

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

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Έρευνα ποιότητας νερού στον Δυτικό, Κεντρικό και Ανατολικό
Παγασητικό κόλπο»**

**Αβραμόπουλος Ασημάκης
Κοβάτσης Δημήτριος Ραφαήλ
Στρούθου Αντώνιος
Σπηλιώτης Ιωάννης**

ΒΟΛΟΣ 2023

**«Έρευνα ποιότητας νερού στον Δυτικό, Κεντρικό και Ανατολικό Παγασητικό
κόλπο»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

- 1. Νικόλαος Νεοφύτου**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.
- 2. Δημήτριος Βαφείδης**, Καθηγητής, Βιοποικιλότητα των Θαλάσσιων Βενθικών Ασπόνδυλων και άμεση - έμμεση χρησιμότητά τους, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.
- 3. Δημήτριος Κλαουδάτος**, Μόνιμος Επίκουρος Καθηγητής, Αλιεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όλους όσοι συνέβαλαν στο να φέρουμε εις πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Νικόλαο Νεοφύτου για την πολύτιμή βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή της έρευνας όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μας, αποτελούμενη από τους κ.κ. Δημήτριο Βαφείδη και Δημήτριο Κλαουδάτο για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στην οικογένειά μας για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προπάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτέλεσε ο έλεγχος της ποιότητας του νερού, σε διαφορετικές περιοχές του Παγασητικού κόλπου (Ανατολικός, Κεντρικός, Δυτικός), 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 την 24^η και 25^η 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 (EG-Ανατολικός, CG-Κεντρικός, WG-Δυτικός κόλπος), σε καθένα από τους οποίους μετρήθηκαν τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του θαλασσινού νερού (Θερμοκρασία, Αλατότητα, Διαλυμένο Οξυγόνο, pH και Χλωροφύλλη α), ενώ λήφθηκαν δείγματα νερού σε διαφορετικά βάθη της υδάτινης στήλης 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 15,51°C, με την υψηλότερη τιμή να εμφανίζεται στον ανατολικό κόλπο (EG) στους 22,18°C, αντίστοιχα για την αλατότητα η μέση τιμή ήταν 38,38 psu με την υψηλότερη να εμφανίζεται στον ανατολικό σταθμό δειγματοληψίας (EG = 38,52 psu). Ως προς το διαλυμένο οξυγόνο, η μέση τιμή ήταν 5,83 mg/l με τη μέγιστη τιμή να παρατηρείται στον κεντρικό σταθμό δειγματοληψίας (CG = 6,29 mg/l). Για το pH η μέση τιμή στον κόλπο έφθασε στο 8,57, ενώ η μεγαλύτερη τιμή εμφανίστηκε στον

δυτικό σταθμό (WG) και ήταν ίση με 8,62. Τέλος, ως προς την παράμετρο της χλωροφύλλης a η μέση τιμή και των 3 σταθμών ήταν $1,38 \text{ mg/m}^3$, ενώ η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στον δυτικό σταθμό του κόλπου και ήταν $3,04 \text{ mg/m}^3$.

Σε σχέση με τα θρεπτικά άλατα, στα αμμωνιακά η μέση συγκέντρωση ήταν $0,30 \text{ } \mu\text{M}$, ενώ η μεγαλύτερη καταγράφηκε στον κεντρικό σταθμό και έφθασε στα $0,50 \text{ } \mu\text{M}$. Για τα νιτρώδη η μέση τιμή ήταν $0,006 \text{ } \mu\text{M}$, ενώ η υψηλότερη καταγράφηκε στον σταθμό WG ($0,010 \text{ } \mu\text{M}$). Ως προς τη συγκέντρωση των νιτρικών, η μέση συγκέντρωση ήταν $2,30 \text{ } \mu\text{M}$, ενώ η μεγαλύτερη εμφανίστηκε στο ανατολικό τμήμα του κόλπου $2,36 \text{ } \mu\text{M}$. Τα φωσφορικά εμφάνισαν μέση τιμή ίση με $0,007 \text{ } \mu\text{M}$, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να καταγράφεται στον ανατολικό σταθμό $0,007 \text{ } \mu\text{M}$. Τέλος, για τα πυριτικά η μέση τιμή ήταν $1,54 \text{ } \mu\text{M}$, ενώ η μέγιστη παρατηρήθηκε στον δυτικό σταθμό ($2,41 \text{ } \mu\text{M}$).

Η στατιστική επεξεργασία της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων μεταξύ των τριών σταθμών δειγματοληψίας, με τη χρήση One-way ANOVA και του Tuckey's test, έδειξε σημαντικές διαφορές μόνο για τα νιτρικά ($p < 0,05$). Σε κάθε περίπτωση όμως, δεν εμφανίζεται σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών σε σχέση με τις φυσιολογικές τιμές που συνήθως εμφανίζονται στον κόλπο κατά την αντίστοιχη περίοδο του έτους.

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

Περιεχόμενα

Προκαταρκτικές σελίδες.....	i-iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1 Γενικά για το νερό.....	5
1.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά θαλάσσιων υδάτων	6
1.3 Περιοχή μελέτης.....	10
1.3.1 Γενικά στοιχεία	10
1.3.2 Κλιματολογικές συνθήκες.....	12
1.3.3 Θαλάσσια ρεύματα και κυκλοφορία υδάτων.....	13
1.4 Ρύπανση θαλασσών.....	14
1.4.1 Γενικά για τη ρύπανση	14
1.4.2 Ανθρωπογενείς επιδράσεις στον Παγασητικό κόλπο	18
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	23
2.1 Σταθμοί δειγματοληψίας.....	23
2.2 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά.....	25
2.2.1 Υδάτινη στήλη	25
2.2.2 Θρεπτικά άλατα	26
2.3 Στατιστική ανάλυση	29
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	30
3.1 Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι.....	30
3.2 Θρεπτικά άλατα	35
3.3 Στατιστική επεξεργασία.....	40
3.3.1 Μονοπαραγοντική Ανάλυση Διακύμανσης (One-way ANOVA).....	40
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	41
4.1 Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι.....	41
4.1.1 Θερμοκρασία.....	41
4.1.2 Αλατότητα	43
4.1.3 Διαλυμένο οξυγόνο.....	46
4.1.4 Ενεργός Οξύτητα (pH)	48
4.1.5 Χλωροφύλλη <i>a</i>	49
4.2 Θρεπτικά άλατα	52
4.2.1 Αμμωνιακά.....	53
4.2.2 Νιτρώδη.....	54
4.2.3 Νιτρικά	55
4.2.4 Φωσφορικά	56
4.2.5 Πυριτικά.....	58

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	61
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62
6.1 Ελληνική Βιβλιογραφία	62
6.2 Διεθνής Βιβλιογραφία	65
6.3 Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	722
ABSTRACT	733

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά για το νερό

Το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της Γης, περίπου τα $\frac{3}{4}$ αυτής, καλύπτονται με νερό. Το σύνολο όλων των υδατικών αποθεμάτων που βρίσκονται επάνω στην Γη χαρακτηρίζεται ως υδρόσφαιρα, και διακρίνεται σε (Φυτιανός, 2017):

1. Θάλασσες και Ωκεανούς
2. Νερό των ηπείρων
3. Νερό της ατμόσφαιρας

Το μεγαλύτερο μέρος του νερού της υδρόσφαιρας (περίπου το 97,3%) κατανέμεται στους Ωκεανούς και τις Θάλασσες, ενώ το υπόλοιπο 2,7% βρίσκεται στις Ηπείρους, με τη μεγαλύτερη ποσότητα αυτού να υπάρχει σε παγετώνες των οροσειρών της Ανταρκτικής. Οι θάλασσες, η ατμόσφαιρα, καθώς και οι ήπειροι, «περιοχές» οι οποίες αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες νερού, δεν αποτελούν ξεχωριστούς χώρους, αλλά εμφανίζονται στενά συνδεδεμένα και σε μία συνεχή αλληλεπίδραση. Η γήινη επιφάνεια που καλύπτεται από τους εκτενείς αυτούς όγκους νερού, τους Ωκεανούς, παρατηρείται άνισα κατανεμημένη ανάμεσα στα δύο ημισφαίρια. Συγκεκριμένα, στο βόρειο ημισφαίριο υπάρχει κάλυψη του 60,7% της επιφάνειας, ενώ στο νότιο το ποσοστό αγγίζει το 80,9%. Ορισμένες ιδιότητες του θαλασσινού νερού, όπως οι υψηλές λανθάνουσες θερμότητες τήξης και εξάτμισης, η μεγάλη θερμοχωρητικότητα και τα υψηλά σημεία ζέσεως και πήξης, είναι παρόμοιες με αυτές των γλυκών υδάτων.

1.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά θαλάσσιων υδάτων

Το θαλασσινό νερό περιέχει πλήθος συστατικών, όπως διάφορα άλατα, ιχνοστοιχεία και αέρια, ενώ η σύστασή του σε αυτά ενδέχεται να μεταβάλλεται βραχυπρόθεσμα, λόγω ποικίλων διεργασιών. Ορισμένες από αυτές είναι οι φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες, όπως η θρέψη και η απέκκριση των υδρόβιων οργανισμών ή η επίδραση της θερμοκρασίας, αλλά κατά κύριο λόγο, επηρεάζεται από την εισροή αποβλήτων και πάσης φύσεως τοξικών ουσιών. Αντίστοιχα, η δομή και η σύσταση του θαλάσσιου πυθμένα, ο οποίος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στη δημιουργία και ανάπτυξη μεγάλου αριθμού μακροφυκών και θαλάσσιων φανερόγαμων, μπορεί να επηρεαστεί από τις διάφορες μεταβολές της παρακείμενης υδάτινης στήλης. Ενδεχόμενο αποτέλεσμα αυτού είναι η αλλοίωση τόσο της σύνθεσης της θαλάσσιας χλωρίδας, όσο και εν συνεχεία των ζωικών υδρόβιων οργανισμών (Φυτιανός, 2017).

Το θαλασσινό νερό εμφανίζεται ως περίπλοκο σύστημα με υψηλή ρυθμιστική ικανότητα. Το pH συνήθως κυμαίνεται από 8 έως 8,5, η μέση θερμοκρασία του παγκοσμίως αγγίζει περίπου τους 17°C, ενώ τέλος, η πυκνότητα στην επιφάνειά του είναι από 1,020 έως 1,029 g/cm³. Η θερμοκρασία στην επιφάνεια των θαλασσών μεταβάλλεται ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος από -2°C έως >35°C. Επίσης, σημαντική είναι η θερμοκρασιακή του βαθμίδωση συναρτήσει του γεωγραφικού βάθους (Φυτιανός, 2017).

