

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Έλεγχος ποιότητας νερού στον Δυτικό, Κεντρικό και Ανατολικό
Παγασητικό Κόλπο»**

Όλγα Πανταζή

ΒΟΛΟΣ 2024

**«Έλεγχος ποιότητας νερού στον Δυτικό, Κεντρικό και Ανατολικό Παγασητικό
Κόλπο»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1. **Νικόλαος Νεοφύτου**, Καθηγητής, Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.
2. **Δημήτριος Βαφείδης**, Καθηγητής, Βιοποικιλότητα των Θαλάσσιων Βενθικών Ασπονδύλων και άμεση - έμμεση χρηστικότητα τους, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.
3. **Κωνσταντίνος Σκόρδας**, Καθηγητής, Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου σε όλους όσοι συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Νικόλαο Νεοφύτου για την πολύτιμη βοήθειά του, την άμεση ανταπόκρισή του σε κάθε μου απορία, καθώς και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή της έρευνας όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας. Ακόμη, θερμά ευχαριστώ και την κα. Τζιάντζιου για τη συμβολή της στο στάδιο της ανάλυσης στο εργαστήριο. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, η οποία αποτελείται από τους κ.κ. Δημήτριο Βαφείδη και Κωνσταντίνο Σκόρδα, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες κ.κ. Ανδρονίκη Δημούδη καθώς και Κωνσταντίνο Γεωργίου για την πολύτιμη συμβολή τους στη διατριβή μου. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προπάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτέλεσε ο έλεγχος της ποιότητας του νερού, σε διαφορετικές περιοχές του Παγασητικού κόλπου (Δυτικός, Κεντρικός, Ανατολικός), με βάση τις φυσικοχημικές παραμέτρους, καθώς και η πιθανή εκτίμηση της μεταβολής των θρεπτικών αλάτων της υδάτινης στήλης μέσω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στον κόλπο. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 24 Μαΐου του 2022, στο πλαίσιο της συνεργασίας του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος με το Τμήμα Αλιείας της Π.Ε. Μαγνησίας και Σποράδων. Συνολικά, επιλέχθηκαν 3 σταθμοί δειγματοληψίας (WG-Δυτικός Κόλπος, CG-Κεντρικός Κόλπος, EG-Ανατολικός Κόλπος), σε καθέναν από τους οποίους μετρήθηκαν τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του θαλασσινού νερού (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, pH και χλωροφύλλη *a*), ενώ λήφθηκαν δείγματα νερού σε διαφορετικά βάθη της υδάτινης στήλης (επιφάνεια, μέσο υδάτινης στήλης και κοντά στον πυθμένα) για αναλύσεις των θρεπτικών αλάτων στο εργαστήριο (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 έρευνας, τον Παγασητικό κόλπο. Συγκεκριμένα, η μέση τιμή της θερμοκρασίας και από τους τρεις σταθμούς ήταν 15,86°C, με την υψηλότερη τιμή να εμφανίζεται στον ανατολικό κόλπο (21,72°C), στην επιφάνεια της υδάτινης στήλης. Αντίστοιχα, για την αλατότητα η μέση τιμή ήταν 38,37 psu με την υψηλότερη να εμφανίζεται στον ανατολικό σταθμό

δειγματοληψίας και στο μέσο βάθος της υδάτινης στήλης (38,53 psu). Ως προς το διαλυμένο οξυγόνο, η μέση τιμή ήταν 5,77 mg/l με τη μέγιστη τιμή να παρατηρείται στον κεντρικό σταθμό δειγματοληψίας, και στο μέσο της υδάτινης στήλης. (6,34 mg/l). Για το pH η μέση τιμή έφθασε στο 8,56, ενώ η μεγαλύτερη τιμή εμφανίστηκε στον δυτικό σταθμό, στην επιφάνεια της υδάτινης στήλης και ήταν ίση με 8,62. Τέλος, ως προς την παράμετρο της χλωροφύλλης *a* η μέση τιμή και των 3 σταθμών ήταν 1,52 mg/m³, ενώ η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στον δυτικό σταθμό, σε μέσο βάθος και ήταν 3,04 mg/m³.

Σε σχέση με τα θρεπτικά άλατα, στα αμμωνιακά η μέση συγκέντρωση ήταν 0,23 μM, ενώ η μεγαλύτερη καταγράφηκε στον κεντρικό σταθμό, στο μέσο της υδάτινης στήλης, και έφθασε στα 0,958 μM. Για τα νιτρώδη η μέση τιμή ήταν 0,0010 μM, ενώ η υψηλότερη καταγράφηκε στον σταθμό EG (0,0014 μM), σε μέσο βάθος. Ως προς τη συγκέντρωση των νιτρικών, η μέση συγκέντρωση ήταν 2,33 μM, ενώ η μεγαλύτερη εμφανίστηκε στο κεντρικό τμήμα του κόλπου (2,36 μM) και βρέθηκε σε δείγμα που λήφθηκε από τον πυθμένα. Τα φωσφορικά εμφάνισαν μέση τιμή 0,005 μM, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να καταγράφεται στον κεντρικό σταθμό 0,012 μM, σε μέσο βάθος της υδάτινης στήλης. Τέλος, για τα πυριτικά η μέση τιμή ήταν 1,54 μM, ενώ η μέγιστη παρατηρήθηκε στον δυτικό σταθμό (1,86 μM), στην επιφάνεια της υδάτινης στήλης.

Η στατιστική επεξεργασία της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων μεταξύ των τριών σταθμών δειγματοληψίας, με τη χρήση της μονοπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (One-way ANOVA), δεν έδειξε σημαντικές διαφορές.

Λέξεις κλειδιά: Περιβαλλοντικός έλεγχος, θρεπτικά άλατα, ευτροφισμός, Παγασητικός κόλπος.

Περιεχόμενα

Προκαταρκτικές σελίδες	i-iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1 Γενικές πληροφορίες για το νερό	4
1.2 Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής έρευνας	4
1.3 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του Παγασητικού κόλπου	6
1.4 Πηγές ρύπανσης του κόλπου	9
1.5 Σκοπός της εργασίας	11
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	13
2.1 Σταθμοί δειγματοληψίας	13
2.2 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά	14
2.3 Στατιστική ανάλυση	19
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	20
3.1 Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι	20
3.2 Θρεπτικά άλατα	25
3.3 Στατιστική επεξεργασία	29
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	34
4.1 Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι	34
4.2 Θρεπτικά άλατα	45
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	55
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	56
6.1 Ελληνική Βιβλιογραφία	56
6.2 Διεθνής Βιβλιογραφία	58
6.3 Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	62
ABSTRACT	63

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικές πληροφορίες για το νερό

Η Γη στο μεγαλύτερο ποσοστό της επιφάνειάς της, συγκεκριμένα στα $\frac{3}{4}$ αυτής, είναι καλυμμένη με νερό. Όλα τα υδατικά αποθέματα που βρίσκονται επάνω στην Γη ορίζονται ως υδρόσφαιρα, και χωρίζονται σε Ωκεανούς και Θάλασσες, στο νερό της ατμόσφαιρας και στο νερό των ηπείρων (Φυτιανός 2017).

Σε μεγαλύτερο ποσοστό υδρόσφαιρας κυριαρχεί αυτό που κατανέμεται στους ωκεανούς και τις θάλασσες (περίπου το 97,3%), και το υπόλοιπο 2,7% αφορά τις ηπείρους, με σημαντικότερη ποσότητα νερού να υπάρχει στους παγετώνες της Ανταρκτικής. Όλα αυτά τα κομμάτια της υδρόσφαιρας, δηλαδή, η ατμόσφαιρα, οι θάλασσες, καθώς και οι ήπειροι, «περιοχές» οι οποίες αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες νερού, αποτελούν χώρους με εξαιρετικά συχνή αλληλεπίδραση, και έχουν σημαντική σύνδεση. Η γήινη επιφάνεια που περιβάλλεται από αυτούς τους μεγάλους όγκους νερού, είναι κατανεμημένη άνισα ανάμεσα στα δύο ημισφαίρια. Ειδικότερα, το βόρειο ημισφαίριο καλύπτεται κατά 60,7%, ενώ στο νότιο κατά 80,9%. Μερικές από τις ιδιότητες που διαθέτει το θαλασσινό νερό, όπως οι υψηλές λανθάνουσες θερμότητες τήξης και εξάτμισης, η μεγάλη θερμοχωρητικότητα και τα υψηλά σημεία ζέσεως και πήξης, είναι παρόμοιες με αυτές που διαθέτουν τα γλυκά ύδατα (Φυτιανός 2017).

1.2 Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής έρευνας

Ο Παγασητικός είναι ένας σχετικά αβαθής ημίκλειστος κόλπος, με μέσο και μέγιστο βάθος 69 και 108 m, αντίστοιχα, με επιφάνεια 520 Km² και μέσο όγκο 36 Km³ (Petihakis et al. 2005). Οι μεγαλύτερες διαστάσεις του από βορρά προς νότο και ανατολή

προς δύση είναι 16 και 17 km, αντίστοιχα (Korres et al. 2012) (Εικ.1). Βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του Αιγαίου και περιβάλλεται βόρεια από το Χαλκοδόνιο όρος, δυτικά από τα βουνά Γούρας, νοτιοδυτικά από το όρος Όθρυς και νοτιοανατολικά από τον εκτεταμένο όγκο του όρους Πήλιο (Petihakis et al. 2005).



Εικόνα 1. Ο Παγασητικός κόλπος (πηγή: Google Earth).

Στην ακτογραμμή του Παγασητικού κόλπου παρουσιάζονται πολλές εγκολπώσεις, οι μεγαλύτερες από τις οποίες σχηματίζουν τους όρμους του Βόλου και του Αλμυρού. Επίσης, ο κόλπος έχει επικοινωνία με το Αιγαίο Πέλαγος μέσω του διαύλου του Τρίκερι, το οποίο βρίσκεται βόρεια της Εύβοιας με άνοιγμα 5,5 km και βάθος 80 m. Σε δύο

τμήματα του Παγασητικού, συγκεκριμένα στο δυτικό και το βόρειο τμήμα του εκβάλλουν μικρά ποτάμια και χείμαρροι, από τα οποία εξομαλύνεται το ανάγλυφο της ξηράς. Ως μέγιστο βάθος γεωμορφολογικά παρατηρείται το ανατολικό τμήμα του κόλπου, και συγκεκριμένα μια περιοχή σχήματος λεκάνης με έντονο ανάγλυφο. Στο δυτικό και βόρειο τμήμα παρουσιάζεται ομαλή κλίση του πυθμένα, ενώ στην ανατολική ακτή του το ανάγλυφο εμφανίζεται απότομο (Petihakis et al. 2002). Παρατηρούνται σε έντονο βαθμό στον πυθμένα λεπτόκοκκα ιζήματα, που προέρχονται από τα μικρά ποτάμια που εκβάλλουν στον κόλπο. Το μεγαλύτερο μέρος του πυθμένα του κόλπου είναι καλυμμένο με ιλύ, εκτός από το ΒΔ (περιοχή Αλμυρού) και το ανατολικό τμήμα της εισόδου του κόλπου (περιοχή Τρίκερι), που είναι καλυμμένα με άμμο (Περισσοράτης και συν. 1993).

1.3 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του Παγασητικού κόλπου

Το μικροκλίμα του κόλπου ακολουθεί τα γενικά χαρακτηριστικά της λεκάνης της Μεσογείου με δύο βασικές ομάδες ανέμων: ανέμους που πνέουν κάθε χρόνο από τον Ιούλιο μέχρι τον Σεπτέμβριο με βορειοδυτική κατεύθυνση και νότιους ζεστούς και ξηρούς ανέμους (Petihakis et al. 2005). Κατά κύριο λόγο οι άνεμοι χαρακτηρίζονται αδύναμοι με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα θερμοκλινές, όπου η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 16,5°C, με μέγιστη θερμοκρασία αυτή του Ιουλίου (31°C) και ελάχιστη αυτή του Ιανουαρίου (11°C) (Petihakis et al. 2005).

Σε γενικές γραμμές, στην περιοχή παρουσιάζεται εύκρατο κλίμα. Παρατηρούνται μεγάλα ημερήσια και ετήσια θερμοκρασιακά εύρη, θερμό ξηρό καλοκαίρι και ήπιος

βροχερός χειμώνας (Ψόχιου 2003). Σύμφωνα με την E.M.Y. (1956 – 1988), παρατηρήθηκε μέση ετήσια υγρασία σε ποσοστό 67,2% και μέσος ετήσιος αριθμός ημερών βροχής 89,2. Η μέση τιμή της ετήσιας βροχόπτωσης είναι 420 mm. Στην περιοχή πνέουν άνεμοι μικρής έντασης (1-4 Beauford), ενώ με μεγαλύτερη συχνότητα εμφανίζονται τα 1 και 2 Beauford.

Ο Παγασητικός κόλπος αποτελεί έναν κόλπο στον οποίο οι ταχύτητες των ρευμάτων χαρακτηρίζονται γενικά ασθενής (<40cm/sec) (Voutsinou – Taliadouri & Balopoulos 1989), κάτι που είναι αναμενόμενο εξαιτίας των αδύναμων ανέμων που πνέουν στην περιοχή αυτή (Petihakis et al. 2005). Εξωτερικά του κόλπου υπάρχει επιρροή της κίνησης των επιφανειακών και υποεπιφανειακών στρωμάτων από τους ανέμους, από την ανταλλαγή υδάτινων μαζών μεταξύ του κόλπου και του Αιγαίου αλλά και του βόρειου Ευβοϊκού, ενώ η δυναμική συμπεριφορά του εσωτερικού κόλπου εξαρτάται σημαντικά από τον άνεμο που πνέει στην περιοχή (Petihakis et al. 2005) . Υπάρχει μια αρνητική περιδίνηση (αντικυκλωνική κυκλοφορία) στην ανατολική πλευρά του Παγασητικού και μια αρνητική περιδίνηση (κυκλωνική κυκλοφορία) στην κεντρική – δυτική πλευρά του κόλπου (Petihakis et al. 2005). Το νερό ανανεώνεται στο πυθμενικό στρώμα, λόγω της εισόδου του νερού από το Αιγαίο Πέλαγος, κατά μήκος της ανατολικής ακτής του Διαύλου του Τρίκερι, και λόγω της εξόδου του νερού προς το Αιγαίο κατά μήκος της δυτικής ακτής του Διαύλου. Τα νερά του κόλπου έχουν έναν συγκεκριμένο ρυθμό ανανέωσης. Αυτός είναι της τάξεως των 105 ημερών με τυπική απόκλιση 51 ημέρες (Petihakis et al. 2005). Ιδιαίτερα σημαντική είναι η αναφορά όλων των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού της περιοχής.

Πιο συγκεκριμένα ως προς το διαλυμένο οξυγόνο, παρουσιάζεται ετήσια διακύμανση από 4,5 μέχρι 6 mg/l στην επιφάνεια του κόλπου και εμφανίζονται τιμές κορεσμού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Theodorou 1995, Θεοδώρου και συν. 1997).

Κατά τους χειμερινούς μήνες, παρατηρείται πλήρης ομογενοποίηση στη στήλη του νερού, ενώ κατά τις άλλες εποχές σχηματίζεται το θερμοκλινές και το αλοκλινές, στην περιοχή του ενδιάμεσου στρώματος (20-40 m βάθους). Στα επιφανειακά νερά η οξυγόνωση είναι καλή και οι τιμές της αλατότητας είναι χαμηλότερες σχετικά με τα βαθύτερα σημεία του κόλπου, ενώ εμφανίζουν είσοδο φρέσκου νερού στη δυτική πλευρά, από την περιοχή του Πηλίου και του Αλμυρού, σε αντίθεση με τα επιφανειακά νερά στη ανατολική πλευρά και τον Δίαυλο του Τρίκερι (Petihakis et al. 2005, Petihakis et al. 2012). Παρατηρείται θερμοκρασιακή μεταβολή ανάλογη της εποχής, με μέγιστη (25°C) και ελάχιστη τιμή (11°C).

Στο επιφανειακό στρώμα έχουμε διακύμανση της αλατότητας (S) από 36.5 psu τους καλοκαιρινούς μήνες, έως 38 psu τον χειμώνα. Παρουσιάζεται μεγαλύτερο ποσοστό αλατότητας στην ανατολική λεκάνη του κόλπου, κατά τους περισσότερους μήνες του έτους και ιδιαίτερα τον χειμώνα (Gabrielidis & Theocharis 1978, Theocharis & Laskaratos 1985).

Ο Παγασητικός κόλπος γενικά χαρακτηρίζεται ως ολιγοτροφικός με τάσεις ευτροφισμού στην περιοχή του όρμου του Βόλου, ενώ παρουσιάζει ελάχιστα αυξημένες συγκεντρώσεις θρεπτικών σε σχέση με το Αιγαίο Πέλαγος, με μικρές εποχιακές διακυμάνσεις (Gabrielides & Theocharis 1978, Friligos 1988). Μετά τη λειτουργία του νέου αποχετευτικού αγωγού εκβολής λυμάτων στη θέση Αγκίστρι μειώθηκαν όλα σχεδόν τα άλατα, με εξαίρεση τα πυριτικά (Theodorou 1995), αλλά οι συνθήκες στον εσωτερικό

κόλπο θεωρούνται μεσότροφες, μάλιστα με φαινόμενα ευτροφισμού σε ορισμένα σημεία (Petihakis et al. 2002). Αναφορικά με τον λόγο αζώτου (N) : φωσφόρου (P), μπορεί να αναφερθεί ότι παρουσιάζεται διακύμανση σε σχέση με την αναλογία 16:1, κάτι το οποίο σημαίνει ότι και τα δύο αυτά στοιχεία αποτελούν περιοριστικό παράγοντα της φυτοπλαγκτονικής αύξησης για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους το κάθε ένα (Petihakis et al. 2002).

1.4 Πηγές ρύπανσης του κόλπου

Υπάρχουν αρκετές πηγές ρύπανσης του συγκεκριμένου κόλπου και προέρχονται κυρίως από βιομηχανικές, αστικές, αγροτικές αλλά και τουριστικές δραστηριότητες. Πιο συγκεκριμένα, βόρεια του Παγασητικού, βρίσκεται το λιμάνι και η βιομηχανική πόλη του Βόλου με πληθυσμό περίπου 144.449 κατοίκους. Άμεση εξάρτηση από τον θαλάσσιο χώρο έχουν η βιομηχανική περιοχή, οι κάτοικοι της πόλης, αλλά και οι περιοχές που βρίσκονται περιμετρικά του κόλπου, μέσω της αλιείας, της συγκοινωνίας μέσω θαλάσσης αλλά και του τουρισμού (Κόλιου-Μήτσιου 2000). Κύρια πηγή ρύπανσης αποτελούν οι γεωργικές καλλιέργειες που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή και τα βιομηχανικά ή αστικά λήματα (Sawidis et al. 2001), καλλιέργειες σιτηρών και βαμβακιού, καθώς και λιπάσματα, που είναι πλούσια σε θειούχες και φωσφορικές ενώσεις, επιβαρύνοντας τον Παγασητικό κόλπο. Ακόμη, βασική πηγή ρύπανσης του Παγασητικού αποτελούν αποτελέσματα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και ειδικότερα της βιομηχανικής περιοχής. Στη βιομηχανική περιοχή περιλαμβάνονται κυρίως μονάδες μετάλλων, εργοστάσια υπεύθυνα για την παραγωγή και τη συσκευασία τροφίμων, μονάδες επεξεργασίας ξύλου, ένα εργοστάσιο στον ανατολικό μέρος που

αφορά τσιμέντα (Tsangaris et al., 2013), καθώς επίσης λαμβάνουν χώρα και πολλά ελαιοτριβεία (Petihakis et al., 2005).

