

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

**ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**« Έλεγχος ποιότητας νερού σε περιοχές του Παγασητικού κόλπου »**

**Τασιόπουλος Βασίλειος**

**ΒΟΛΟΣ 2018**

**« Έλεγχος ποιότητας νερού σε περιοχές του Παγασητικού κόλπου »**

**Διμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

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

**2) Κωνσταντίνος Σκόρδας**, Μόνιμος Επίκουρος Καθηγητής, Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.

**Αφιέρωση.....**

Η παρούσα προπτυχιακή διατριβή είναι αφιερωμένη στην οικογένεια μου, στους φίλους μου και σε ένα πολύ σημαντικό άτομο για εμένα την Δέσποινα.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσοι συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, Επίκουρο Καθηγητή κ. Νικόλαο Νεοφύτου για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή των δειγματοληψιών και των αναλύσεων, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Σκόρδα μέλος της εξεταστικής επιτροπής μου, για τις χρήσιμες συμβουλές του και την καθοδήγησή του καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της διατριβής.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους φίλους μου Γιάννη και Μαντώ για τη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών, την υποψήφια διδάκτορα φοιτήτρια Ραφαηλία για την καθοδήγηση της κατά τη διάρκεια των αναλύσεων και τη Μαρία για τις συμβουλές της στη συγγραφή της διατριβής.

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

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο έλεγχος της ποιότητας του νερού σε περιοχές της παραλιακής ζώνης του Παγασητικού κόλπου, καθώς και η πιθανή εκτίμηση της μεταβολής των θρεπτικών αλάτων της υδάτινης στήλης από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στον κόλπο.

Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία κατά μήκος της ακτογραμμής από την περιοχή της Κάτω Γατζέας μέχρι την περιοχή των Αλυκών. Συνολικά επιλέχθηκαν 5 σταθμοί δειγματοληψίας. Σε κάθε σταθμό μετρήθηκαν τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, χλωροφύλλη α, pH) και λήφθηκαν επιφανειακά δείγματα νερού για αναλύσεις των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά και πυριτικά).

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής έδειξαν ότι τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού στα σημεία δειγματοληψίας παρουσίασαν την αναμενόμενη εποχιακή διακύμανση ανταποκρινόμενα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, τον Παγασητικό κόλπο. Τα θρεπτικά άλατα εμφάνισαν ελαφρώς αυξημένες συγκεντρώσεις στους σταθμούς όπου υπάρχει έντονη ανθρωπογενής δραστηριότητα.

Η στατιστική επεξεργασία των συγκεντρώσεων των θρεπτικών, όσον αφορά τους σταθμούς δειγματοληψίας, έδειξε σημαντικές διαφορές μόνο για τα φωσφορικά και τα πυριτικά.

Παρόλα αυτά οι συγκεντρώσεις τους σε καμία περίπτωση δεν ξεπέρασαν τα όρια πέραν των οποίων εμφανίζεται το φαινόμενο του ευτροφισμού ή δημιουργούνται συνθήκες που διαταράσσουν το οικοσύστημα και οι επιπτώσεις φαίνεται να είναι χωρικά περιορισμένες.

*Λέξεις κλειδιά:* Περιβαλλοντικές επιπτώσεις, θρεπτικά άλατα, ευτροφισμός, Παγασητικός κόλπος.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>vi</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>3</b>
1.1 Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	3
1.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του Παγασητικού κόλπου.....	4
1.3 Αιτίες ρύπανσης του κόλπου .....	6
1.4 Σκοπός.....	9
<b>2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....</b>	<b>10</b>
2.1 Σταθμοί δειγματοληψίας.....	10
2.2 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά .....	11
2.2.1 Υδάτινη στήλη .....	11
2.2.2 Θρεπτικά άλατα .....	11
2.2.3 Στατιστική ανάλυση .....	16
<b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>17</b>
3.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά .....	17
3.2 Θρεπτικά άλατα .....	23
3.3 Στατιστική.....	27
<b>4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>29</b>
4.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά .....	29
4.1.1 Θερμοκρασία .....	29
4.1.2 Αλατότητα .....	31
4.1.3 Διαλυμένο οξυγόνο.....	32
4.1.4 Ενεργός οξύτητα.....	34
4.1.5 Χλωροφύλλη-α .....	35
4.1.6 Οξειδοαναγωγικό δυναμικό.....	36
4.2.1 Αμμωνιακά .....	38
4.2.2 Νιτρώδη .....	39
4.2.3 Νιτρικά .....	40
4.2.4 Φωσφορικά.....	41
4.2.5 Πυριτικά .....	41
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>42</b>
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>44</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>49</b>



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής μελέτης

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 (Korres *et al.* 2012) (Εικ.1.1).



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

Η ακτογραμμή του παρουσιάζει πολλές εγκολπώσεις, 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. 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 ΒΔ (περιοχή Αλμυρού) και το ανατολικό τμήμα της εισόδου του κόλπου (περιοχή Τρίκερι), τα οποία καλύπτονται με άμμο (Περισοράτης και συν. 1993).

## **1.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του Παγασητικού κόλπου**

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής του Παγασητικού ακολουθεί τα χαρακτηριστικά της Μεσογειακής λεκάνης και επηρεάζεται άμεσα από το αντικυκλωνικό σύστημα του Ατλαντικού μετά την επέκτασή του στην προς την ΝΑ Ευρώπη. Γενικότερα, η περιοχή παρουσιάζει εύκρατο κλίμα με μεγάλα ημερήσια και ετήσια θερμοκρασιακά εύρη, θερμό ξηρό καλοκαίρι και ήπιο βροχερό χειμώνα (Ψόχιου 2003).

Σύμφωνα με παρατηρήσεις της Ε.Μ.Υ. (1956 – 1988), η μέση ετήσια υγρασία είναι 67,2% και ο ετήσιος αριθμός ημερών βροχής είναι 89,2. Η μέση τιμή της ετήσιας

βροχόπτωσης είναι 420 mm. Οι άνεμοι που πνέουν στην περιοχή είναι μικρής έντασης (1-4 Beauford) με μεγαλύτερη συχνότητα 1 και 2 Beauford.

Οι ταχύτητες των ρευμάτων του Παγασητικού κόλπου είναι γενικά ασθενείς (<40 cm/sec) (Voutsinou – Taliadouri & Baloroulos 1989). Η ανανέωση του νερού πραγματοποιείται στο πυθμενικό στρώμα με την είσοδο του νερού από το Αιγαίο Πέλαγος, κατά μήκος της Ανατολικής Ακτής του Διαύλου του Τρίκερι και έξοδο νερού προς το Αιγαίο κατά μήκος της Δυτικής Ακτής του Διαύλου. Ο μέσος χρόνος ανανέωσης των νερών είναι της τάξεως των 105 ημερών με τυπική απόκλιση 51 ημέρες (Petihakis *et al.* 2005). Οι επιφανειακές τιμές διαλυμένου οξυγόνου παρουσιάζουν ετήσια διακύμανση από 4,5 μέχρι 6 mg/l και πλησιάζουν τις τιμές κορεσμού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Theodorou 1995, Θεοδώρου και συν. 1997).

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 βάθους). 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. 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). Γενικά, ο Παγασητικός χαρακτηρίζεται ως ολιγοτροφικός με ευτροφικές τάσεις στην περιοχή του όρμου του Βόλου, ενώ παρουσιάζει ελάχιστα αυξημένες συγκεντρώσεις θρεπτικών σε σχέση με το Αιγαίο Πέλαγος με μικρές εποχιακές διακυμάνσεις (Gabrielides & Theocharis 1977, Friligos 1988). Είναι εμφανής η μείωση όλων σχεδόν των αλάτων, με εξαίρεση τα πυριτικά, μετά τη λειτουργία του νέου αποχετευτικού αγωγού εκβολής λυμάτων στη

θέση Αγκίστρι (Theodorou 1995), αν και ο εσωτερικός κόλπος εξακολουθεί να εμφανίζεται ως μεσότροφος με κατά τόπους εμφανίσεις ευτροφικών φαινομένων (Petihakis *et al.* 2002). Ο λόγος N : P παρουσιάζει σημαντική διακύμανση σε σύγκριση με την αναλογία 16:1, υποδηλώνοντας ότι τόσο το άζωτο όσο και ο φώσφορος δρουν περιοριστικά για τη φυτοπλαγκτική αύξηση σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (Petihakis *et al.* 2002).

### 1.3 Πηγές ρύπανσης του κόλπου

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 2000).

Ο Παγασητικός κόλπος επηρεάζεται ως προς τη ρύπανση σε μεγάλο βαθμό από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και ιδιαίτερα οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στη βιομηχανική πόλη του Βόλου. Οι κύριες πηγές ρύπανσης του Παγασητικού κόλπου είναι οι γεωργικές καλλιέργειες που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή και τα βιομηχανικά ή αστικά λήματα (Sawidis *et al.* 2001).

Στην ευρύτερη περιοχή έρευνας υπάρχουν εντατικές καλλιέργειες σιτηρών και βαμβακιού ενώ χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων, που είναι πλούσια σε θειούχες και φωσφορικές ενώσεις, επιβαρύνοντας τον Παγασητικό κόλπο. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, με την εξάπλωση του αστικού συγκροτήματος του Βόλου, την επέκταση της βιομηχανίας και την εντατικοποίηση της γεωργίας στον

Θεσσαλικό κάμφο, 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).

Στην περιφέρειά του αναπτύσσονται μία σειρά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, με κυριότερες τη γεωργία όπως προαναφέρθηκε, τον τουρισμό, την αλιεία και τη βιομηχανία. Αν και στην ευρύτερη περιοχή δεν υπάρχει κανένα σημαντικό ποτάμι, με εξαίρεση τους μικρούς χείμαρρους, σημαντικές ποσότητες ρυπασμένων υδάτων εισάγονται στο σύστημα του κόλπου, σε μόνιμη ή περιστασιακή βάση (Triantafyllou *et al.* 2001).

Με βάση αυτές τις δραστηριότητες και τη λειτουργία του τριτοβάθμιου βιολογικού καθαρισμού της πόλης, που επεξεργάζεται τα αστικά λύματα και τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα της μείζονος περιοχής Βόλου, οι παράμετροι που συνεχίζουν να επιδρούν στο θαλάσσιο οικοσύστημα του Παγασητικού είναι (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2001):

- η έμμεση απόρριψη αποβλήτων από βιομηχανικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες, εκτός μείζονος περιοχής Βόλου και Βιομηχανικής Περιοχής, οι οποίες δε συνδέονται με το βιολογικό καθαρισμό και περιστασιακά εκρέουν επιβαρημένα απόβλητα.
- η απόρριψη αποβλήτων από ελαιοτριβεία των λεκανών απορροής της περιοχής, γύρω από τον κόλπο, που δεν τηρούν πάντα τα προβλεπόμενα από τις άδειες τους, μέτρα
- οι απορροές χειμάρρων που μεταφέρουν θρεπτικά και ρυπογόνα στοιχεία, καθώς και υπολείμματα γεωργικών φαρμάκων και λιπασμάτων, τα οποία προέρχονται από τις γεωργικές δραστηριότητες, στις λεκάνες απορροής.

- η εντατική γεωργία των δημητριακών και του βαμβακιού εφαρμόζεται με τη χρησιμοποίηση σημαντικών ποσοτήτων λιπασμάτων, που περιέχουν υψηλά ποσοστά αζώτου, φωσφορικού άλατος και θείου.
- η έντονη αλιευτική δραστηριότητα, νόμιμη και παράνομη.
- οι δραστηριότητες στην παράκτια ζώνη (κυρίως τουριστικές μονάδες και αστικά λύματα οικισμών, που διατίθενται παράνομα άμεσα ή έμμεσα στη θάλασσα).
- η απόρριψη στερεών και υγρών αποβλήτων, όπως οι αντιρρυπαντικές τοξικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στις βάρκες και τα υπολείμματα πετρελαιοειδών που προέρχονται από τα πλωτά μέσα, που κινούνται στον Παγασητικό 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 χείμαρρος 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.