Θερμοκρασία

Στα θαλάσσια οικοσυστήματα η θερμοκρασία του νερού σπανίως διαφέρει από περιοχή σε περιοχή (διαφορές $<3^{\circ}\text{C}$). Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας εντοπίζονται στο επιφανειακό κυρίως στρώμα, ενώ σε βάθη μεγαλύτερα από 200 m εμφανίζεται θερμοκρασιακή ομοιομορφία, χαρακτηριστική για κάθε θαλασσιά λεκάνη (π.χ. στον βυθό της Μεσογείου η θερμοκρασία είναι παντού μεταξύ 13 και 14°C) (Φυτιανός, 2017).

Πυκνότητα

Η πυκνότητα του θαλασσινού νερού αυξάνεται με την αύξηση της αλατότητας και της πίεσης, ενώ μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Σε αντίθεση με το καθαρό νερό, το οποίο αποκτά τη μέγιστη πυκνότητά του στους 4°C , το θαλασσινό νερό αποκτά τη μέγιστη πυκνότητα σε χαμηλότερη θερμοκρασία, η τιμή της οποίας εξαρτάται από την αλατότητα. Όσο μεγαλύτερη είναι η αλατότητα τόσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία στην οποία η πυκνότητα γίνεται μέγιστη (Φυτιανός, 2017).

Θολερότητα

Η θολερότητα αποτελεί εξίσου μια πολύ σημαντική παράμετρο που καθορίζει την ποιότητα του θαλασσινού νερού. Η εμφάνιση της θολερότητας προκαλείται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι τα πλαγκτονικά είδη ή ακόμα και η είσοδος αιωρούμενων στερεών σωματιδίων εδαφικής προέλευσης από το χερσαίο περιβάλλον. Η συγκεκριμένη παράμετρος δεν έχει πάντα άμεση επίδραση στους υδρόβιους

οργανισμούς, ειδικότερα όταν αυτή προκαλείται από πλαγκτόν (πέραν συγκριμένων περιπτώσεων). Έμεσα όμως τους επηρεάζει, αφού εμποδίζει τη διείσδυση των ηλιακών ακτινών, με επακόλουθο να περιορίζει τον ρυθμό της φωτοσύνθεσης και την παραγωγικότητα του οικοσυστήματος. Η καθίζηση στερεών σωματιδίων μπορεί να προκαλέσει ασφυξία στα αυγά ορισμένων ιχθύων, όπως οι πέστροφες και οι σολομοί που αποθέτουν τα αυγά τους στον πυθμένα. Τιμές θολρότητας που υπερβαίνουν τα 20.00 mg/l, προκαλούν αντιδράσεις στη συμπεριφορά ψαριών και οστρακοειδών και οφείλονται συνήθως σε διαδικασίες επαναιώρησης της λάσπης και της άμμου του πυθμένα (Κλαουδάτος, 2005).

Χρώμα

Καθώς το φως διεισδύει στο θαλάσσιο νερό, μέρος του απορροφάται από αυτό και από τις διαλυμένες ουσίες του, ενώ ένα άλλο σκεδάζεται από τα αιωρούμενα σωματίδια, με αποτέλεσμα να εξασθενεί με την αύξηση τους βάθους. Ανάλογα λοιπόν με το ποιες ακτινοβολίες απορροφώνται, το θαλάσσιο νερό έχει και διαφορετικό χρώμα. Η απορρόφηση και η σκέδαση είναι γενικά εντονότερες στα μικρά μήκη κύματος. Η θάλασσα φαίνεται γαλάζια όταν το νερό είναι καθαρό και πρασινίζει ή κιτρινίζει όταν το νερό γίνεται πλούσιο σε διαλυμένες ουσίες και αιωρούμενα σωματίδια (ανόργανα υλικά ή μικροσκοπικοί οργανισμοί) (Φυτιανός, 2017).

Διαλυμένα αέρια

Στο θαλασσινό νερό εμφανίζονται διαλυμένα όλα τα αέρια που συναντώνται στον ατμοσφαιρικό αέρα, ενώ η παρουσία αυτών στο νερό οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

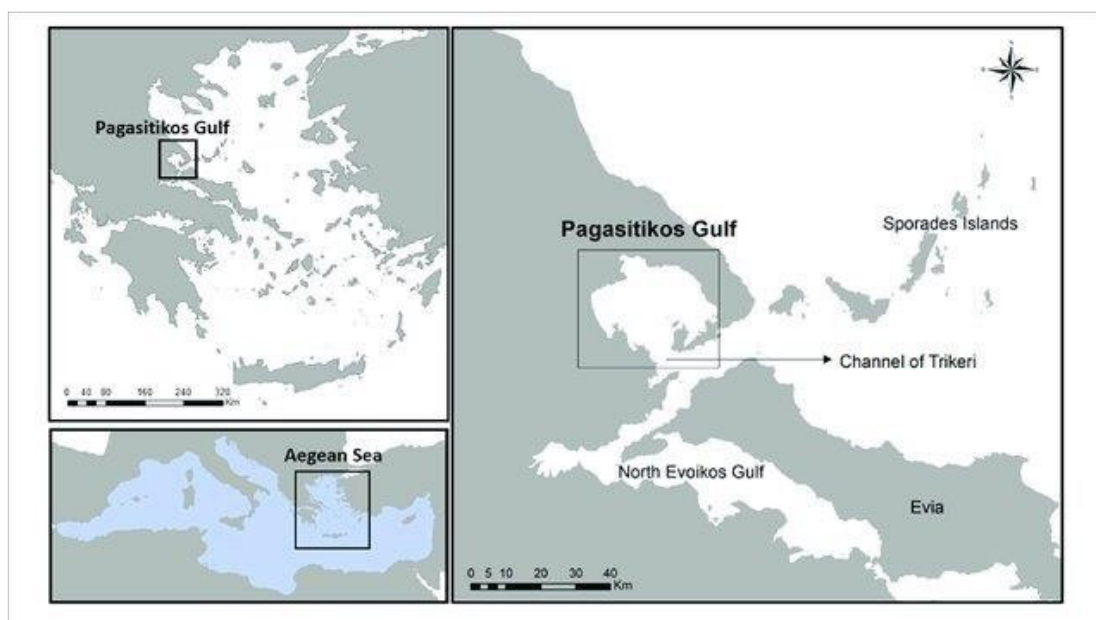
1. Στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ θάλασσας και ατμόσφαιρας, από την οποία και διαλύονται στο θαλασσινό νερό. Το φαινόμενο αυτό ευνοείται από τον έντονο κυματισμό, με τον οποίο προκαλείται ανάμιξη των επιφανειακών υδάτων, αλλά και από τις χαμηλές θερμοκρασίες του νερού, αφού η διαλυτότητα των αερίων αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας της παρακείμενης υδάτινης στήλης.
2. Στη βιολογική δράση ορισμένων οργανισμών, οι οποίοι παράγουν αέρια στην υδάτινη στήλη. Το πιο σημαντικό αέριο που παράγεται από βιολογικές διεργασίες είναι το οξυγόνο, μέσω της φωτοσύνθεσης φυτοπλακτονικών οργανισμών.
3. Σε γεωλογικά φαινόμενα, κατά τα οποία διάφορα αέρια αναβλύζουν από τον πυθμένα, σε διαδικασίες όπως η δημιουργία του ωκεάνιου φλοιού, μέσω της δράσης υποθαλάσσιων ηφαιστείων, υδροθερμικών πηγών κ.λπ.

Οι συγκεντρώσεις ορισμένων αερίων στο θαλασσινό νερό, όπως προαναφέρθηκε, εξαρτάται έντονα από τη διαλυτότητα τους (άρα από παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η ιονική ισχύ του διαλύτη – νερού), αλλά και από το αν συμμετέχουν τα παραπάνω αέρια σε βιολογικές ή χημικές διεργασίες, οδηγώντας σε αυξομειώσεις αυτών (Δασενάκης και συν., 2015).

1.3 Περιοχή μελέτης

1.3.1 Γενικά στοιχεία

Ο Παγασητικός είναι ένας σχετικά αβαθής (μέσο βάθος 69 m), ημίκλειστος κόλπος, με επιφάνεια 520 Km² και μέσο όγκο 36 Km³ (Friligos, 1988; Raitsos et al., 2012). Οι μεγαλύτερες διαστάσεις του από βορρά προς νότο και ανατολή προς δύση είναι 16 και 17 Km, αντίστοιχα. 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 Τρικεριού, που βρίσκεται βόρεια της Εύβοιας, ο οποίος εμφανίζει άνοιγμα 5,5 Km και βάθος 80 m. Ο κόλπος περιβάλλεται από βουνά όπως ο Γούρας (Δυτικά), το όρος Όθρυς (Νοτιοδυτικά) και ο εκτεταμένος όγκος του όρους Πήλιου (Νοτιοανατολικά). Η μεγάλη αυτή δρεπανοειδής οροσειρά, χωρίζει τον κόλπο από το Βόρειο Αιγαίο Πέλαγος προς τα δυτικά και τα νότια (Εικ. 1).



Εικόνα 1. Χάρτης που αναδεικνύει την τοποθεσία του Παγασητικού κόλπου στο Κεντρικό Αιγαίο, Ελλάδα, Ανατολική Μεσόγειο (Dimarchoroulou et al., 2019).

Οι δυτικές ακτές του οριοθετούνται από τις προεκτάσεις των πρόποδων του βουνού Όθρυς και την κωνικού σχήματος προσχωσιγενή πεδιάδα του Αλμυρού, ενώ οι βόρειες ακτές συνορεύουν με την οροσειρά της Νέας Αγχιάλου στο δυτικό τμήμα και με τον κόλπο του Βόλου στο ανατολικό τμήμα (Dietrich et al., 2019). Το υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής δεν εμφανίζεται καλά αναπτυγμένο, εξαιτίας της παρουσίας των προαναφερθέντων ορεινών όγκων και των αντίστοιχων μεγάλων κλίσεων. Έτσι, στο δυτικό και βόρειο τμήμα του Παγασητικού εκβάλλουν μικρά ποτάμια και χείμαρροι, τα οποία εξομαλύνουν το ανάγλυφο της στεριάς (Petihakis et al., 2003).

Η βαθυμετρία του Παγασητικού έχει τη μορφή μιας ρηχής λεκάνης με βάθος περίπου 100 m και έναν ασύμμετρο βαθύτερο πυθμένα στο ανατολικό τμήμα (Petihakis et al., 2012a; Korres et al., 2012). Το βορειοδυτικό τμήμα του παρουσιάζει ομαλή κλίση, ενώ το ανατολικό διακρίνεται απότομο (Petihakis et al., 2002). Τα λιμναία και θαλάσσια μη στερεοποιημένα ιζήματα φθάνουν σε μέγιστο πάχος περίπου 100 m. Σε αρκετές περιοχές εμφανίζονται πολλές ποτάμιες-χειμαρρώδεις αναβαθμίδες (π.χ. χαλαρά κροκαλοπαγή πετρώματα, άμμος, ιλύς και άργιλος με χαμηλό ποσοστό χονδρόκοκκου υλικού) (Petihakis et al., 2003).

