα είδη, αναπτύσσονται καλύτερα σε θερμοκρασίες μεταξύ 13-17 °C, ενώ θερμοκρασίες περιβάλλοντος γύρω στους 25 °C, τείνουν να αποτελέσουν και τα ανώτερα όρια αντοχής τους (Alabaster & Lloyd 1980, Poxton & Allouse 1982).

Οι τιμές της θερμοκρασίας εμφάνισαν την αναμενόμενη εποχιακή διακύμανση. Υψηλότερες τιμές αλλά και διακυμάνσεις από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα καταγράφονται κατά την περίοδο του καλοκαιριού, ενώ το φθινόπωρο οι τιμές της θερμοκρασίας εμφανίζουν μεγαλύτερη ομοιομορφία. Το φαινόμενο του θερμοκλινούς



εμφανίστηκε στην περιοχή έρευνας κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου. Το φαινόμενο αυτό ήταν περισσότερο εμφανές στους σταθμούς S1, S6 και S7 στα βάθη των 15-27 m (Σχ. 3.1, 3.6 & 3.7) και διαχώριζε την υδάτινη μάζα σε τρία ευδιάκριτα στρώματα. Τη φθινοπωρινή περίοδο η μάζα του νερού εμφανίστηκε ομογενοποιημένη καθ' όλο το βάθος της σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας. Το φαινόμενο του θερμοκλινούς δε φαίνεται να επηρεάζει τη λειτουργία της μονάδας εφόσον οι ιχθυοκλωβοί βρίσκονται πάνω από το διαχωριστικό επίπεδο, αφού το βάθος των διχτύων τους δεν ξεπερνά τα 10 m.

Η αλατότητα είναι ένας φυσικός παράγοντας ο οποίος έχει αποδειχθεί ότι 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 οσμορύθμιση, κ.ά). Με βάση την ανθεκτικότητα στον παράγοντα αυτό, οι οργανισμοί διακρίνονται σε ευρύαλους (μεγάλη ανοχή στις τιμές της αλατότητας) και στενόαλους (αντοχή εντός στενών ορίων).

Στα ευρύαλα ψάρια η αλατότητα παίζει σημαντικό ρόλο, γιατί χαρακτηρίζει κάθε στάδιο της ζωής τους και κυρίως τα αρχικά στάδια του νεαρού ατόμου, οπότε και οι πληθυσμοί του συγκεντρώνονται σε δέλτα ποταμών και λιμνοθάλασσες διαφορετικής αλατότητας από την ανοιχτή θάλασσα. Έρευνες σε ευρύαλα θαλασσινά ψάρια (*Mugil cephalus*, *Sparus auratus*, *Dicentrarchus labrax*, κλπ) διαπίστωσαν ότι στην πλειονότητα τους η επιβίωση και ανάπτυξη είναι άριστη σε ενδιάμεσες αλατότητες από 20-35 psu (Febry & Lutz 1987, Kelley 1988, Κονίδης 1992). Έχει γίνει σαφές (Brett 1979) ότι όταν η αλατότητα είναι ανώτερη του ισοοσμωτικού σημείου των  $10 \pm 2$  psu στα ψάρια, τότε ο οργανισμός επιβιώνει με βάση την ανθεκτικότητά του στην

αλατότητα ανεξάρτητα από το εάν είναι στενόαλος ή ευρύαλος. Σε αντίθετη περίπτωση, λαμβάνει χώρα αναστροφή του μηχανισμού ωσμωρύθμισης (Davenport & Vahl 1979). Η επιτυχία ή αποτυχία της αναστροφής αποτελεί τον κύριο λόγο θνησιμότητας κατά τη μεταβολή της αλατότητας, ακόμη και στην περίπτωση των ευρύαλων ψαριών (Κονίδης 1992).

Έχει διαπιστωθεί επίσης, ότι οι ορμόνες του θυροειδούς στα ψάρια καθορίζουν την προτίμηση του οργανισμού στο γλυκό ή στο θαλασσινό νερό ακόμη και στα μεταναστευτικά ψάρια (σολομός) σε συνδυασμό ή όχι με την προλακτίνη της υπόφυσης (Leatherland 1970, Holiday 1971). Σε μια υδατοκαλλιέργεια, η αλατότητα επιδρά στη θρέψη και στην ανάπτυξη των θαλασσινών ειδών, ενώ ορισμένα είδη του γλυκού νερού (σολομοειδή) χρειάζονται μεγάλο χρονικό διάστημα για να εγκλιματιστούν σε αυξημένες συνθήκες αλατότητας.