#### **1.4 Σκοπός**

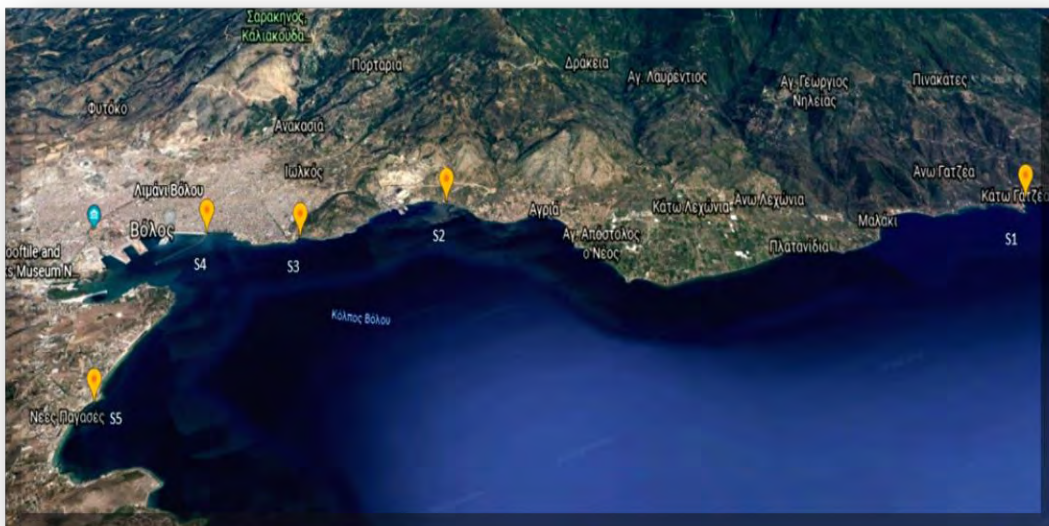
Με γνώμονα όλα τα παραπάνω εκπονήθηκε η παρούσα προπτυχιακή διατριβή, που **σκοπό** είχε τον έλεγχο της ποιότητας νερού σε περιοχές κυρίως του αστικού περιβάλλοντος του Παγασητικού κόλπου, με καταγραφή των φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων και των θρεπτικών αλάτων κατά μήκος της παράκτιας ζώνης, καθώς και με παράλληλη εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης ευτροφικών φαινομένων.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Σταθμοί δειγματοληψίας

Η παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε κατά μήκος της ακτογραμμής του Παγασητικού κόλπου από την περιοχή της κάτω Γατζέας έως και την περιοχή των Αλυκών (Εικ 2.1). Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν τον Δεκέμβριο του 2018.

Στην περιοχή επιλέχτηκαν 5 σταθμοί δειγματοληψίας, έτσι ώστε τα αποτελέσματα της έρευνας να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά. Ο πρώτος σταθμός δειγματοληψίας ήταν στην περιοχή της Γατζέας και αποτέλεσε τον σταθμό μάρτυρα (S1). Ο δεύτερος σταθμός ήταν στην περιοχή της βιομηχανίας ΑΓΕΤ (S2), ο τρίτος μετά την περιοχή του Αγίου Κωνσταντίνου (S3), ο τέταρτος στην περιοχή κορδόνι μπροστά από το πανεπιστήμιο (S4) και τέλος ο πέμπτος στην περιοχή αγκίστρι αλυκών (S5) (Πιν 2.1).



**Εικόνα 2.1:** Χαρακτηριστική άποψη των σταθμών δειγματοληψίας στην περιοχή έρευνας.



**Πίνακας 2.1:** Συντεταγμένες των σταθμών δειγματοληψίας.

ΣΤΑΘΜΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	N	E
S1	39°18'32"	23°06'00"
S2	39°20'56"	22°59'44"
S3	39°20'58"	22°57'59"
S4	39°21'23"	22°57'03"
S5	39°19'37"	22°55'50"

## 2.2 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

### 2.2.1 Υδάτινη στήλη

Σε κάθε έναν από τους 5 συνολικά σταθμούς μετρήθηκαν η θερμοκρασία, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, το pH, η χλωροφύλλη *a* και το οξειδοαναγωγικό δυναμικό με τη χρήση συνεχή καταγραφέα (SEABIRD-19plus) (Εικ. 2.2).

### 2.2.2 Θρεπτικά άλατα

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά και πυριτικά) συλλέχθηκαν από κάθε σταθμό τρία επαναληπτικά επιφανειακά δείγματα νερού με δειγματολήπτη τύπου Lymnos 1.4 ℓ (σύνολο 15 δείγματα νερού).

Τα δείγματα νερού τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια των 500 ml και προστέθηκε χλωριούχος υδράργυρος (2 ml HgCl<sub>2</sub> σε 500 ml δείγματος) για την αναστολή της δράσης των μικροοργανισμών. Στη συνέχεια τα δείγματα μεταφέρθηκαν με φορητό ψυγείο στο εργαστήριο, όπου πραγματοποιήθηκε διήθηση με φίλτρα τύπου GF/F (47 mm διάμετρο και 0,7 μm άνοιγμα οπών) και τοποθετήθηκαν σε καταψύκτη (-20 °C) μέχρι την ανάλυσή τους με φασματοφωτόμετρο τύπου SHIMADZU UV-1800 (Εικ. 2.3), σύμφωνα με τις μεθόδους που περιγράφονται παρακάτω.



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



**Εικόνα 2.3:** Φασματοφωτόμετρο SHIMADZU UV-1800.

**Αμμωνιακά ( $\text{NH}_4$ ):** Για τον προσδιορισμό της ολικής αμμωνίας προστέθηκαν στο δείγμα νερού συγκεκριμένες ποσότητες αντιδραστηρίων φαινόλης (phenol solution), νιτροπρωσσικού νατρίου (sodium nitroprusside solution) και οξειδωτικού διαλύματος (oxidising solution). Στη συνέχεια το δείγμα τοποθετήθηκε σε σκοτεινό χώρο (ώστε να αποφευχθεί η άμεση έκθεση 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 ( $\text{NH}_4^+$ ) και τη μη ιονισμένη ( $\text{NH}_3$ ) αμμωνία. Η αναλογία της μίας ή της άλλης μορφής εξαρτάται από το pH και τη θερμοκρασία του νερού τη στιγμή της δειγματοληψίας και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

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

Όπου pKa: σταθερά η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού (Πίν. 2.2) (Strickland & Parsons 1972).

**Πίνακας 2.2:** Οι τιμές της σταθεράς pKa σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του νερού.

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

Στο τέλος υπολογίστηκε το ποσοστό της ιονισμένης μορφής αμμωνίας ή των αμμωνιακών ( $\text{NH}_4^+$ ) από τον παραπάνω τύπο και βρέθηκε η συγκέντρωσή τους.

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

**Νιτρώδη ( $\text{NO}_2$ ):** Για τον προσδιορισμό των νιτρωδών προστέθηκαν στο δείγμα θαλασσινού νερού συγκεκριμένες ποσότητες αντιδραστηρίων σουλφαναμιδίου (sulphanilamide solution) σε όξινο περιβάλλον. Η προκύπτουσα διαζω-ένωση αντιδρά με την N-(1-ναφθυλο)-αιθυλενοδιαμίνη (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine) και

σχηματίζεται αζωχρωστική, που η ένταση του χρώματός της είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των νιτρωδών και μετράται φασματοφωτομετρικά, σε μήκος κύματος 543 nm έναντι απεσταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε νιτρώδες νάτριο ( $\text{NaNO}_2$ ) συγκέντρωσης 50  $\mu\text{g-at N/l}$  (Parsons et al.1984).

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

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

**Πυριτικά ( $\text{SiO}_2$ ):** Για τον προσδιορισμό των πυριτικών αλάτων το θαλασσίνο νερό αφήνεται να αντιδράσει με μολυβδαινικό διάλυμα (molybdate reagent) κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, παράγοντας πυριτομολυβδικά, φωσφορομολυβδικά και αρσενομολυβδικά σύμπλοκα. Στη συνέχεια, προστίθεται ένα αναγωγικό διάλυμα (reducing reagent) που περιέχει θειική παρα-μεθυλο-αμινο-φαινόλη (p-methylaminophenol sulfate) και οξαλικό οξύ (oxalic acid), που αντιδρά με το πυριτομολυβδικό σύμπλοκο για να δώσει ένα βαθυγάλαζο χρώμα, ενώ ταυτόχρονα αποσυνθέτει τα φωσφορομολυβδικά και πυριτομολυβδικά σύμπλοκα.

Το τελικό διάλυμα μετράται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 810 nm έναντι απεσταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιείται διάλυμα πυριτοφθοριδίου ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ) συγκέντρωσης 5.000 micro mol/l (Parsons et al.1984).

### **2.2.3 Στατιστική ανάλυση**

Για τη στατιστική επεξεργασία των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων στα δείγματα του νερού μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (one way analysis of variance –ANOVA), με χρήση του λογισμικού MINITAB. Στη συνέχεια προκειμένου να διαπιστωθεί σε ποιους σταθμούς δειγματοληψίας οφείλονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές πραγματοποιήθηκε Tukey's test. Τα διαγράμματα με τις εποχιακές συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων, καθώς και αυτά με τις κατακόρυφες κατανομές τους έγιναν με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος Excel.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

Στον Πίνακα 3.1 δίνονται το εύρος, ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, Chl *a*, pH και Redox) του νερού κατά τη περίοδο δειγματοληψίας (Δεκέμβριος) και για τους 5 σταθμούς δειγματοληψίας. Στα Σχήματα 3.1-3.6 απεικονίζονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων του νερού και στους 5 σταθμούς δειγματοληψίας.

Ο μέσος όρος των τιμών της θερμοκρασίας σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας ήταν 16,65 °C. Η ελάχιστη τιμή (16,37 °C) καταγράφηκε στον σταθμό S3, ενώ η μέγιστη (16,89 °C) στον σταθμό S4 (Πιν. 3.1).

Στους σταθμούς S2, S3 και S4 βρεθήκαν υψηλότερες οι τιμές της αλατότητας. Το εύρος των τιμών κυμάνθηκε από 36,1-37,3 psu, με τη μέγιστη τιμή της αλατότητας να εμφανίζεται στον σταθμό S3 (37,34 psu) και η ελάχιστη τιμή στον σταθμό S1 (36,14 psu) (Πιν. 3.1).

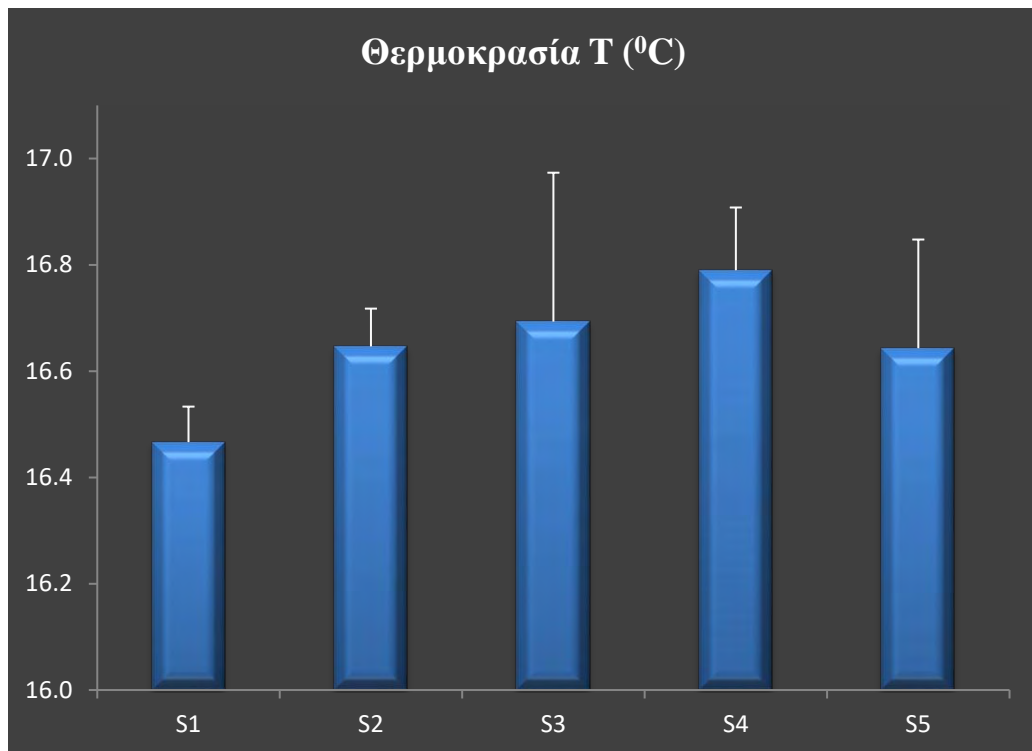
Στον σταθμό S1 οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου κυμάνθηκαν από 5,6-5,9 ppm, στον S2 4,5-4,7 ppm, στον S3 3,9 ppm, στον S4 4,0-4,1 ppm, και στον S5 5,3-5,5 ppm. Η μέγιστη τιμή του διαλυμένου οξυγόνου εντοπίστηκε στον σταθμό S1 (5,9 ppm) ενώ η ελάχιστη στον σταθμό S3 (3,9 ppm).