Ολοκαινικά θραύσματα και μεγάλοι κώνοι από κροκάλες αναπτύσσονται σε σημεία κατά μήκος της ανατολικής ακτής (π.χ. στα δέλτα της Αγριάς, Λεχωνίων, Καλά Νερά και του Καλάμου) (Dietrich et al., 2019). Στο μεγαλύτερο μέρος του κόλπου, ο πυθμένας είναι επικαλυμμένος με ιλύ, εκτός από το βορειοδυτικό (περιοχή Αλμυρού) και ανατολικό τμήμα (περιοχή Τρικερίου), τα οποία καλύπτονται από άμμο (Περισοράκης και συν., 1993; Korres et al., 2012; Dimarchopoulou et al., 2019).

1.3.2 Κλιματολογικές συνθήκες

Από κλιματολογική άποψη, η Ανατολική Μεσόγειος αποτελεί περιοχή, όπου η εξάτμιση υπερσχύει των βροχοπτώσεων. Η παρατηρούμενη εμφάνιση και εν συνεχεία βύθιση των επιφανειακών υδάτων, εξαιρετικά υψηλής πυκνότητας (άμεσα συνδεδεμένη με την υψηλή αλατότητα των συγκεκριμένων υδάτων), εξαιτίας της εξάτμισης, αποτελεί ένα σύνηθες φαινόμενο στη ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (Friligos, 1988). Το κλίμα του Παγασητικού κόλπου, παρουσιάζει εύκρατο κλίμα με μεγάλα ημερήσια και ετήσια θερμοκρασιακά εύρη, χαρακτηρίζεται από θερμά και ξηρά καλοκαίρια και αντιστοίχως, από ήπιους και βροχερούς χειμώνες. Από δεδομένα που καταγράφηκαν στην περιοχή του κόλπου από το 1956 έως το 1988, η μέση ετήσια υγρασία είναι 67,2%, ο ολικός ετήσιος αριθμός ημερών βροχής είναι 89,2 και ο ετήσιος αριθμός ημερών καταιγίδας 12,4 (κυρίως στα τέλη της άνοιξης και του καλοκαιριού). Επιπλέον, βρίσκεται σε συμφωνία με το γενικό πλαίσιο της Μεσογειακής Λεκάνης, ενώ επηρεάζεται εξίσου από το αντικυκλωνικό σύστημα του Ατλαντικού (Petihakis et al., 2012a).

Το μικροκλίμα αυτού, απαρτίζεται από δύο κύρια καθεστώτα ασθενών ανέμων, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός παρατεταμένου θερμοκλινούς (Θεοδώρου και συν., 1997). Η πρώτη ομάδα ανέμων είναι τα μελτέμια, τα οποία πνέουν από τον Ιούλιο έως τον Σεπτέμβριο με βορειοδυτική κατεύθυνση, παρουσιάζοντας μέγιστες τιμές κατά τις απογευματινές ώρες και ελάχιστες κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η δεύτερη ομάδα είναι οι νότιοι θερμοί και ξηροί άνεμοι. Στην ευρύτερη περιοχή του κόλπου πνέουν άνεμοι μικρής έντασης (1-4 Beaufort), με μεγαλύτερες συχνότητες στις εντάσεις 1 και 2 Beaufort. Συχνότερα πνέουν άνεμοι βόρειας διεύθυνσεως (32,66 %) και ακολουθούν οι νότιοι άνεμοι (19,37%), ενώ σημαντικό είναι και το ποσοστό άπνοιας (24,18%) (Θεοδώρου και συν., 1997). Σποραδικά οι βόρειοι άνεμοι φτάνουν τα 9 και 10 Beaufort,

με σχετικά όμως μικρές συχνότητες (0,02 και 0,01%, αντίστοιχα). Η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα είναι 16,5°C, η μέγιστη 31,0°C κατά τον Ιούλιο, ενώ η ελάχιστη 11,0°C τον Ιανουάριο (Petihakis et al., 2012b).

1.3.3 Θαλάσσια ρεύματα και κυκλοφορία υδάτων

Μετρήσεις των ρευμάτων που έγιναν στον Παγασητικό κόλπο κατά τους Καλοκαιρινούς και Φθινοπωρινούς μήνες του 1976, ανέδειξαν σχετικά μικρές ταχύτητες (<40 cm/s) (Voutsinou-Taliadouri & Balopoulos, 1989). Η ανανέωση των νερών του Παγασητικού πραγματοποιείται, για το στρώμα του πυθμένα, με την είσοδο των νερών από το Αιγαίο Πέλαγος κατά μήκος της ανατολικής ακτής του κόλπου και, ακολουθώντας αριστερόστροφη πορεία, το πυθμενικό στρώμα εξέρχεται από τη δυτική πλευρά της εισόδου του κόλπου (Gabrielidis & Theoharis, 1978; Γεωργόπουλος & Θεοχάρης, 1983; Λασκαράτος & Θεοχάρης, 1984). Στο ανώτερο στρώμα του νερού, η ροή φαίνεται να έχει την αντίθετη φορά (Μπαλόπουλος και συν., 1987), και η ανανέωση των νερών του κόλπου γίνεται κατά προσέγγιση εντός 6 μηνών (Θεοδώρου και συν., 1997), ενώ η ανανέωση του πυθμενικού στρώματος στην ανατολική λεκάνη, που έχει τα μεγαλύτερα βάθη είναι πιο αργή (Gabrielidis & Theoharis, 1978).

Γενικά, παρατηρούνται επιφανειακά ρεύματα με μικρά μεγέθη ταχυτήτων, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη ασθενών ανέμων, όπως η παρουσία αντικυκλώνα στον Ανατολικό Παγασητικό ή κυκλώνα στον Κεντρικό-Δυτικό Παγασητικό. Όπως προαναφέρθηκε, η ανανέωση των νερών του κόλπου πραγματοποιείται μέσω του διαύλου του Τρικερίου (Petihakis et al., 2005; Petihakis et al., 2012c). Παρόλο που ο διάυλος είναι σχετικά στενός, έχει την ιδιαιτερότητα να είναι αρκετά βαθύς, περίπου 80 m, οπότε ο Παγασητικός κόλπος διαφοροποιείται ως προς τη δυνατότητα

ανανέωσης, σε σχέση με άλλους κλειστούς ελληνικούς κόλπους. Η είσοδος των βαθύτερων υδάτινων μαζών από το Αιγαίο γίνεται κατά μήκος των ανατολικών ακτών του στομίου, η έξοδος παρατηρείται στο δυτικό τμήμα, ενώ στα επιφανειακά στρώματα η κυκλοφορία του νερού έχει ακριβώς αντίθετη κατεύθυνση. Αν και η κυκλοφορία στον κόλπο είναι σχετικά περίπλοκη, συνοπτικά περιγράφεται από ένα σχεδόν σταθερό δίπολο, το οποίο περιλαμβάνει έναν αντικυκλώνα στον ανατολικό και έναν κυκλώνα στον κεντρικό και δυτικό τομέα του κόλπου, που συνοδεύεται από μικρότερους στροβίλους (Βαφείδης και συν., 2022).

1.4 Ρύπανση θαλασσών

1.4.1 Γενικά για τη ρύπανση

Ρύπανση των υδάτων αποτελεί η απελευθέρωση ουσιών στα υδατικά οικοσυστήματα, όπως υπόγεια ύδατα, λίμνες, ρέματα, ποτάμια, εκβολές ποταμών και ωκεανούς, σε σημείο που οι ουσίες αυτές παρεμποδίζουν την ωφέλιμη χρήση του νερού ή τη φυσική λειτουργία των οικοσυστημάτων. Εκτός από την απελευθέρωση ουσιών, όπως χημικών ουσιών, σκουπιδιών ή μικροοργανισμών, η ρύπανση των υδάτων μπορεί επίσης, να περιλαμβάνει την απελευθέρωση ενέργειας, με τη μορφή ραδιενέργειας ή θερμότητας, σε υδάτινα σώματα (Πίν. 1) (<https://www.britannica.com/science/water-pollution>).

Πίνακας 1: Κυριότεροι ρύποι που εισάγονται στους ωκεανούς από ανθρώπινες δραστηριότητες και φυσικές πηγές (Φυτιανός, 2017).

Κατηγορία ρύπων	Προέλευση από φυσικές πηγές	Προέλευση από ανθρώπινες πηγές
Υδρογονάνθρακες πετρελαίου	Ποταμοί, νερά βροχής, ηφαίστεια, διαρροές πετρελαίων, ατμόσφαιρα, βακτήρια στην υδάτινη στήλη.	Μεταφορικά μέσα, παραγωγή αεροζόλ, έκπλυση αστικών περιοχών από νερά βροχής.
Αιωρούμενα σωματίδια	Ποτάμια, νερά βροχής, θολερά ρεύματα, νεφελοειδείς στιβάδες, υψηλή βιολογική παραγωγή, ατμόσφαιρα.	Κτηνοτροφία, αλιεία, λιμάνια, ποτάμια, κανάλια, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, γεωτρήσεις.
Βαρέα μέταλλα	Ηφαίστεια, νερά βροχής, ιζήματα, αποσύνθεση οργανισμών.	Βιομηχανικά και αστικά απόβλητα.
Ραδιενεργά συστατικά	Ποτάμια, νερά βροχής, ατμόσφαιρα, μεταλλοφόρα κοιτάσματα.	Βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας, πυρηνικές δοκιμές.
Θρεπτικά συστατικά	Ποτάμια, νερά βροχής, ιζήματα πυθμένα που ανέρχονται στην επιφάνεια, βιολογική ανακύκλωση, ατμόσφαιρα.	Αστικά λύματα, λιπάσματα από γεωργικές καλλιέργειες.
Θερμική αλλοίωση	Ηφαίστεια, λιμνοθάλασσες ή εκβολές ποταμών.	Απόβλητα πύργων ψύξης, μετατροπή/χρήση θερμικής ενέργειας των ωκεανών.
BOD	Αποσύνθεση, ευτροφισμός, ερυθρά παλίρροια.	Αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, απόβλητα κονσερβοποιίας.
Αλατότητα	Ρηχές λιμνοθάλασσες, ποτάμια, «θόλοι άλατος» (salt-domes).	Βιομηχανικά απόβλητα που περιλαμβάνουν απόθεση άλμης από κοιότητες αποθήκευσης και «θόλοι άλατος».