Παρατηρείται άρα περιφερειακά του κόλπου η ανάπτυξη ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και μια σειρά από αποτελέσματα που έχουν αυτές. Ειδικότερα, τα απόβλητα από ελαιοτριβεία των λεκανών απορροής της περιοχής, απορρίπτονται γύρω από τον κόλπο, χωρίς πάντα να τηρούνται τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται. Επίσης, τα απόβλητα βιοτεχνικών και βιοχημικών δραστηριοτήτων απορρίπτονται εξωτερικά του αστικού περιγύρου, χωρίς η πράξη αυτή να συνδέεται με βιολογικό καθαρισμό, με αποτέλεσμα να υφίσταται το περιβάλλον επιβάρυνση. Σημαντική επιβάρυνση, ακόμη, επιφέρουν τα υπολείμματα από λιπάσματα και γεωργικά φάρμακα τα οποία καταλήγουν στις λεκάνες απορροής μεταφέροντας έτσι πληθώρα ρυπογόνων στοιχείων αλλά και θρεπτικών. Επιπρόσθετα, σημαντική είναι η συμβολή των ποσοστών αζώτου, τα φωσφορικά άλατα αλλά και το θείο που περιέχονται στα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στο καλλιεργούμενο βαμβάκι και τα δημητριακά. Εξαιρετικά σημαντικά αρνητικά αποτελέσματα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων προκαλούνται εξαιτίας της έντονης αλιευτικής δραστηριότητας, νόμιμης αλλά και παράνομης, οι ενέργειες της παράκτιας ζώνης που συνδέονται άμεσα με τουριστικές δραστηριότητες αλλά και λύματα από τους κατοίκους της πόλης, καθώς αυτά καταλήγουν παράνομα στον θαλάσσιο χώρο. Επιπροσθέτως, μεταφέρονται στον Παγασητικό υγρά και στερεά απόβλητα τοξικών ουσιών και συγκεκριμένα αντιρρυπαντικών τοξικών ουσιών που συναντώνται σε βάρκες, αλλά και πετρελαϊκά υπολείμματα πλωτών μέσων. Τέλος, η λήψη της απόφασης για τη διαχείριση της κατάστασης του Παγασητικού που συνέβη το '60, συνδέεται άμεσα με την τωρινή κατάσταση που επικρατεί στον κόλπο. Αναλυτικότερα, η απόφαση αποξήρανσης της λίμνης Κάρλας και η ένωση αυτής με τον

Παγασητικό, προκάλεσε το να μεταφέρονται σημαντικά ρυπαντικά φορτία του θεσσαλικού κάμπου στον κόλπο. Στο εσωτερικό τμήμα του κόλπου πραγματοποιείται εμπλουτισμός με θρεπτικά άλατα, και εμφανίζεται και το φαινόμενο συσσώρευσης «ζελατινώδους αφρού», εξαιτίας της εισροής υδάτων από τη σήραγγα προς τον κόλπο μέσω του χειμάρρου Ξηριά Βόλου (Kesary et al. 2002). Ο τελευταίος προκαλεί επιβάρυνση της θάλασσας με σημαντικά ποσοστά ιόντων βρωμίου, φθορίου και νιτρικών (Μήτσιος και συν. 2000). Το 1982 εκδηλώθηκε ένταση του παραπάνω φαινομένου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σοβαρών προβλημάτων αλιείας και τουρισμού. Η δημιουργία αυτού του αφρού αποτελεί αποτέλεσμα της συσσώρευσης φυτοπλαγκτού, σε συνδυασμό με ζωοπλαγκτονικά απεκκρίματα, ανόργανα αιρούμενα μικροσωματίδια, καθώς και βακτήρια. Ακολούθησε χρονικά μία ύφεση του φαινομένου, ωστόσο έκανε ξανά την εμφάνισή του το 1987, και έπειτα, ξανά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες του 1997, με εξαιρετικά έντονο τρόπο στο εσωτερικό του κόλπου επιφανειακά της περιμέτρου (Kesary et al. 2002). Κύριος λόγος που θεωρείται ότι παρατηρείται το φαινόμενο αυτό είναι τα θρεπτικά συστατικά που εισέρχονται στον κόλπο, συνδυαστικά με την αύξηση της θερμοκρασίας που επέρχεται τους καλοκαιρινούς μήνες, αλλά επίσης και το μικρό βάθος (Friligos 1987). Στις μέρες μας, έχει μειωθεί εξαιρετικά η εμφάνιση του συγκεκριμένου γεγονότος αφού διεκόπη η σύνδεση με τη σήραγγα, και η λειτουργία της έχει περιοριστεί αποκλειστικά για εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες.

1.5 Σκοπός της εργασίας.

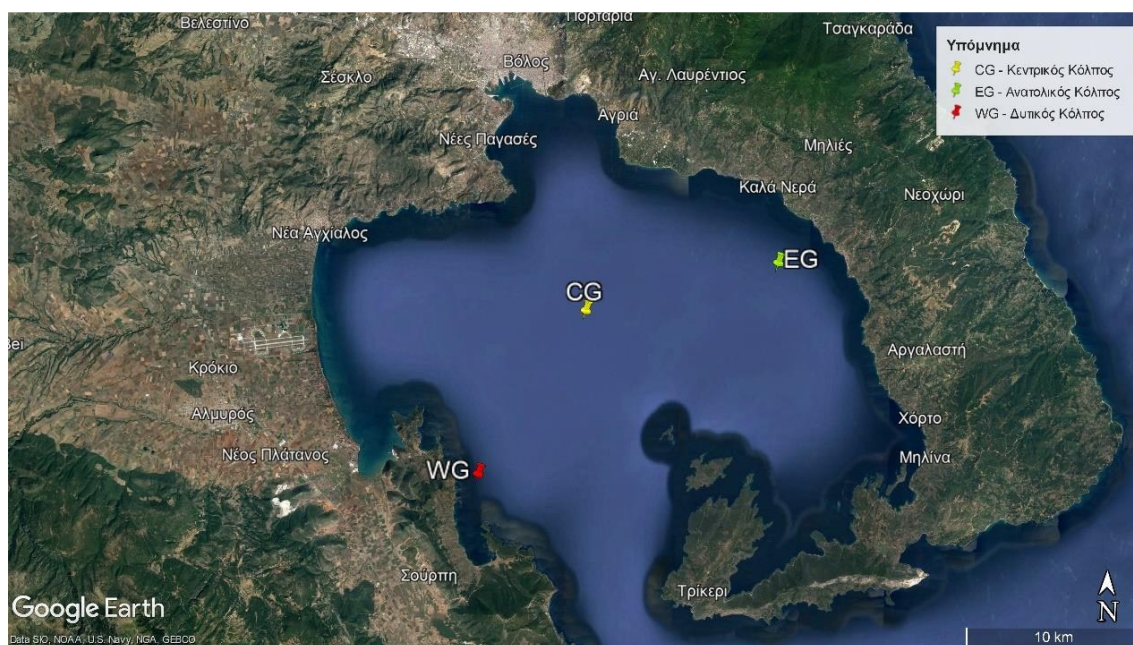
Σκοπός της παρούσας πτυχιακής διατριβής, είναι η έρευνα της ποιότητας του νερού των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από τον Παγασητικό, και συγκεκριμένα από το Δυτικό, Κεντρικό αλλά και Ανατολικό τμήμα του. Πιο συγκεκριμένα, στόχο αποτελεί η

ανάλυση των τιμών των δειγμάτων σε φυσικοχημικά χαρακτηριστικά (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, ενεργό οξύτητα, και χλωροφύλλη α) αλλά και σε θρεπτικά άλατα (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά και πυριτικά), τη δεδομένη χρονική στιγμή της λήψης των δειγμάτων, αλλά και η σύγκριση των αποτελεσμάτων, με παρόμοιες διατριβές και έρευνες στην περιοχή αυτή με απώτερο σκοπό τη λήψη αποτελεσμάτων αλλά και τη συζήτηση περί της κατάστασης του Παγασητικού κόλπου χρονικά.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Σταθμοί δειγματοληψίας

Για τη συγκεκριμένη έρευνα, συλλέχθηκαν εννέα (9) δείγματα νερού σε μία πειραματική αλιεία που πραγματοποιείται από το Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος κάθε χρόνο. Τα δείγματα αυτά πάρθηκαν συγκεκριμένα στις 24/05/2022 από τον Ανατολικό, τον Κεντρικό και τον Δυτικό Παγασητικό κόλπο (Εικ. 2), από την επιφάνεια, το μέσο της υδάτινης στήλης αλλά και τον πυθμένα. Για την πραγματοποίηση αυτής της πειραματικής αλιείας χρησιμοποιήθηκε ένα εμπορικό σκάφος τύπου μηχανότρατας.



Εικόνα 2. Χάρτης σταθμών δειγματοληψίας στον Παγασητικό κόλπο (πηγή: Google Earth).

2.2 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

2.2.1 Υδάτινη στήλη

Πραγματοποιήθηκαν σε όλα τα σημεία που προαναφέρθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας, της αλατότητας, του διαλυμένου οξυγόνου, του pH και της χλωροφύλλης α, με τη βοήθεια ενός συνεχούς καταγραφέα (SEABIRD-19plus) (Εικ. 3).



Εικόνα 3. Αυτογραφικό όργανο συνεχούς καταγραφής φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού (CTD, SEABIRD-19plus).

2.2.2 Θρεπτικά άλατα

Για τον σκοπό της έρευνας πραγματοποιήθηκε λήψη τριών δειγμάτων νερού από κάθε σταθμό, με δειγματολήπτη τύπου Lymanos 1.4 ℓ (συνολικά 9 δείγματα). Σε αυτά

προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακών, νιτρωδών, νιτρικών, φωσφορικών και πυριτικών). Το πρώτο δείγμα συλλέχθηκε από την επιφάνεια, το δεύτερο από μέσο βάθος και το τρίτο από ένα βαθύ σημείο λίγο πιο πάνω από τον πυθμένα. Ακολούθως πραγματοποιήθηκε τοποθέτηση των δειγμάτων αυτών σε πλαστικά φιαλίδια 500 ml και έγινε προσθήκη χλωριούχου υδραργύρου (2 ml HgCl_2 σε 500 ml δείγματος), με σκοπό να ανασταλεί η δράση των μικροοργανισμών. Έπειτα, ακολούθησε η μεταφορά των δειγμάτων αυτών στο εργαστήριο με τη βοήθεια φορητού ψυγείου, όπου διηθήθηκαν με φίλτρα τύπου GF/F (47 mm διάμετρο και 0,7 μm άνοιγμα οπών) και εν συνεχεία τοποθετήθηκαν σε καταψύκτη (-20°C), έως ότου και αναλύθηκαν με φασματοφωτόμετρο τύπου SHIMADZU UV-1800 (Εικ. 4), ακολουθώντας το πρωτόκολλο των Eaton et al. (1998).



Εικόνα 4. Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις των δειγμάτων νερού (SHIMADZU UV-1800)(φώτο συγγραφέα).

Αμμωνιακά (NH₄)

Ο προσδιορισμός της ολικής αμμωνίας πραγματοποιήθηκε με προσθήκη συγκεκριμένων ποσοτήτων από αντιδραστήρια φαινόλης (phenol solution), νιτροπρωσσικό νάτριο (sodium nitroprusside solution), καθώς και οξειδωτικό διάλυμα (oxidising solution) στα δείγματα. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση του δείγματος σε σκοτεινό σημείο, σε θερμοκρασία δωματίου, με απώτερο στόχο την αποφυγή της άμεσης έκθεσής του στο φως, και μετά το πέρας μίας ώρα έγινε μέτρηση της απορρόφησης στα 640 nm (Strickland & Parsons 1972).

Η ολική αμμωνία αποτελείται από την ιονισμένη (NH₄⁺) και τη μη ιονισμένη (NH₃) αμμωνία. Η μεταξύ τους αναλογία μεταβάλλεται εξαιτίας της θερμοκρασίας του νερού και του pH, την δεδομένη χρονική στιγμή συλλογής του δείγματος και ισχύει η παρακάτω σχέση:

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

Το pK_a αποτελεί μία σταθερά εξαρτημένη της θερμοκρασίας του νερού, με βάση των παρακάτω Πίνακα 1 (Strickland & Parsons 1972).

Πίνακας 1: Οι τιμές της σταθεράς pK_a σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του νερού.

Θερμοκρασία (οC)	5	10	15	20	25	30
pK _a	9,90	9,73	9,56	9,40	9,24	9,09

Τελευταίο βήμα για τον προσδιορισμό της ολικής αμμωνίας αποτέλεσε ο προσδιορισμός του ποσοστού της ιονισμένης μορφής της αμμωνίας ή των αμμωνιακών (NH_4^+), με τη βοήθεια της παραπάνω σχέσης και εκτιμήθηκε η τελική συγκέντρωση ($\% \text{NH}_4^+ = 100\% - \% \text{NH}_3$).

Νιτρώδη (NO_2)

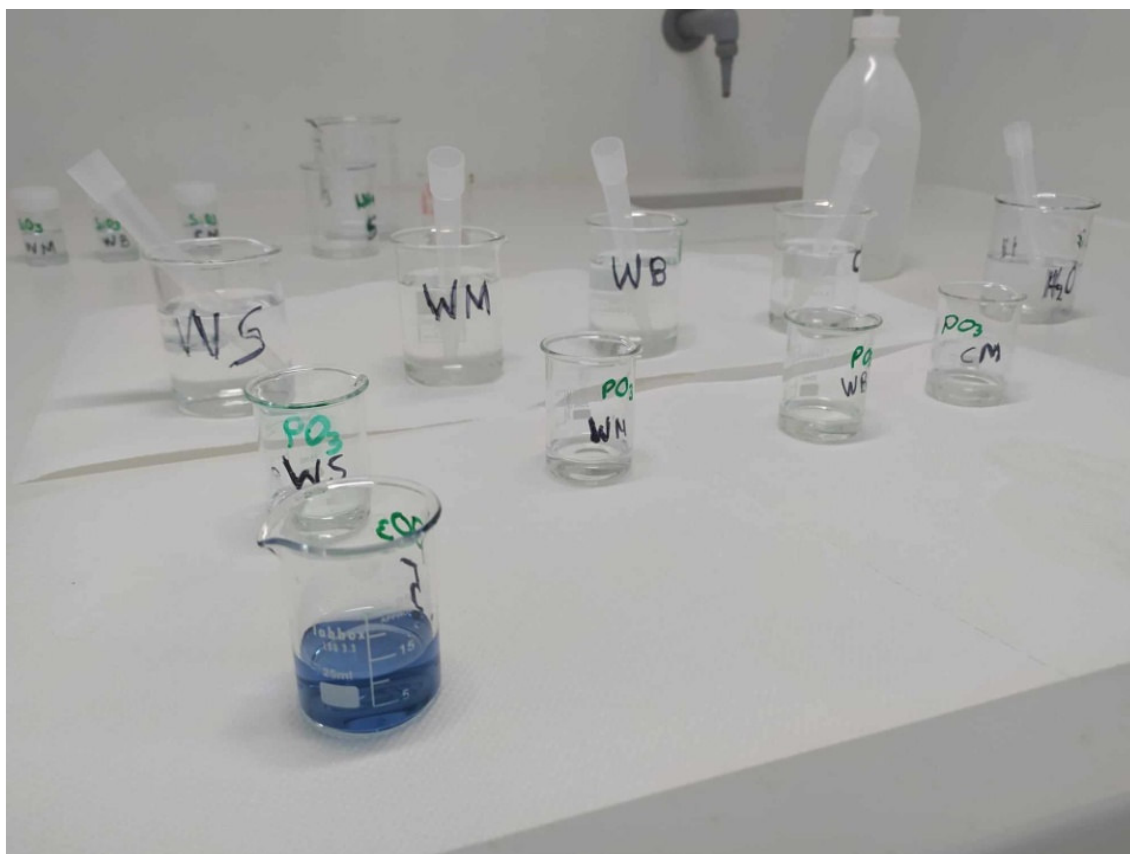
Τα νιτρώδη προσδιορίστηκαν αφού προστέθηκε συγκεκριμένη ποσότητα από αντιδραστήρια σουλφανυλαμιδίου (sulphanilamide solution) σε όξινο περιβάλλον στα δείγματα θαλασσινού νερού. Το αποτέλεσμα της διαζω- ένωσης που προέκυψε, πραγματοποίησε αντίδραση με την N-(1- ναφθυλο)-αιθυλενοδιαμίνη (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine) και σχημάτισε αζωχρωστική, το χρώμα της οποίας, καθώς και η έντασή του, εξαρτάται αναλογικά από τη συγκέντρωση των νιτρωδών. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 543 nm έναντι απεσταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε νιτρώδες νάτριο (NaNO_2) συγκέντρωσης 50 $\mu\text{g-at N/l}$ (Parsons et al. 1984).

Νιτρικά (NO_3)

Ο προσδιορισμός των νιτρικών αλάτων επιτεύχθηκε με προσθήκη συγκεκριμένης ποσότητας υδροχλωρικού οξέος (HCL) στο δείγμα νερού, και εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε μέτρηση της απορρόφησης στα 220 nm. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε νιτρικό κάλιο (KNO_3) συγκέντρωσης 2 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ (APHA 1980).

Φωσφορικά (PO₄)

Ο προσδιορισμός των φωσφορικών αλάτων πραγματοποιήθηκε όταν το δείγμα αντέδρασε με τη βοήθεια ενός σύνθετου αντιδραστηρίου που διέθετε μολυβδαινικό οξύ και τρισθενές αντιμόνιο (molybdate acid-antimony solution) και ο σχηματισμός του συμπλέγματος ανάχθηκε με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός έντονα κυανού διαλύματος (Εικ. 5), που μετρήθηκε με φασματοφωτόμετρο στα 885nm. Για τη λειτουργία του προτύπου διαλύματος επιλέχθηκε το δισόξινο φωσφορικό κάλιο (KH₂PO₄) συγκέντρωσης 0,0816 g/l (Parsons et al. 1984).



Εικόνα 5. Η δημιουργία του διαλύματος των φωσφορικών με το έντονο κυανό χρώμα (φώτο συγγραφέα).

Πυριτικά (SiO₂)

Ο προσδιορισμός των πυριτικών αλάτων πραγματοποιήθηκε από την αντίδραση του θαλασσινού νερού με μολυβδαινικό διάλυμα (molybdate reagent) σε συγκεκριμένες συνθήκες, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό πυριτομολυβδικών, φωσφορομολυβδικών και αρσενομολυβδικών συμπλόκων. Ακολούθως πραγματοποιήθηκε η προσθήκη ενός αναγωγικού διαλύματος (reducing reagent), του οποίου η σύσταση αποτελούνταν από θειική παρα-μεθυλο-αμινο-φαινόλη (p-methylaminophenol sulfate) και οξαλικό οξύ (oxalic acid), το οποίο αντιδρώντας με το πυριτομολυβδικό σύμπλοκο είχε σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό ενός βαθυγάλανου χρώματος, και σαν ταυτόχρονη δράση την αποσύνθεση των φωσφορομολυβδικών και πυριτομολυβδικών συμπλόκων. Τέλος, μετρήθηκε το διάλυμα με φασματοφωτόμετρο στα 810 nm έναντι απεσταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε διάλυμα πυριτοφθοριδίου (Na₂SiF₆) συγκέντρωσης 5.000 micro mol/l (Parsons et al. 1984).