Η μέγιστη τιμή της χλωροφύλλης *a* καταγράφηκε στον σταθμό S4 (1,94 mg/m<sup>3</sup>), ενώ η ελάχιστη στον σταθμό S1 (0,84 mg/m<sup>3</sup>). Στον σταθμό S1 οι τιμές της χλωροφύλλης *a* κυμάνθηκαν από 0,84-0,87 mg/m<sup>3</sup>, στον S2 1,06-1,17 mg/m<sup>3</sup>, στον S3 1,11-1,32 mg/m<sup>3</sup>, στον S4 1,47-1,94 mg/m<sup>3</sup> και στον S5 0,96-1,01 mg/m<sup>3</sup>.

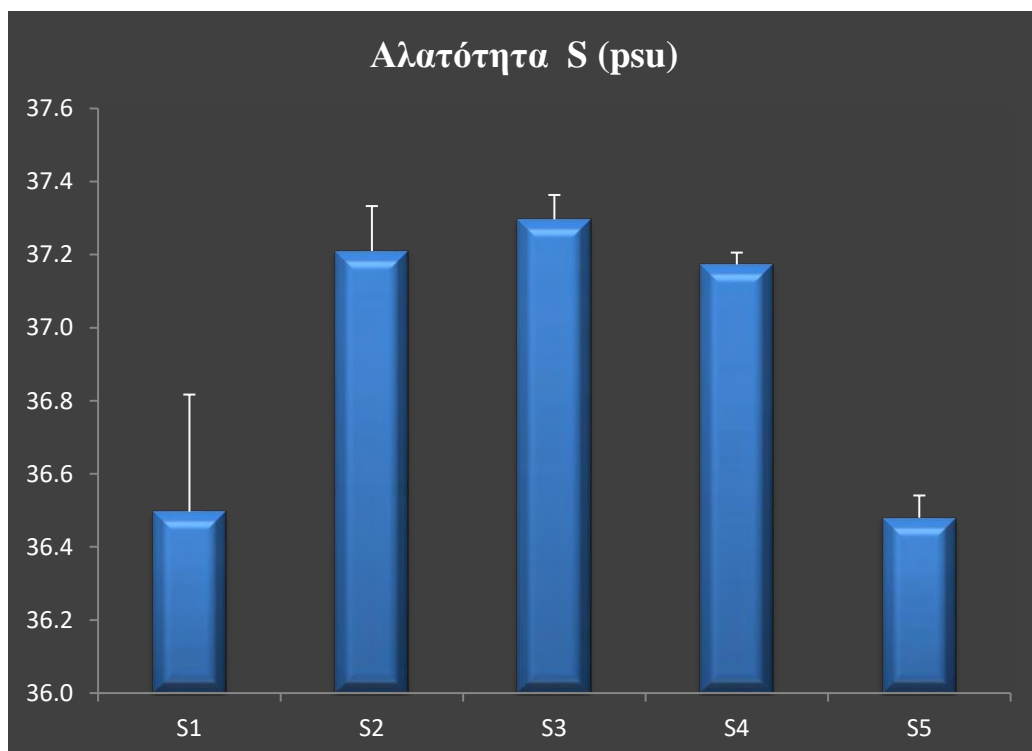
**Πίνακας 3.1:** Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι του νερού στους 5 δειγματοληπτικούς σταθμούς κατά τον Δεκέμβριο του 2017 (Μ.Ο: Μέσος όρος, Τ.Α: Τυπική απόκλιση).

	S1	S2	S3	S4	S5
<b>Θερμοκρασία (°C)</b>					
Εύρος	16,41-16,54	16,57-16,71	16,37-16,86	16,66-16,89	16,41-16,79
Μ. Ο ± Τ.Α	16,47±0,07	16,65±0,07	16,69±0,28	16,79±0,12	16,64±0,20
<b>Αλατότητα (psu)</b>					
Εύρος	36,14-36,76	37,07-37,30	37,22-37,34	37,15-37,21	36,45-36,55
Μ.Ο ± Τ.Α	36,50±0,32	37,21±0,12	37,30±0,07	37,17±0,03	36,48±0,06
<b>Διαλυμένο οξυγόνο (ppm)</b>					
Εύρος	5,61-5,85	4,51-4,67	3,89-3,94	3,95-4,11	5,31-5,54
Μ.Ο ± Τ.Α	5,70±0,13	4,58±0,08	3,91±0,03	4,02±0,08	5,46±0,13
<b>Χλωροφύλλη α (mg/m<sup>3</sup>)</b>					
Εύρος	0,84-0,87	1,06-1,17	1,11-1,32	1,47-1,94	0,96-1,01
Μ.Ο ± Τ.Α	0,86±0,02	1,11±0,06	1,19±0,12	1,67±0,24	0,98±0,03
<b>pH</b>					
Εύρος	8,02-8,08	7,91-7,99	7,89-7,95	8,01-8,07	7,99-8,02
Μ.Ο ± Τ. Α	8,05±0,03	7,96±0,04	7,92±0,03	8,4±0,03	8,01±0,02
<b>Οξειδοαναγωγικό δυναμικό (mV)</b>					
Εύρος	99,80-100,02	45,65-47,25	50,04-52,30	62,28-63,64	102,59-107,33
Μ.Ο ± Τ. Α	99,91±0,11	46,31±0,83	54,14±1,13	63,01±0,68	104,96±2,37

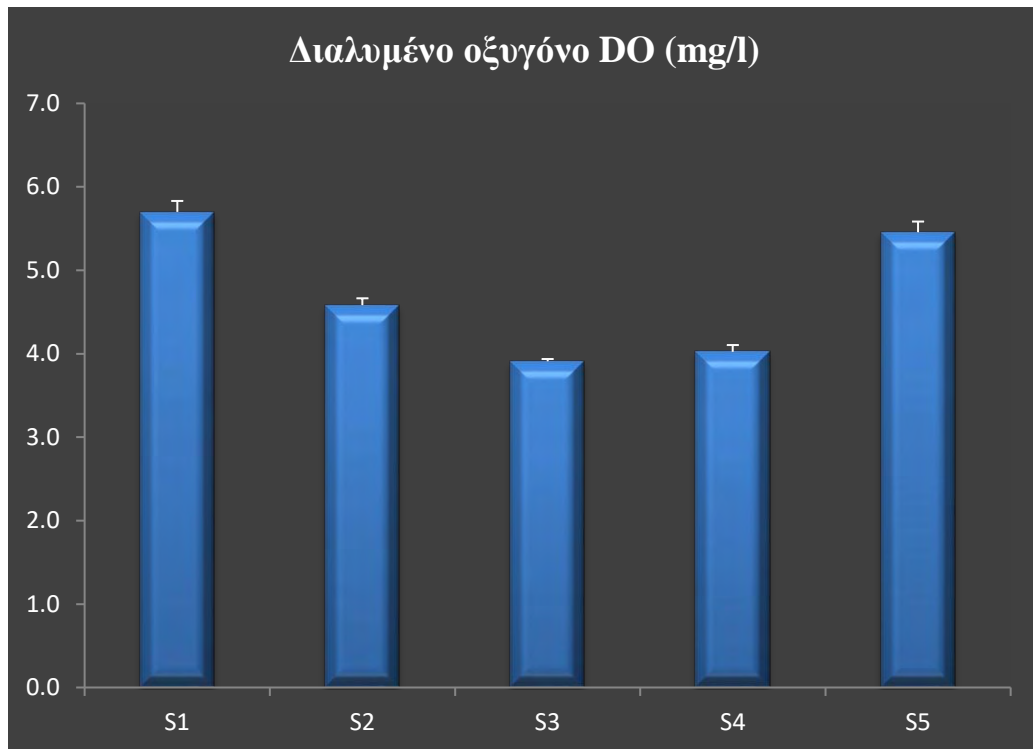




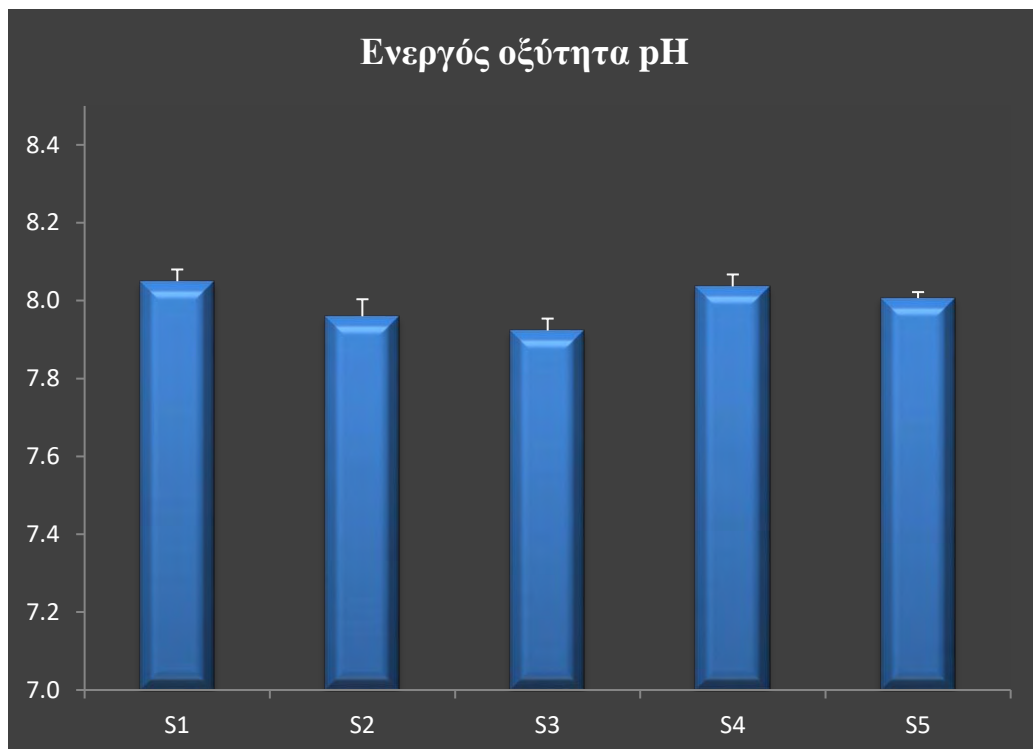
**Σχήμα 3.1:** Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας στους 5 σταθμούς δειγματοληψίας.