Η Οδηγία 91/676/ΕΟΚ «για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης» εναρμονίστηκε με την Εθνική Νομοθεσία με την ΚΥΑ 161690/1335/1997 (ΦΕΚ Β' 519/25-6-1997). Η Οδηγία αυτή αποσκοπεί στην προστασία των υδάτων από τη ρύπανση, που προκαλείται άμεσα ή έμμεσα από νιτρικά ιόντα γεωργικής προέλευσης. Τα κράτη μέλη οφείλουν να λαμβάνουν συγκεκριμένα μέτρα όπως: παρακολούθηση των υδάτων (ως προς τη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων και την τροφική κατάσταση), προσδιορισμός των υδάτων που έχουν ρυπανθεί ή διατρέχουν κίνδυνο ρύπανσης, χαρακτηρισμός ευπρόσβλητων ζωνών, θέσπιση κωδικών ορθής γεωργικής πρακτικής και κατάρτιση προγραμμάτων δράσης (σειρά

μέτρων για την πρόληψη και τη μείωση της νιτρορύπανσης), καθώς και επανεξέταση, τουλάχιστον ανά τετραετία, του χαρακτηρισμού ευπρόσβλητων ζωνών και των προγραμμάτων δράσης (Υ.ΠΕ.Ν).

Η εκτεταμένη γεωργία, μέσω της ραγδαίας αύξησης της χρήσης εδαφοβελτιωτικών (λιπασμάτων) και η αύξηση της ζωικής παραγωγής, σε παγκόσμιο επίπεδο, αποτελούν τις βασικές πηγές ρύπανσης, που εμπλουτίζουν με πλήθος θρεπτικών συστατικών τα υδατικά οικοσυστήματα (Beusen et al., 2016; 2022). Σε γενικές γραμμές, όχι μόνο αυξάνεται το φορτίο των θρεπτικών συστατικών, αλλά παρατηρείται εξίσου αύξηση στην παγκόσμια αναλογία N:P (Bouwman et al., 2017). Η αναλογία αυτή ενισχύεται περαιτέρω, εξαιτίας βιογεωχημικών μηχανισμών από ζώντες οργανισμούς, τόσο στο χερσαίο όσο και στο υδάτινο οικοσύστημα (Beusen et al., 2022), με άμεσο αποτέλεσμα την παρατήρηση αυξημένων αναλογιών N:P σε παράκτια ύδατα σε ολόκληρο τον κόσμο (Penuelas et al., 2013). Η κατασκευή υδατοσυλλογών, όπως φράγματα και ταμιευτήρες, κατά την πορεία κυκλοφορίας του νερού αυξάνει την συγκράτηση χημικών συστατικών, όπως το διοξείδιο του πυριτίου και του φωσφόρου, με αποτέλεσμα οι ποσότητες που εκβάλλουν στη θάλασσα να είναι συγκριτικά χαμηλότερες (Conley, 1997).

Η ρύπανση από τις μονάδες υδατοκαλλιεργειών μπορεί να εμφανίζει ένα ευρύ φάσμα επιπτώσεων, όπως θρεπτικές, γενετικές, χημικές, ασθένειες, χωροκατακτητικά είδη, κ.λπ. (<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/0f50cafe-9837-5000-8b8e-a9961d504fac>). Διαλυτά θρεπτικά συστατικά που προέρχονται από τις διαδικασίες πέψης διαλύονται στη στήλη του νερού, ενώ η αρχική αραίωση και μεταφορά τους είναι συνάρτηση της δυναμικής των υδάτινων ρευμάτων. Η εναπόθεση οργανικού υλικού κάτω από τους κλωβούς μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στα χαρακτηριστικά και στη σύνθεση των βενθικών κοινοτήτων, όπως αφθονία, κυριαρχία

και ποικιλότητα ειδών (Pearson & Rosenberg, 1978; Arzul et al., 2001). Ιδιαίτερα σε κλειστές θαλάσσιες περιοχές, με ασθενή ρεύματα, τα χαρακτηριστικά των ιζημάτων κάτω και γύρω από τους ιχθυοκλωβούς αλλάζουν, μέσω τη συσσώρευσης υπολειμμάτων τροφής, αποβλήτων του μεταβολισμού, καθώς και απεκκρίσεων των εκτρεφόμενων οργανισμών. Στην εύκρατη ζώνη, τα θρεπτικά συστατικά είναι άφθονα κατά τη διάρκεια του χειμώνα και νωρίς την άνοιξη (Kontas et al., 2004). Αν και ο εμπλουτισμός με θρεπτικά συστατικά αυξάνεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, σε οικοσυστήματα που επηρεάζονται από την υδατοκαλλιέργεια, τα θρεπτικά συστατικά φθάνουν σε μέγιστες τιμές κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Αυτό σχετίζεται με την αύξηση των αναγκών των εκτρεφόμενων οργανισμών σε τροφή (Dosdat, 2000), κατά τη συγκεκριμένη περίοδο, και σε ακραίες περιπτώσεις, αυτό ενδέχεται να οδηγήσει στον σχηματισμό ανοξικών συνθηκών στο ίζημα κάτω από τους ιχθυοκλωβούς (Park & Kim, 2002).

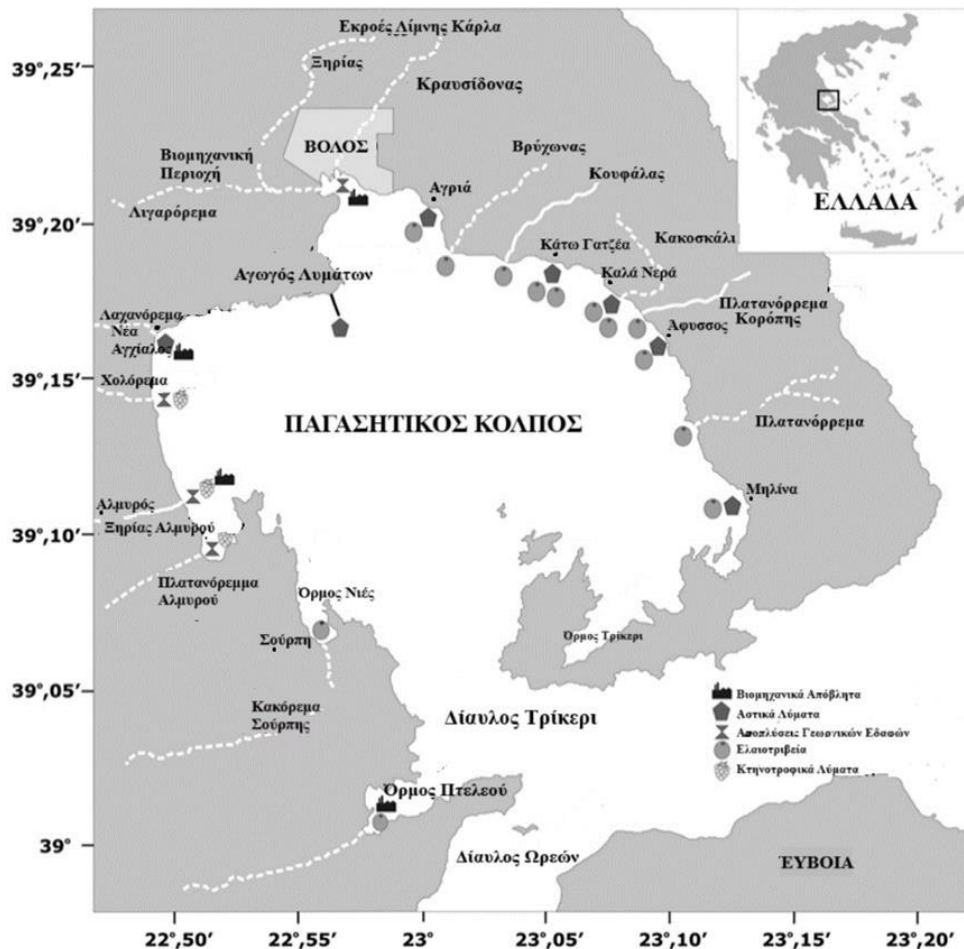
Διάφοροι οργανισμοί που διαβιούν στον πυθμένα των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, δια μέσου της διατροφής τους, έχει παρατηρηθεί πως μειώνουν τις συγκεντρώσεις ρύπων, «καθαρίζοντας» κατ' αυτό τον τρόπο το περιβάλλον. Για παράδειγμα, το είδος ολοθουρίου *Holothuria tubulosa* καταπίνει επιλεκτικά τα ιζήματα και εμπλουτίζει τα επιφανειακά στρώματα με οργανική ύλη, όταν η συνολική περιεκτικότητά της είναι χαμηλή, ενώ αντίθετα, κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής εισροής οργανικής ύλης, μειώνει τη συνολική περιεκτικότητα της επιφάνειας του ιζήματος (Amon & Herndl, 1991). Γι' αυτόν τον λόγο, έχουν πραγματοποιηθεί ποικίλες έρευνες χρήσης των ολοθούριων σε ολοκληρωμένα πολύ-διατροφικά συστήματα υδατοκαλλιεργειών ή IMTA (Integrated multi-trophic aquaculture) (Σύρβη και συν., 2016α; 2016β; Ασημάκη και συν., 2016; Tolon et al., 2017; Ballios et al., 2018; Neofitou et al., 2019). Τα αποτελέσματα ανέδειξαν μείωση της συνολικής οργανικής

ύλης και του οργανικού άνθρακα, που προκύπτουν από τις βιο-αποθέσεις τροφής και απεκκρίσεων που προέρχονται από την υδατοκαλλιέργεια (Neofitou et al., 2019), μειώνοντας έτσι την επίδραση του ρυπαντικού φορτίου αυτής της δραστηριότητας.

1.4.2 Ανθρωπογενείς επιδράσεις στον Παγασητικό κόλπο

Δυτικά του Παγασητικού κόλπου χωροθετείται η πόλη του Βόλου. Ο Βόλος αριθμεί πάνω από 139.670 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ 2021), ενώ το λιμάνι του βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του κόλπου. Το αστικό συγκρότημα του Βόλου, η βιομηχανική περιοχή, οι κωμοπόλεις και οι κοινότητες που βρίσκονται περιμετρικά του κόλπου, εξαρτώνται άμεσα από τον θαλάσσιο χώρο για τον βιοπορισμό τους (αλιεία, τουρισμός, θαλάσσιες συγκοινωνίες κ.ά.) (Κολιού-Μήτσιου, 2000). Η βιομηχανική ζώνη του Βόλου περιλαμβάνει κυρίως μονάδες επεξεργασίας μετάλλων, εγκαταστάσεις παραγωγής και συσκευασίας τροφίμων, μονάδες επεξεργασίας ξύλου και ένα εργοστάσιο τσιμέντων στο ανατολικό τμήμα του (Tsagaris et al., 2013), ενώ παράλληλα υπάρχουν πολλά ελαιοτριβεία (Petihakis et al., 2005). Ο Παγασητικός αποτελεί τον αποδέκτη αστικών λυμάτων, καθώς και βιομηχανικών και γεωργικών αποβλήτων (ελαιοτριβεία, φυτοφάρμακα, λιπάσματα και ζωικά απόβλητα) από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην ευρύτερη περιοχή (Koliou – Mitsiou, 1991) (Εικ. 2).