Από τα διαγράμματα της αλατότητας σε σχέση με το βάθος (Σχ. 3.1-3.8), παρατηρούμε ότι στα επιφανειακά στρώματα έχουμε μικρότερες τιμές αλατότητας οι οποίες αυξάνονται κοντά στον πυθμένα. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται έντονα στους σταθμούς S1, S2, S6 και S7 την περίοδο του καλοκαιριού, ενώ το φθινόπωρο η αλατότητα παρουσιάζει ομοιογένεια σε όλους τους σταθμούς με τιμές  $\approx 37$  psu. Τα παραπάνω αποτελέσματα συμφωνούν με παλαιότερες έρευνες για τον Παγασητικό κόλπο. 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 θέρος και 38 psu τον χειμώνα) σε σύγκριση με το ενδιάμεσο και το βαθύ στρώμα (38 και 38,5 οι αντίστοιχες τιμές θέρους και χειμώνα).

Το διαλυμένο οξυγόνο αποτελεί τον παράγοντα εκείνο που μπορεί να κατευθύνει ή να περιορίσει την ιχθυοτροφική αξιοποίηση μιας περιοχής. Μία εκτροφή μπορεί να περιοριστεί όταν τα επίπεδα κορεσμού του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου πέσουν κάτω από το 70%. 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 παρέμειναν σε χαμηλές τιμές, δεν ξεπέρασαν σε κανένα σταθμό δειγματοληψίας τα 5,5 ppm. Ωστόσο, οι τιμές αυτές ανταποκρίνονται στα φυσικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής μελέτης. 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).

Επίσης, η μείωση του οξυγόνου στην αρχή, στο μέσο και στο τέλος της συστοιχίας των ιχθυοκλωβών, κυρίως στα επιφανειακά στρώματα, πιθανό να οφείλεται στην αναπνοή των εκτρεφόμενων ιχθύων αλλά και στην παρεμπόδιση της ανανέωσης του νερού λόγω της βιοεπίστρωσης των διχτύων (Fitridge *et al.* 2012). Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρουν και οι Neofitou & Klaoudatos (2008) στην ίδια περιοχή έρευνας, ενώ οι Aksu & Kocatas (2007), οι οποίοι διερεύνησαν τις επιδράσεις τριών

ιχθυοτροφείων στον κόλπο της Σμύρνης, αναφέρον χαμηλότερες τιμές οξυγόνου κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών και δε βρήκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ιχθυοκλωβών και του μάρτυρα.

Ωστόσο τα επίπεδα κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου επηρεάζονται μεταξύ των άλλων, τόσο από τη θερμοκρασία, όσο και από τις συγκεντρώσεις των διαλυμένων οργανικών και ανόργανων θρεπτικών που παράγονται ή βρίσκονται στην περιοχή (Beveridge 1996, Mente *et al.* 2006). Οποσδήποτε όμως, οι υδρογραφικές συνθήκες της περιοχής, ο ρυθμός ανανέωσης των νερών, η κάθετη ανάμειξη των υδάτινων στρωμάτων και άλλοι παράγοντες είναι πιθανό να εμποδίζουν τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου στα εκτρεφόμενα είδη (Alzieu 1989). 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.

Η χλωροφύλλη *a*, στην παρούσα εργασία κυμάνθηκε από 0,47-2,95 mg/m<sup>3</sup>. Μια μικρή αύξηση παρατηρήθηκε στο κέντρο της συστοιχίας των ιχθυοκλωβών. Στον Παγασητικό Κόλπο, η μέση συγκέντρωση της chl *a* κυμαίνεται μεταξύ 0,205 και 0,748 μg/L, η οποία 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 μg/L chl *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*. Ωστόσο, επισημαίνουν

ότι η χλωροφύλλη ήταν αυξημένη στην επιφάνεια σε σύγκριση με τα βαθύτερα στρώματα σε όλους τους σταθμούς, κάτι που δεν παρατηρήθηκε στην παρούσα έρευνα.