2.3 Στατιστική ανάλυση

Πραγματοποιήθηκε στατιστική σύγκριση στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων για τους σταθμούς δειγματοληψίας με τη χρήση της μονοπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (one - way Analysis of Variance – ANOVA), χρησιμοποιώντας το λογισμικό Past. Επίσης, χρησιμοποιώντας το λογισμικό πρόγραμμα Excel, αποτυπώθηκαν σε μορφή διαγραμμάτων τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά, καθώς και οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι

Για κάθε έναν σταθμό δειγματοληψίας, καταγράφηκαν από το CTD κάποιες φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, pH και χλωροφύλλη α). Στον Πίνακα 2 δίνεται ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση, καθώς και η ελάχιστη και μέγιστη τιμή των παραπάνω παραμέτρων.

Πίνακας 2: Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι του νερού στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (Ανατολικός Παγασητικός – EG, Κεντρικός Παγασητικός - CG, Δυτικός Παγασητικός - WG).

	Σταθμοί Δειγματοληψίας		
Παράμετρος	WG	CG	EG
Θερμοκρασία (°C)			
Μέσος όρος $\pm$ Τυπική απόκλιση	16,52 $\pm$ 3,17	15,61 $\pm$ 3,18	15,44 $\pm$ 3,04
Ελάχιστη τιμή (min)	12,87	12,78	12,76
Μέγιστη τιμή (max)	21,55	21,45	21,72
Αλατότητα (psu)			
Μέσος όρος $\pm$ Τυπική απόκλιση	38,34 $\pm$ 0,08	38,39 $\pm$ 0,09	38,39 $\pm$ 0,10
Ελάχιστη τιμή (min)	38,22	38,22	38,22
Μέγιστη τιμή (max)	38,44	38,50	38,53
Διαλυμένο Οξυγόνο (mg/l)			
Μέσος όρος $\pm$ Τυπική απόκλιση	5,79 $\pm$ 0,33	5,75 $\pm$ 0,38	5,76 $\pm$ 0,40
Ελάχιστη τιμή (min)	5,01	5,05	4,93
Μέγιστη τιμή (max)	6,17	6,34	6,24
pH			
Μέσος όρος $\pm$ Τυπική απόκλιση	8,59 $\pm$ 0,03	8,56 $\pm$ 0,04	8,54 $\pm$ 0,04
Ελάχιστη τιμή (min)	8,51	8,49	8,46
Μέγιστη τιμή (max)	8,62	8,60	8,59
Χλωροφύλλη α (mg/m³)			
Μέσος όρος $\pm$ Τυπική απόκλιση	1,99 $\pm$ 0,89	1,40 $\pm$ 0,61	1,17 $\pm$ 0,51
Ελάχιστη τιμή (min)	0,75	0,60	0,56
Μέγιστη τιμή (max)	3,40	2,79	2,39

Για την παράμετρο της θερμοκρασίας η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στον σταθμό EG (21,72°C), όπως και η χαμηλότερη (12,76°C), ενώ ταυτόχρονα δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών σταθμών. Με αυξανόμενη τιμή θερμοκρασίας (μέσος όρος $\pm$ τυπική απόκλιση) αναγράφονται οι τρεις σταθμοί δειγματοληψίας ως εξής:

$$EG (15,44 \pm 3,04 \text{ }^{\circ}\text{C}) < CG (15,61 \pm 3,18 \text{ }^{\circ}\text{C}) < WG (16,52 \pm 3,17 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

Αναφορικά με την αλατότητα, είναι φανερό ότι μεταξύ των τριών σταθμών, εμφανίστηκαν ανεπαίσθητες διαφορές μεταξύ του εύρους των τιμών. Συγκεκριμένα, για τον Ανατολικό σταθμό (EG) ο μέσος όρος ήταν $38,38 \pm 0,10$ psu, για τον Κεντρικό (CG) $38,39 \pm 0,09$ psu, και για τον Δυτικό (WG) $38,34 \pm 0,08$ psu. Η μέγιστη τιμή εμφανίστηκε στον σταθμό EG (38,53 psu).

Η μέγιστη τιμή διαλυμένου οξυγόνου καταγράφηκε στον σταθμό CG (6,34 mg/l), ενώ η ελάχιστη στον EG (4,93 mg/l). Οι μέσοι όροι που προέκυψαν από τις μετρήσεις για κάθε σταθμό δεν διαφέρουν μεταξύ τους, και συγκεκριμένα, με αυξανόμενη σειρά αναγράφονται οι σταθμοί:

$$CG (5,75 \pm 0,38 \text{ mg/l}) < EG (5,76 \pm 0,40 \text{ mg/l}) < WG (5,79 \pm 0,33 \text{ mg/l})$$

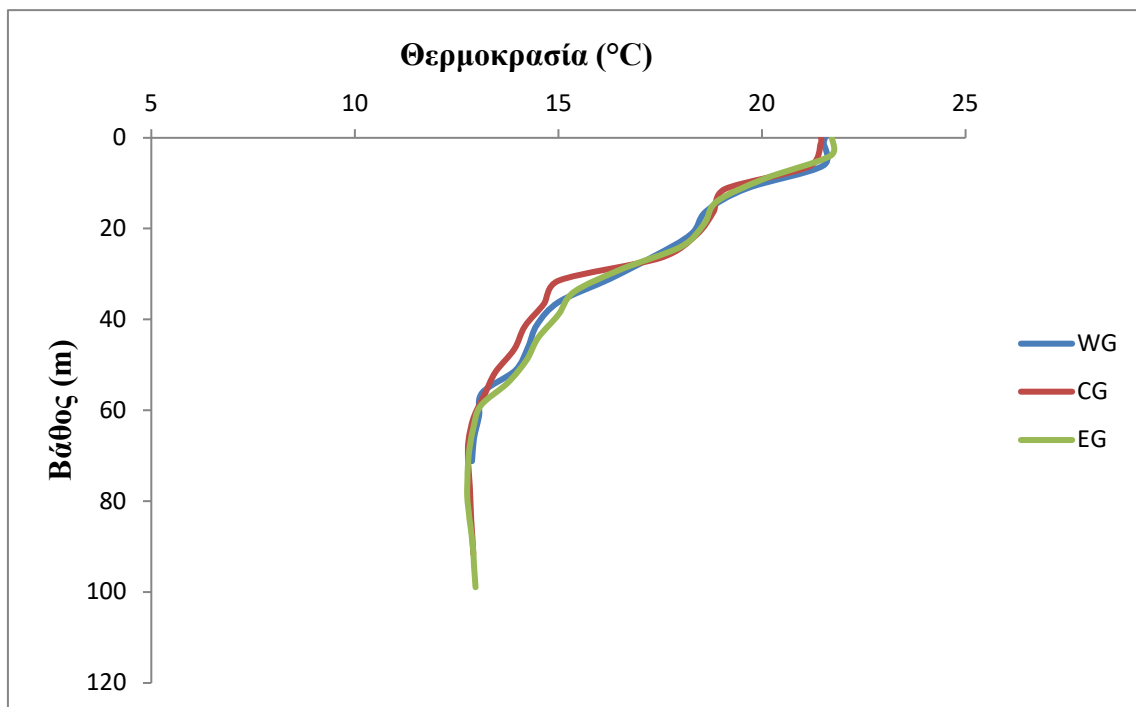
Για τις τιμές του pH υπήρξαν μικρές διακυμάνσεις σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας. Η υψηλότερη τιμή εμφανίστηκε στον σταθμό WG (8,62), ενώ πολύ κοντά κυμάνθηκε και η τιμή του σταθμού CG (8,60). Η ελάχιστη τιμή για το pH μετρήθηκε στον σταθμό EG (8,46). Παρακάτω αναγράφονται με αυξανόμενη σειρά οι σταθμοί δειγματοληψίας:

$$EG (8,54 \pm 0,04) < CG (8,56 \pm 0,04) < WG (8,59 \pm 0,03)$$

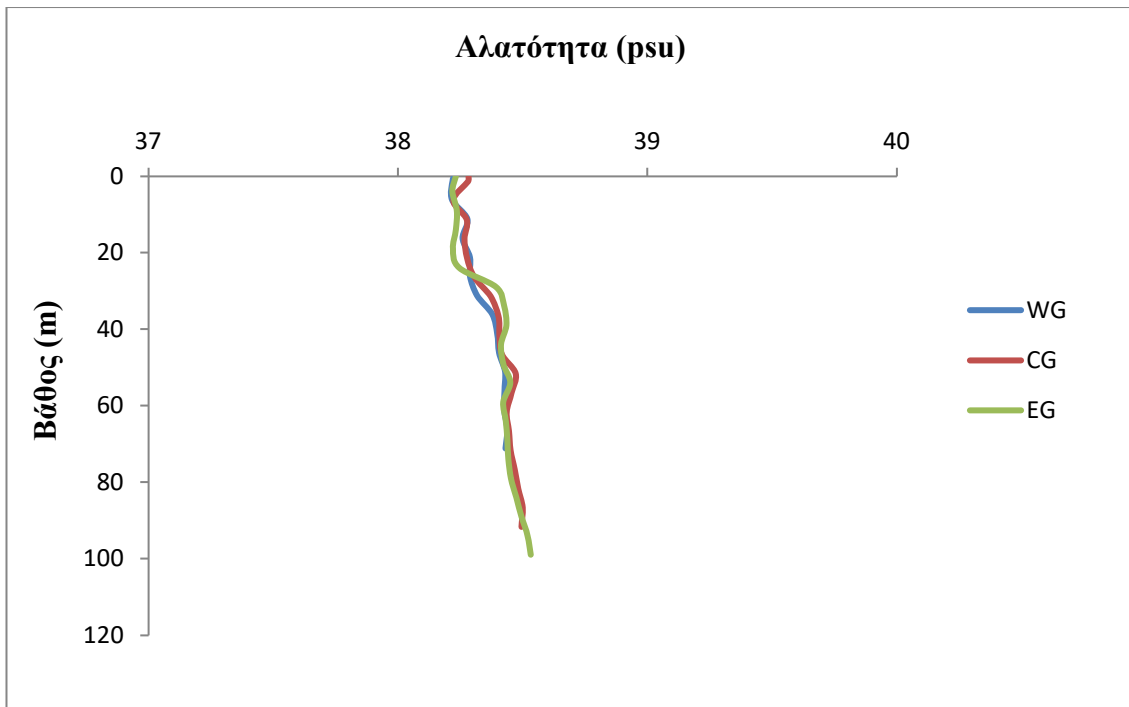
Η μέγιστη τιμή χλωροφύλλης a (mg/m^3) παρατηρήθηκε στον σταθμό WG ($3,40 \text{ mg}/\text{m}^3$) και η ελάχιστη στον EG ($0,56 \text{ mg}/\text{m}^3$), ενώ ο μέσος όρος για τη συγκεκριμένη παράμετρο, σε αυξανόμενη σειρά, έχει ως εξής:

$$\text{EG} (1,17 \pm 0,51 \text{ mg}/\text{m}^3) < \text{CG} (1,40 \pm 0,61 \text{ mg}/\text{m}^3) < \text{WG} (1,99 \pm 0,89 \text{ mg}/\text{m}^3)$$

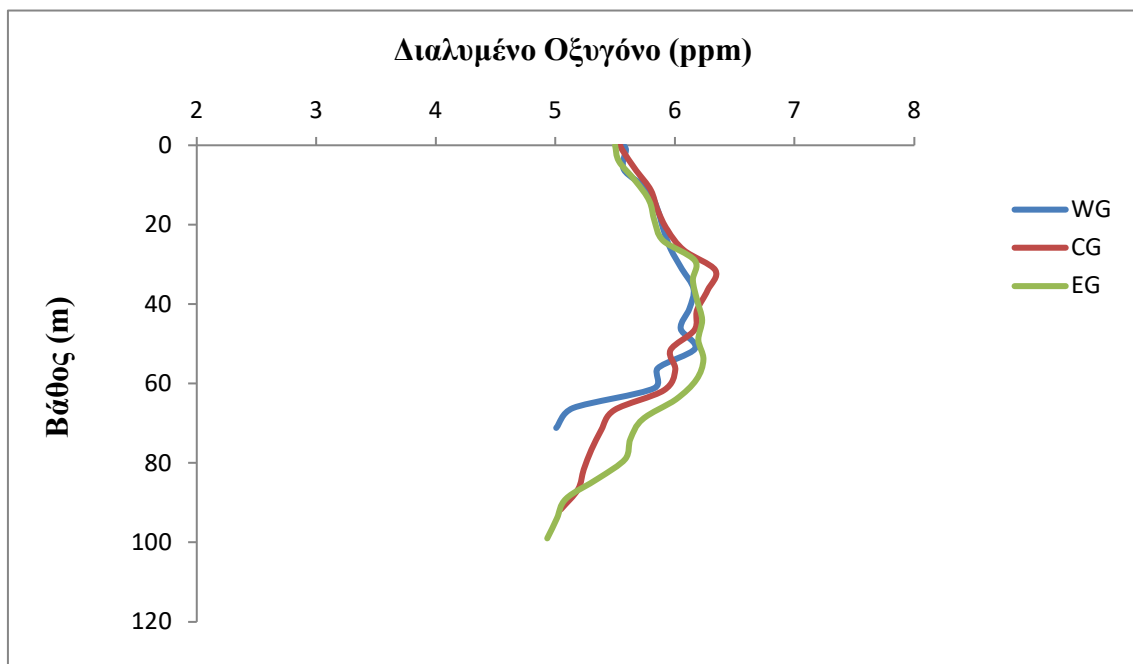
Στα Σχήματα 1-5 φαίνονται όλες οι παραπάνω φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι σε σχέση με το βάθος. Ο σταθμός WG αποτυπώνεται με μπλε χρώμα, ο CG με κόκκινο και τέλος, με πράσινο έχουμε την αποτύπωση του σταθμού EG.



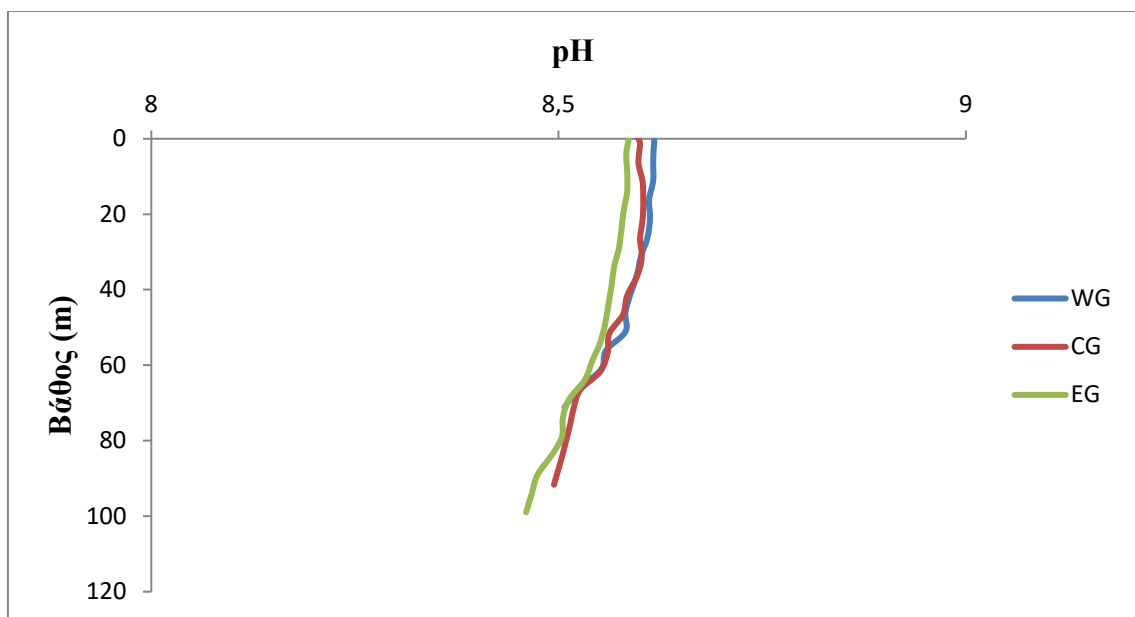
Σχήμα 1. Απεικόνιση της θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) συναρτήσει του βάθους (m) για τους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG = Δυτικός κόλπος με μπλε, CG = Κεντρικός κόλπος με κόκκινο, EG = Ανατολικός κόλπος με πράσινο).



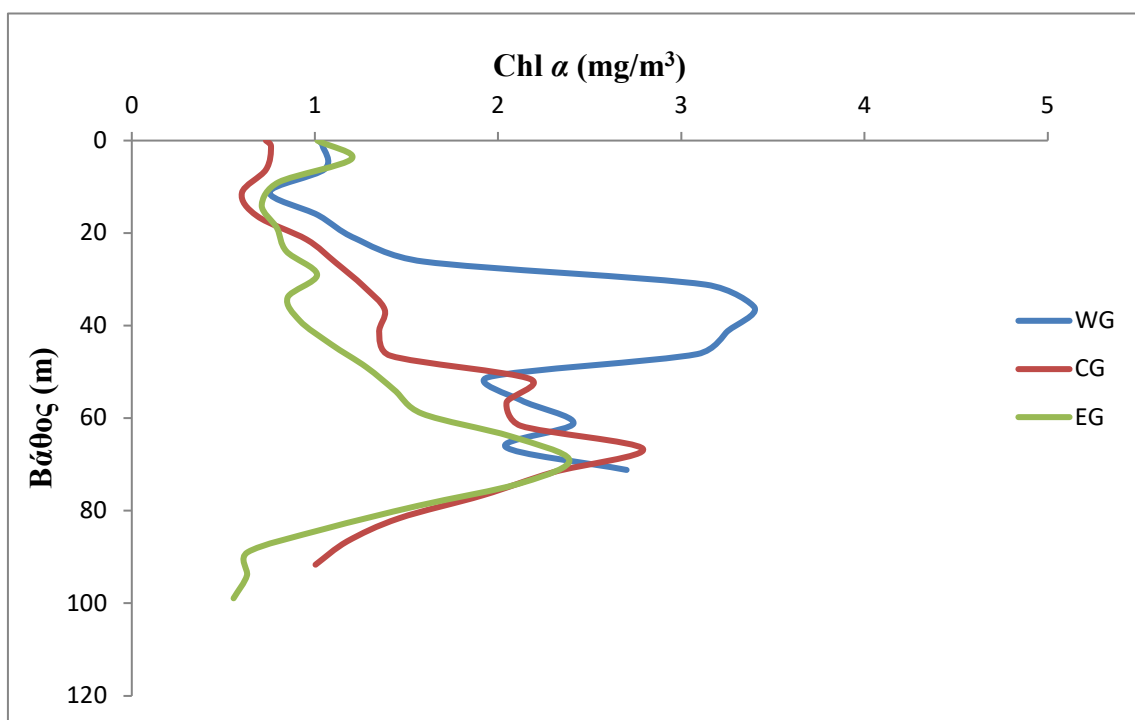
Σχήμα 2. Απεικόνιση της αλατότητας (psu) συναρτήσει του βάθους (m) για τους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG = Δυτικός κόλπος με μπλε, CG = Κεντρικός κόλπος με κόκκινο, EG = Ανατολικός κόλπος με πράσινο).



Σχήμα 3. Απεικόνιση του διαλυμένου οξυγόνου (ppm) συναρτήσει του βάθους (m) για τους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG = Δυτικός κόλπος με μπλε, CG = Κεντρικός κόλπος με κόκκινο, EG = Ανατολικός κόλπος με πράσινο).



Σχήμα 4. Απεικόνιση του pH συναρτήσει του βάθους (m) για τους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG = Δυτικός κόλπος με μπλε, CG = Κεντρικός κόλπος με κόκκινο, EG = Ανατολικός κόλπος με πράσινο).