Από τις αρχές της δεκαετίας του '60, με την εξάπλωση του αστικού συγκροτήματος του Βόλου, την επέκταση της βιομηχανοποίησης της περιοχής και την εντατικοποίηση της γεωργίας στον Θεσσαλικό κάμπο, ο κόλπος άρχισε να δέχεται σημαντικές ποσότητες των παραπάνω ρυπαντών. Μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων – πλούσιων σε φώσφορο, άζωτο και θείο – χρησιμοποιούνται κάθε χρόνο στις εκτάσεις περιμετρικά του κόλπου, λόγω κυρίως της εντατικής καλλιέργειας δημητριακών και βάμβακος.



Εικόνα 2. Επεξεργασμένος χάρτης εισροών διαφόρων ειδών ρύπων στον Παγασητικό κόλπο (Petihakis et al., 2000).

Ο προγραμματισμένος, από το 1964, βιολογικός καθαρισμός λυμάτων, του οποίου η κατασκευή άρχισε το 1979, τέθηκε εντέλει σε λειτουργία το 1987, ενώ μέχρι το 1998 ολοκληρώθηκε η σύνδεση και των δυο βιομηχανικών περιοχών. Πλέον όλα τα λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα της μείζονος περιοχής του Βόλου υφίστανται βιολογική επεξεργασία με συνέπεια την αφαίρεση των αζωτούχων και των φωσφορικών ενώσεων πριν καταλήξουν στον κόλπο (Νεοφύτου, 2007). Τη δεκαετία του '60 λήφθηκε μια άλλη διαχειριστική απόφαση, με σημαντικές επιπτώσεις στη σημερινή κατάσταση του Παγασητικού κόλπου. Αυτή ήταν η αποξήρανση της λίμνης

Κάρλας και η σύνδεση της με τον κόλπο μέσω μιας σήραγγας, η οποία από το 1988 λειτουργεί περιοδικά μόνο στους υγρούς μήνες του έτους και έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταφορά σημαντικών ρυπαντικών φορτίων από τον Θεσσαλικό κάμπο στον Παγασητικό. 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; Νεοφύτου, 2007).

Κατά τη διάρκεια του 1982 στον Παγασητικό παρατηρήθηκε έντονο το φαινόμενο της εμφάνισης «ζελατινώδους αφρού», το οποίο δημιουργείται από τη συσσώρευση φυτοπλαγκτονικών κυττάρων, βακτηρίων, ζωοπλαγκτονικών απεκκριμάτων και μικροσκοπικών αιωρούμενων μη οργανικής σύστασης σωματιδίων. Λόγω της εμφάνισης του συγκεκριμένου φαινομένου, ένα μεγάλο τμήμα του κόλπου καλύφθηκε από «ζελατινώδη αφρό», δημιουργώντας σημαντικά προβλήματα στην αλιεία και τον τουρισμό. Το φαινόμενο μειώθηκε σημαντικά τα επόμενα χρόνια μέχρι το 1987 οπότε και εμφανίστηκε εντονότερο. Το τελευταίο έντονο γεγονός συσσώρευσης «ζελατινώδους αφρού», παρατηρήθηκε την περίοδο άνοιξη-καλοκαίρι του 1997, σε μεγάλη έκταση κατά μήκος της εσωτερικής περιμέτρου του κόλπου (Kesary et al., 2002). Αν και ένας μεγάλος αριθμός παραγόντων επηρεάζει την εμφάνιση αυτού του φαινομένου, πιστεύεται ότι η εισροή θρεπτικών σε συνδυασμό με το μικρό βάθος του εσωτερικού κόλπου και τις υψηλές θερμοκρασίες του θέρους είναι οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν στη δημιουργία «ζελατινώδους αφρού» στον Παγασητικό (Friligos, 1987).

Αξίζει να αναφερθεί, ότι ο Παγασητικός αποτελεί μια από τις πρώτες ελληνικές θαλάσσιες περιοχές όπου απαγορεύτηκε η αλιεία με μηχανότρατα πυθμένα καθόλο τον χρόνο από το 1966 (Dimarchopoulou et al., 2019; Kladoudatos et al., 2021). Έτσι, ασκείται αλιεία μόνο με γρι-γρι, δίχτυα (μανωμένα και απλάδια) και παραγάδια, ενώ η αλιεία με πεζότρατα επιτρέπεται από 1/10 μέχρι 30/4. Περίπου ενενήντα είδη ψαριών, πολλά από τα οποία έχουν υψηλή εμπορική αξία, αναπαράγονται στον Παγασητικό κόλπο, και η συντριπτική πλειοψηφία τους (με εξαίρεση τα μεγάλα πελαγικά μεταναστευτικά ψάρια) περνούν ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους μέσα στον κόλπο (Caragitsou et al., 2001; Dimarchopoulou et al., 2019).

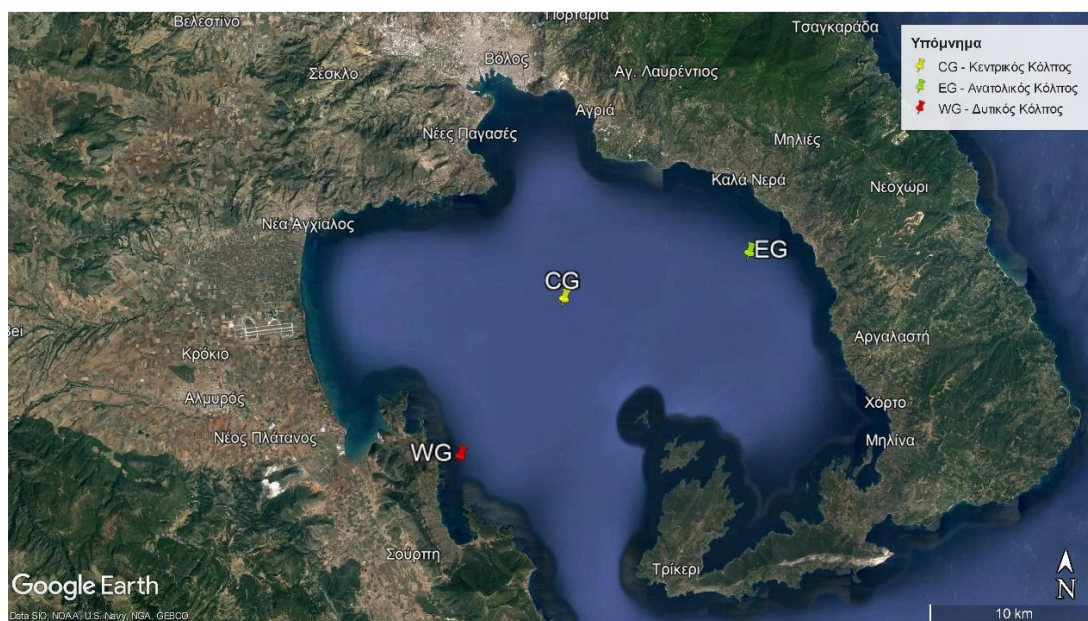
Γενικά, οι κύριες πηγές ρύπανσης του Παγασητικού είναι οι βιομηχανίες και οι βιοτεχνίες, τα αστικά λύματα όχι μόνο του πολεοδομικού συγκροτήματος του Βόλου, αλλά και όλων των οικισμών της περιοχής, τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα της ευρύτερης αγροτικής περιοχής, τα διάφορα κατάλοιπα και πετρέλαια των πλοίων που πλέουν και αποπλέουν στον κόλπο, καθώς και η εκκένωση ακατέργαστων βιομηχανικών λυμάτων από τα εργοστάσια επεξεργασίας ελιάς. Ένα σημαντικό ποσοστό αυτών των χημικών ουσιών καταλήγουν στο θαλάσσιο οικοσύστημα, μεταφερόμενο από τα νερά της βροχής, μέσω ενός δικτύου περιοδικών μικρών χειμάρρων (Sawidis et al., 2001). Ωστόσο, το παρόν οικοσύστημα επηρεάζεται ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όταν το νερό της βροχής ξεπλένει εδάφη πλούσια σε λιπάσματα, φυτοφάρμακα και σωματιδιακά υλικά, με αποτέλεσμα σημαντικά ποσοστά αυτών των συστατικών να καταλήγουν στον κόλπο (Petihakis et al., 2012b). Αν και στην ευρύτερη περιοχή δεν υπάρχει κανένα σημαντικό ποτάμι, με εξαίρεση τους μικρούς χειμάρρους, σημαντικές ποσότητες ρυπασμένων υδάτων εισάγονται στο σύστημα του κόλπου, σε μόνιμη ή περιστασιακή βάση. 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 η έμμεση απόρριψη αποβλήτων από βιομηχανικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες (Triantafyllou et al., 2001)

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Σταθμοί δειγματοληψίας

Στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε συλλογή δειγμάτων νερού, τον Μάιο του 2022 από 3 διαφορετικά σημεία του Παγασητικού κόλπου, όπως διακρίνονται και στον παρακάτω χάρτη (Εικ. 3). Οι παραπάνω δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της συνεργασίας του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος με το Τμήμα Αλιείας της Π.Ε. Μαγνησίας και Σποράδων.



Εικόνα 3. Χάρτης Σταθμών Δειγματοληψίας στον Παγασητικό Κόλπο (πηγή: Google Earth).

Οι πειραματικοί πλόες πραγματοποιήθηκαν με το εμπορικό αλιευτικό σκάφος «ΦΙΛΙΠΠΟΣ» (τύπου μηχανότρατας), μήκους 26 m, σχεδιασμένο ειδικά για σύρση ενός διχτιού πάνω στην επιφάνεια του πυθμένα. Το σκάφος ήταν εξοπλισμένο με βυθόμετρο και γεωγραφικό σύστημα εντοπισμού (Εικ. 4).



Εικόνα 4. Αλιευτικό σκάφος που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή της δειγματοληψίας.