Στην ανατολική Μεσόγειο, οι Pitta *et al.* (2005), ερεύνησαν περιοχές κοντά (2-3 ναυτικά μίλια) και μακριά από (20 ναυτικά μίλια) 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 αναφέραν 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 το καλοκαίρι σε σύγκριση με το φθινόπωρο στους σταθμούς S2 & S3.

Η ενεργός οξύτητα στο νερό εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα, τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα, του οξυγόνου, διαφόρων αλάτων και άλλων ενώσεων και ουσιών. Τα περισσότερα από τα εκτρεφόμενα είδη προτιμούν συνθήκες pH γύρω στο 6-8 (Petit 1989), 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.

Το pH δεν παρουσίασε μεγάλες διακυμάνσεις. Οι τιμές του κυμάνθηκαν εντός των ορίων σύμφωνα με τον Boyd (1981), ο οποίος αναφέρει ότι το άριστο όριο διαβίωσης για διάφορους οργανισμούς είναι ανάμεσα στο 6,5-9. Το pH αποτελεί μια σημαντική παράμετρο για τις υδατοκαλλιέργειες, γιατί αυξάνει την τοξική δράση της

αμμωνίας, αλλά και την τοξικότητα πολλών μετάλλων, πολλά από τα οποία είναι ακίνδυνα σε αλκαλικό περιβάλλον.

#### 4.2 Θρεπτικά άλατα

Οι παράκτιες υδατοκαλλιέργειες, και ιδιαίτερα οι ιχθυοκαλλιέργειες, παράγουν απόβλητα που χαρακτηρίζονται από μεγάλο ποσοστό N και P σε διαλυμένη μορφή μέσα στη στήλη του νερού (La Rosa *et al.* 2002). Το άζωτο στα υδάτινα οικοσυστήματα εμφανίζεται σε διάφορες μορφές όπως  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , ελεύθερο αέριο ( $\text{N}_2$ ) και οργανικές ενώσεις όπως τα αμινοξέα και τις πρωτεΐνες (Κλαουδάτος 2005).

Οι Pitta *et al.* (1999), αναφέρουν ότι οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στην περιοχή των ιχθυοκλωβών μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερες εάν οι δειγματοληψίες πραγματοποιηθούν κατά τις πρώτες μεσημεριανές ώρες και μετά την προσφορά τροφής στα εκτρεφόμενα ψάρια. Με το γεγονός αυτό συμφωνούν και τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, αφού οι δειγματοληψίες μας πραγματοποιήθηκαν από τις 10:00-15:00 και οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στις περιοχές των ιχθυοκλωβών ήταν σημαντικά υψηλότερες σε σχέση με αυτές που καταγράφηκαν στους υπόλοιπους σταθμούς. Ίσως αυτό να οφείλεται όχι μόνο στην προσφορά τροφής στα εκτρεφόμενα ψάρια αλλά και στην μείωση του ρυθμού ανανέωσης του νερού στους σταθμούς των ιχθυοκλωβών. Το γεγονός αυτό παρατηρήθηκε από την Inoue (1972), όπου μέσα στην περιοχή των ιχθυοκλωβών εντόπισε περιορισμό της κίνησης του νερού λόγω της φυσικής παρεμπόδισης της κίνησής του από τα δίχτυα και τους οργανισμούς που αναπτύσσονται πάνω σε αυτά. 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 διχτύων 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. Αυτό συμβαίνει και στη δική μας περίπτωση και εξηγεί την αύξηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στην περιοχή εγκατάστασης της συστοιχίας των ιχθυοκλωβών.

Παρ'όλα 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. Στη δική μας έρευνα οι συγκεντρώσεις αυτές δεν ξεπέρασαν τα 0,219 mg/ℓ και τα 0,0027 mg/ℓ, αντίστοιχα. 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 φωσφόρος είναι το 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).