Σχήμα 5. Απεικόνιση της χλωροφύλλης a (mg/m³) συναρτήσει του βάθους (m) για τους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG = Δυτικός κόλπος με μπλε, CG = Κεντρικός κόλπος με κόκκινο, EG = Ανατολικός κόλπος με πράσινο).

3.2 Θρεπτικά άλατα

Στον Πίνακα 3 δίνεται ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση, καθώς και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακών, νιτρωδών, νιτρικών, φωσφορικών και πυριτικών) για κάθε έναν από τους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας.

Πίνακας 3: Θρεπτικά άλατα του νερού στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (Ανατολικός Παγασητικός – EG, Κεντρικός Παγασητικός - CG, Δυτικός Παγασητικός - WG).

	Σταθμοί Δειγματοληψίας		
Παράμετρος (μM)	WG	CG	EG
Αμμωνιακά (NH₄)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	0,098±0,056	0,407±0,390	0,185±0,045
Ελάχιστη τιμή (min)	0,019	0,103	0,121
Μέγιστη τιμή (max)	0,148	0,958	0,221
Νιτρώδη (NO₂)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	0,0006±0,0000	0,0011±0,0003	0,0012±0,0001
Ελάχιστη τιμή (min)	0,0003	0,0007	0,0011
Μέγιστη τιμή (max)	0,0010	0,0013	0,0014
Νιτρικά (NO₃)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	2,299±0,048	2,352±0,010	2,333±0,010
Ελάχιστη τιμή (min)	2,232	2,339	2,320
Μέγιστη τιμή (max)	2,341	2,364	2,344
Φωσφορικά (PO₄)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	0,004±0,002	0,007±0,004	0,005±0,002
Ελάχιστη τιμή (min)	0,002	0,004	0,004
Μέγιστη τιμή (max)	0,006	0,012	0,007
Πυριτικά (SiO₂)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	1,914±0,677	1,300±0,261	1,399±0,261
Ελάχιστη τιμή (min)	0,325	0,969	0,972
Μέγιστη τιμή (max)	1,862	1,608	1,554

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, για τα αμμωνιακά άλατα (NH_4) δεν παρατηρήθηκε μεγάλη διαφορά μεταξύ του εύρους για τις τιμές σε κάθε έναν από τους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας. Η μέγιστη τιμή καταγράφηκε στον σταθμό CG ($0,958 \mu\text{M}$) και η ελάχιστη στον WG ($0,019 \mu\text{M}$). Με αύξουσα σειρά αναγράφονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις αυτών:

$$\text{WG } (0,098 \pm 0,056 \mu\text{M}) < \text{EG } (0,185 \pm 0,045 \mu\text{M}) < \text{CG } (0,407 \pm 0,390 \mu\text{M})$$

Αναφορικά με τις συγκεντρώσεις των νιτρωδών (NO_2), αυτές κυμάνθηκαν από $0,0003 \mu\text{M}$ στον σταθμό WG, έως και $0,0014 \mu\text{M}$ στον EG. Για τα συγκεκριμένα θρεπτικά άλατα οι τιμές των συγκεντρώσεων δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους (EG: $0,0012 \pm 0,0001$, CG: $0,0011 \pm 0,0003$, WG: $0,0006 \pm 0,0000$).

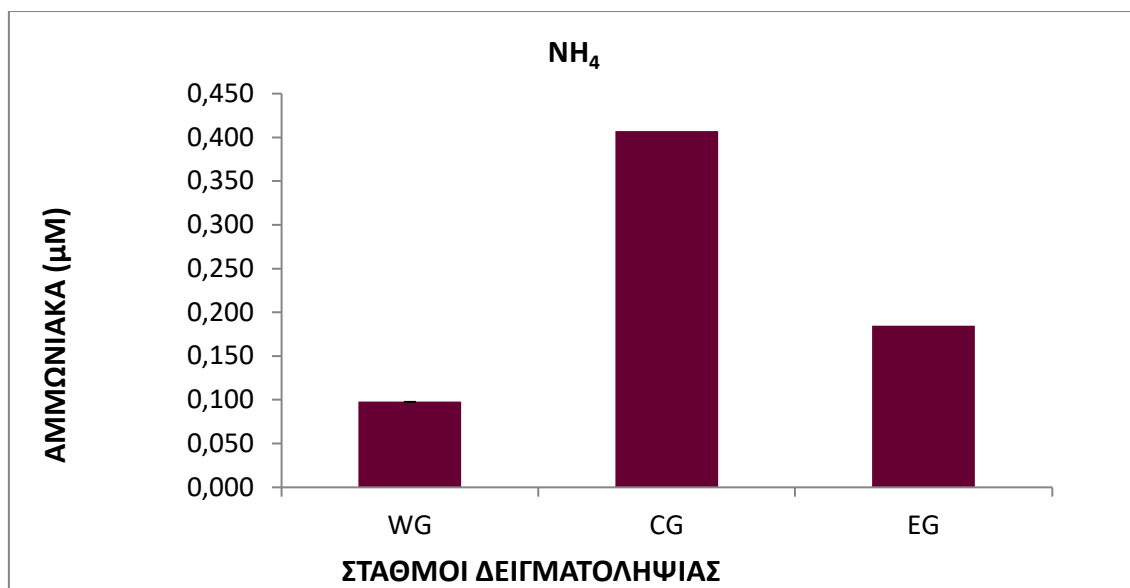
Τα νιτρικά άλατα (NO_3) κυμάνθηκαν μεταξύ $2,320$ και $2,344 \mu\text{M}$ στον σταθμό EG, από $2,339$ έως $2,364 \mu\text{M}$ στον CG και τέλος, μεταξύ $2,232$ και $2,341 \mu\text{M}$ στον WG. Η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε στον σταθμό CG ($2,364 \mu\text{M}$) και η ελάχιστη στον WG ($2,232 \mu\text{M}$).

Οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών αλάτων (PO_4) παρουσίασαν αρκετά χαμηλές τιμές και στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας. Η μέγιστη τιμή ($0,012 \mu\text{M}$) εμφανίστηκε στον σταθμό CG, και η ελάχιστη ($0,002 \mu\text{M}$) στον WG. Με σειρά αυξανόμενων συγκεντρώσεων καταγράφηκαν οι σταθμοί ως εξής:

$$\text{WG } (0,004 \pm 0,002 \mu\text{M}) < \text{EG } (0,005 \pm 0,002 \mu\text{M}) < \text{CG } (0,007 \pm 0,004 \mu\text{M})$$

Τέλος, για τα πυριτικά άλατα (SiO_2) τόσο η μέγιστη όσο και η ελάχιστη τιμή καταγράφηκε στον σταθμό WG: $0,325$ και $1,862 \mu\text{M}$, αντίστοιχα.

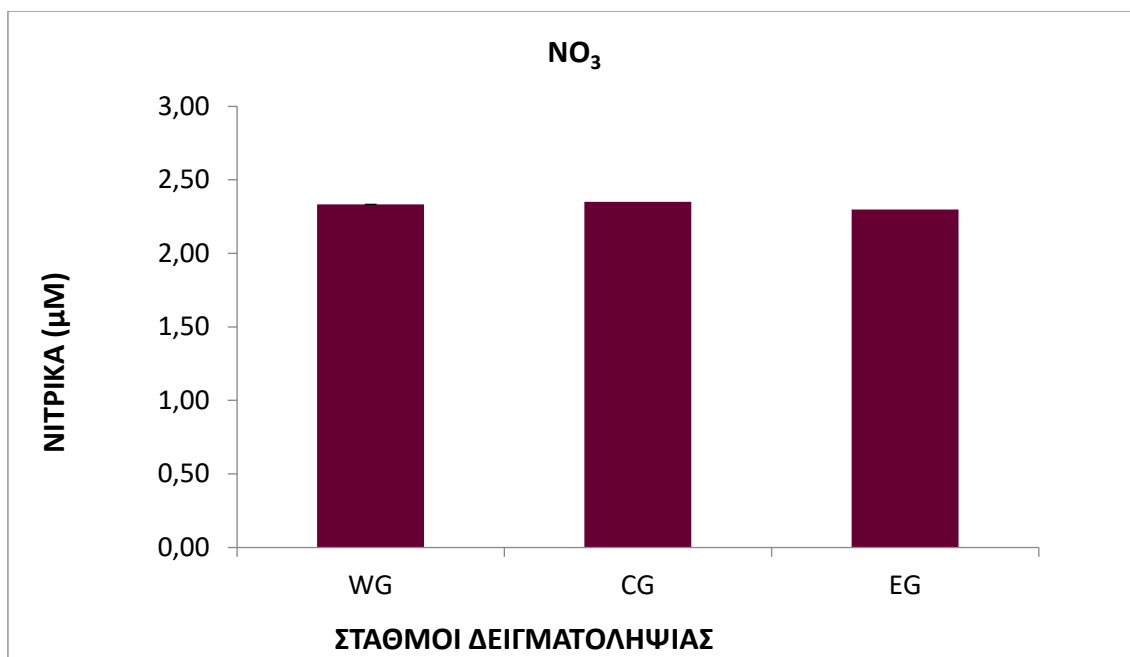
Στα Σχήματα 6-10 απεικονίζεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των



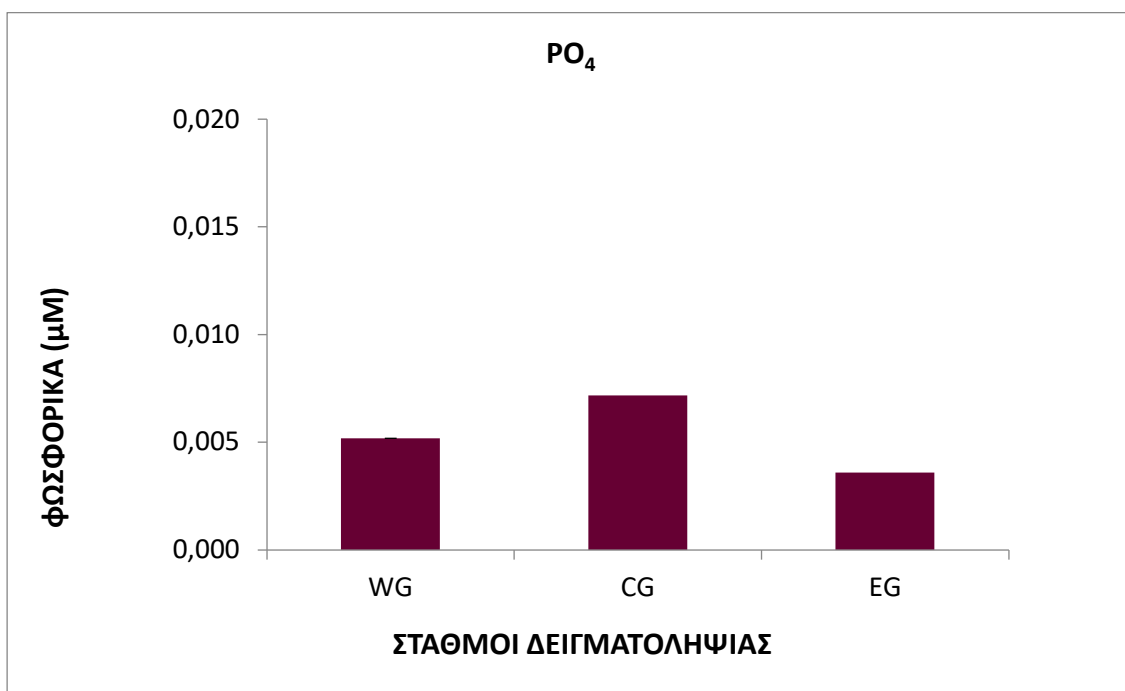
Σχήμα 6: Μέση τιμή των αμμωνιακών και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG-Δυτικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, EG-Ανατολικός Παγασητικός).



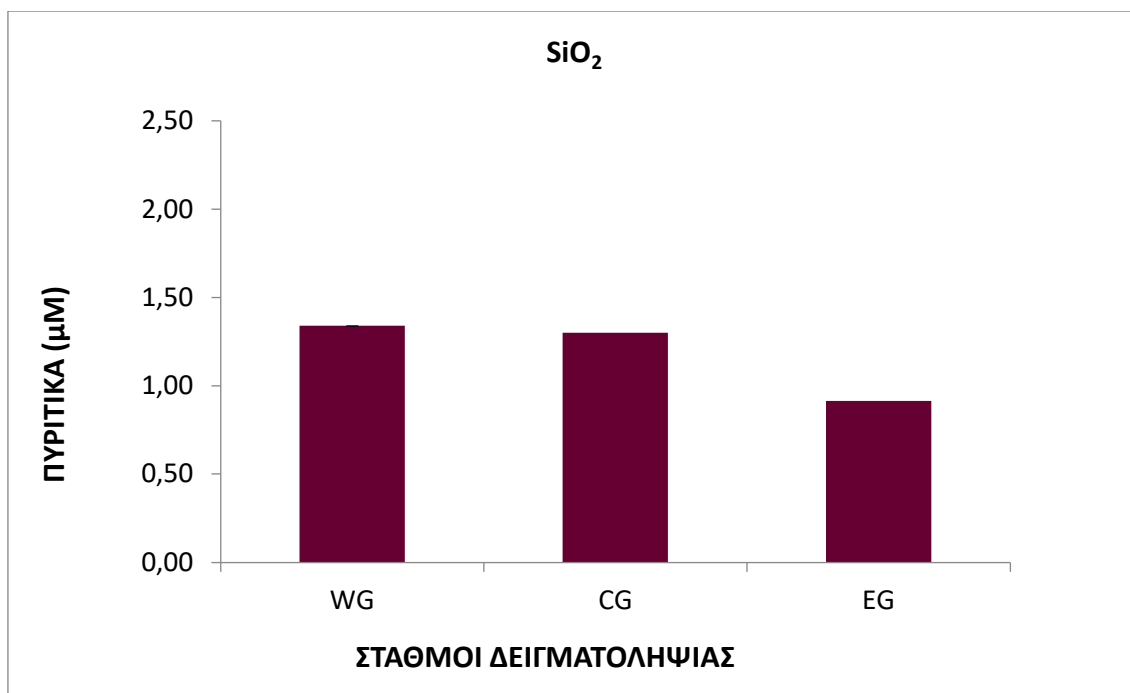
Σχήμα 7: Μέση τιμή των νιτρωδών και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG-Δυτικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, EG-Ανατολικός Παγασητικός).



Σχήμα 8: Μέση τιμή των νιτρικών και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG-Δυτικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, EG-Ανατολικός Παγασητικός).



Σχήμα 9: Μέση τιμή των φωσφορικών και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG-Δυτικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, EG-Ανατολικός Παγασητικός).



Σχήμα 10: Μέση τιμή των πυριτικών και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG-Δυτικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, EG-Ανατολικός Παγασητικός).

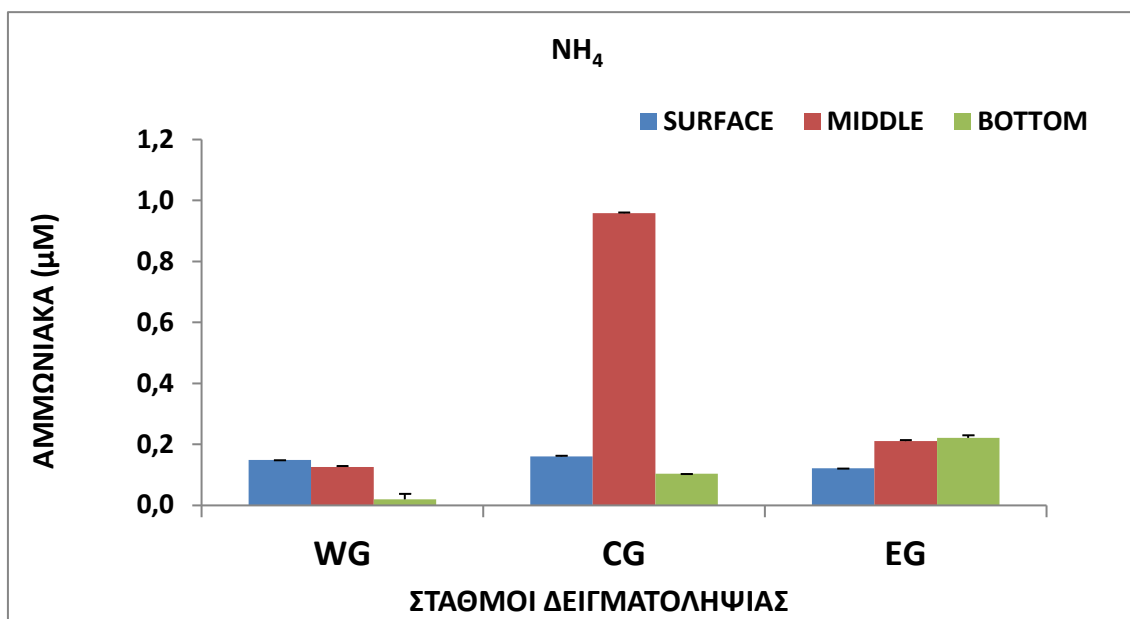
θρεπτικών αλάτων, στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας του Παγασητικού κόλπου.

Στα Σχήματα 11-15 φαίνεται η συγκέντρωση των θρεπτικών αλάτων για κάθε σταθμό συναρτήσει του βάθους.