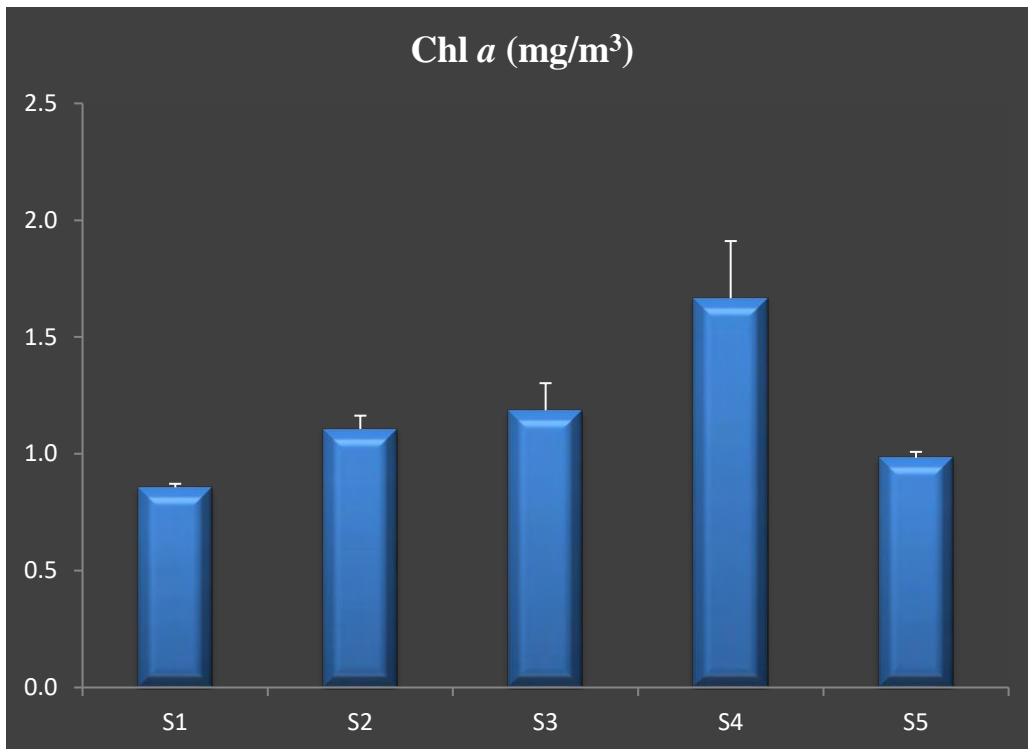
**Σχήμα 3.2:** Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της αλατότητας στους 5 σταθμούς δειγματοληψίας.



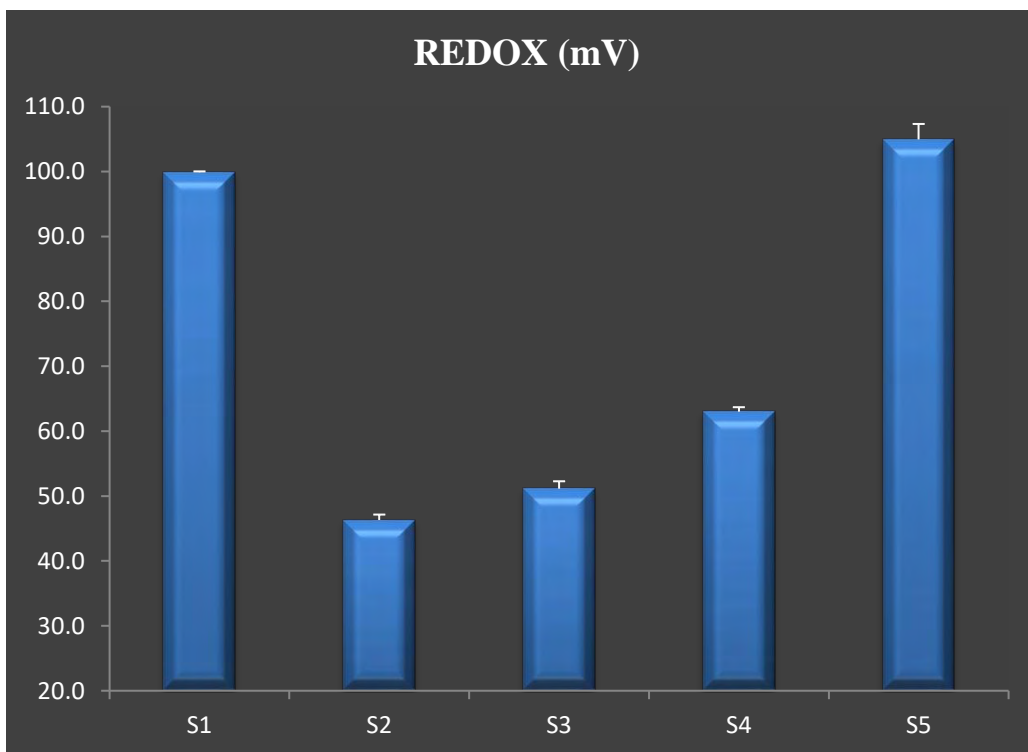
**Σχήμα 3.3:** Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση του διαλυμένου οξυγόνου στους 5 σταθμούς δειγματοληψίας.



**Σχήμα 3.4:** Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση του pH στους 5 σταθμούς δειγματοληψίας.



**Σχήμα 3.5:** Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της χλωροφύλλης *a* στους 5 σταθμούς δειγματοληψίας.



**Σχήμα 3.6:** Διάγραμμα με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση του δυναμικού οξειδοαναγωγής στους 5 σταθμούς δειγματοληψίας.

Οι τιμές του pH παρουσίασαν μικρές διακυμάνσεις σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας. Η υψηλότερη τιμή εμφανίστηκε στον σταθμό S1 (8,08), ενώ η ελάχιστη στον σταθμό S3 (7,89) (Πιν. 3.1). Γενικότερα, το εύρος τιμών όσον αφορά το pH κυμάνθηκε στον σταθμό S1 από 8,2-8,08, στον S2 από 7,91-7,99, στον S3 από 7,89-7,95, στον S4 από 8,01-8,7 και τέλος στον S5 από 7,99-8,02.

Οι τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής κυμάνθηκαν μεταξύ 99,80-100,02 mV στον S1, μεταξύ 45,65-47,25 mV στον S2, 50,04-52,30 mV στον S3, 62,28-63,64 mV στον S4 και μεταξύ 102,59-107,33 mV στον S5. Ως εκ τούτου, μεγάλες διαφορές εμφάνισαν και οι μέσοι όροι όπου στον S1 ήταν 99,91, στον S2 46,31, στον S3 54,14, στον S4 63,01 και στον S5 104,96 mV. Η μεγαλύτερη τιμή του δυναμικού οξειδοαναγωγής παρατηρήθηκε στον σταθμό S5, ενώ η μικρότερη στο σταθμό S2 (Πιν. 3.1).

### 3. 2 Θρεπτικά άλατα

Στον Πίνακα 3.2 δίνεται το εύρος, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των θρεπτικών αλάτων του νερού στους 5 σταθμούς δειγματοληψίας, ενώ στα Σχήματα 3,7-3,11 φαίνεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των θρεπτικών αλάτων του νερού για κάθε έναν από τους πέντε δειγματοληπτικούς σταθμούς.

Οι τιμές των αμμωνιακών κυμάνθηκαν από 0,329-0,936  $\mu\text{M}$  στον σταθμό S2, 0,664-0,719 στον S3, 0,099-0,841 S4 και 0,094-0,120 στον σταθμό S5, ενώ στον σταθμό ελέγχου S1 κυμάνθηκε μεταξύ 0,247-0,358  $\mu\text{M}$ . Η μέγιστη τιμή των αμμωνιακών εμφανίστηκε στον σταθμό S2 (0,936  $\mu\text{M}$ ) που βρίσκεται στην περιοχή της ΑΓΕΤ και η ελάχιστη συγκέντρωση 0,094  $\mu\text{M}$  στον σταθμό S5.

Τα νιτρώδη εμφάνισαν συγκέντρωση 0,020-0,076  $\mu\text{M}$  στον S1, 0,020-0,067  $\mu\text{M}$  στον S2, 0,002-0,011  $\mu\text{M}$  στον S3, 0,046-0,076  $\mu\text{M}$  στον S4 και 0,024-0,052  $\mu\text{M}$  στον S5. Η μέγιστη συγκέντρωση καταγράφηκε στον S1 και στον S4 (0,076  $\mu\text{M}$ ), ενώ η ελάχιστη (0,002  $\mu\text{M}$ ) στον S3 (Πιν. 3.2).

Τα φωσφορικά εμφάνισαν χαμηλές συγκεντρώσεις και στους πέντε δειγματοληπτικούς σταθμούς, γεγονός που διακρίνεται και από τους μέσους όρους των συγκεντρώσεων, όπου ήταν 0,098, 0,087, 0,014, 0,013 και 0,017 στους S1, S2, S3, S4 και S5, αντίστοιχα (Πιν. 3.2).

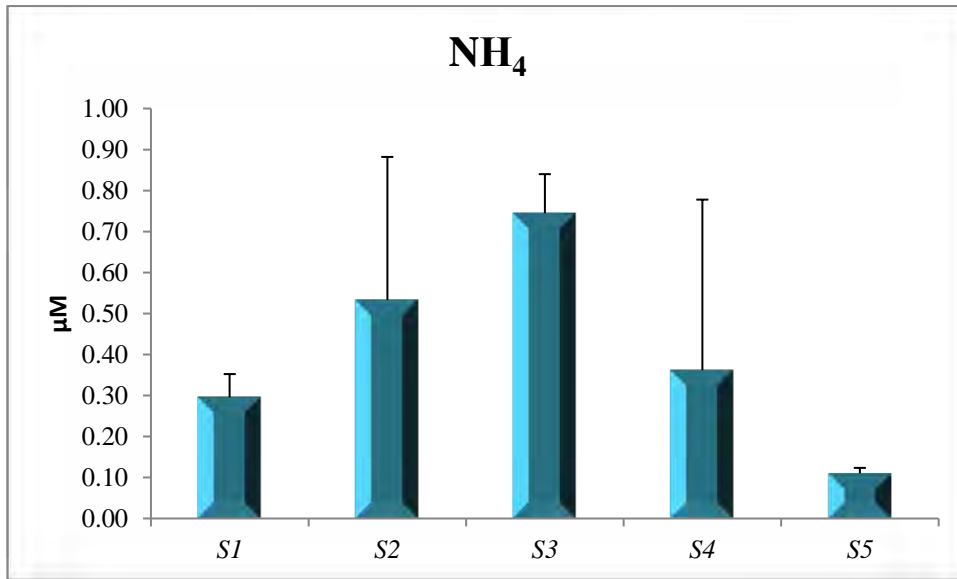
Ωστόσο το εύρος της διακύμανσή τους είναι 0,007-0,116  $\mu\text{M}$ . Η μέγιστη τιμή των φωσφορικών μετρήθηκε στον σταθμό S1 (0,116  $\mu\text{M}$ ), ενώ η ελάχιστη στον σταθμό S5 (0,007  $\mu\text{M}$ ).

Τέλος, τα πυριτικά εμφάνισαν αυξημένη συγκέντρωση στον S5 σε σχέση με τους άλλους τέσσερις σταθμούς, ενώ στον S1 η μέση τιμή της συγκέντρωσης ήταν στα 0,549  $\mu\text{M}$ , στον S2 1,217  $\mu\text{M}$ , στον S3 ήταν στα 0,078  $\mu\text{M}$ , και στον S4 1,218  $\mu\text{M}$ , αντίστοιχα

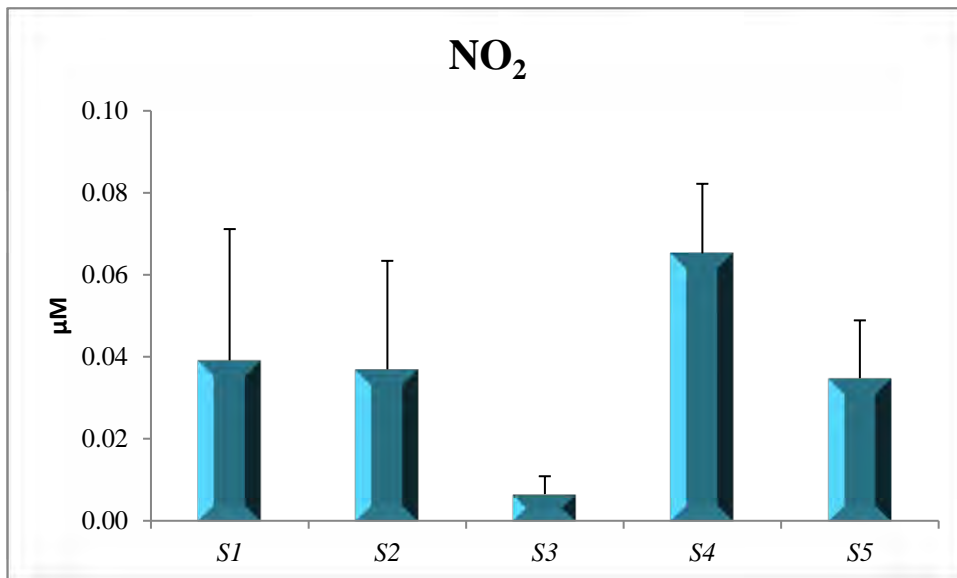
(Σχ. 3.5). Η ελάχιστη συγκέντρωση (0,040  $\mu\text{M}$ ) καταγράφηκε στο σταθμό S3 (Πιν. 3.2 & Σχ. 3.11).