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 όλα τα 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 επίσης σε αλκαλικά ή 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 το καλοκαίρι σε σύγκριση με το φθινόπωρο. Οι τιμές των αμμωνιακών κυμάνθηκαν από 0,010-2,922  $\mu\text{M}$  το καλοκαίρι και από 0,007-1,463  $\mu\text{M}$  το φθινόπωρο. Το γεγονός ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των αμμωνιακών βρέθηκαν κατά τη θερινή περίοδο μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη θερμοκρασία του νερού αλλά και στην εντατικοποίηση της εκτροφής, προκαλώντας έτσι σημαντικά υψηλότερη προσφορά τροφής στους ιχθυοκλωβούς και κατά συνέπεια μεγαλύτερες απώλειες των διαλυμένων ουσιών στο περιβάλλον (Pitta *et al.* 2005). Η μέγιστη τιμή των αμμωνιακών στην παρούσα έρευνα και για τις δυο εποχές βρέθηκε στον σταθμό S3, ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο της εκτροφής. 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 & Kliaoudatos (2008), οι οποίοι ερευνήσαν τις χωρικές και χρονικές επιδράσεις των θρεπτικών αλάτων στην ίδια περιοχή. Επίσης, οι Mantzavrakos *et al.* (2007), σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στον Αργολικό κόλπο, παρατήρησαν ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των αμμωνιακών εμφανίστηκαν την καλοκαιρινή περίοδο 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. Σε μια εκτροφή τσιπούρας και λαυρακιού στην Αδριατική οι Matijevic *et al.* (2009), αναφέραν ελαφρώς αυξημένες συγκεντρώσεις αζώτου σε σύγκριση με τον σταθμό αναφοράς, αλλά μόνο στα επιφανειακά ύδατα, ενώ οι Schembri *et al.* (2002), δε βρήκαν σημαντικές αλλαγές στην ποιότητα των υδάτων, σε μια μονάδα πάχυνσης τόνου στη Μάλτα.

Τα νιτρώδη στην παρούσα έρευνα παρέμειναν σε χαμηλές συγκεντρώσεις 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 440/86, 1986).

Τα νιτρικά αποτελούν μια πιο σταθερή μορφή του αζώτου και είναι ακόμη λιγότερο τοξικά για τους υδρόβιους οργανισμούς (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010). Τα νιτρικά στην παρούσα έρευνα κυμάνθηκαν από 1,236-2,440 μM. Παρόμοιες τιμές νιτρικών μέτρησαν και οι Aksu *et al.* (2010) στο ανατολικό Αιγαίο.

Αύξηση των φωσφορικών παρατηρήθηκε στην παρούσα έρευνα κυρίως στους σταθμούς όπου πραγματοποιείται η εκτροφή. 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 άλλοι ερευνητές (Neofitou & Kliaoudatos 2008). 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), επισημαίνουν 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.* (1998), 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.