Οι συντεταγμένες των σταθμών δειγματοληψίας καταγράφηκαν με GPS και αναγράφονται στον Πίνακα 2. Ο πρώτος σταθμός δειγματοληψίας (East Gulf - EG) βρίσκεται στα Ανατολικά του κόλπου απέναντι από την περιοχή της Αφύσσου. Ο δεύτερος σταθμός (Central Gulf - CG) βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του Παγασητικού κόλπου, ενώ τέλος, ο τρίτος (West Gulf – WG) είναι στα Δυτικά του κόλπου, ανάμεσα στις περιοχές Αμαλίαπολη και Νηές (Εικ. 3).

Πίνακας 2: Συντεταγμένες Σταθμών Δειγματοληψίας όπως καταγράφηκαν με GPS, όπου:

EG = Ανατολικός Κόλπος, CG = Κεντρικός Κόλπος, WG = Δυτικός Κόλπος.

Σταθμοί Δειγματοληψίας	Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος
EG	39°15'31" N	23°06'93" E
CG	39°13'94" N	22°59'43" E
WG	39°09'21" N	22°56'88" E

2.2 Φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

2.2.1 Υδάτινη στήλη

Σε κάθε έναν από τους 3 σταθμούς δειγματοληψίας μετρήθηκαν τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά της υδάτινης στήλης με συνεχή καταγραφέα CTD (SEABIRD 19plus) (Εικ. 5). Καταγράφηκαν παράμετροι, όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα, η οξύτητα, το διαλυμένο οξυγόνο και η χλωροφύλλη α.



Εικόνα 5: Ο συνεχής καταγραφέας CTD (SEABIRD-19plus), που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων του νερού στα 3 σημεία δειγματοληψίας.

2.2.2 Θρεπτικά άλατα

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά και πυριτικά), συλλέχθηκαν από κάθε σταθμό 3 δείγματα νερού με δειγματολήπτη τύπου Lymnos 1.4 l (σύνολο 9 δείγματα νερού). Το πρώτο δείγμα ήταν από την επιφάνεια, το δεύτερο από μέσο βάθος και το τρίτο από το βαθύτερο σημείο κοντά στον πυθμένα. Τα δείγματα νερού τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια των 500 ml και προστέθηκε χλωριούχος υδράργυρος (2 ml HgCl_2 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. 6), σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται από τους Eaton et al. (1995).



Εικόνα 6: Φασματοφωτόμετρο (SHIMADZU UV-1800) για την ανάλυση των θρεπτικών αλάτων του νερού στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας και σε 3 διαφορετικά βάθη.

Αμμωνιακά (NH₄)

Για τον προσδιορισμό της ολικής αμμωνίας προστέθηκαν στο δείγμα νερού συγκεκριμένες ποσότητες αντιδραστηρίων φαινόλης (phenol solution), νιτροπρωσσικού νατρίου (sodium nitroprusside solution) και οξειδωτικού διαλύματος (oxidising solution). Στη συνέχεια το δείγμα τοποθετήθηκε σε σκοτεινό χώρο (ώστε να αποφευχθεί η άμεση 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 (NH₄⁺) και τη μη ιονισμένη (NH₃) αμμωνία. Η αναλογία της μίας ή της άλλης μορφής, εξαρτάται από το pH και τη θερμοκρασία του νερού τη στιγμή της δειγματοληψίας και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

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

Όπου: pK_a αναφέρεται ως η σταθερά, η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού όπως εμφανίζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίν. 3), σύμφωνα με τους Strickland & Parsons (1972).

Πίνακας 2: Τιμές της σταθεράς pK_a συναρτήσει της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος νερού.

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

Στο τέλος, υπολογίστηκε το ποσοστό της ιονισμένης μορφής αμμωνίας ή των αμμωνιακών (NH₄⁺) από τον παρακάτω τύπο και βρέθηκε η συγκέντρωσή τους.

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

Νιτρώδη (NO₂)

Για τον προσδιορισμό των νιτρωδών προστέθηκαν στο δείγμα θαλασσινού νερού συγκεκριμένες ποσότητες αντιδραστηρίων σουλφανυλαμιδίου (sulphanilamide solution) σε όξινο περιβάλλον. Η προκύπτουσα διαζω-ένωση αντέδρασε με την N-(1-ναφθυλο)-αιθυλενοδιαμίνη (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine) και σχηματίστηκε αζωχρωστική, που η ένταση του χρώματός της είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των νιτρωδών και μετρήθηκε φασματοφωτομετρικά, σε μήκος κύματος 543 nm έναντι απεσταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε νιτρώδες νάτριο (NaNO₂) συγκέντρωσης 50 µg-at N/l (Parsons et al., 1984).

Νιτρικά (NO₃)

Για τον προσδιορισμό των νιτρικών αλάτων προστέθηκε στο δείγμα νερού συγκεκριμένη ποσότητα υδροχλωρικού οξέος (HCl) και στη συνέχεια μετρήθηκε η απορρόφηση στα 220 nm. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε νιτρικό κάλιο (KNO₃) συγκέντρωσης 2 mg/l NO₃-N (APHA, 1980).

Φωσφορικά (PO₄)

Για τον προσδιορισμό των φωσφορικών αλάτων το δείγμα αφέθηκε να αντιδράσει με ένα σύνθετο αντιδραστήριο που περιείχε μολυβδαινικό οξύ και τρισθενές αντιμόνιο (molybdate acid-antimony solution). Το προκύπτον σύμπλεγμα ανάχθηκε για να δώσει τελικά ένα έντονα κυανό διάλυμα, που μετρήθηκε φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 885 nm. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε δισόξινο φωσφορικό κάλιο (KH₂PO₄) συγκέντρωσης 0,0816 g/l (Parsons et al., 1984).

Πυριτικά (SiO_2)

Για τον προσδιορισμό των πυριτικών αλάτων το θαλασσινό νερό αφέθηκε να αντιδράσει με μολυβδαινικό διάλυμα (molybdate reagent) κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, παράγοντας πυριτομολυβδικά, φωσφορομολυβδικά και αρσενομολυβδικά σύμπλοκα. Στη συνέχεια, προστέθηκε ένα αναγωγικό διάλυμα (reducing reagent) που περιείχε θειική παρα-μεθυλο-αμινο-φαινόλη (p-methylaminophenol sulfate) και οξαλικό οξύ (oxalic acid), που αντέδρασε με το πυριτομολυβδικό σύμπλοκο για να δώσει ένα βαθυγάλαζο χρώμα, ενώ ταυτόχρονα αποσύνθεσε τα φωσφορομολυβδικά και πυριτομολυβδικά σύμπλοκα. Το τελικό διάλυμα μετρήθηκε φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 810 nm έναντι απεσταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιήθηκε διάλυμα πυριτοφθοριδίου (Na_2SiF_6) συγκέντρωσης 5.000 micro mol/l (Parsons et al., 1984).

2.3 Στατιστική ανάλυση

Για τη στατιστική σύγκριση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (one way analysis of variance –ANOVA), με χρήση του λογισμικού MINITAB. Τα διαγράμματα με τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά, και με τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος Excel.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι

Στον Πίνακα 4 αναγράφονται ο μέσος όρος με την τυπική απόκλιση, καθώς και η ελάχιστη και μέγιστη τιμή, των φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, pH, χλωροφύλλη α), που κατέγραψε το CTD στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας.

Πίνακας 4: Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι του νερού στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (Ανατολικός Παγασητικός – EG, Κεντρικός Παγασητικός - CG, Δυτικός Παγασητικός - WG).

	Σταθμοί Δειγματοληψίας		
Παράμετρος	EG	CG	WG
Θερμοκρασία (°C)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	15,53±3,22	15,38±3,08	15,63±2,51
Ελάχιστη Τιμή (min)	12,76	12,74	12,80
Μέγιστη Τιμή (max)	22,18	22,08	19,63
Αλατότητα (psu)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	38,38±0,10	38,39±0,08	38,36±0,08
Ελάχιστη Τιμή (min)	38,21	38,26	38,24
Μέγιστη Τιμή (max)	38,52	38,51	38,44
Διαλυμένο Οξυγόνο (mg/l)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	5,80±0,38	5,80±0,35	5,88±0,32
Ελάχιστη Τιμή (min)	4,94	5,18	5,01
Μέγιστη Τιμή (max)	6,24	6,29	6,19
pH			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	8,56±0,04	8,56±0,04	8,59±0,03
Ελάχιστη Τιμή (min)	8,47	8,50	8,51
Μέγιστη Τιμή (max)	8,60	8,60	8,62
Χλωροφύλλη α (mg/m³)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	1,15±0,55	1,32±0,67	1,68±0,89
Ελάχιστη Τιμή (min)	0,58	0,56	0,35
Μέγιστη Τιμή (max)	2,51	2,75	3,04

Συγκεκριμένα για τη θερμοκρασία, η υψηλότερη τιμή εμφανίστηκε στον σταθμό EG (22,18°C) και η χαμηλότερη στον CG (12,74°C), ενώ ο μέσος όρος και στους τρεις σταθμούς δε διέφερε σημαντικά. Με αυξανόμενη τιμή θερμοκρασίας (μέσος όρος $\pm$ τυπική απόκλιση) αναγράφονται οι τρεις σταθμοί δειγματοληψίας ως εξής:

$$CG (15,378 \pm 3,081 \text{ } ^\circ\text{C}) < EG (15,529 \pm 3,218 \text{ } ^\circ\text{C}) < WG (15,634 \pm 2,513 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Όσον αφορά την αλατότητα, μεταξύ των τριών σταθμών δειγματοληψίας παρατηρήθηκαν αμελητέες διαφορές στο εύρος των τιμών. Συγκεκριμένα, για τον Ανατολικό σταθμό (EG) ο μέσος όρος ήταν $38,38 \pm 0,10$ psu, για τον Κεντρικό (CG) ήταν $38,39 \pm 0,08$ psu και για τον Δυτικό (WG) $38,36 \pm 0,08$ psu.