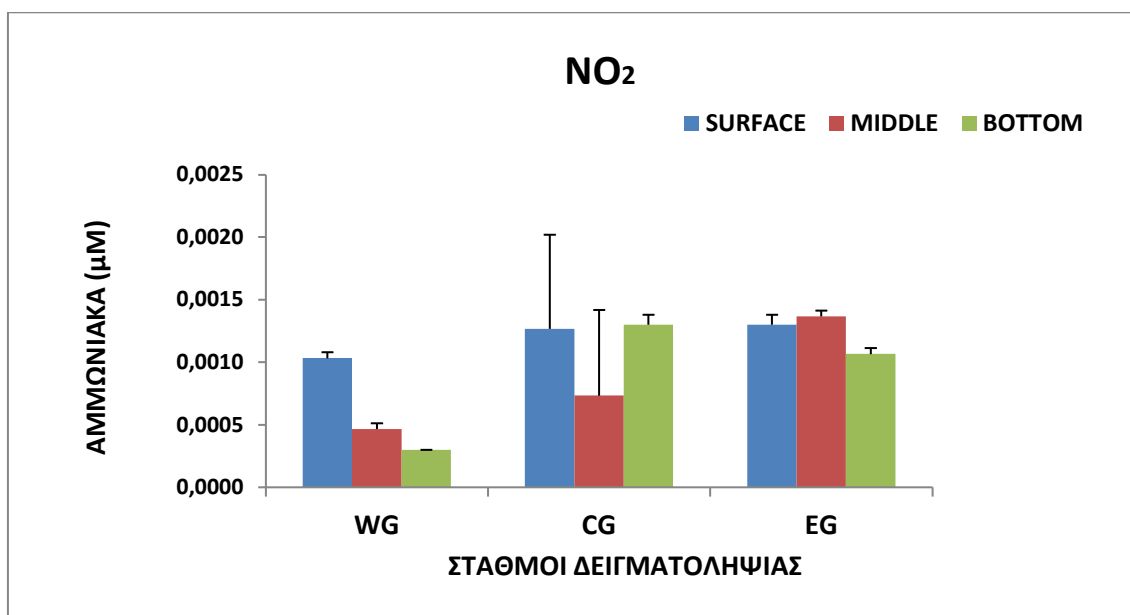
3.3 Στατιστική επεξεργασία

3.3.1 Μονοπαραγοντική Ανάλυση Διακύμανσης (One-way ANOVA)

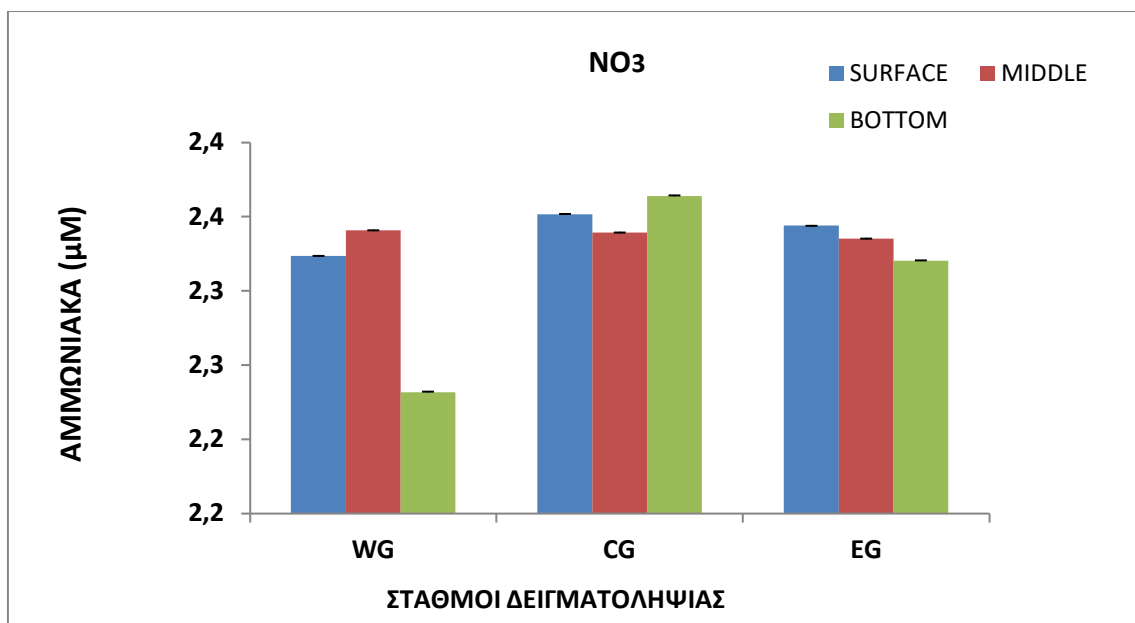
Τα αποτελέσματα από τη στατιστική σύγκριση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων μεταξύ των τριών σταθμών δειγματοληψίας εμφανίζονται στον Πίνακα 4. Συγκεκριμένα, η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (One-way ANOVA) που εκτελέστηκε με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος Past, δεν εμφάνισε



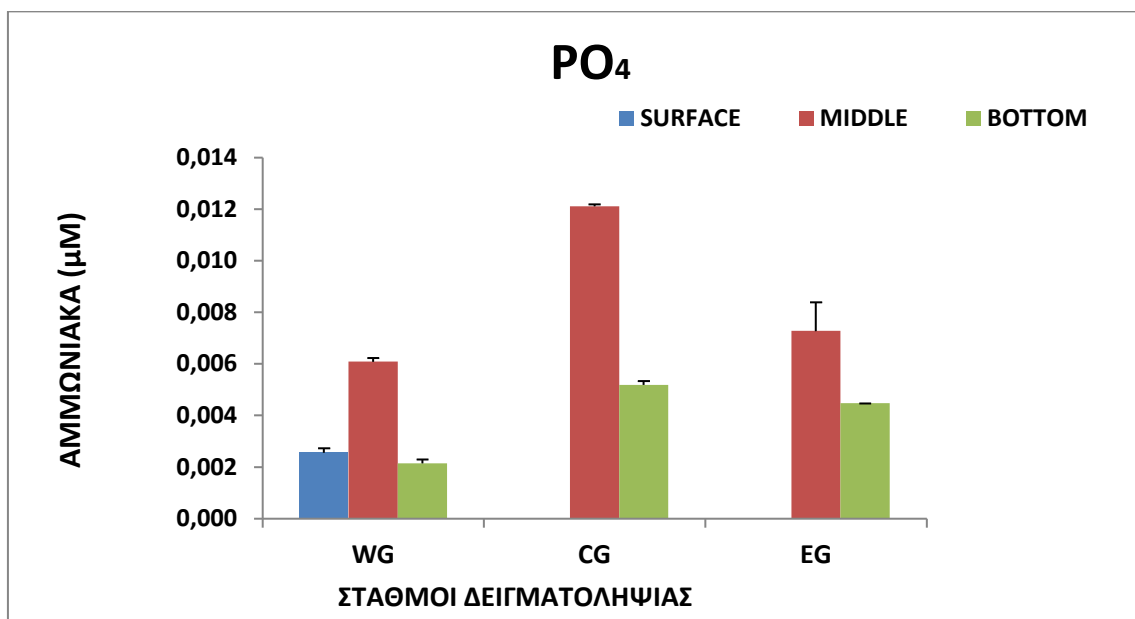
Σχήμα 11: Μέση τιμή των αμμωνιακών και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG-Δυτικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, EG-Ανατολικός Παγασητικός) συναρτήσει του βάθους (SURFACE: Επιφάνεια, MIDDLE: Μέσο βάθος, BOTTOM: Πυθμένας).



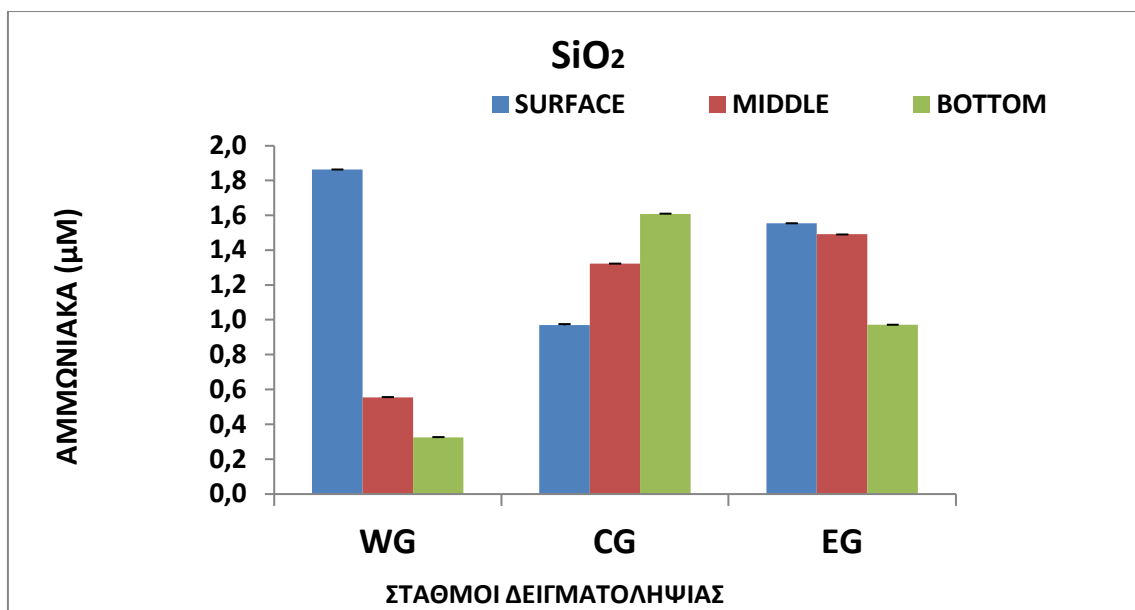
Σχήμα 12: Μέση τιμή των νιτρικών και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG-Δυτικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, EG-Ανατολικός Παγασητικός) συναρτήσει του βάθους (SURFACE: Επιφάνεια, MIDDLE: Μέσο βάθος, BOTTOM: Πυθμένας).



Σχήμα 13: Μέση τιμή των νιτρικών και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG-Δυτικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, EG-Ανατολικός Παγασητικός) συναρτήσει του βάθους (SURFACE: Επιφάνεια, MIDDLE: Μέσο βάθος, BOTTOM: Πυθμένας).



Σχήμα 14: Μέση τιμή των φωσφορικών και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG-Δυτικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, EG-Ανατολικός Παγασητικός) συναρτήσει του βάθους (SURFACE: Επιφάνεια, MIDDLE: Μέσο βάθος, BOTTOM: Πυθμένας).



Σχήμα 15: Μέση τιμή των πυριτικών και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (WG-Δυτικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, EG-Ανατολικός Παγασητικός) συναρτήσει του βάθους (SURFACE: Επιφάνεια, MIDDLE: Μέσο βάθος, BOTTOM: Πυθμένας).

Πίνακας 4: Στατιστική σύγκριση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων μεταξύ των τριών σταθμών δειγματοληψίας με τη χρήση της μονοπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (One-way ANOVA).

Παράμετρος (μM)	Βαθμοί Ελευθερίας (DF)	F-value	P-value
Αμμωνιακά (NH ₄)	2	0,97	0,431 (ΜΣ)
Νιτρώδη (NO ₂)	2	3,96	0,080 (ΜΣ)
Νιτρικά (NO ₃)	2	1,75	0,252 (ΜΣ)
Φωσφορικά (PO ₄)	2	0,96	0,434 (ΜΣ)
Πυριτικά (SiO ₂)	2	0,56	0,600 (ΜΣ)

(ΜΣ: Μη Σημαντικό)

στατιστικά σημαντικές διαφορές για τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων μεταξύ των τριών σταθμών δειγματοληψίας.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι

Στη σύσταση του νερού περιέχονται διάφορα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά. Στην παρούσα έρευνα τα χαρακτηριστικά που ερευνήθηκαν είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, η ενεργός οξύτητα (pH) και η χλωροφύλλη *a*. Η θερμοκρασία είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό, μιας και επηρεάζει όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους. Γενικά, τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, αλλά το ένα επιδρά και διαμορφώνει την παρουσία του άλλου (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010).

4.1.1. Θερμοκρασία

Για τις τιμές της θερμοκρασίας στη συγκεκριμένη έρευνα, παρατηρήθηκε ομοιομορφία στην κατανομή και στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας. Ο μέσος όρος κυμάνθηκε στους 15,86°C, τιμή φυσιολογική αν αναλογισθεί κανείς την εποχή που έλαβε χώρα η δειγματοληψία (Μάιος), και η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στον σταθμό EG (21,72°C), στην επιφάνεια της υδάτινης στήλης. Σε παρόμοιες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν το 1975 και το 1976, παρατηρήθηκε ότι στην επιφάνεια του Παγασητικού Κόλπου υπήρχε μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος (12-25,5°C και 36-38°C, αντίστοιχα), ενώ στα βαθιά νερά ήταν ορατή μία θερμοκρασιακή σταθερότητα και οι τιμές που καταγράφηκαν ήταν (13-15°C και 38-38,5°C, αντίστοιχα) (Gabrielidis & Theocharis 1978). Σε μία παρόμοια της παρούσας έρευνα (Παβέλη 2006), από μετρήσεις που καταγράφηκαν από το 1986 έως και το 1989, προέκυψε ότι με εξαίρεση τους χειμερινούς μήνες, όπου υπάρχει μία ομοιομορφία στην υδάτινη στήλη, σε γενικές γραμμές, η υδάτινη στήλη χωρίζεται σε τρία τμήματα, που αναλόγως της εποχής έχουν

και διαφορετικό πάχος. Τα τμήματα αυτά είναι το επιφανειακό στρώμα (10-30 m), το ενδιάμεσο (20-40 m) και το βαθύ στρώμα (σε περιοχές με βάθος μεγαλύτερο των 50 m). Ακόμη, στο ενδιάμεσο στρώμα της υδάτινης στήλης, σχηματίζεται εμφανώς, θερμοκλινές αλλά και αλοκλινές. Η μεταβολή της θερμοκρασίας συμβαίνει εποχιακά, και συγκεκριμένα για το επιφανειακό στρώμα, τους χειμερινούς μήνες η θερμοκρασία κυμαίνεται κοντά στους 12°C, ενώ τους θερινούς φτάνει τους 25,5°C. Στο ενδιάμεσο στρώμα αντίστοιχα, η θερμοκρασία κυμαίνεται στους 11,5°C τον χειμώνα, και στους 24°C το θέρος, ενώ στο βαθύτερο στρώμα η διακύμανση είναι πολύ μικρότερη (11-12°C.) Σύμφωνα με τον Theodorou (1995), πραγματοποιούνται εποχικές κατακόρυφες κατανομές στη θερμοκρασία, την αλατότητα αλλά και την πυκνότητα, με αποτέλεσμα την δημιουργία έντονης στρωμάτωσης, κυρίως το καλοκαίρι, με το φαινόμενο αυτό να εξακολουθεί να υπάρχει καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, εκτός του χειμώνα, οφειλόμενο κυρίως στην αντίστοιχη διατήρηση του αλοκλινούς. Επιπροσθέτως, μία άλλη έρευνα που διεξήχθη τον Σεπτέμβρη του 1992, έδειξε ισχυρή στρωμάτωση στην υδάτινη στήλη, με την παρουσία τριών στρωμάτων στα βαθύτερα σημεία του κόλπου (>50 m) (Μπαρμπετσέας 1993). Επίσης, σε μια έρευνα του 1999 (Petihakis et al. 2005), καταγράφηκε μικρό εύρος διακύμανσης της θερμοκρασίας στο επιφανειακό στρώμα (12,5-13,7°C, Φεβρουάριος & Μάρτιος), με χαμηλότερες τιμές στον δυτικό κόλπο. Παρατηρήθηκε, επίσης, μείωση στη διακύμανση συναρτήσει του βάθους, πράγμα που υποδηλώνει ένα καλά αναμειγμένο στρώμα. Στον διάυλο των Ορεών, εμφανής ήταν η ανάπτυξη ισχυρής θερμοβαθμίδας, κάτι που αποδόθηκε ενδεχομένως στη συνάντηση ψυχρότερων υδάτων από τον βόρειο Ευβοϊκό με θερμότερα από το Αιγαίο. Στη συγκεκριμένη έρευνα αναφέρεται ότι η θερμοκρασία του Παγασητικού κόλπου αρχίζει να αυξάνεται σταδιακά από τον χειμώνα, με τη μέγιστη τιμή να εμφανίζεται τον Ιούλιο

(27,4°C). Οι Neofitou & Klaoudatos (2008), σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε δύο περιοχές του κόλπου (νοτιοδυτικά & νοτιοανατολικά), παρατήρησαν πως η θερμοκρασία κατά την εποχή της άνοιξης ήταν κατά μέσο όρο 16,3°C, τιμή σύμφωνη με τις μετρήσεις της παρούσας έρευνας. Επιπλέον, η θερμοκρασία του νερού σύμφωνα με τους Neofitou et al. (2019), κατά την περίοδο Απριλίου – Ιουλίου 2018 ήταν από 20,35 έως 21,01°C την άνοιξη, ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες έφθασε τους 26,44°C. Σε παρόμοια με την παρούσα έρευνα, που πραγματοποιήθηκε από τους Αβραμόπουλος και συν. (2023), η θερμοκρασία στους σταθμούς για τον μήνα Μάιο ήταν κατά μέσο όρο 15,51°C, τιμή παρόμοια με αυτή της παρούσας έρευνας. Τέλος, σύμφωνα με την έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Dimoudi et al. (2024), μετά τα πλημμυρικά φαινόμενα που έπληξαν την περιοχή (Daniel & Elias), για τη θερμοκρασία παρουσιάστηκαν εποχιακές διακυμάνσεις μεταξύ των δύο περιόδων δειγματοληψίας, που κυμαίνονταν από 14,79 έως 25,48°C το φθινόπωρο και 14.85 έως 18.25°C το χειμώνα.

4.1.2. Αλατότητα

Η αλατότητα είναι μία εξαιρετικά σημαντική παράμετρος της ποιότητας του νερού, καθώς τα άλατα αποτελούν τα κύρια συστατικά που είναι διαλυμένα στο θαλασσινό νερό. Η συνολική ποσότητα των διαλυμένων στο νερό αλάτων ονομάζεται αλατότητα. Η αλατότητα, ακόμη, είναι μία φυσική παράμετρος, που σχετίζεται έμμεσα με τους οργανισμούς, καθώς τους επηρεάζει μέσω της τροποποίησης της φυσικοχημικής κατάστασης του νερού (δηλαδή μεταβολή της διαλυτότητας των αερίων, αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από τους οργανισμούς για ωσμωρύθμιση, κ.ά.), που μπορεί να προκαλέσει η μεταβολή της αλατότητας, με αύξηση ή μείωση των αλάτων στο νερό. Οι μηχανισμοί που μπορούν να μεταβάλλουν την αλατότητα στο νερό είναι η εξάτμιση ή η

πήξη του νερού, η βροχή, η είσοδος νερού από ποτάμια, και η τήξη πάγων στους πόλους (Νεοφύτου & Νεοφύτου 2017). Ακόμη, με την αλατότητα εκφράζεται το μέτρο της συγκέντρωσης των διαλυμένων στο θαλάσσιο νερό αλάτων. Έως και πρόσφατα, μετριόταν σε «μέρη επί τοις χιλίοις», ωστόσο, πια μπορεί να εκτιμηθεί με μεγάλη λεπτομέρεια μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θαλάσσιου νερού και αποδίδεται με πρακτικές μονάδες αλατότητας (psu) (Θεοδώρου 2017; Μπαμπάτσος & Παπαγεωργίου 2019). Για την ανοιχτή θάλασσα η διακύμανση της αλατότητας είναι μεταξύ 33 και 39‰. Συνεπώς, είναι δυνατό να παρατηρηθούν σημαντικές διακυμάνσεις των τιμών αυτών, ανάλογα με το βάθος, την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος. Παρουσιάζονται υψηλές τιμές αλατότητας στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από μειωμένη βροχόπτωση, υψηλή εξάτμιση, και ασθενή κυκλοφορία και μίξη των υδάτων (Νεοφύτου & Νεοφύτου 2017). Για τη Μεσόγειο και τις ελληνικές θάλασσες, η διακύμανση που εμφανίζεται για την αλατότητα είναι από 30 έως 40 psu, ενώ στον ανοιχτό ωκεανό μπορεί να φτάσει τα 35 psu. Παρ' όλα αυτά, ο Παγασητικός κόλπος χαρακτηρίζεται από υψηλότερες τιμές αλατότητας, κυρίως στο ανατολικό τμήμα του, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και κυρίως το χειμώνα, σε σύγκριση με το δυτικό τμήμα και τον διάυλο του Τρικεριού. Αυτό ενδεχομένως παρατηρείται λόγω των εισροών γλυκών υδάτων από τους χείμαρρους των περιοχών Σούρπης και Αλμυρού (Gabrielidis & Theocharis 1978, Theocharis & Laskaratos 1985).