Τα πυριτικά στην παρούσα έρευνα δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές όσον αφορά την εποχή. Οι τιμές τους βρέθηκαν ιδιαίτερα χαμηλές σε σύγκριση με άλλες έρευνες (Pitta *et al.* 2005, Neofitou & Kliaoudatos 2008). 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 (1,090  $\mu\text{M}$ ) βρέθηκε στον S2 στην επιφάνεια κάτι που έρχεται σε αντίθεση με προηγούμενη έρευνα στην ίδια περιοχή μελέτης από τους Neofitou & Kliaoudatos (2008), οι οποίοι αναφέρουν ότι η μέγιστη τιμή των πυριτικών ήταν 4,89  $\mu\text{M}$  σχεδόν 4,5 φορές μεγαλύτερη από τη παρούσα έρευνα 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. Το φαινόμενο του θερμοκλινούς το οποίο εμφανίστηκε κυρίως κατά την καλοκαιρινή περίοδο, δε φαίνεται να επηρεάζει τη λειτουργία της εκτροφής αφού σε κάθε περίπτωση οι ιχθυοκλωβοί της βρίσκονται μέσα στο ανώτερο από τα τρία υδάτινα στρώματα που δημιουργούνται εφ' όσον το βάθος των διχτυών τους δεν ξεπερνά τα 10 m.
- Οι τιμές του **pH** κυμανθήκαν εντός των επιτρεπτών ορίων για την ανεμπόδιστη εκτροφή των ψαριών, οι οποίες σε φυσιολογικές συνθήκες είναι μεταξύ 6,5 και 9,0.
- Η **χλωροφύλλη α** δε φαίνεται να επηρεάστηκε από τη λειτουργία της εκτροφής, λόγω του ολιγοτροφικού χαρακτήρα της περιοχής και της ταχείας αφομοίωσης των θρεπτικών από τους οργανισμούς.
- Η στατιστική επεξεργασία των συγκεντρώσεων των θρεπτικών και για τις δυο εποχές έδειξε σημαντικές διαφορές για όλα τα στοιχεία, εκτός από τα πυριτικά.
- Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις **θρεπτικών** εμφανίστηκαν στους σταθμούς S2, S3 και S4 που βρίσκονται στα άκρα και στο κέντρο της μονάδας, κυρίως στα επιφανειακά στρώματα και παρατηρήθηκε μία σημαντική σταδιακή μείωση όσο απομακρυνόμαστε από αυτούς.
- 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 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Ackefors H.**, Enell M. (1990) Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas. *Am bio*, 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.
- Alabaster J.S.**, Lloyd R. (1980) Water quality criteria for freshwater fish. Butterworths for FAO, London 279.
- Alzieu C.** (1989) Water - the medium of culture. In: *Aquaculture* (Ed. G. Gilbert), Ellis Florwood Ltd., 2nd edition, 1:37-62.
- Antonello J.**, Massault C., Franch R., Haley C., Pellizzari C., Bovo G., Patarnello T., Koning D.J., Bargelloni L. (2009) Estimates of heritability and genetic correlation for body length and resistance to fish pasteurellosis in the gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture*, 298:29–35.
- APHA A.**, WPCF (1980) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association.
- 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.
- Bostock J.**, McAndrew B., Richards R., Jauncey K., Telfer T., Lorenzen K., Corner R. (2010) Aquaculture: global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*, 365:2897–2912.
- Boyd C.E.** (1981) Water quality in warmwater fish ponds. Agricultural Experiment Station, Auburn University, 359.
- 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. *Mar. Ecol.-Prog.*, 1:101-107.
- Davies I.M.** (2000) Waste production by farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Scotland. ICES, CM, 2000/0:01.
- Davies I.M.**, Slaski R.J. (2002) Waste production by farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). Report FRS, Aberdeen, UK.
- Dewarumez J.M.**, Davoult D., Frontier S. (1991) Examples of responses of benthic communities to environmental stress (Dover Strait, France). *Oceanologica Acta*, 11:191-196.
- 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. Cas. Options 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.
- Dupont-Nivet M.**, Vandeputte M., Vergnet A., Merdy O., Haffray P., Chavanne H., Chatain B. (2008) Heritabilities and GxE interactions for growth in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) using a marker-based pedigree. *Aquaculture*, 275:81–87.
- 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. *Wat. Sci. Technol*, 31:61-71.
- Eumofa** (2016) The Eu Fish Market 2016 Edition.

- FAO** (2007) Food and Agricultural Organization. The role of aquaculture in sustainable development. Rome, Italy, 10.
- FAO** (2010) Food and Agricultural Organization National Aquaculture Sector Overview. Greece. National Aquaculture Sector Overview Fact Sheets. Text by Christofilogiannis, P. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome.
- Febry R., Lutz P.** (1987) Energy partitioning in fish: activity related cost of osmoregulation in a euryhaline cichlid. *J. exp. Biol.*, 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. *J. Env. Management*, 40:173-182.
- Friligos N.** (1987) Eutrophication assessment in Greek coastal waters. *Toxic. Env. Chem.*, 15:185-196.
- Friligos N.** (1988) Nutrient enrichment and circulation of water masses in the Pagassitikos Gulf (Aegean Sea). *Oceanol. Acta*. In: *Oceanographie pelagique mediterraneene*, 111-122.
- Gabrielides G.P., Theocharis A.C.** (1978) Physical and chemical characteristics of Pagassitikos Gulf, Greece. *Thalas.*, 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.,** Anderson L.G., Holby O., Kollberg S., Samuelsson M.O. (1990) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 89:81-91.
- 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.
- Halwart M.,** Soto D., Arthur J. R. (2007) Cage aquaculture Regional reviews and global overview. *FAO Fisheries Technical Paper* (Vol. 498).
- Holby O.,** Hall P.O.J. (1991) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Mar. Ecol. Prog.Ser.*, 70:263-272.
- Holliday F.G.T.** (1971) Salinity-Animals-Fishes. In: *Fish Physiology*. Academic Press: New York, 293-311.
- Holmer M.,** Marba N., Terrados J., Duarte C.M., Fortes M.D. (2002) Impacts of milkfish (*Chanos chanos*) aquaculture on carbon and nutrient fluxes in the Bolinao area, Philippines. *Marine Pollution Bulletin*, 44:685-696.
- Inone H.** (1972) On water exchange in a net cage stocked with the fish hamachi. *Bull. Jap. Soc. Fish.*, 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.,** Tsapakis M., Hatziyanni E., Papadopoulou K.N., Plaiti W. (2000) Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas. *ICES J. Mar. Sci.*, 57:1462-1471.
- Karakassis I.,** Tsapakis M., Hatziyanni E., Pitta P. (2001) Diel variation of nutrients and chlorophyll in sea bream and sea bass cages in the Mediterranean. *Fres. Env. Bull.*, 10:278-283.
- 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.