Για το διαλυμένο οξυγόνο, η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε στον σταθμό CG (6,29 mg/l), ενώ η ελάχιστη στον EG (4,94 mg/l). Στους μέσους όρους δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών σταθμών. Συγκεκριμένα με αυξανόμενη σειρά αναγράφονται οι σταθμοί:

$$CG (5,80 \pm 0,35 \text{ mg/l}) < EG (5,80 \pm 0,38 \text{ mg/l}) < WG (5,88 \pm 0,32 \text{ mg/l})$$

Οι τιμές του pH παρουσίασαν μικρές διακυμάνσεις σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας. Η υψηλότερη τιμή εμφανίστηκε στον σταθμό WG (8,62), ενώ πολύ κοντά κυμάνθηκε και στον σταθμό CG (8,60). Η ελάχιστη τιμή για το pH μετρήθηκε στον σταθμό EG (8,47). Παρακάτω αναγράφονται σε αυξανόμενη σειρά οι σταθμοί δειγματοληψίας:

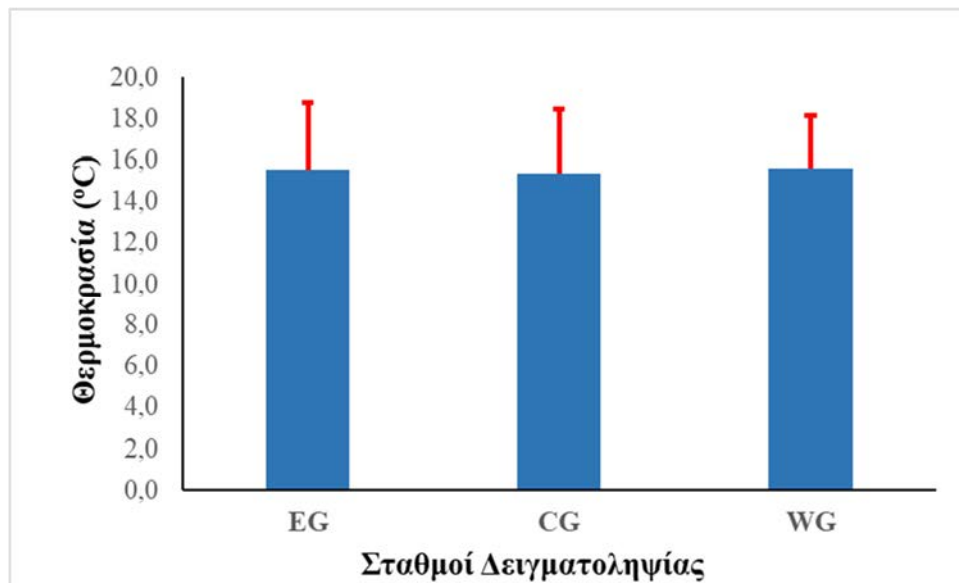
$$EG (8,558 \pm 0,04) < CG (8,561 \pm 0,036) < WG (8,589 \pm 0,0328)$$

Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή για τη χλωροφύλλη α (mg/m³) παρατηρήθηκε στον σταθμό WG (3,04 και 0,35 mg/m³, αντίστοιχα), ενώ στους άλλους δύο σταθμούς δεν εμφανίστηκαν σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ του εύρους των τιμών (EG: 0,58-

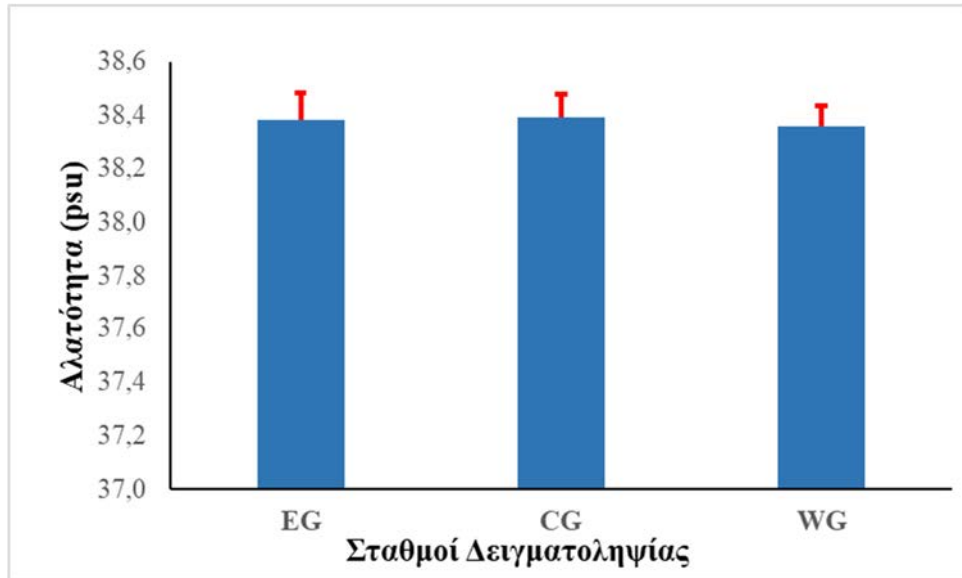
2,51 mg/m³ και CG: 0,56-2,75 mg/m³). Ο μέσος όρος για τη συγκεκριμένη παράμετρο, σε αυξανόμενη σειρά, είναι ο εξής:

$$EG (1,15 \pm 0,55 \text{ mg/m}^3) < CG (1,32 \pm 0,67 \text{ mg/m}^3) < WG (1,68 \pm 0,89 \text{ mg/m}^3)$$

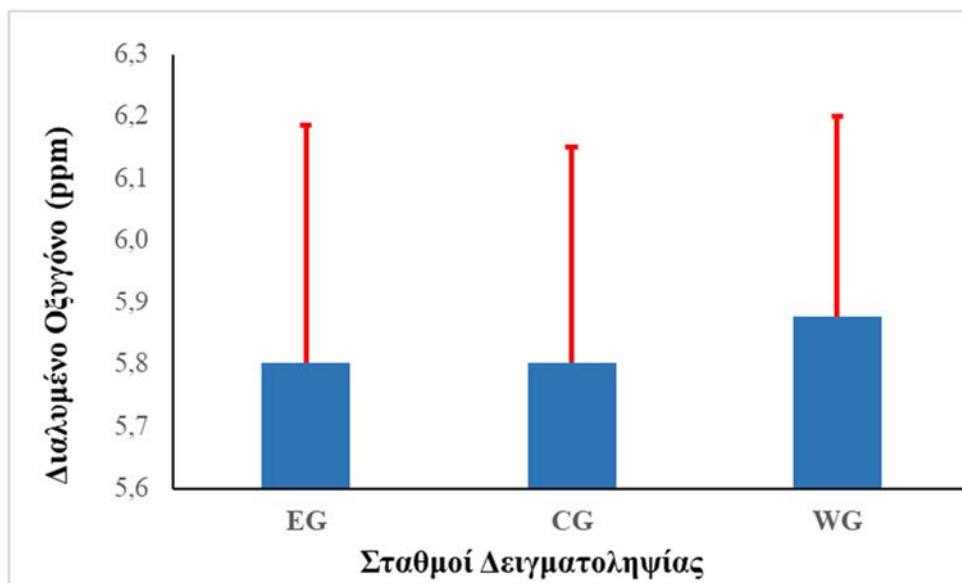
Στα παρακάτω ραβδογράμματα (Σχ. 1-5) απεικονίζονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των προαναφερθέντων φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων, που μετρήθηκαν στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας του Παγασητικού κόλπου.



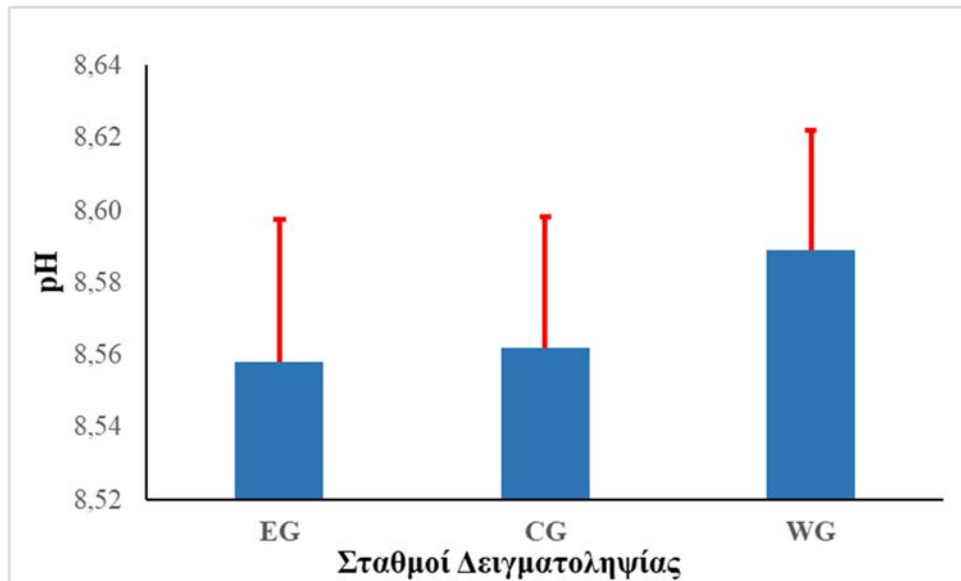
Σχήμα 1: Μέση τιμή της θερμοκρασίας και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (EG-Ανατολικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, WG-Δυτικός Παγασητικός).



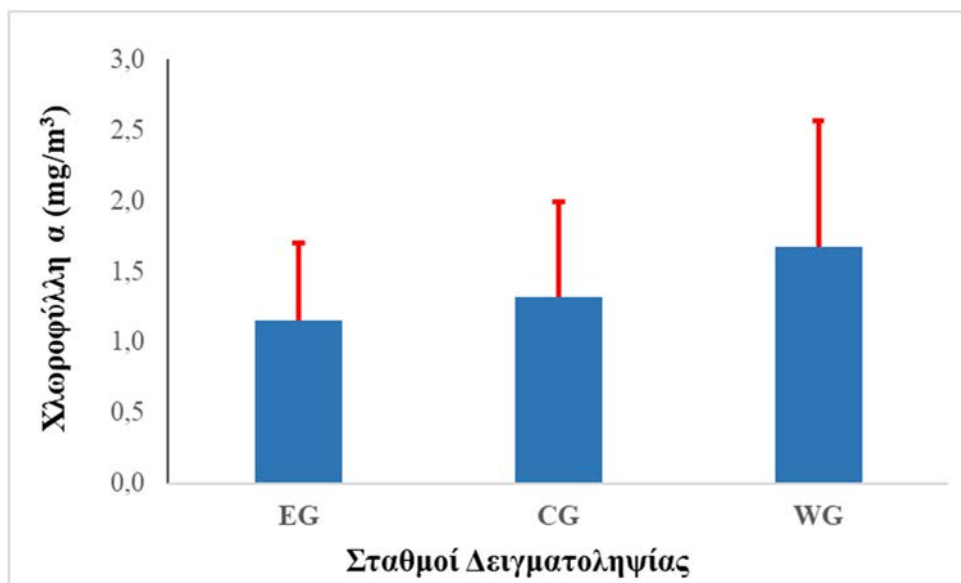
Σχήμα 2: Μέση τιμή της αλατότητας και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (EG-Ανατολικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, WG-Δυτικός Παγασητικός).



Σχήμα 3: Μέση τιμή του διαλυμένου οξυγόνου και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (EG-Ανατολικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, WG-Δυτικός Παγασητικός).