**Πίνακας 3.2.** Συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων του νερού (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά, πυριτικά) στους 5 δειγματοληπτικούς σταθμούς κατά τον Δεκέμβριο του 2017 (Μ.Ο: Μέσος όρος, Τ.Α: Τυπική απόκλιση).

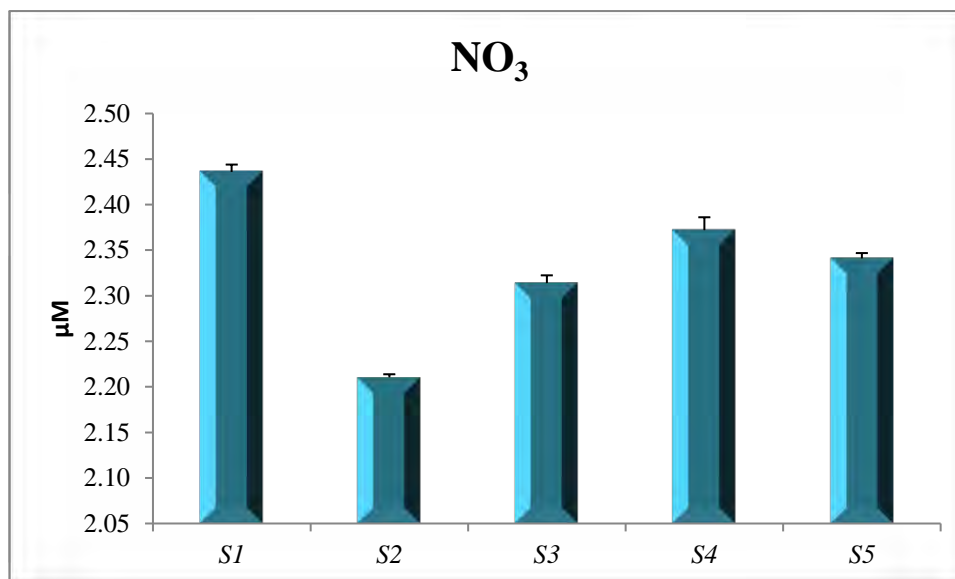
$\mu\text{M}$	S1	S2	S3	S4	S5
<b>NH<sub>4</sub></b>					
Εύρος	0,247-0,358	0,329-0,936	0,664-0,719	0,099-0,841	0,094-0,120
Μ.Ο $\pm$ Τ.Α	0,296 $\pm$ 0,057	0,533 $\pm$ 0,349	0,745 $\pm$ 0,095	0,362 $\pm$ 0,416	0,110 $\pm$ 0,014
<b>NO<sub>2</sub></b>					
Εύρος	0,020-0,076	0,020-0,067	0,002-0,011	0,046-0,076	0,024-0,052
Μ.Ο $\pm$ Τ.Α	0,039 $\pm$ 0,028	0,037 $\pm$ 0,023	0,007 $\pm$ 0,004	0,065 $\pm$ 0,015	0,035 $\pm$ 0,012
<b>NO<sub>3</sub></b>					
Εύρος	2,412-2,440	2,022-2,440	2,247-2,408	2,303-2,440	2,145-2,440
Μ.Ο $\pm$ Τ.Α	2,436 $\pm$ 0,009	2,210 $\pm$ 0,182	2,314 $\pm$ 0,055	2,372 $\pm$ 0,050	2,341 $\pm$ 0,140
<b>PO<sub>4</sub></b>					
Εύρος	0,071-0,116	0,034-0,114	0,013-0,016	0,008-0,018	0,007-0,025
Μ.Ο $\pm$ Τ.Α	0,098 $\pm$ 0,021	0,087 $\pm$ 0,039	0,014 $\pm$ 0,039	0,013 $\pm$ 0,004	0,017 $\pm$ 0,008
<b>SiO<sub>2</sub></b>					
Εύρος	0,513-0,582	0,903-1,731	0,040-0,115	0,045-2,441	1,835-2,451
Μ.Ο $\pm$ Τ.Α	0,549 $\pm$ 0,029	1,217 $\pm$ 0,387	0,078 $\pm$ 0,031	1,218 $\pm$ 1,037	2,050 $\pm$ 0,301



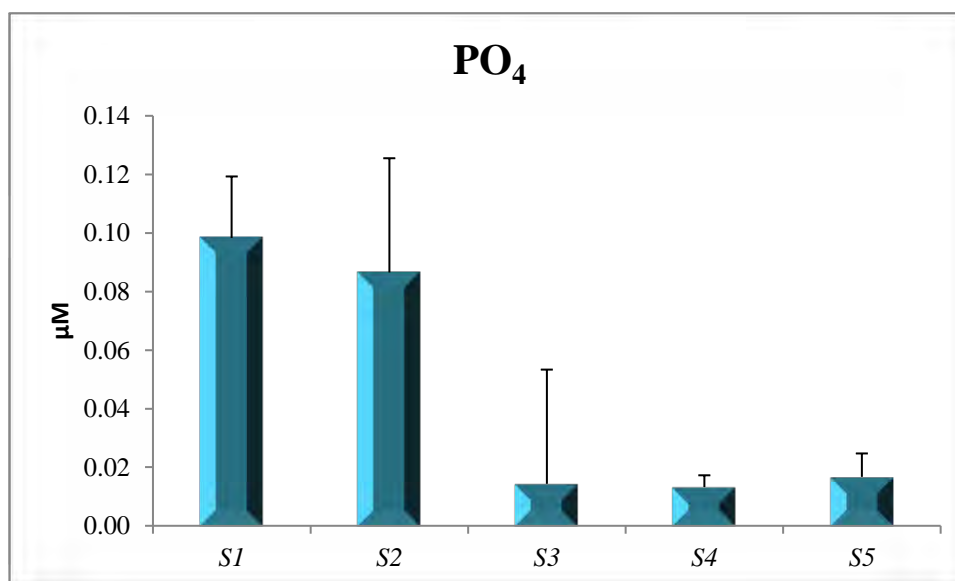
**Σχήμα 3.7.** Διάγραμμα με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των αμμωνιακών στους δειγματοληπτικούς σταθμούς της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 3.8.** Διάγραμμα με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των νιτρικών στους δειγματοληπτικούς σταθμούς της περιοχής έρευνας.

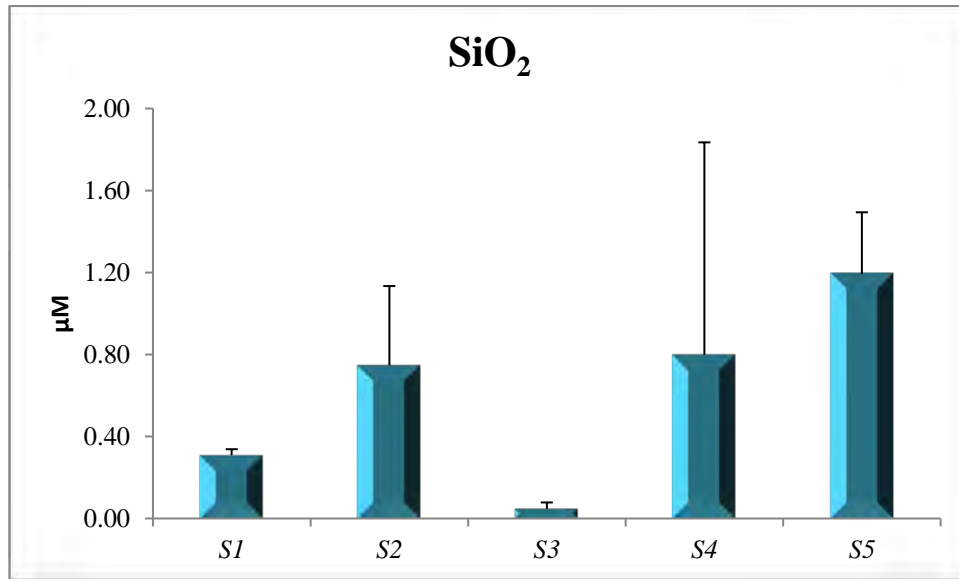


**Σχήμα 3.9.** Διάγραμμα με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των νιτρικών στους δειγματοληπτικούς σταθμούς της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 3.10.** Διάγραμμα με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των φωσφορικών στους δειγματοληπτικούς σταθμούς της περιοχής έρευνας.





**Σχήμα 3.11.** Διάγραμμα με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των πυριτικών στους δειγματοληπτικούς σταθμούς της περιοχής έρευνας.

### 3.3 Στατιστική

Τα αποτελέσματα από τη σύγκριση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων για στους 5 σταθμούς δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3. Η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $P < 0,05$ ) στα φωσφορικά και στα πυριτικά.

Οι σταθμοί δειγματοληψίας στους οποίους οφείλονται αυτές οι διαφορές σύμφωνα με το Turkey's test παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.

Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που παρατηρήθηκαν στις συγκεντρώσεις των φωσφορικών οφείλονται σχεδόν σε όλους τους σταθμούς με εξαίρεση τους S1 – S2 και S3 – S4, S3 – S5 και S4-S5, ενώ για τα πυριτικά οφείλονται αποκλειστικά στους S3 – S5 (Πιν. 3.4).

**Πίνακας 3.3** 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>	14	2,97	ΜΣ
NO <sub>2</sub>	14	2,96	ΜΣ
NO <sub>3</sub>	14	1,35	ΜΣ
PO <sub>4</sub>	14	9,92	*
SiO <sub>2</sub>	14	4,80	*

\* P < 0,05, ΜΣ (Μη Σημαντικό)

**Πίνακας 3.4.** Turkey's Test για τον εντοπισμό της προέλευσης των σημαντικών διαφορών που έδειξε η μονοπαραγωγική ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA).

		PO <sub>4</sub>			
		S1	S2	S3	S4
S2		ΜΣ			
S3		*	*		
S4		*	*	ΜΣ	
S5		*	*	ΜΣ	ΜΣ
		SiO <sub>2</sub>			
		S1	S2	S3	S4
S2		ΜΣ			
S3		ΜΣ	ΜΣ		
S4		ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	
S5		ΜΣ	ΜΣ	*	ΜΣ

\*P<0,05, ΜΣ = Μη Σημαντικό

## 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

Το νερό απαρτίζεται από διάφορα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά. Το κυριότερο φυσικό χαρακτηριστικό του νερού είναι η θερμοκρασία. Τα χαρακτηριστικά που ερευνήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, η ενεργός οξύτητα (pH), η χλωροφύλλη *a* και το δυναμικό οξειδοαναγωγής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, αλλά το ένα επιδρά και διαμορφώνει την παρουσία του άλλου, καθώς υπακούουν στους νόμους της ισορροπίας, της οξείδωσης και της σταδιακής μείωσης της ταχύτητας των μεταξύ τους αντιδράσεων (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

#### 4.1.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί το φυσικό μέγεθος μέτρησης της θερμότητας, η οποία είναι μια μορφή ενέργειας που προέρχεται κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία στα υδάτινα οικοσυστήματα απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας στη λειτουργία ενός υδάτινου οικοσυστήματος, επειδή επηρεάζει ένα πλήθος παραγόντων (διαλυτότητα του οξυγόνου και άλλων αερίων, πρωτογενή παραγωγικότητα οικοσυστήματος, μεταβολισμό των οργανισμών, διάσπαση των οργανικών ενώσεων, κ.ά.) που είναι σημαντικοί για το ρυθμό ανάπτυξης των οργανισμών. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι στα 56 πρώτα μέτρα βάθους ενός υδάτινου οικοσυστήματος, το 53% της συνολικής φωτεινής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

Θεωρείται το σημαντικότερο φυσικοχημικό χαρακτηριστικό του νερού, καθώς επηρεάζει τόσο τα υπόλοιπα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά όσο και διάφορες λειτουργίες των υδρόβιων οργανισμών. Είναι γνωστό ότι ο ρυθμός μεταβολισμού των ποικιλόθερων οργανισμών, όπως είναι σχεδόν όλοι οι υδρόβιοι οργανισμοί, εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία του νερού. Το ίδιο έχει αποδειχθεί και για τον ρυθμό αναπνοής των ποικιλόθερων οργανισμών (Παπουτσόγλου 1997).