- Kelley D.F.** (1988) The importance of estuaries for sea bass *Dicentrarchus labrax* (L.). *J. Fish Biol.*, 33:25-33.
- Kesary K.**, Panagiotidis P., Pancucci-Papadopoulou M. (2002) Environmental planning in Pagassitikos Gulf and the potential relationship with mucilage events. *Proc. Of the VI Inter. Conf. Prot. Rest. Env.*, 395-402.
- Klaoudatos S.**, Conides A., Chatziefstathiou M. (1996) Environmental impact Assessment studies in floating cage culture systems in Greece. «Partnership in Coastal Zone Management». (Eds. J. Taussik and J. Mitchell), Samara Publishing Ltd, Cardigan, 9:525-533.
- Klaoudatos S.D.** (2002) Environmental impact of aquaculture in Greece. Practical experiences. *Cahier Options Mediterrannes «Environmental impact assessment of Mediterranean aquaculture farms»*, 55:109-127.
- Klaoudatos S.D.**, Klaoudatos D.S., Smith J., Bogdanos K., Papageorgiou E. (2006) Assessment of site specific benthic impact of floating cage farming in the eastern Hios island, Eastern Aegean Sea, Greece. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 338:96-111.
- Koliou-Mitsou A.** (2000) Development of an integrated policy for the sustainable management of Pagasitikos Gulf. Nutrients, Public Company of Water Resources, Magnisia, Volos.
- Koutsoubas D.**, Arvanitidis C., Dounas C., Drummond L. (2000) Community structure and dynamics of the Molluscan fauna in a Mediterranean lagoon (Gialova lagoon, SW Greece). *Belgian Journal of Zoology*, 130:135–142.
- Krom M.D.**, Porter C., Gordin H. (1985) Nutrient budget of a marine fish pond in Eilat, Israel. *Aquaculture*, 51:65-80.
- 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. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 118:25-36.
- 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 form (*Trachurus*) of the three spined stickleback, *Gasterosteus aculatus* L.1. Rostral pars distalis. *Z. Zellforsch, mikrosk. Ant.*, 104:301-317.
- Lupatsch I.**, Kissil G.W. (1998) Predicting aquaculture waste from gilthead seabream *Sparus aurata* culture using a nutritional approach. *Aquat. Living Res.*, 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, 250pp.
- 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.
- Mente E.**, Pierce G. J., Santos M. B., Neofitou C. (2006) Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquacult. Int.*, 14:499-522.
- Michler-Cieluch T.**, Kodeih S. (2008) Mussel and seaweed cultivation in offshore wind farms: an opinion survey. *Coastal Management*, 36:392–411.
- Morrisey D.J.**, Gibbs M.M., Pickmere S.E., Cole R.G. (2000) Predicting impacts and recovery of marine-farm sites in Stewart Island, New Zealand, from the Findlay-Watling model. *Aquaculture*, 185:257-271.
- 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.
- Navarro A.**, Zamorano M.J., Hildebrandt S., Gines R., Aguilera C., Afonso J.M. (2009) Estimates of heritabilities and genetic correlations for growth and carcass traits in gilthead seabream (*Sparus auratus* L.), under industrial conditions. *Aquaculture*, 289:225–230.
- 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.
- Nielsen R.**, Guillen J., Carvalho N. (2016) Reports of the Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF) Economic Report of EU aquaculture sector, (October).
- 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.