Στην έρευνα των Papadimitiou et al. (2018), που διενεργήθηκε στα νοτιοδυτικά του κόλπου, παρατηρήθηκε ομοιογένεια μεταξύ των σταθμών περί της αλατότητας με τιμές περίπου στα 37,7 psu. Σύμφωνα με την έρευνα των Μπαμπάτσος & Παπαγεωργίου (2019), περί ποιότητας του νερού σε διάφορους σταθμούς στο βόρειο τμήμα του Παγασητικού κόλπου, καταγράφηκαν τιμές αλατότητας που κυμαίνονταν μεταξύ 35,45

και 36,3 psu, με χαμηλότερη τιμή αυτή στην περιοχή του λιμανιού του Βόλου (34,45 psu), και υψηλότερη στην περιοχή Σουτραλί (36,3 psu), κοντά στην περιοχή της Αγριάς. Οι τιμές που προαναφέρθηκαν, ήταν σχετικά χαμηλότερες από αυτές που καταγράφηκαν στην έρευνα των Αβραμόπουλος et al. (2023), σε τρεις διαφορετικούς σταθμούς του Παγασητικού κόλπου. Συγκεκριμένα, για τον Ανατολικό σταθμό (EG) η αναφερόμενη τιμή ήταν $38,38 \pm 0,10$ psu, για τον Κεντρικό (CG) $38,39 \pm 0,08$ psu, και για τον Δυτικό (WG) $38,36 \pm 0,08$ psu. Στην παρούσα έρευνα, για τον Ανατολικό σταθμό (EG) ο μέσος όρος ήταν $38,38 \pm 0,10$ psu, για τον Κεντρικό (CG) $38,39 \pm 0,09$ psu, και για τον Δυτικό (WG) $38,34 \pm 0,08$ psu, δηλαδή σε μεγάλη συμφωνία με τις παραπάνω παρόμοιες έρευνες. Στην παρούσα έρευνα, επιπλέον, η μέγιστη τιμή αλατότητας εμφανίστηκε στον σταθμό EG (38,53psu), στο μέσο της υδάτινης στήλης.

Με βάση την έρευνα των Petihakis et al. (2005), που πραγματοποιήθηκε κατά τον Φεβρουάριο – Ιούνιο, παρατηρήθηκαν σχετικά χαμηλές τιμές αλατότητας (35,9-36,9 psu) στις περιοχές των όρμων του Αλμυρού (επιφανειακό στρώμα), γεγονός που αποδόθηκε, σε εισροές γλυκών υδάτων από το λιώσιμο των πάγων, καθώς επίσης και στον όρμο του Βόλου, μέχρι τα 10 m βάθος. Συγκεκριμένα από τον Ιούλη έως τον Νοέμβρη, αρχικά παρατηρήθηκε ομοιόμορφη κατανομή στο επιφανειακό στρώμα (35-36 psu), χωρίς ενδείξεις παρουσίας εισροών από την ξηρά, και οι υψηλότερες τιμές αλατότητας εμφανίστηκαν κοντά στον πυθμένα (38,22 psu). Στην έρευνα της Ψόχιου (2003), η μέγιστη τιμή αλατότητας καταγράφηκε την εποχή της άνοιξης, σε ιδιαίτερα μεγάλο βάθος στον Δίαυλο των Ωρεών (38,42 psu), ενώ η μικρότερη το φθινόπωρο στο επιφανειακό στρώμα της ίδιας περιοχής (35,8 psu). Γενικά, αξίζει να αναφερθεί ότι η αλατότητα αυξάνεται συναρτήσει του βάθους, όλο τον χρόνο, με εξαίρεση τους χειμερινούς μήνες, όπου το εύρος των τιμών της αλατότητας μικραίνει. Την εποχή

της άνοιξης, του καλοκαιριού και του φθινοπώρου, είναι εμφανής η δημιουργία του αλοκλινούς, με βάθη 20-40 m για τις πρώτες 2 εποχές που αναφέρθηκαν, και σε βάθος 40-50 m για το φθινόπωρο.

Αναφορικά με το βορειοδυτικό κομμάτι του Παγασητικού, σύμφωνα με τους Αβραμόπουλος και συν. (2023), υπάρχει η εμφάνιση του αλοκλινούς με τα τρία στρώματα να είναι εμφανή. Επίσης, το δυτικό κομμάτι του κόλπου επηρεάζεται κατά την περίοδο των βροχών από την εισροή γλυκού νερού από την περιοχή του Αλμυρού και της Σούρπης, ενώ μια ελαφριά διαστρωμάτωση είναι εμφανής στο επιφανειακό στρώμα, ακόμη και τον χειμώνα. Το πάχος του αλοκλινούς είναι 10 μέτρα κατά τους θερινούς μήνες, ενώ στις άλλες περιοχές είναι περίπου 30 μέτρα. Η βαθύτερη περιοχή βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του κόλπου, ενώ τα διαφορετικά στρώματα νερού εκεί είναι περισσότερο εμφανή. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της περιοχής είναι η υψηλότερη αλατότητα, τους περισσότερους μήνες του χρόνου, και ιδιαίτερα τον χειμώνα. Σε παρόμοια έρευνα των Dimoudi et al. (2024), που έλαβε χώρα στα ίδια σημεία με αυτά της παρούσας μετά τα πλημμυρικά φαινόμενα που έπληξαν την περιοχή, η αλατότητα παρουσίασε διακυμάνσεις (33,31-38,79 psu), με τις χαμηλότερες τιμές να καταγράφονται στο επιφανειακό στρώμα της υδάτινης στήλης, λόγω της εισροής μεγάλης ποσότητας βρόχινου νερού. Σε σύντομο χρονικό διάστημα οι τιμές της αλατότητας επανήλθαν σε φυσιολογικά επίπεδα.

4.1.3. Διαλυμένο Οξυγόνο

Το οξυγόνο είναι ένα πολύ δραστικό στοιχείο, τόσο από χημική όσο κι από βιολογική άποψη. Όμως λόγω της έντονης δραστικότητάς του, η περιεκτικότητά του στο θαλασσινό νερό παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις, οι οποίες δεν είναι εύκολο να

προβλεφθούν (Δανεσάκης και συν. 2015). Περισσότερη ποσότητα οξυγόνου εμφανίζεται κυρίως στην επιφάνεια της υδάτινης στήλης. Αυτό είναι ένα γεγονός που αποδίδεται, κυρίως στον κυματισμό, που έχει σαν επακόλουθο την έντονη ανάμειξη του ατμοσφαιρικού αέρα στο νερό. Μέγιστη ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου συναντάμε σε βάθη περίπου 50 μέτρων, λόγω της φωτοσύνθεσης που λαμβάνει χώρα μέχρι εκείνο το βάθος από τους φυτοπλακτονικούς οργανισμούς, τα μακροφύκη και τα θαλάσσια φανερόγαμα. Σύμφωνα με τον Θεοδώρου (2017), στο βαθύτερο σημείο της ευφωτικής ζώνης παρατηρείται ισορροπία μεταξύ του οξυγόνου που παράγεται από το φυτοπλαγκτόν κατά τη φωτοσύνθεση και του οξυγόνου που θα καταναλωθεί κατά την αναπνοή του φυτοπλαγκτού. Η διάλυση του οξυγόνου στο νερό, πραγματοποιείται με αργό ρυθμό και στα βαθύτερα στρώματα. Επακολούθως, σύμφωνα με τους Νεοφύτου & Νεοφύτου (2017), μέσω των θαλάσσιων ρευμάτων, το διαλυμένο οξυγόνο μεταφέρεται και σε ακόμη πιο βαθιά στρώματα, ώστε να παρέχεται ικανοποιητική ποσότητα του στοιχείου αυτού και για την επιβίωση συγκεκριμένων οργανισμών. Όσο αυξάνεται το βάθος, τόσο πιο έντονη είναι χρονικά και χωρικά η διακύμανση της περιεκτικότητας του θαλασσινού νερού σε οξυγόνο, ενώ εξίσου δύσκολη είναι και η πρόβλεψη αυτής (Δασενάκης και συν. 2015). Επίσης, σε ορισμένες κλειστές θάλασσες, στα βαθύτερα στρώματά τους, έχουν παρατηρηθεί και εντελώς ανοξικές συνθήκες, αφού η ανάμειξη των υδάτων είναι ατελής ή ακόμη και ανύπαρκτη. Σύμφωνα με τον Τασιόπουλο (2018), η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να επηρεάσει τον ρυθμό ανάπτυξης των οργανισμών. Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου σε μονάδες εκτροφής ψαριών δε θα πρέπει να είναι κάτω από τα 5 ppm, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι οι εκτρεφόμενοι 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% (Κλαουδάτος 2005).

Σε μία έρευνα που πραγματοποίησε ο Friligos (1988), τον Φεβρουάριο του 1975-1976, οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου κυμαίνονταν από 5,5 έως 6 mg/l, ενώ τον Αύγουστο από 4,5-5 mg/l. Ο Παγασητικός κόλπος, εκτός από το βαθύ στρώμα του κεντρικού τμήματός του, εμφανίζεται κορεσμένος σε οξυγόνο σχεδόν όλες τις εποχές του έτους (Gabrielides & Theocharis 1978). Παρόμοιες μετρήσεις της περιόδου 1986-1989, έδειξαν μεγαλύτερες τιμές στην επιφάνεια σε σχέση με τα βαθύτερα στρώματα, όπως ήταν αναμενόμενο. Οι επιφανειακές τιμές παρουσίασαν ετήσια διακύμανση από 4,5 έως και 6 mg/l (Theodorou 1995, Θεοδώρου και συν. 1997). Σε παρόμοια έρευνα των Petihakis et al. (2005), οι συγκεντρώσεις του οξυγόνου τον Φεβρουάριο, ήταν με σημαντική βαθμίδωση από το εσωτερικό (0,5 mg/l) προς το εξωτερικό τμήμα (5,5 mg/l) του Παγασητικού κόλπου, ενώ παρατηρήθηκε και αύξηση των συγκεντρώσεων με το βάθος. Από το Μάιο μέχρι και τον Ιούνιο, οι συγκεντρώσεις κυμάνθηκαν από 5-7,7 mg/l, σε όλα τα βάθη, γεγονός που υποδεικνύει ένα καλά οξυγονωμένο σύστημα. Στην έρευνα των Dimoudi et al. (2024), στον Παγασητικό κόλπο μετά την εμφάνιση των έντονων πλημμυρικών φαινομένων, το διαλυμένο οξυγόνο κυμάνθηκε από 2,69 έως 5,11 mg/l κατά την εποχή του φθινοπώρου και από 1,96 έως 5,11 mg/l κατά τη χειμερινή περίοδο. Οι ελάχιστες τιμές ανιχνεύθηκαν στο βαθύτερο στρώμα του Ανατολικού σταθμού (EG). Στην παρούσα έρευνα, η ελάχιστη τιμή διαλυμένου οξυγόνου (4,93 mg/l) εμφανίστηκε στον Ανατολικό σταθμό (EG), σε βάθος περίπου 100 m, και η μέγιστη (6,34 ml/l) στον Κεντρικό (CG), σε βάθος περίπου 30 m.

4.1.4 Ενεργός Οξύτητα (pH)

Με το pH του νερού εκφράζεται η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου σε ένα

υδατικό περιβάλλον. Η ενεργός οξύτητα είναι εξαρτώμενη από διάφορες φυσικοχημικές παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα, το διοξείδιο του άνθρακα, το οξυγόνο, άλατα, καθώς και διάφορες άλλες ενώσεις και ουσίες (Boyd 1981, Petit 1989, Νεοφύτου 2007). Ακόμη, μεταβάλλεται με βάση διάφορες βιολογικές παραμέτρους, όπως η μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (φωτοσύνθεση φυτικών οργανισμών και αναπνοή), καθώς και από διεργασίες χημικής αποσύνθεσης των διαφόρων οργανικών ουσιών (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2010, Μπαμπάτσος & Παπαγεωργίου 2019). 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 $\pm 0,2$ (Τασιόπουλος 2018)

Σε μία έρευνα των Neofitou & Kladatos (2008), καθώς και της Φλώρου (2017), που έλαβαν χώρα σε περιοχές του Παγασητικού κόλπου, το pH κυμάνθηκε από 7,92-8,04 και 7,89-8,2, αντίστοιχα. Σε πιο πρόσφατη έρευνα των Neofitou et al. (2019), σε μονάδα εκτροφής ψαριών του Παγασητικού κόλπου, το pH ήταν περίπου στο 8,2. Σε διάφορους σταθμούς στο Βόρειο τμήμα του Παγασητικού κόλπου, ο Τασιόπουλος (2018), κατέγραψε τιμές από 7,92-8,4, κατά τους χειμερινούς μήνες. Σε παρόμοια με την παρούσα έρευνα (Αβραμόπουλος και συν. 2023), το pH στον Ανατολικό κόλπο (EG) ήταν $8,56 \pm 0,04$, στον κεντρικό (CG) $8,56 \pm 0,04$, και στον δυτικό $8,59 \pm 0,03$. Επίσης, σύμφωνα με τους Dimoudi et al. (2024), το pH κυμάνθηκε μεταξύ 8,13 και 8,61. Πιο χαμηλές τιμές εντοπίστηκαν στον σταθμό EG το φθινόπωρο. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της χειμερινής δειγματοληψίας, το pH βρέθηκε να είναι παρόμοιο με αυτό που συνήθως παρατηρείται στον Παγασητικό. Τέλος, στην παρούσα έρευνα, η ελάχιστη τιμή pH βρέθηκε στον EG (8,46) σε βάθος περίπου ίσο με 100 m, ενώ η μέγιστη παρουσιάστηκε στον WG (8,62), στην επιφάνεια της υδάτινης στήλης.

4.1.5 Χλωροφύλλη α

Το φυτοπλαγκτόν αποτελείται από οργανισμούς που βρίσκονται στη βάση της τροφικής αλυσίδας για τα υδάτινα οικοσυστήματα. Από αυτά επηρεάζεται η επιβίωση άλλων οργανισμών, όπως του ζωοπλαγκτού, των ψαριών, ακόμη και των θαλάσσιων θηλαστικών. Το φυτοπλαγκτόν μπορεί και διαβιεί σχεδόν σε κάθε υδάτινο περιβάλλον, έχει την ικανότητα να αναπτυχθεί σε μεγάλες ποσότητες και να αποτελεί ένα ενσωματωμένο κομμάτι του οικοσυστήματος (Nybakken 1997). Επιπροσθέτως, έχει την ιδιότητα να απορροφά μεγάλες ποσότητες CO₂ μέσω της φωτοσύνθεσης και να απελευθερώνει οξυγόνο στην παρακείμενη υδάτινη στήλη, ενώ τέλος, αποτελεί τη βασική παράμετρο για την εμφάνιση των φαινομένων ευτροφισμού σε υδάτινα οικοσυστήματα (McQuatters- Gollop et al. 2007). Το φυτοπλαγκτόν έχει χαρακτηριστεί επαναλαμβανόμενα ως ένας ευαίσθητος δείκτης περιβαλλοντικής όχλησης (κλιματική αλλαγή και/ή ευτροφισμός) (Hays et al. 2005).

Ένα πολύ σημαντικό φαινόμενο που σχετίζεται άμεσα με το φυτοπλαγκτόν είναι οι διάφορες ανθρωπογενείς επιδράσεις μέσω εισροών από θρεπτικά συστατικά στο υδάτινο περιβάλλον. Οι εισροές αυτές χωρίζονται σε σημειακές, όπως οι εκροές αστικών αποβλήτων και η βιομηχανική δραστηριότητα, αλλά και σε μη σημειακές, όπως η απόπλυση γεωργικών εδαφών διαμέσου των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Αυτό αποτελεί μία αιτία για ευτροφισμό, ωστόσο, η ευαισθησία ενός οικοσυστήματος στον ευτροφισμό εξαρτάται από διάφορα μορφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά, όπως το βάθος και η ικανότητα ανανέωσης του νερού. Το φαινόμενο του ευτροφισμού είναι μία εξαιρετικά σημαντική απειλή, κυρίως σε παράκτιες περιοχές, κλειστούς κόλπους, λιμνοθάλασσες, και υδάτινες μάζες που βρίσκονται πλησίον αστικών κέντρων που έχουν μεγαλύτερο χρόνο ανανέωσης υδάτων και υφίστανται σε πολύ πιο έντονο βαθμό τις

επιπτώσεις των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Το θαλάσσιο περιβάλλον της Μεσογείου και της Ελλάδας συγκεκριμένα χαρακτηρίζεται σε γενικές γραμμές ως oligotroφικό, ενώ οι ποτάμιες εισροές περιορίζονται κυρίως στο Βόρειο Αιγαίο (Δασενάκης και συν. 2015).

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στον Παγασητικό κόλπο, την περίοδο 1975 – 76 παρατηρήθηκε ότι οι τιμές για τη χλωροφύλλη *a* κυμαίνονταν από 0,1 έως 1,3 mg/m³, με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στον όρμο του Βόλου (Gabrielides & Theocharis 1978). Η πρωτογενής παραγωγικότητα, εκφραζόμενη ως χλωροφύλλη *a*, είχε μέση τιμή 0,01 mg/m³ (Gabrielides 1978). Σε άλλη έρευνα, στο διάστημα 1998-99, η μέγιστη μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης *a* παρατηρήθηκε κατά τους χειμερινούς μήνες του 1999, στο επιφανειακό στρώμα του εσωτερικού κόλπου (0,66 mg/m³) και η ελάχιστη το καλοκαίρι του 98 στο επιφανειακό στρώμα του εξωτερικού κόλπου (0,02 mg/m³) (Ψόχιου 2003). Η έρευνα των Αβραμόπουλος και συν. (2023), παρουσιάζει σχετικά παρόμοιες τιμές με τις προαναφερθείσες αναφορές. Συγκεκριμένα, στον Ανατολικό κόλπο (EG) η μέγιστη τιμή για τη χλωροφύλλη *a* ήταν 2,51 mg/m³ και η ελάχιστη 0,35 mg/m³. Για τον Κεντρικό (CG) και Δυτικό (WG) κόλπο, οι μέγιστες τιμές ήταν 2,75 και 3,04 mg/m³, αντίστοιχα, ενώ οι ελάχιστες ήταν 0,56 και 0,35 mg/m³, αντίστοιχα. Σύμφωνα με έρευνα της Παβέλη (2006), εξήχθη το συμπέρασμα ότι ο Παγασητικός κόλπος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως oligotroφικό σύστημα με τάσεις προς το mesotroφικό, για συγκεκριμένες μόνο περιοχές, χωρίς να παρουσιάζει σημαντικό πρόβλημα ρύπανσης.

Στην έρευνα των Μπαμπάτσος & Παπαγεωργίου (2019), η χλωροφύλλη *a* κυμάνθηκε από 1,15-5,01 mg/m³. Το Λιμάνι και ο Άγιος Κωνσταντίνος είχαν τις πιο υψηλές τιμές, ενώ οι τιμές των υπόλοιπων σταθμών κυμάνθηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα. Με βάση τους Neofitou & Kladoudatos (2008), ο Παγασητικός κόλπος έχει συγκέντρωση

χλωροφύλλης *a* σε τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0,20 και 0,75 mg/m³ και βρίσκεται εντός του εύρους που έχει καταγραφεί σε άλλες oligοτροφικές παράκτιες περιοχές. Με βάση τους Neofitou et al. (2019), οι τιμές της συγκεκριμένης παραμέτρου κυμάνθηκαν από 0,57-1,24 mg/m³, κατά τους θερινούς μήνες. Σε αντίστοιχη έρευνα, για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μονάδας εκτροφής του Παγασητικού κόλπου, που πραγματοποίησαν οι Γεωργίου και συν. (2015) κατά τους χειμερινούς μήνες, ο μέσος όρος για τις τιμές της χλωροφύλλης *a* κυμάνθηκε από 2,91 έως 3,23 mg/m³. Αναφορικά με την έρευνα των Dimoudi et. al. (2024), αμέσως μετά τα πλημμυρικά φαινόμενα που έπληξαν τον Παγασητικό, προέκυψε ότι η χλωροφύλλη *a* κυμάνθηκε από 0,25 έως 3,92 mg/m³, και δεν σημειώθηκαν διαφορές μεταξύ των δύο περιόδων δειγματοληψίας της έρευνάς τους. Τέλος, στην παρούσα έρευνα, η ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε στον σταθμό EG (0,56 mg/m³), στα 100 m βάθος περίπου και η μέγιστη (3,40 mg/m³) στον σταθμό WG σε βάθος 35 m.