Στην παρούσα εργασία, οι τιμές της θερμοκρασίας παρουσίασαν ομοιόμορφη κατανομή σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας. Ο μέσος όρος της θερμοκρασίας κυμάνθηκε στους 16,65°C, μια σχετικά αναμενόμενη τιμή ανάλογα με την εποχή που πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία (Δεκέμβριος).

Γενικότερα η υδάτινη στήλη του Παγασητικού κόλπου κατά το χειμώνα εμφανίζεται πλήρως ομογενοποιημένη (Gabrielides & Theocharis 1978), ενώ κατά τις άλλες εποχές είναι εμφανής ο σχηματισμός του θερμοκλινούς και η στήλη του νερού διακρίνεται σε τρία στρώματα τα οποία ανάλογα με την εποχή χαρακτηρίζονται από διαφορετικά πάχη:

- επιφανειακό (10 - 30 m περίπου)
- ενδιάμεσο (20 – 40 m περίπου) και
- βαθύ (> 50 m)

Παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά την θερμοκρασία στον Παγασητικό κόλπο έχουν αναφερθεί και από άλλους ερευνητές. Οι Petihakis *et al.* (2005), συμφωνούν με τα παραπάνω και αναφέρουν ότι η χαμηλότερη θερμοκρασία στον Παγασητικό κόλπο καταγράφηκε το χειμώνα (12,5°C) μεταξύ του Φεβρουαρίου και του Μαρτίου και άρχισε να αυξάνεται σταδιακά με την μέγιστη τιμή να εμφανίζεται τον Ιούλιο.

Επίσης σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Neofitou & Kliaoudatos (2008) σε δυο περιοχές του Παγασητικού κόλπου κατέγραψαν τη χαμηλότερη θερμοκρασία κατά τους χειμερινούς μήνες ( $13,87^{\circ}\text{C}$ ), οι διαφορές που καταγράφονται είναι φυσιολογικές, αφού η θερμοκρασία του νερού μεταβάλλεται από έτος σε έτος για την ίδια περιοχή όπως και μεταξύ διαφορετικών περιοχών.

#### **4.1.2 Αλατότητα**

Η αλατότητα αποτελεί έναν παράγοντα που έχει έμμεση επίδραση στους οργανισμούς, καθώς με τη μεταβολή της, μεταβάλλεται εξίσου και η φυσικοχημική κατάσταση του νερού. Η μεταβολή της αλατότητας, έχει ως συνέπεια τη μεταβολή της διαλυτότητας των αερίων του νερού και ως εκ τούτου αυξάνεται η κατανάλωση ενέργειας από τους οργανισμούς για την πραγματοποίηση της ωσμωρύθμισης.

Επίσης εκφράζει το μέτρο της συγκέντρωσης των διαλυμένων στο θαλάσσιο νερό αλάτων. Μέχρι σχετικά πρόσφατα, μετριόταν σε «μέρη επί τοις χιλίοις», σήμερα όμως προσδιορίζεται με μεγάλη ακρίβεια από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του θαλάσσιου νερού και αποδίδεται με πρακτικές μονάδες αλατότητας (psu) (Θεοδώρου 2004).

Στην παρούσα έρευνα οι τιμές της αλατότητας κυμανθήκαν από 36,14-37,34 psu. Χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στον σταθμό S1 στην περιοχή της Γατζέας και στον σταθμό S2 στην περιοχή των Αλυκών.

Η αλατότητα των ελληνικών θαλασσών και γενικότερα της Μεσογείου, κυμαίνεται από 30 έως 40 psu, ενώ στον ανοιχτό ωκεανό η τιμή της είναι στα 35 psu. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι στις παράκτιες περιοχές, οι παροχές των ποταμών και οι χερσαίες απορροές ελαττώνουν την αλατότητα. Οι τιμές της εκεί συνήθως κυμαίνονται από 28-33 psu.

Παρ'όλα αυτά ο Παγασητικός κόλπος χαρακτηρίζεται από υψηλότερες τιμές αλατότητας κυρίως στην ανατολική λεκάνη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και κυρίως το χειμώνα σε σύγκριση με τη δυτική λεκάνη και το διάυλο του Τρικεριού. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στις εισροές γλυκών υδάτων των χειμάρρων των περιοχών Αλμυρού και Σούρπης (Gabrielidis & Theocharis 1978, Theocharis & Laskaratos 1985).

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 του αλοκλινούς στο ενδιάμεσο στρώμα της υδάτινης στήλης και η αλατότητα στο επιφανειακό στρώμα είναι 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).

Παρόμοιες συγκεντρώσεις αλατότητας βρέθηκαν στον Παγασητικό κόλπο από τους Neofitou & Kliaoudatos (2008) για την ίδια εποχή και στον Σαρωνικό κόλπο από τους Christou (1998) και Papathanassiou & Zenetos (2005), οι οποίες κυμάνθηκαν μεταξύ 38 και 39 psu.

#### **4.1.3 Διαλυμένο οξυγόνο**

Το οξυγόνο είναι ένα από τα σπουδαιότερα διαλυμένα στο νερό αέρια. Θεωρείται ο πρώτος περιοριστικός παράγοντας για όλους τους οργανισμούς καθώς επιδρά άμεσα στη βιωσιμότητα τους. Αποτελεί δηλαδή την πιο σημαντική παράμετρο για τον μεταβολισμό των αερόβιων οργανισμών (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

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 στους ζωντανούς οργανισμούς (Alzieu 1989). Η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να επηρεάσει τον ρυθμό ανάπτυξης των οργανισμών. 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. Ικανοποιητικές θεωρούνται οι συνθήκες όπου το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου παραμένει άνω του 70%. (Klaoudatos 2000).

Οι Perrson & Hakanson (1991), απέδειξαν ότι τα 2/3 των απαιτήσεων σε οξυγόνο, οποιασδήποτε υδάτινης μάζας, καταναλώνονται κατά τη μικροβιακή διάσπαση των σωματιδίων των διαλυτών οργανικών στερεών, καθώς και κατά την οξείδωση της αμμωνίας. Εξίσου σημαντικό για την παρουσία του διαλυμένου οξυγόνου, είναι η γνώση αν το βενθικό υπόστρωμα καταναλώνει και μέχρι ποιο βαθμό το διαλυμένο οξυγόνο (Hargrave *et al.* 1993).

Οι τιμές συγκέντρωσης του οξυγόνου στην περιοχή έρευνας, κυμάνθηκαν περίπου στα 3,9-5,8 mg/ℓ. Αυτές οι τιμές είναι ελάχιστα πιο χαμηλές από αυτές που έχουν βρεθεί στο παρελθόν στην ευρύτερη περιοχή 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).

Αν και τα δείγματα στην παρούσα εργασία ήταν επιφανειακά δεν παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, καθώς σύμφωνα με τον Θεοδώρου (2004), τα επιφανειακά νερά των ωκεανών και των θαλασσών είναι κατά κανόνα υπέρκορα ως προς το οξυγόνο, γεγονός που συνήθως οφείλεται στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στην εποχή και τη μειωμένη φωτοπερίοδο. Επίσης χαμηλότερες τιμές οξυγόνου είχαν οι σταθμοί S3 (Άγιος Κωνσταντίνος) και S4 (κορδόνι), γεγονός που ίσως υποδεικνύει επιβάρυνση των υδάτων λόγω του αστικού κέντρου.

#### **4.1.4 Ενεργός οξύτητα**

Η ενεργός οξύτητα εκφράζει τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου στο υδάτινο περιβάλλον. Εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία, την αλατότητα και τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα, του οξυγόνου και διαφόρων αλάτων. Ωστόσο εξαρτάται και από τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (φωτοσύνθεση φυτών, αναπνοή οργανισμών) και από τη διεργασία της χημικής αποσύνθεσης των οργανικών ενώσεων (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

Στα περισσότερα υδάτινα οικοσυστήματα, οι τιμές του pH κυμαίνονται από 4 μέχρι 9, ενώ το θαλασσινό νερό είναι αλκαλικό με τιμές pH 8,2 και πολύ μικρές διακυμάνσεις της τάξεως του  $\pm 0,2$ . Οι τιμές του pH στη παρούσα έρευνα ήταν μεταξύ 7,89 και 8,08. 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.

Οι τιμές που καταγράφηκαν φαίνεται να συμπίπτουν με αυτές των Neofitou & Kladatos (2008) για την ίδια εποχή, που κατέγραψαν τιμές pH 7,94-8,13 αλλά και



με προηγούμενη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Τμήμα από την Φλώρου (2017) που το φθινόπωρο μέτρησε επιφανειακές τιμές pH 7,89-8,20.

#### 4.1.5 Χλωροφύλλη-*a*

Η χλωροφύλλη-*a* απαντάται σε όλους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς που παράγουν οξυγόνο, καθώς ο ρόλος της είναι να απορροφά την ηλιακή ενέργεια προκειμένου να πραγματοποιηθεί το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης. Ως εκ τούτου οι μετρήσεις της, αντιπροσωπεύουν τον πληθυσμό του φυτοπλαγκτού στο υδάτινο περιβάλλον. Αξίζει να σημειωθεί ότι το φυτοπλαγκτό πραγματοποιεί σχεδόν το σύνολο της φωτοσύνθεσης στον ανοιχτό ωκεανό. Επίσης είναι υπεύθυνο για το μισό της παγκόσμιας πρωτογενούς παραγωγής και παράγει το μισό οξυγόνο της ατμόσφαιρας (Castro & Huber 1999).

Η χλωροφύλλη *a* στην παρούσα έρευνα κυμάνθηκε από 0,84-1,94 mg/m<sup>3</sup> Μια μικρή αύξηση παρατηρήθηκε στους σταθμούς S2, S3 και S4. Η μέγιστη τιμή της χλωροφύλλης *a* βρέθηκε στην περιοχή που βρίσκεται το λιμάνι του Βόλου. Οι υψηλές τιμές στην περιοχή αυτή καταδεικνύουν την ανθρωπογενή επίδραση στο οικοσύστημα. Γενικότερα, στον Παγασητικό Κόλπο η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a* κυμαίνεται μεταξύ 0,205 και 0,748 μg/l και βρίσκεται εντός του εύρους που βρέθηκε και σε άλλες oligοτροφικές παράκτιες περιοχές (Neofitou & Kliaoudatos 2008). Για θάλασσες της Βορείου Ευρώπης η μέγιστη τιμή των 10 μg/l χλωροφύλλης *a* αναφέρεται ως όριο για την αποφυγή του ευτροφισμού. Στον σταθμό S5, όπου είναι και η έξοδος του βιολογικού αγωγού, οι τιμές της χλωροφύλλης *a* κυμάνθηκαν από 0,96-1,01 mg/m<sup>3</sup>. Οι τιμές αυτές είναι αρκετά χαμηλότερες από αυτές που μετρήθηκαν στο λιμάνι και πλησιάζουν αυτές του σταθμού έλεγχου κάτι που επιβεβαιώνει την βελτίωση τόσο της ποσοτικής, όσο της ποιοτικής σύνθεσης του

φυτοπλαγκτού, στην περιοχή του αγωγού μετά τη λειτουργία του βιολογικού Καθαρισμού.