- Nordvang 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 T.H.**, Rosenberg R. (1978) Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 16:229–311.
- 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.
- 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.**, Karakassis I., Tsapakis M., Zivanovic S. (1998) Natural vs. mariculture induced variability in nutrients and plankton in the Eastern Mediterranean. *Hydrobiologia*, 391:179–192.
- Pitta P.**, Karakassis I., Tsapakis M., Zivanovic S. (1999) Natural vs. mariculture induced variability in nutrients and plankton in the eastern Mediterranean. *Hydrobiol.*, 391:181-194.
- 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.
- Pittenger R.**, Anderson B., Benetti D.D., Dayton P., Dewey B., Goldberg 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 guilt-head seabream (*Sparus aurata*) and its effect on water quality conditions. *Aquaculture*, 66:287-297.
- Poxton M.G.**, Allouse S.B. (1982) Water quality criteria for marine fisheries. *Aquaculture Engineering*, 1:153-191.
- 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. *J. Wat. Pollut. Cont. Fed.*, 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.
- Serpa D.**, Duarte P. (2008) Impacts of Aquaculture and Mitigation Measures. *Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology*, 1-20.
- 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. *Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 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.

- Theocharis A.**, Laskaratos A. (1985) Water type formation and spreading in Pagassitikos Gulf (NW Aegean). *Rapp. Comm. Int. Mer. Medit.*, 3:37-38.
- Thorland I.**, Papaioannou N., Kottaras L., Refstie T., Papasolomontos S., Rye M. (2006) Family base selection for production traits in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in Greece. In: *Book of Abstracts, IAGA IX International Symposium on Genetics in Aquaculture*, Montpellier, France 26–30.
- Thusty 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 440/86** (1986) Quality criteria for water 1986. United States Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards Washington, DC 20460, 477.
- 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. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50:303-311.
- Wildish D.J.**, Hargrave B.T., Pohle G. (2001) Cost-effective monitoring of organic enrichment resulting from salmon mariculture. *Mar. Sci.*, 58:469-476.
- 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.

## 6.2 Ελληνική βιβλιογραφία

- Καστρίτης Α.** (2007) Κύκλοι αζώτου και φωσφόρου στο παράκτιο σύστημα του Μαλιακού κόλπου. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ),σελ. 29.
- Κλαουδάτος Κ.**, Κλαουδάτος Δ. (2010) Κατασκευές υδατοκαλλιεργητικών συστημάτων Θαλάσσιες – Λιμνοθαλάσσιες – Χερσαίες. *Παραπομπός*, 26-58.
- Κολιού – Μήτσιου Α.** (1991) Αναγνώριση, εκτίμηση και αντιμετώπιση των πηγών ρύπανσης του Παγασητικού κόλπου. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας 544-553.
- Κονίδης Α.** (1992) Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη των ιχθυδίων της τσιπούρας *Sparus aurata*, καλλιεργούμενων υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Αθηνών.

- Μήτσιος Ι.Κ.,** Γάτσιος Φ.Α., Σαραντόπουλος Δ.Α. (2000) Προσεγγίσεις στην εκτίμηση της ρύπανσης των ρεμάτων του Νομού Μαγνησίας από γεωργικές και άλλες δραστηριότητες. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 553-560.
- 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** (2016) (Σύνδεσμος Ελληνικών Θαλασσοκαλλιέργειών): Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια, 1-72.
- Χοχτούλας Ν.** (2008) Περιβάλλον και υδατοκαλλιέργειες. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 17.

### 6.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

- [www.weforum.org](http://www.weforum.org)

## ABSTRACT

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

Samplings took place in the region of Milina in Pagasitikos Gulf where the fish farm "Aquatic Aquaculture Ltd." is operating. Overall eight sampling stations were chosen. At each station the physicochemical characteristics of the water column (temperature, salinity, dissolved oxygen, chlorophyll  $\alpha$ , pH) were measured and seasonal water samples were taken from various depths (0, 5, 10, 20, 30 m) in order to analyze nutrients (ammonia, nitrites, nitrates, phosphates and silicates).

The results showed that the physicochemical characteristics of the sampling stations showed the expected seasonal variation. The nutrients showed an increase in their concentrations at the stations near the fish farm, mainly in the surface layers of the water column.

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 silicates (GLM).

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

**Keywords:** *aquaculture, environmental impacts, nutrients, eutrophication, Pagasitikos Gulf*