4.2 Θρεπτικά άλατα

Τα θρεπτικά συστατικά ή αλλιώς μικροθρεπτικά άλατα (εξαιτίας των χαμηλών συγκεντρώσεων που βρίσκονται στο θαλάσσιο νερό, οι συγκεντρώσεις μπορεί να αγγίζουν μερικά μmol/l ή ακόμη και nmol/l), αποτελούν ανόργανες, αλλά και οργανικές ενώσεις και από αυτές τρέφονται διάφοροι φυτικοί οργανισμοί, μακρόφυτα και φυτοπλαγκτόν. Οι ενώσεις αυτές αποτελούν συνήθως τα τελικά ή και ενδιάμεσα προϊόντα της βιολογικής ή χημικής αποδόμησης της οργανικής ύλης. Σε μεγαλύτερη αφθονία και μεγαλύτερης σημασίας συστατικά του θαλάσσιου περιβάλλοντος αποτελούν τα ανόργανα και ιδιαίτερα από τις ενώσεις του αζώτου, τα νιτρικά, τα νιτρώδη και τα αμμωνιακά, από τις ενώσεις του φωσφόρου τα μονόξινα, δισόξινα και απλά φωσφορικά, ενώ τέλος, από τις

ενώσεις του πυριτίου, κατά κύριο λόγο τα πυριτικά ιόντα (Δασενάκης και συν. 2015). Θρεπτικά συστατικά υπάρχουν και στην ξηρά και στην ατμόσφαιρα. Από την ξηρά, συγκεκριμένα, τροφοδοτούνται οι υδάτινοι αποδέκτες με διαλυτά θρεπτικά συστατικά μέσω σημειακών πηγών (εκβολές ποταμών, αγωγοί αστικών λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων, και τέλος, μονάδες βιολογικού καθαρισμού), αλλά και μη σημειακών, όπως είναι η απόπλυση εδάφους από το νερό της βροχής.

4.2.1 Αμμωνιακά

Περίπου το 10% του ανόργανου αζώτου σε βαθμίδα οξείδωσης -3, βρίσκεται στο θαλασσινό νερό σαν ενυδατωμένη αμμωνία, όπου κυριαρχεί η κατιονική μορφή (Αβραμόπουλος και συν. 2023). Τόσο η ενυδατωμένη αμμωνία, όσο και τα αμμωνιο-κατίοντα μπορούν να προσροφηθούν σε διάφορες επιφάνειες και να αλληλοεπιδράσουν με πηλώδη ορυκτά. Το άζωτο αμμωνιακών μπορεί να οξειδωθεί φωτοχημικά (Φυτιανός 2017). Εξαιρετικά βασικό για τη ζωή είναι το στοιχείο του αζώτου, καθώς αποτελεί κάτι το απαραίτητο για τη ζωή των έμβιων οργανισμών, αφού συμβάλλει αρχικά στο να παρασκευαστούν οι απαραίτητες πρωτεΐνες, αλλά και επειδή βρίσκεται σε πολύ μεγάλο ποσοστό στην ατμόσφαιρα (80% του όγκου της). Ωστόσο, τα φυτά, τα ζώα και οι περισσότεροι μικροοργανισμοί δεν έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν άμεσα το ατμοσφαιρικό άζωτο για αυτόν τον σκοπό (Δασενάκης και συν. 2015).

Όσον αφορά το άζωτο για το υδάτινο περιβάλλον, μπορούμε να πούμε ότι βρίσκεται σχεδόν στη μισή τιμή κορεσμού του και είναι έτσι η επικρατέστερη μορφή του στοιχείου το μοριακό αέριο άζωτο (N_2). Οι ενώσεις όμως του αζώτου που συμμετέχουν σε μεγάλη έκταση στις βιολογικές διεργασίες και το χαρακτηρίζουν ως θρεπτικό συστατικό, είναι τα νιτρικά (NO_3^-), τα νιτρώδη (NO_2^-), τα αμμωνιακά (NH_4^+) ιόντα,

καθώς και το οργανικό άζωτο. Μετά από το N_2 , η κυριαρχούσα μορφή αζωτούχου ενώσεως, σε pH περίπου 8, είναι τα νιτρικά. Κυριότερη οργανική ένωση του αζώτου είναι η ουρία και ακολουθούν τα αμινοξέα (Δασενάκης και συν. 2015). Ιδιαίτερα τοξική για τους οργανισμούς που διαβιούν στο υδάτινο οικοσύστημα είναι η δράση της αμμωνίας. Συγκεκριμένα, τα ψάρια έχουν ευαισθησία στο αλκαλικό περιβάλλον και όταν υπάρχουν ιόντα αμμωνίου σε κάποια αναλογία υπάρχει και ελεύθερη αμμωνία. Η αναλογία NH_3/NH_4^+ καθορίζεται κατά κύριο λόγο από την τιμή pH του νερού και δευτερευόντως από τη θερμοκρασία του (Δασενάκης και συν. 2015).

Τα νιτρικά, τα νιτρώδη και τα αμμωνιακά ιόντα εκπροσωπούν το 5% του ολικού αζώτου που είναι διαλυμένο στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι συνήθεις συγκεντρώσεις τους είναι, για τα νιτρικά $1-500 \mu g NO_3^- - N dm^{-3}$, για τα νιτρώδη $< 1-50 \mu g NO_2^- - N dm^{-3}$ και για τα αμμωνιακά $< 1-50 \mu g NH_4^+ - N dm^{-3}$ (Φυτιανός 2017). Στην έρευνα των Petihakis et al. (2005), που διεξήχθη τον Μάιο του 1998, οι μέγιστες συγκεντρώσεις αμμωνίας (11 lg at/l) βρέθηκαν στην περιοχή της εκροής λυμάτων (πλησίον όρμου του Βόλου), ενώ οι ελάχιστες τιμές οι οποίες δεν υπερέβαιναν τα όρια ανίχνευσης, παρατηρήθηκαν τον Νοέμβριο του 98, στο εσωτερικό και στο δυτικό τμήμα του κόλπου. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι στην περιοχή του κόλπου που παρατηρήθηκαν απότομες κλίσεις στον πυθμένα, οι συγκεντρώσεις της αμμωνίας μειώνονταν με την αύξηση της απόστασης από την περιοχή εκροής των λυμάτων. Το γεγονός αυτό σύμφωνα με τους Κόλιου-Μήτσιου (2000), μάλλον σχετίζεται με τη λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων. Στην έρευνα των Αβραμόπουλος και συν (2023), η ελάχιστη τιμή των αμμωνιακών σημειώθηκε στον σταθμό WG ($0,10 \mu M$), και η μέγιστη στον σταθμό CG ($0,50 \mu M$). Σε παρόμοια έρευνα των Dimoudi et al (2024), όπου μελετήθηκε η κατάσταση του Παγασητικού μετά τα πλημμυρικά φαινόμενα, βρέθηκε ότι υπήρξε μία

αύξηση των συγκεντρώσεων αμμωνίου και πυριτικού άλατος στους σταθμούς WG, CG και EG. Στην παρούσα έρευνα, η ελάχιστη τιμή αμμωνιακών βρέθηκε στον σταθμό WG (0,019 μM), κοντά στον πυθμένα, ενώ η μέγιστη εξήχθη από τον σταθμό CG (0,958 μM), από το μέσο της υδάτινης στήλης.

4.2.2 Νιτρώδη

Το άζωτο σε μορφή νιτρωδών συνηθίζεται να εμπεριέχεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο θαλάσσιο οικοσύστημα. Αποτελεί την ενδιάμεση βαθμίδα οξείδωσης μεταξύ του αζώτου -νιτρικών και του αζώτου -αμμωνιακών, γι' αυτό και αποτελεί μεταβατικό στάδιο της οξείδωσης των αμμωνιακών και της αναγωγής των νιτρικών (Φυτιανός 2017).

Σε έρευνα των Neofitou et al. (2019), που διεξήχθη στον Παγασητικό κόλπο σε περιοχή με μονάδα εκτροφής ιχθύων, η μέση τιμή της συγκέντρωσης των νιτρωδών ήταν αρκετά χαμηλή σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας και στις δύο εξεταζόμενες εποχές (0,01-0,03 μM), ενώ η κατανομή τους έδειξε ένα τυχαίο μοτίβο κατανομής. Αντίστοιχα, στην έρευνα των Neofitou & Kilaoudatos (2008), καταγράφηκαν μέγιστες συγκεντρώσεις νιτρωδών στα 0,10 μM , σε περιοχές πλησίον των μονάδων εκτροφής του Παγασητικού.

Σε έρευνα παρόμοια με την παρούσα (Αβραμόπουλος και συν. 2023), οι συγκεντρώσεις νιτρωδών ήταν οι εξής: στον Ανατολικό κόλπο (EG) 0,0000 μM η ελάχιστη και 0,0003 μM η μέγιστη, στον Κεντρικό (CG) 0,0001 μM η ελάχιστη και 0,0028 μM η μέγιστη και τέλος, στον Δυτικό (WG) 0,0010 μM η ελάχιστη και 0,0096 μM η μέγιστη. Στην έρευνα των Dimoudi et al. (2024), οι υψηλότερες τιμές νιτρωδών εμφανίστηκαν, κυρίως, στον σταθμό CG, ενώ στην παρούσα έρευνα, η ελάχιστη τιμή

νιτρωδών σημειώθηκε στον σταθμό WG (0,0003μM) και η μέγιστη (0,0014) στον σταθμό EG, στο μέσο της υδάτινης στήλης.

4.2.3 Νιτρικά

Το άζωτο με την μορφή νιτρικών (NO_3^-) είναι θερμοδυναμικά σταθερό και βρίσκεται σε καλά οξυγονωμένα νερά. Οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των νιτρικών, αλλά και των περισσότερων ανόργανων αζωτούχων ενώσεων, είναι κυρίως αποτέλεσμα βιολογικών διεργασιών (Φυτιανός 2017). Στην έρευνα των Gabrielides & Theocharis (1978), καταγράφηκε ότι η διακύμανση νιτρικών ήταν πολύ ασταθής και κυμάνθηκε από λιγότερο του 0,1 $\mu\text{g-at/l}$, έως και, σε μερικές περιπτώσεις, περισσότερο από 6 $\mu\text{g-at/l}$. Υψηλότερες τιμές εξήχθησαν κατά τον Μάη στον κόλπο του Βόλου και στο ανατολικό μέρος του Παγασητικού. Ακόμη σε σχέση με το βάθος, μεγάλη ποσότητα νιτρικών βρέθηκε κυρίως σε μεγαλύτερα βάθη, όπου και αποτελούσαν την κύρια μορφή του αζώτου. Όπως αναφέρεται από τους Neofitou et al. (2019), η διακύμανση των νιτρικών ήταν από 1,50 έως 2,11 μM την άνοιξη και από 1,58 έως 2,12 μM το καλοκαίρι. Αντίστοιχα, οι Neofitou & Kladoudatos (2008), κατέγραψαν μέγιστη συγκέντρωση νιτρικών αλάτων 2,57 μM στον ένα σταθμό δειγματοληψίας σε μονάδα εκτροφής στον ανατολικό κόλπο και 2,29 μM στον δεύτερο σταθμό δειγματοληψίας σε μονάδα εκτροφής στον δυτικό κόλπο. Στην έρευνα των Dimoudi et al. (2024), βρέθηκε ότι τα νιτρικά άλατα είχαν παρόμοιες τιμές με αυτές που είχαν καταγραφεί πριν τα πλημμυρικά φαινόμενα. Στην έρευνα των Αβραμόπουλος και συν. (2023) από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων για τα θρεπτικά άλατα εμφανίστηκε σημαντική διαφορά μόνο για τα νιτρικά, όπου συγκεκριμένα ο σταθμός EG διέφερε από τον WG. Η μέγιστη τιμή στην έρευνα τους βρέθηκε στους σταθμούς EG και CG και ήταν (2,36μM), ενώ η ελάχιστη ήταν 2,28 μM , και βρέθηκε στον σταθμό WG. Στην παρούσα έρευνα,

αντιθέτως, δεν υπήρξε πουθενά στατιστικά σημαντική διαφορά και, η ελάχιστη τιμή νιτρικών αλάτων (2,232 μM) εμφανίστηκε στον σταθμό WG και η μέγιστη (2,364 μM) στον σταθμό CG, κοντά στον πυθμένα και για τις δύο περιπτώσεις.

4.2.4 Φωσφορικά

Ο φώσφορος αποτελεί ένα εξαιρετικά σημαντικό στοιχείο για τη ζωή, καθώς παίζει σημαντικό ρόλο στον βιολογικό μεταβολισμό και, γιατί μεταξύ άλλων, αποτελεί βασικό δομικό συστατικό πολλών βιολογικών μακρομορίων (Δανεσάκης και συν. 2015). Βασικές μορφές των διαλυτών ενώσεων του φωσφόρου αποτελούν τα διάφορα ανόργανα φωσφορικά άλατα. Σε θαλασσινό νερό συνηθισμένης αλατότητας, με $\text{pH} \sim 8,0$ και θερμοκρασία 20°C , το 87% του φωσφόρου συναντάται ως μονόξινα φωσφορικά, το 12% ως φωσφορικά, και μόλις το 1% ως δισόξινα φωσφορικά, ενώ το ποσοστό του αδιάστατου φωσφορικού οξέος θεωρείται αμελητέο (Δανεσάκης και συν. 2015). Από τις ποσότητες αυτές, το 99,6% των φωσφορικών και το 44% των δισόξινων φωσφορικών βρίσκονται με τη μορφή ιονικών ζευγών με κατιόντα, όπως το ασβέστιο και το μαγνήσιο. Τα φυσιολογικά επίπεδα φωσφορικών σε θαλάσσιες περιοχές, όπως ο Παγασητικός κόλπος, κυμαίνονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, καθώς πρόκειται για θρεπτικά συστατικά που βρίσκονται σε μικρές ποσότητες μέσα στο νερό. Σε καθαρά θαλάσσια νερά, η συγκέντρωση είναι συνήθως μικρότερη από 0,1 mg/l . Η υπερβολική παρουσία φωσφορικών στο νερό μπορεί να οδηγήσει σε ευτροφισμό, δηλαδή υπερβολική ανάπτυξη φυτοπλαγκτού, το οποίο με τη σειρά του μειώνει την περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο, προκαλώντας σοβαρό πρόβλημα στα οικοσυστήματα. Στις εκβολές των ποταμών αλλά και σε παράκτια ύδατα συναντώνται πολυφωσφορικά ιόντα, και αυτό αποδίδεται συχνά σε ανθρωπογενή ρύπανση, κυρίως από απορρυπαντικά. Σημαντικό

τμήμα των διαλυτών φωσφορικών ενώσεων προέρχεται από οργανικές ενώσεις. Οι ενώσεις αυτές είναι φωσφορικοί εστέρες σακχάρων, φωσφολιπίδια, φωσφονουκλεοτίδια, καθώς και προϊόντα αποσύνθεσης μεταβολικών προϊόντων διαφόρων οργανισμών (Δανεσάκης και συν. 2015). Αλλαγές στο δυναμικό οξειδοαναγωγής επηρεάζουν πολύ διαδικασίες προσρόφησης και εκρόφησης φωσφορικών. Έχει βρεθεί, ότι σε οξειδωτικά περιβάλλοντα τα φωσφορικά συγκρατούνται στη στερεά φάση μέσω ενός Fe(III)-PO_4^{3-} συμπλόκου. Όταν οι συνθήκες γίνουν αναγωγικές, ο τρισθενής σίδηρος ανάγεται σε διαλυτό δισθενή, με αποτέλεσμα να διασπαστεί το σύμπλοκο και να απελευθερωθούν τα φωσφορικά στο νερό (Δανεσάκης και συν. 2015).

Τα ποτάμια και άλλα επιφανειακά ύδατα είναι μέσο διαρκούς εισόδου νέων φωσφορικών αλάτων για ένα θαλάσσιο οικοσύστημα, αφού η παρουσία των φωσφορικών εκεί είναι αποτέλεσμα διάβρωσης των χερσαίων πετρωμάτων, απόπλυσης καλλιεργούμενων εδαφών αλλά και διάσπασης των πολυφωσφορικών, που χρησιμοποιούνται στα διάφορα απορρυπαντικά (Δανεσάκης και συν. 2015). Το στοιχείο του φωσφόρου αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού και διάφορων βακτηρίων σε μεγάλο τμήμα της Μεσογείου, με φθίνουσες συγκεντρώσεις από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά. Ο λόγος N/P αυξάνεται προς την ίδια κατεύθυνση δηλαδή Θάλασσα του Άλμποραν (22,5) < Κρητικό Πέλαγος (24,3 – 26,8) < Θάλασσα της Λεβαντίνης (27 -29) (Berland et al. 1980; Krom et al. 1991). Η συγκέντρωση των φωσφορικών στα κλειστά και ημίκλειστα συστήματα είναι πιο περιορισμένη, λόγω του ότι η βιολογικά διαθέσιμη ποσότητά του είναι χαμηλότερη σε σχέση με την ποσότητα που απαιτείται για την ανάπτυξη των φυκών (Mason 1983). Αντίστοιχα, για τον Παγασητικό κόλπο, σύμφωνα με τους Petihakis et al. (2005), παρόλο που ήταν αναμενόμενο να ακολουθεί το παραπάνω πρότυπο για την αναλογία N/P, ύστερα από

έλεγχο παρατηρήθηκε πως το σύστημα υφίσταται εναλλασσόμενες περιόδους περιορισμού αζώτου και φωσφόρου. Σύμφωνα με τους Gabrielides & Theocharis (1978), τα επίπεδα φωσφόρου ήταν χαμηλά καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας και κυμάνθηκαν από 0,1 έως 0,2 $\mu\text{g-at/l}$. Εξαίρεση των παραπάνω αποτέλεσαν ορισμένες τιμές σε δείγματα από τον πυθμένα του κόλπου, και οι πολύ υψηλές συγκεντρώσεις στην περιοχή του Τρικεριού τον Δεκέμβριο του 1976.

Τα ανώτερα στρώματα του κέντρο-εξωτερικού κόλπου παρουσιάζουν μεγάλες περιόδους περιορισμού των φωσφορικών αλάτων, ενώ για τα βαθύτερα στρώματα, είναι ως επί το πλείστον περιορισμένο το άζωτο. Τα παραπάνω παρατηρούμενα μοτίβα στον εσωτερικό κόλπο γύρω από εκροές αστικών λυμάτων είναι πολύ σημαντικά, καθώς επηρεάζονται οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών και εν συνεχεία η λειτουργία του οικοσυστήματος. Οι προαναφερόμενες εκροές είναι πλούσιες σε φωσφορικά άλατα και αμμωνία, ενώ έχουν χαμηλές περιεκτικότητες σε νιτρικά άλατα (όταν πρόκειται για αστικές απορροές), είτε υψηλά επίπεδα νιτρικών (όταν πρόκειται για διαδικασίες απόπλυσης γεωργικών εδαφών) (Sawidis et al. 2001). Στην έρευνα των Αβραμόπουλος και συν. (2023), η ελάχιστη τιμή σημειώθηκε στους σταθμούς CG και WG (0,001 μM) και η μέγιστη στον σταθμό EG (0,007 μM). Τέλος, στην παρούσα έρευνα τα φωσφορικά ιόντα βρέθηκαν σε ελάχιστη τιμή (0,002 μM) από δείγμα που πάρθηκε από σημείο κοντά στον πυθμένα του σταθμού WG και η μέγιστη τιμή (0,012 μM) βρέθηκε στο μέσο της υδάτινης στήλης του σταθμού CG.