#### **4.1.6 Οξειδοαναγωγικό δυναμικό**

Η λέξη Redox είναι συντομογραφία των λέξεων Reduction – Oxydation (αναγωγή – οξείδωση). Περιγράφει όλες τις χημικές αντιδράσεις στις οποίες άτομα δέχονται αλλαγή στον αριθμό οξείδωσης τους (Redox 2011). Σύμφωνα με τους Margoni & Psilovikos (2010), το Redox Potential στο υδάτινο περιβάλλον είναι ένα μέτρο της έντασης των συνθηκών της αναγωγής ή της οξείδωσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας δείκτης της ποιότητας του νερού. Η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο υδάτινο περιβάλλον, ενισχύει τη δράση των αναγωγικών διεργασιών οι οποίες συμβάλουν στην κακή ποιότητα των υδάτων με τη δημιουργία ενώσεων με το υδρογόνο όπως αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), υδροθείο ( $\text{H}_2\text{S}$ ) οι οποίες είναι άκρως τοξικές για το σύνολο των υδρόβιων οργανισμών.

Το οξειδοαναγωγικό δυναμικό δίνει μια έμμεση ένδειξη των συνθηκών αναγωγής κυρίως στο ίζημα (δηλαδή της οξυγόνωσης ή του οργανικού φορτίου του ιζήματος) (Pearson & Stanley 1979). Χαμηλές τιμές συνήθως σημαίνουν χαμηλά επίπεδα οξυγόνου που συνοδεύονται από παρουσία υδροθείου και άλλων ενώσεων του θείου (θειούχες, θειϊκές), οι οποίες προέρχονται από την αποικοδόμηση των πρωτεϊνών.

Στην παρούσα εργασία οι τιμές του Redox, αν και παρουσίασαν έντονες διακυμάνσεις μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας, παρέμειναν σε υψηλές τιμές με μόνη εξαίρεση το σταθμό S2 στην περιοχή της ΑΓΕΤ. Το γεγονός αυτό πιθανώς να οφείλεται στην αυξημένη ποσότητα των μικροοργανισμών που υπάρχουν στον πυθμένα της περιοχής και συνεπώς στην αυξημένη κατανάλωση του οξυγόνου στο σημείο αυτό.

Παρόμοιες τιμές παρατηρήθηκαν σε προηγούμενη έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το τμήμα για δυο περιοχές του Παγασητικού κόλπου (Ζαΐρη 2016). Οι τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής μετρήθηκαν από 52,13-91,22 mV στη Μηλίνα και 39,76-89,35 mV στις Νηές. Μεγαλύτερες τιμές δυναμικού οξειδοαναγωγής βρήκαν οι Apostolaki et al. (2007) στο Σούνιο, με μέσο όρο κοντά στα 308 mV.

#### **4.2 Θρεπτικά άλατα**

Τα θρεπτικά άλατα αποτελούν θρεπτικά συστατικά του νερού. Στα θρεπτικά συστατικά περιλαμβάνονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να προσλάβουν οι υδρόβιοι οργανισμοί για την επιβίωση και την ανάπτυξή τους. Η συγκέντρωση τους στο νερό διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιοτική και την ποσοτική αφθονία των οργανισμών (Θεοδώρου 2004).

Τα κύρια θρεπτικά άλατα, τα οποία και ερευνήθηκαν στην παρούσα εργασία, είναι τα αμμωνιακά, τα νιτρώδη, τα νιτρικά, τα φωσφορικά και τα πυριτικά. Οι συγκεντρώσεις των παραπάνω παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της τροφικής κατάστασης μιας υδάτινης περιοχής, καθώς αυτές προσδίδουν τους χαρακτηρισμούς oligοτροφική, μεσοτροφική και ευτροφική στην περιοχή. Η σχετική αφθονία των θρεπτικών αλάτων σε μια περιοχή συνδέεται συνήθως με την αύξηση του πληθυσμού φυτοπλαγκτονικών οργανισμών. Αυτό συμβαίνει γιατί τα θρεπτικά άλατα αναφέρονται στα διαλυμένα στο υδάτινο περιβάλλον μόρια και στοιχεία που μπορεί να χρησιμοποιηθούν από τα υδρόβια φυτά (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο φώσφορος και το άζωτο, αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες του γλυκού και του αλμυρού νερού, αντίστοιχα. Το άζωτο στα υδάτινα οικοσυστήματα εμφανίζεται σε διάφορες μορφές όπως  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , ελεύθερο αέριο ( $\text{N}_2$ ) και οργανικές ενώσεις όπως τα αμινοξέα και οι πρωτεΐνες (Παπουτσόγλου 1997).

#### 4.2.1 Αμμωνιακά

Η συγκέντρωση της αμμωνίας στο νερό μετράται ως ολική αμμωνία, που είναι το άθροισμα των συγκεντρώσεων της ελεύθερης αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ) και του αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ) (δηλαδή των αμμωνιακών). Η ελεύθερη μορφή αμμωνίας αναφέρεται και ως η μη ιονισμένη, ενώ τα αμμωνιακά ως ιονισμένη μορφή αμμωνίας. Η μη ιονισμένη αμμωνία είναι εξαιρετικά τοξική ενώ τα αμμωνιακά παρουσιάζουν τοξικότητα σε πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (Boyd 1981).

Πιο συγκεκριμένα, ο Tabata (1962), έδειξε πως η τοξικότητα της ιονισμένης μορφής αμμωνίας, ισοδυναμεί μόνο με το 1/15 εκείνης της μη ιονισμένης για ζωοπλακτονικούς οργανισμούς, και ακόμα μικρότερη για ορισμένα είδη ψαριών. Ο Hampson (1977), αναφέρει ότι η τοξικότητα εξαρτάται κυρίως από το pH του νερού, καθώς απέδειξε πως όταν το pH αυξάνεται κατά ένα βαθμό, η τοξικότητα δεκαπλασιάζεται. Ως εκ τούτου, γίνεται κατανοητό ότι στο θαλασσίνο νερό που το pH είναι αυξημένο, η αμμωνία είναι πιο τοξική. Ωστόσο οι Shepherd & Bromage (1988), αναφέρουν πως τα φαινόμενα τοξικότητας από την παρουσία αμμωνίας εμφανίζονται μόνο στις περιπτώσεις που συνυπάρχει περιορισμένη κυκλοφορία νερού, υψηλές θερμοκρασίες και ρυπασμένα νερά.

Στην παρούσα εργασία οι τιμές των αμμωνιακών κυμάνθηκαν από 0,09-0,94  $\mu\text{M}$  και δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας. Ωστόσο, αύξηση των αμμωνιακών παρατηρήθηκε στους σταθμούς

S2, S3 & S4. Η αύξηση αυτή των συγκεντρώσεων των αμμωνιακών στο θαλάσσιο περιβάλλον πιθανώς να οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα αν αναλογιστούμε ότι στους παραπάνω σταθμούς υπάρχει η βιομηχανία της ΑΓΕΤ και το λιμάνι του βόλου. 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).

#### 4.2.2 Νιτρώδη

Τα νιτρώδη στα υδάτινα οικοσυστήματα σχηματίζονται κυρίως με την διαδικασία της νιτροποίησης. Σε αυτή τη διαδικασία, τα αμμωνιακά με προσφορά οξυγόνου αλλά και με τη δράση κάποιων αυτότροφων βακτηρίων μετασχηματίζονται σε νιτρώδη, τα οποία είναι λιγότερο τοξικά από τα αμμωνιακά. Επιπλέον, μπορούν να σχηματιστούν και από διάφορα διάτομα και φύκη, τα οποία είναι ικανά να μετατρέπουν τα νιτρικά σε νιτρώδη (Παπουτσόγλου 1997).

Σύμφωνα με τον Klingler (1959), η παρουσία νιτρωδών στο νερό δεν αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα για τους υδρόβιους οργανισμούς και ιδιαίτερα για να ψάρια. Όμως οι Russo *et al.* (1974), απέδειξαν πως τα ψάρια επηρεάζονται από την παρουσία του συγκεκριμένου θρεπτικού άλατος και διαπιστώθηκε ότι με την αύξηση του βάρους αυξάνεται και η ευαισθησία των ψαριών στην τοξική δράση των νιτρωδών.

Το σημαντικότερο πρόβλημα που προκαλεί η αυξημένη παρουσία νιτρωδών στα ψάρια είναι ότι εμποδίζει την αιμογλοβίνη να προσλάβει οξυγόνο, επειδή την οξειδώνει σε μεθαιμογλοβίνη. Η τοξικότητα των νιτρωδών ενισχύεται στα γλυκά νερά και ελαττώνεται στα υφάλμυρα και θαλασσινά.

Τα νιτρώδη στην παρούσα έρευνα παρέμειναν σε χαμηλές συγκεντρώσεις, δεν ξεπέρασαν τα 0,076  $\mu\text{M}$ , 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).

### 4.2.3 Νιτρικά

Τα νιτρικά αποτελούν μια πιο σταθερή μορφή του αζώτου και είναι ακόμη λιγότερο τοξικά για τους υδρόβιους οργανισμούς συγκριτικά με τα νιτρώδη (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ. 2010). Ο Westin (1974), παρατήρησε πως τα νιτρώδη είναι κατά 2000 φορές περισσότερο τοξικά σε σχέση με τα νιτρικά στα είδη *Oncorhynchus tshawytscha* και *Salmo gairdneri*. Επιπλέον, οι Knepp & Arkin (1973), έδειξαν πως συγκέντρωση νιτρικών 400 mg/l δεν προκάλεσε θνησιμότητες σε ψάρια του γλυκού νερού, ούτε επηρέασε τον ρυθμό ανάπτυξής τους.

Τα νιτρικά στην παρούσα έρευνα κυμάνθηκαν από 2,022-2,440 μM. Παρόμοιες τιμές νιτρικών μέτρησαν και οι Aksu et al. (2010) στο NA Αιγαίο, στα παράλια της Τουρκίας, όπου λειτουργεί μια ιχθυοκαλλιέργεια τόνου, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως σημειακή πηγή ρύπανσης και να συγκριθεί με αυτές της παρούσας έρευνας. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στην παρούσα εργασία ήταν ελαφρώς αυξημένες από τα όρια που έχουν αναφερθεί για τον Παγασητικό κόλπο. Οι Petihakis et al. (2005) αναφέρουν ότι οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στον Παγασητικό κόλπο κυμαίνονται από 0,07-2,21 μM. Σύμφωνα με τους Cravo et al. (2006), η εκβολή ποταμών επιδρά σημαντικά στην παράκτια περιοχή και η επίδραση αυτή μειώνεται με την αύξηση της αλατότητας. Στην συγκεκριμένη έρευνα οι τιμές των νιτρικών κυμάνθηκαν τον χειμώνα από 2-45μM. Στην παρούσα έρευνα δεν συμβαίνει κάτι ανάλογο εφόσον ο Παγασητικός κόλπος δέχεται απορροές μόνο από ρέματα και χείμαρρους.

#### 4.2.4 Φωσφορικά

Οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών στην παρούσα εργασία κυμαίνονται από 0,007-0,116  $\mu\text{M}$ . Μεγαλύτερες τιμές φωσφορικών εντοπίστηκαν στο σταθμό S1 & S2. Επιπροσθέτως, οι Neofitou & Kloudatos (2008) σε μια έρευνα που πραγματοποίησαν στον Παγασητικό, βρήκαν τιμές κοντά στο 0,055  $\mu\text{M}$ . Αντίθετα, κατά πολύ μικρότερες φαίνεται να είναι οι τιμές από αυτές της έρευνας στον Σαρωνικό, όπου οι τιμές έφτασαν μέχρι και τα 0,57  $\mu\text{M}$  (Γιαννικόπουλος και συν. 2009). Τα δείγματα της παρούσας έρευνας ήταν επιφανειακά και οι Mantzavrakos *et al.* (2007) επισημαίνουν ότι οι συγκεντρώσεις του φωσφόρου είναι αυξημένες κυρίως στα επιφανειακά στρώματα της υδάτινης στήλης. Παρόμοια αποτελέσματα φαίνεται να βρεθήκαν και στην περιοχή του στενού της Μυτιλήνης, με τις συγκεντρώσεις των φωσφορικών να κυμαίνονται από 0,02-0,12  $\mu\text{M}$ , όπως επίσης και στον Θερμαϊκό (Nikolaidis *et al.*, 2005) και Στρυμωνικό κόλπο (Sylaios *et al.*, 2005).