4.2.5 Πυριτικά

Το πυρίτιο βρίσκεται στο νερό σε σταθερή κατάσταση. Στο θαλασσινό νερό υφίσταται σε δύο μορφές. Τη διαλυτή και τη σωματιδιακή μορφή. Για τη διαλυτή του

μορφή αξίζει να αναφερθεί ότι συναντάται ως ορθοπυριτικό οξύ (H_4SiO_4) ή ιόντα πυριτίου (Si_4^+), τα οποία προέρχονται, κυρίως, από τη διάλυση πυριτικών πετρωμάτων, ενώ το σωματιδιακό πυρίτιο βρίσκεται κυρίως σε κρυστάλλους πυριτικών ορυκτών, τα οποία εισέρχονται στη θάλασσα μέσω των επιφανειακών υδάτων, και προέρχονται συνήθως από την αποσάθρωση των χερσαίων πετρωμάτων. Μία άλλη μορφή με την οποία συναντάται το πυρίτιο είναι το αιώρημα διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2), ενώ σε αιωρούμενη κατάσταση απαντώνται και αυθιγενή πυριτικά σωματίδια, καθώς και υπολείμματα οργανισμών με πυριτικούς σκελετούς (Δασενάκης και συν. 2015). Το στοιχείο του πυριτίου αποτελεί θρεπτικό στοιχείο, γιατί αποτελεί απαραίτητο συστατικό της στερεάς δομής πολύ σημαντικών κατηγοριών πλαγκτονικών οργανισμών (διάτομα, ραδιολάρια), αλλά και πιο μεγάλων ειδών (σπόγγοι). Προσλαμβάνεται το πυριτικό οξύ από αυτούς τους οργανισμούς και μετατρέπεται σε διοξείδιο του πυριτίου, προκειμένου να ενσωματωθεί το πυρίτιο στο σκελετικό τους υλικό. Όταν αυτοί οι οργανισμοί πεθαίνουν, το σωματιδιακό πυρίτιο απελευθερώνεται στην υδάτινη στήλη, και πλέον αποτελεί μέρος του σωματιδιακού πυριτικού κλάσματος. Το σωματιδιακό αυτό υλικό είτε διαλύεται ή καταβυθίζεται και ενσωματώνεται στα παράκτια ή ωκεάνια ιζήματα (Officer & Ryther 1980, Δασενάκης και συν. 2015). Η βροχή αποτελεί ένα φαινόμενο που μπορεί να ευνοήσει τη διάλυση των πετρωμάτων του στερεού φλοιού της γης και τη μεταφορά πυριτίου στη θάλασσα, εξαιτίας του σχετικά χαμηλού pH της. Σημαντική πηγή πυριτικών αποτελούν κυρίως τα ποτάμια και μάλιστα σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από ό,τι η ατμοσφαιρική οδός (10:1). Άλλη σημαντική πηγή είναι η διάβρωση των ακτών από τους παγετώνες. Το πυρίτιο εισέρχεται στη θάλασσα ως διαλυτό ($\text{Si}(\text{OH})_4$ ή Si_4^+) ή με τη μορφή κolloειδούς πυριτίου (αλλά στις αλκαλικές συνθήκες της θάλασσας μετατρέπεται σε σωματιδιακό) (Δασενάκης και συν. 2015). Τα διαλυτά πυριτικά των παράκτιων

περιοχών είναι συγκριτικά πολύ υψηλά, λόγω των προσθηκών από την ξηρά, ακόμα και όταν απουσιάζουν εμφανείς ανθρωπογενείς επεμβάσεις. Σύμφωνα με τους Δασενάκης και συν. (2015), τα πυριτικά φάνηκε να παρουσιάζουν αντιστρόφως ανάλογη σχέση με την αλατότητα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αυξημένη διαλυτότητα του πυριτικού οξέος σε διαλύματα χαμηλής ιοντικής ισχύος. 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 (Τασιόπουλος 2018). Με βάση τους Neofitou et al. (2019), παρόμοιο μοτίβο κατανομής παρουσιάστηκε στα πυριτικά με τα νιτρώδη άλατα, ενώ οι συγκεντρώσεις την άνοιξη κυμάνθηκαν από 0,87 έως 1,31 μM , και το καλοκαίρι από 0,95 έως 1,29 μM . Αντιστοίχως, στην έρευνα των Neofitou & Kliaoudatos (2008), όπου έλαβε χώρα στις δύο μονάδες εκτροφής ιχθύων του Παγασητικού κόλπου εξήχθη πως οι τιμές πυριτικού άλατος ήταν γενικά χαμηλές και στις δύο εγκαταστάσεις. Συγκεκριμένα, οι μέγιστες συγκεντρώσεις πυριτικού άλατος ήταν 4,89 και 2,45 μM , αντίστοιχα. Στην έρευνα των Αβραμόπουλος και συν.(2023), ως ελάχιστη συγκέντρωση πυριτικών αλάτων βρέθηκε η τιμή του 1,15 μM στον σταθμό CG και ως μέγιστη στον σταθμό WG (2,41 μM). Αρκετά χαμηλότερες είναι οι τιμές που καταγράφηκαν στην παρούσα έρευνα. Ειδικότερα, η ελάχιστη τιμή ήταν 0,325 μM στον σταθμό WG, σε σημείο κοντά στον πυθμένα. Η μέγιστη τιμή βρέθηκε επίσης στον σταθμό WG (1,862 μM), αλλά αυτή τη φορά σε δείγμα από την επιφάνεια της υδάτινης στήλης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναφορικά με τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού, στα σημεία δειγματοληψίας, παρουσιάστηκαν τιμές αναμενόμενες με βάση την εποχή που πάρθηκαν τα δείγματα αλλά και με βάση την περιοχή που διεξήχθη η έρευνα. Σε σχέση με τα θρεπτικά άλατα, κάποιες συγκεντρώσεις βρέθηκαν ελαφρώς αυξημένες στους σταθμούς όπου υπάρχει έντονη ανθρωπογενής δραστηριότητα, κάτι που είναι λογικό καθώς εκεί επηρεάζεται εντονότερα το υδάτινο περιβάλλον. Στη στατιστική σύγκριση που πραγματοποιήθηκε για τα δεδομένα των θρεπτικών αλάτων δεν εμφανίστηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών σταθμών. Σε καμία περίπτωση, δεν υπήρξε κάποια ένδειξη ευτροφισμού ή μεγάλης επιβάρυνσης του περιβάλλοντος. Τέλος, δεν εμφανίστηκε σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών σε σχέση με τις φυσιολογικές τιμές που συνήθως εμφανίζονται στον κόλπο κατά την αντίστοιχη περίοδο του έτους.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αβραμόπουλος Α., Κοβάτσης Δ.Ρ., Στρούθου Α., Σπηλιώτης Ι. (2023).** Έρευνα ποιότητας νερού στον Δυτικό, Κεντρικό και Ανατολικό Παγασητικό κόλπο. Προπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Γεωργίου Θ., Κυριάκου Κ., Παπατριανταφύλλου Ζ. (2015).** Περιβαλλοντικές επιπτώσεις εκτροφής ιχθύων σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς στην περιοχή της Μηλίνας (Παγασητικός κόλπος). Προπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Δασενάκης Μ., Λαδάκης Μ., Καραβάτσος Σ., Παρασκευοπούλου Β. (2015).** «Χημική Ωκεανογραφία». ISBN: 978-960-603-234-9.
- Θεοδώρου Α., Παναγιωτάκη Π., Μπουλταδάκη Α., Πνευματικάτος Η. (1997).** Οικολογική κατάσταση του Παγασητικού κόλπου και δυνατότητες χρήσης παράκτιων περιοχών του για εκτροφή ιχθύων. Επιθεώρηση Ζωοτεχνικής Επιστήμης, 23: 29-49.
- Θεοδώρου Ι.Α. (2017).** ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ, Εισαγωγή στο Θαλάσσιο Περιβάλλον, Εκδόσεις UNIBOOKS I.K.E, ISBN 978-618-82812-2-6. σελ. 149, 170, 177, 291, 558, 561-562.
- Κλαουδάτος Σ.Δ. (2005).** Πανεπιστημιακές Παραδόσεις του Μαθήματος Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 9, 33-34.
- Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ. (2010).** Κατασκευές υδατοκαλλιεργητικών συστημάτων Θαλάσσιες – Λιμνοθαλάσσιες – Χερσαίες. Εκδόσεις Προπομπός, Αθήνα, σελ. 26-56.

- Κολιού – Μήτσιου Α. (2000).** Ανάπτυξη ολοκληρωμένης πολιτικής για την αειφόρο διαχείριση του Παγασητικού κόλπου, Βόλος.
- 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, σελ. 553-560.
- Μπαμπάτσος Δ. & Παπαγεωργίου Ε. (2019).** Έλεγχος ποιότητας νερού σε περιοχές του Παγασητικού κόλπου, Προπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Μπαρμπετσέας Σ. (1993).** Υδρολογικά χαρακτηριστικά Παγασητικού κόλπου κατά τον Σεπτέμβριο 1992. Πρακτικά 4ου Πανελλήνιου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, σελ. 477-478.
- Νεοφύτου Ν. (2007).** Διερεύνηση των επιπτώσεων από την εγκατάσταση και λειτουργία ιχθυοκαλλιεργητικών μονάδων, με έμφαση στην επιλογή δεικτών καθοριστικών του βαθμού της προκαλούμενης ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Σελ. 36.
- Νεοφύτου Ν.Χ. & Νεοφύτου Χ.Ν. (2017).** Ιχθυολογία, Τρίτη Έκδοση, Εκδόσεις University Studio Press, Σελ 53-54, ISBN 978-960-12-2345-2.
- Παβέλη Α. (2006).** Ανάλυση περιβαλλοντικών παραγόντων στον Παγασητικό κόλπο. Προπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Περισοράκης Κ., Ζαχαράκης Π., Ανδρινόπουλος Α. (1993).** Ιζηματολογία των επιφανειακών ιζημάτων του Παγασητικού κόλπου και του Διαύλου του Τρικεριού (Δ. Αιγαίο Πέλαγος). Τεχνική Έκθεση του ΙΓΜΕ.
- Τασιόπουλος Β. (2018).** Έλεγχος ποιότητας νερού σε περιοχές του Παγασητικού κόλπου. Προπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

- Φλώρου Μ. (2017).** Επιπτώσεις ιχθυοκαλλιέργειας στα θρεπτικά άλατα του Παγασητικού κόλπου. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Φυτιανός Κ. (2017).** Η ρύπανση των θαλασσών, Γ' Έκδοση, University Studio Press A.E, ISBN 978-960-12-2321-6, σελ.14, 20, 65, 66, 83-112.
- Ψόγιου Ε.Ν. (2003).** Εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης του Παγασητικού κόλπου: συμβολή στην αεκρορική διαχείριση του. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, σελ 1-187.

6.2 Διεθνής Βιβλιογραφία

- APHA/AWWA/WPCF (1980).** Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 15th Edition, Public Health Association/American Water Works Association/Water pollution Control Federal, Washington DC, 1134.
- Berland B.R., Bqnin D.J., Maestrini S.Y. (1980).** Azote ou phosphore? Considerations snr le “paradoxe nut~tionneln de la mer Mtditerranee. Oceunol. Actu., Vol. 3, pp. 135-141.
- Boyd C.E. (1981).** Water quality in warmwater fish ponds. Agricultural Experiment Station, Auburn University, 359 p.
- Dimoudi A., Voulgaris K., Varkoulis A., Georgiou K., Klaoudatos D., Skordas K., Vafidis D., Neofitou N. (2024).** The impacts of “Daniel” and “Elias” storms on water quality of Pagasitikos gulf – A first record. 5th International Congress on Applied Ichthyology, Oceanography & Aquatic Environment HYDROMEDIT 2024, Mytilene, Greece, 30 May – 2 June.
- Eaton A.D., Clesceri L.S., Greenberg A.E., Franson M.A.H. (1998).** American Public Health Association American Water Works Association & Water Environment

- Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater (20th ed. 1998). American Public Health Association.
- 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: *Océanographie pélagique méditerranéenne* (Ed. Minas H. J. et Nival P.), 111-122.
- Gabrielides G. (1978).** Some chemical aspects of Pagassitikos Gulf, Greece. *Rev. Int. Ocean. Med.*, 51-52.
- Gabrielides G.P. & Theocharis A.C. (1978).** Physical and chemical characteristics of Pagassitikos Gulf, Greece. *Thalassographica*, 2: 135-154.
- Hays G., Richardson A., Robinson C. (2005).** Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(6): 337-344.
- Kesary K., Panagiotidis P., Pancucci-Papadopoulou M. (2002).** Environmental planning in Pagassitikos Gulf and the potential relationship Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly 14/08/2023 20:29:37 EEST - 78.87.31.139 with mucilage events. *Proc. Of the VI Inter. Conf. Prot. Rest. Env.*, 395- 402.
- 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*, 94: 102-117.
- Krom M.D., Kress N., Brenner S., Gordon L.I. (1991).** Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Limnology and Oceanography*, 36(3): 424-432.
- McQuatters-Gollop A., Raitzos D.E., Edwards M., Attrill M.J. (2007).** Spatial

patterns of diatom and dinoflagellate seasonal cycles in the NE Atlantic Ocean, Mar. Ecol. Prog. Ser., 339: 301-306.

Mason C.F. (1983). Biology of Freshwater Pollution. Longman, London, 250 p.

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.

Neofitou N., Papadimitriou K., Domenikiotis C., Tziantziou L., Panagiotaki P. (2019). GIS in environmental monitoring and assessment of fish farming impact on nutrients of Pagasitikos Gulf, Eastern Mediterranean. Aquaculture, 501: 62-75.

Nybakken J.W. (1997). Marine biology: an ecological approach. Menlo Park, Calif.: Benjamin Cummings.

Officer C.B. & Ryther J.H. (1980). The possible importance of silicon in marine eutrophication. Mar. Ecol. Prog. Ser., 3: 83-91.

Papadimitriou K., Neofitou N., Domenikiotis C., Florou M., Tziantziou L., Panagiotaki P. (2019). IMPACT OF FISH FARMING ON NUTRIENTS OF PAGASITIKOS GULF, Conference Paper, 3rd International Conference of Applied Ichthyology, Oceanography and Aquatic Environment, Hydromedit 2019.

Parsons T.R., Maita Y., Lalli C.M. (1984). A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, New York.

Petihakis G., Triantafyllou G., Koliou A., Theodorou A. (2002). Exploring the Dynamics of a Marine Ecosystem (Pagasitikos Gulf, Western Aegean, Greece)

through the analysis of Temporal and Spatial Variability of Nutrients. Littoral, 22-26 September, Porto, Portugal.

Petihakis G., Triantafyllou G., Korres G., Pollani A., Theodorou A. (2012a).

Ecosystem modeling: Towards the development of a management tool for a marine coastal system part-I. Journal of Marine Systems, 94: 34-48.

Petihakis G., Triantafyllou G., Korres G., Tsiaras K., Theodorou A. (2012b).

Ecosystem modelling: Towards the development of a management tool for a marine coastal system part-II, ecosystem processes and biogeochemical fluxes. Journal of Marine Systems, 94: 49-64.

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, Vol. II, 63-196.

Sawidis T., Brown M.T., Zachariadis G., Stratis I. (2001).

Trace metal concentrations in marine macroalgae from different biotopes in the Aegean Sea. Environment International, 27: 43-47.

Strickland J.D.H. & Parsons T.R. (1972). Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. (1972)

A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada Bulletin 157, 2nd Edition.

Theocharis A. & Laskaratos A. (1985). Water type formation and spreading in

Pagassitikos Gulf (NW Aegean). Rapp. Comm. Int. Mer. Medit., 3: 37-38.

Theodorou A.J. (1995). Ecological monitoring studies for volos sea outfall (Pagassitikos

Gulf, western Aegean Sea). Water Science and Technology, 32(2):273-280.

Tsangaris C., Kaberi H., Catsiki V.A. (2013). Metal levels in sediments and transplanted mussels in Pagassitikos Gulf (Aegean Sea, Eastern Mediterranean).

Environmental Monitoring and Assessment, 185(7): 6077–6087.

Voutsinou-Taliadouri F. & Balopoulos E.T. (1989). Geochemical and water flow features in a semi enclosed embayment of the Western Aegean Sea (Pagassitikos Gulf, Greece) and physical oceanographic and geochemical conditions in Thermaikos Bay (Northwestern Aegean). Wat. Sci. Tech., 21: 1881-1886.

6.3 Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- <https://www.britannica.com/science/water-pollution> (Πρόσβαση 05/07/2024)
- <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/0f50cafe-9837-5000-8b8e-a9961d504fac> (Πρόσβαση 10/09/2024)

ABSTRACT

The aim of this thesis was to monitor the water quality in different areas of the Pagasitikos gulf (East, Central and West), based on the physicochemical parameters, as well as to evaluate the possible changes in the nutrient levels of the water column through anthropogenic activities in the gulf. The sampling took place on the 24th of May 2022, within the framework of the wider project of the Department of Ichthyology and Aquatic Environment, in collaboration with the Department of Fisheries of the P.E. of Magnesia and Sporades. A total of 3 sampling stations were selected (WG-Western Gulf, CG-Central Gulf, EG-Eastern Gulf), in each of which the physicochemical and biological parameters of the seawater (temperature, salinity, dissolved oxygen, pH and Chlorophyll α) and water samples were equally taken along the entire length of the water column (surface, middle, bottom) for in-lab nutrient analyses (ammonium, nitrite, nitrate, phosphate and silicate).

The results of this thesis indicated that the physicochemical characteristics of water at the sampling points displayed the expected seasonal variation corresponding to the wider study area, the Pagasitikos gulf. Specifically, the mean value of temperature from all three stations was 15.86°C, with the highest value occurring at EG (21.72°C) at the surface. Respectively, for salinity the mean value was 38.37 psu, with the highest value being equally in the eastern sampling station (38.53 psu) in the middle of the water column. In terms of dissolved oxygen, the mean value was 5.77 mg/l, with the highest value being observed at the central sampling station (6.34 mg/l), in the middle of the water column. For pH, the mean value in the gulf reached 8.56, while the highest value occurred at WG and was 8.62, at the surface. Finally, for the parameter of chlorophyll α ,

the mean value of all 3 stations was 1.52 mg/m^3 , while the highest value was recorded at the western station of the gulf (3.04 mg/m^3), and was recorded in the middle of the water column.

For ammonium the mean concentration was $0.23 \text{ } \mu\text{M}$, while the highest was recorded at the central station, in the middle of the water column and was $0.958 \text{ } \mu\text{M}$. For nitrite, the mean value was $0.00097 \text{ } \mu\text{M}$, while the highest concentration was at EG station ($0.0014 \text{ } \mu\text{M}$), in the middle of the water column. As for the concentration of nitrate the mean concentration was $2.33 \text{ } \mu\text{M}$, while the highest concentration was at the Central Pagasitikos gulf ($2.36 \text{ } \mu\text{M}$), at the bottom. Phosphate showed a mean value of $0.0053 \text{ } \mu\text{M}$, and the highest concentration was recorded at the Central station ($0.012 \text{ } \mu\text{M}$), in the middle depth of water column. Finally, for silicates the mean value was 1.54 , while the maximum was observed at the Western station at the surface ($1.862 \text{ } \mu\text{M}$).

The statistical analysis of nutrient concentrations among sampling stations did not show significant differences.

Key words: *Environmental impacts, nutrients, eutrophication, Pagasitikos gulf*