#### 4.2.5 Πυριτικά

Τα πυριτικά άλατα αποτελούν ένα από τα βασικά δομικά υλικά για την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού. Αυτό συμβαίνει καθώς χρησιμοποιούνται από πλαγκτονικά φυτά όπως τα διάτομα, για τον σχηματισμό του εξωσκελετού τους. Χρησιμοποιείται όμως και από ζωικούς οργανισμούς όπως τα ακτινόζωα για τον ίδιο λόγο (Θεοδώρου 2004). Οι συγκεντρώσεις του πυριτίου στα επιφανειακά στρώματα είναι μικρές, συνήθως μικρότερες από 1  $\mu\text{mol/L}$ , ενώ αυξάνουν κοντά σε εκβολές και παράκτιες περιοχές.

Στην παρούσα εργασία οι τιμές των πυριτικών ενώ παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας δεν ξεπέρασαν τα 2,451  $\mu\text{M}$ . Οι συγκεντρώσεις τους βρέθηκαν παρόμοιες σε σύγκριση με άλλες έρευνες

(Pitta *et al.* 2005, Neofitou & Kliaoudatos 2008) αλλά πολύ χαμηλότερες από αυτές που αναφέρονται στον Παγασητικό κόλπο. Ο βιογεωχημικός κύκλος των πυριτικών μπορεί να επηρεαστεί από τη διάλυση των διατόμων και την επαναιώρηση του ιζήματος. Η διαδικασία αυτή μπορεί να απελευθερώσει σημαντικές ποσότητες πυριτίου κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού έως το φθινόπωρο (Li *et al.* 2016). Η μείωση στη συγκέντρωση του πυριτίου στη στήλη του νερού είναι πιθανόν να σχετίζεται με την ταχεία απορρόφησή του από τα διάτομα, τα οποία είναι γνωστό ότι είναι πολύ ανταγωνιστικά σε συνθήκες όπου υπάρχει εμπλουτισμός θρεπτικών (Margalef 1978, Parsons *et al.* 1978).

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η θερμοκρασία και η αλατότητα εμφάνισαν τις αναμενόμενες τιμές, συγκριτικά και με παρόμοιες έρευνες στην ευρύτερη περιοχή έρευνας κατά την ίδια εποχή.
- Δεν παρατηρήθηκε η αναμενόμενη αυξημένη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στην επιφάνεια της υδάτινης στήλης. Ωστόσο, χαμηλότερες τιμές οξυγόνου είχαν οι σταθμοί S3 (Άγιος Κωνσταντίνος) και S4 (κορδόνι), γεγονός που ίσως υποδεικνύει επιβάρυνση των υδάτων λόγω του αστικού κέντρου.
- Οι τιμές του pH ήταν μεταξύ 7,89 και 8,08. Το pH δεν παρουσίασε μεγάλες διακυμάνσεις, οι τιμές του κυμάνθηκαν εντός των ορίων (6,5-9) που αναφέρονται ως άριστο όριο διαβίωσης για διάφορους οργανισμούς.
- Η χλωροφύλλη *a* στην παρούσα έρευνα κυμάνθηκε από 0,84-1,94 mg/m<sup>3</sup>. Η μέγιστη τιμή της χλωροφύλλης *a* βρέθηκε στην περιοχή που βρίσκεται το λιμάνι του Βόλου. Οι υψηλές τιμές στην περιοχή αυτή καταδεικνύουν την ανθρωπογενή επίδραση στο οικοσύστημα. Στον σταθμό S5, όπου είναι και η έξοδος του βιολογικού αγωγού, οι τιμές της χλωροφύλλης *a* κυμάνθηκαν από



0,96-1,01 mg/m<sup>3</sup> . Οι τιμές αυτές είναι αρκετά χαμηλότερες από αυτές που μετρήθηκαν στο λιμάνι και επιβεβαιώνουν την βελτίωση τόσο της ποσοτικής, όσο της ποιοτικής σύνθεσης του φυτοπλαγκτού στην περιοχή του αγωγού μετά τη λειτουργία του βιολογικού καθαρισμού.

- Η στατιστική επεξεργασία των συγκεντρώσεων των θρεπτικών έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο για τα φωσφορικά και τα πυριτικά.
- Τέλος, οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων σε καμία περίπτωση δεν υπερέβησαν τα επιτρεπτά όρια πέραν των οποίων είναι πιθανή η εμφάνιση ευτροφικών συνθηκών με αρνητικές επιπτώσεις για τους υδρόβιους οργανισμούς και το υδάτινο περιβάλλον

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**Θεοδώρου, Α. Ι., Μπουλταδάκη, Α., Παναγιωτάκη, Π. και Πνευματικάτος Η. (1997).** Οικολογική κατάσταση του Παγασητικού κόλπου και δυνατότητες χρήσης παράκτιων περιοχών του για εκτροφή ιχθύων. Επιθεώρηση Ζωοτεχνικής Επιστήμης, Αθήνα: 29-49.

**Θεοδώρου Α. (2004).** Ωκεανογραφία: Εισαγωγή στο Θαλάσσιο Περιβάλλον. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα, σελ 174-187.

**Κλαουδάτος Σ., Κλαουδάτος Δ. (2010).** Κατασκευές υδατοκαλλιεργητικών συστημάτων Θαλάσσιες – Λιμνοθαλάσσιες – Χερσαίες. Εκδόσεις Παραπομπός, Αθήνα, σελ 26-56.

**Παπουτσόγλου Σ. (1997).** Εισαγωγή στις υδατοκαλλιέργειες. Εκδόσεις Αθαν. Σταμούλης, Αθήνα, σελ 68-100.

**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 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 553-560.

**Περισοράτης Κ., Ζαχαράκης Π., Ανδρινόπουλος Α. (1993).** Ιζηματολογία των επιφανειακών ιζημάτων του Παγασητικού κόλπου και του διαύλου του Τρίκερι, Δ. Αιγαίο Πέλαγος. Τεχνική Έκθεση ΙΓΜΕ.

**Κολιού – Μήτσιου Α. (1991).** Αναγνώριση, εκτίμηση και αντιμετώπιση των πηγών ρύπανσης του Παγασητικού κόλπου. Πρακτικά 2ου Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας 544-553.

**Κόλιου-Μήτσιου, Α.(2000).** Ανάπτυξη ολοκληρωμένης πολιτικής για την Αειφόρο διαχείριση του Παγασητικού κόλπου, Βόλος.

**Φλώρου Μ. (2017).** Επιπτώσεις ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτική άλατα του Παγασητικού κόλπου. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

#### **ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

(Pagassitikos Gulf, Western Aegean Sea). Water Science and Technology. 32:273-280.

**Alzieu C. (1989).** Water - the medium of culture. In: Aquaculture (Ed. G. Gilbert), Ellis Florwood Ltd., 2nd edition, 1:37-62.

**APHA (1980).** Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. American Water Works Association and Water Pollution Control Federation.

**Beveridge M., (1996).** Cage aquaculture. Fishing News Books, 346.

**Boyd C.E. (1981).** Water quality in warmwater fish ponds. Agricultural Experiment Station, Auburn University, 359 p.

**Castro P., Huber M. (1999).** Marine biology. University Studio Press, Athens. characteristics of Pagassitikos gulf, Greece. Thalassographica 113-115.

**Christou E.D. (1998).** Interannual variability of copepods in a Mediterranean coastal area (Saronikos Gulf, Aegean Sea). Journal of Marine Systems, 15(1), 523-532.

**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. *Thalass.*, 2:135-154.

**Gabrielides, G.P., Theocharis, A.C. (1977).** Physical and chemical

**Hampson B.L. (1977).** Relationship between total ammonia and free ammonia in terrestrial and ocean waters. *ICES Journal of Marine Science* 37, 117-122.

**Hargrave B.T., Duplisea D.E., Pfeiffer E., Wildish D.J. (1993).** Seasonal changes in benthic fluxes of dissolved oxygen and ammonium associated with marine cultured Atlantic salmon. *Marine Ecology Progress Series*, 249-257.

**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.D. (2000).** Environmental impact of aquaculture in Greece. Practical experiences. *Environmental impact assessment of Mediterranean aquaculture farms. Cahiers Options Méditerranéennes*, 109-127.

**Klingler K. (1959).** Sodium Nitrite, a slow-acting fish poison. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 19, 565-578.

**Korres, G., Triantafyllou, G., Petihakis, G., Raitzos, D. E., Hoteit, I., Pollani, A., Tsiaras, K. (2012).** A data assimilation tool for the Pagassitikos Gulf ecosystem dynamics: Methods and benefits. *Journal of Marine Systems*, 102–117.

**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.

**Mente E., Pierce G. J., Santos M. B., Neofitou C. (2006).** Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquacult. Int.*, 14:499-522.

**Neofitou N., Klaoudatos S. (2008).** Effect of fish farming on the water column nutrient concentration in a semi-enclosed gulf of the Eastern Mediterranean. *Aquaculture Research*, 39(5), 482-490.

**Papathanassiou E., Zenetos A. (2005).** State of the Hellenic Marine Environment. Hellenic Center for Marine Research.

**Parsons T.R., Maita Y., Lalli C.M. (1984).** A manual of chemical and biological methods for sea water analysis. Pergamon, Oxford.

**Persson J., Håkanson L. (1991).** An operative system for coastal water planning. *Nord*, 22, 25-38.

**Petihakis G., Triantafyllou G., Koliou A., Theodorou A. (2002).** Exploring the dynamics of a marine ecosystem (Pagasitikos Gulf, Western Aegean, Greece) through the analysis of temporal and spatial variability of nutrients.

**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.

**Russo R.C., Smith C.E., Thurston R.V., (1974).** Acute Toxicity of Nitrite to Rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 31(10), 1653-1655.

**Shepher J., Bromage N. (1988).** Intensive fish farming. Oxford Blackwell Scientific Publication. U.K.

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

**Tabata K. (1962).** Toxicity of ammonia to aquatic animals with reference to the effect of pH and carbon dioxide. Bull. Tokai, reg. Fish. Res. Lab.,34, 67-74

**Theocharis A., Laskaratos A. (1985).** Water type formation and spreading in Pagassitikos Gulf (NW Aegean). Rapp. Comm. Int. Mer. Medit., 3:37-38.

**Voutsinou-Taliadouri F., Balopoulos E.T. (1989)** Geochemical and water flow features in a semiclosed embayment of the Western Aegean Sea (Pagassitikos gulf, Greece) and physical oceanographic and geochemical conditions in Thermaikos bay (Northwestern Aegean). Water Science and Technology, 21:1881-1886.

**Theodorou A.J. (1995)** Ecological monitoring studies for Volos Sea Outfall

## ABSTRACT

The aim of the present study was the evaluation and of water quality in the urban coastal area of Pagasitikos Gulf.

Sampling took place along the coastline, started from Kato Gatzera to the Alykes , where 5 sampling points were selected. At each station, the physicochemical characteristics of the water (temperature, salinity, dissolved oxygen, chlorophyll  $\alpha$ , pH, redox) were measured and surface water samples were analyzed for nutrients (ammonium, nitrite, nitrate, phosphate and silicate).

According to the results of the present study the physicochemical characteristics at the sampling points showed the expected variation in response to the larger study area, the Pagasitikos Gulf. Furthermore nutrients showed an increase in their concentrations at stations where there is intense human activity.

Statistical analysis of nutrient concentrations among the sampling stations showed significant differences were found only for phosphates and silicates.

Nevertheless, the concentrations of nutrients did not exceed permitted levels for the appearance of eutrophication or creating conditions that disrurbe the ecosystem while appeared to their impacts appear to be spatially limited.

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