Σχήμα 4: Μέση τιμή του pH και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (EG-Ανατολικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, WG-Δυτικός Παγασητικός).



Σχήμα 5: Μέση τιμή της χλωροφύλλης α και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (EG-Ανατολικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, WG-Δυτικός Παγασητικός).

3.2 Θρεπτικά άλατα

Στον Πίνακα 5 δίνονται ο μέσος όρος με την τυπική απόκλιση, καθώς και η ελάχιστη και μέγιστη τιμή, των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, φωσφορικά, πυριτικά), στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας.

Πίνακας 5: Θρεπτικά άλατα του νερού στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (Ανατολικός Παγασητικός – EG, Κεντρικός Παγασητικός - CG, Δυτικός Παγασητικός - WG).

	Σταθμοί Δειγματοληψίας		
Παράμετρος (μM)	EG	CG	WG
Αμμωνιακά (NH₄)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	0,41±0,06	0,28±0,15	0,22±0,09
Ελάχιστη Τιμή (min)	0,32	0,15	0,10
Μέγιστη Τιμή (max)	0,46	0,50	0,33
Νιτρώδη (NO₂)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	0,0002±0,0001	0,0014±0,0000	0,0040±0,0000
Ελάχιστη Τιμή (min)	0,0000	0,0001	0,0010
Μέγιστη Τιμή (max)	0,0003	0,0028	0,0096
Νιτρικά (NO₃)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	2,35±0,01	2,33±0,02	230±0,01
Ελάχιστη Τιμή (min)	2,34	2,31	2,28
Μέγιστη Τιμή (max)	2,36	2,36	2,31
Φωσφορικά (PO₄)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	0,005±0,001	0,014±0,017	0,002±0,001
Ελάχιστη Τιμή (min)	0,003	0,001	0,001
Μέγιστη Τιμή (max)	0,007	0,04	0,006
Πυριτικά (SiO₂)			
Μέσος όρος ± Τυπική απόκλιση	1,40±0,20	1,37±0,23	1,87±0,39
Ελάχιστη Τιμή (min)	1,16	1,15	1,47
Μέγιστη Τιμή (max)	1,66	1,69	2,41

Για τα αμμωνιακά άλατα (NH₄) παρατηρήθηκε ότι το εύρος των τιμών δεν εμφάνισε μεγάλη διαφορά μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας. Η μέγιστη τιμή

εμφανίστηκε στον σταθμό CG (0,50 μM) και η ελάχιστη στον WG (0,10 μM). Με αύξουσα σειρά αναγράφονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις αυτών:

$$\text{WG (0,22}\pm\text{0,09 } \mu\text{M)} < \text{CG (0,28}\pm\text{0,15 } \mu\text{M)} < \text{EG (0,41}\pm\text{0,06 } \mu\text{M)}$$

Οι τιμές των νιτρωδών (NO_2) κυμάνθηκαν από μηδενικές στον σταθμό EG, έως και 0,0096 μM στον WG. Σε γενικές γραμμές οι συγκεντρώσεις των συγκεκριμένων θρεπτικών αλάτων ήταν αρκετά χαμηλές, ενώ δεν είχαν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας (EG: 0,0002 $\pm$ 0,0001, CG: 0,0014 $\pm$ 0,0000, WG: 0,0040 $\pm$ 0,0000).

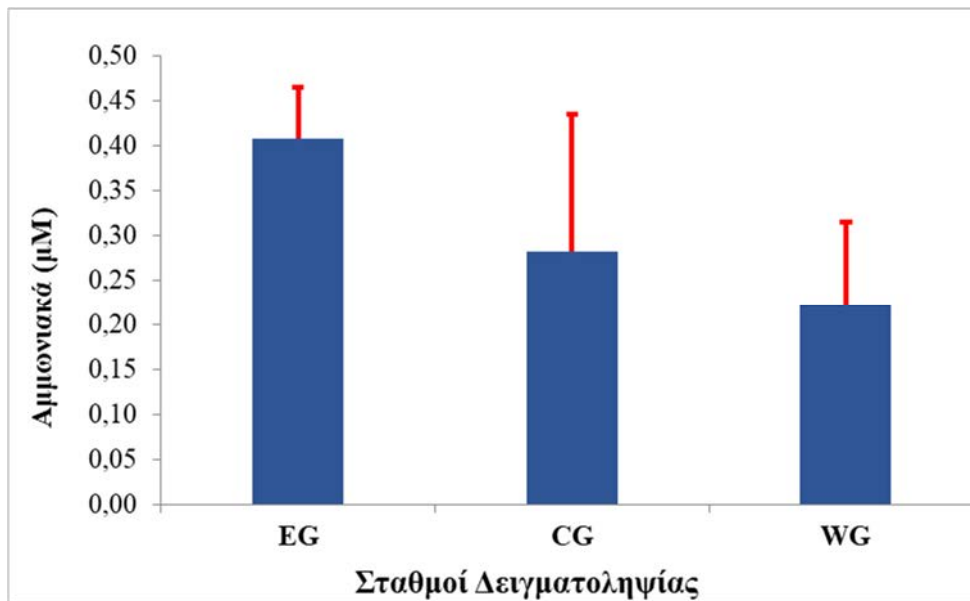
Τα νιτρικά άλατα (NO_3) κυμάνθηκαν μεταξύ 2,34 και 2,36 μM στον σταθμό EG, από 2,31 έως 2,35 μM στον CG και τέλος, μεταξύ 2,28 και 2,31 μM στον WG. Με βάση τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση των μετρήσεων για τη συγκεκριμένη παράμετρο, παρατηρήθηκε ότι η μέγιστη τιμή ήταν 2,35 $\pm$ 0,01 μM στον σταθμό EG και η ελάχιστη 2,30 $\pm$ 0,01 μM στον σταθμό WG.

Τα φωσφορικά (PO_4) εμφάνισαν αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις και στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας. Με σειρά αυξανόμενων συγκεντρώσεων καταγράφονται οι σταθμοί ως εξής:

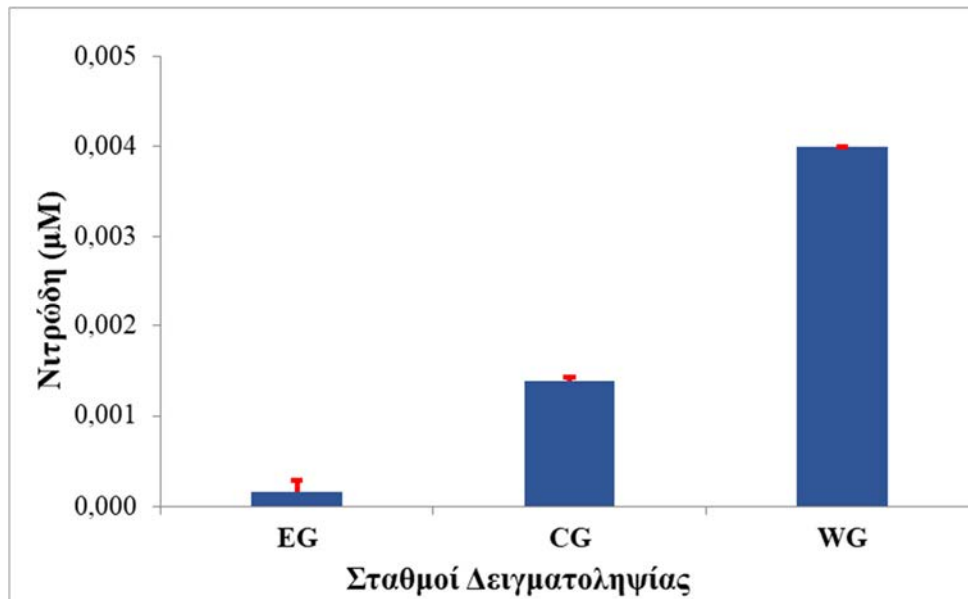
$$\text{WG (0,002}\pm\text{0,001 } \mu\text{M)} < \text{EG (0,005}\pm\text{0,001 } \mu\text{M)} < \text{CG (0,014}\pm\text{0,017 } \mu\text{M)}$$

Τέλος, για τα πυριτικά άλατα (SiO_2) η ελάχιστη τιμή καταγράφηκε στον σταθμό CG (1,15 μM), ενώ η μέγιστη τιμή στον WG (2,41 μM). Οι μέσοι όροι των μετρούμενων συγκεντρώσεων δεν εμφάνισαν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των διαφόρων σταθμών δειγματοληψίας, πάρα μόνο στον WG, όπου εμφανίστηκε ελαφρώς αυξημένη (1,87 $\pm$ 0,39 μM).

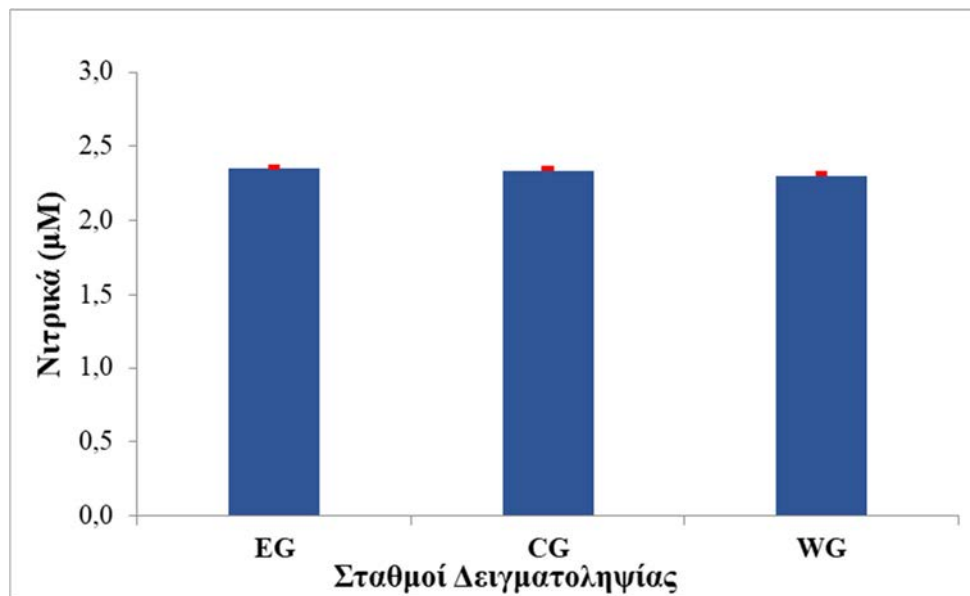
Στα παρακάτω ραβδογράμματα (Σχ. 6-10) απεικονίζονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των προαναφερθέντων θρεπτικών αλάτων, που μετρήθηκαν στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας του Παγασητικού κόλπου.



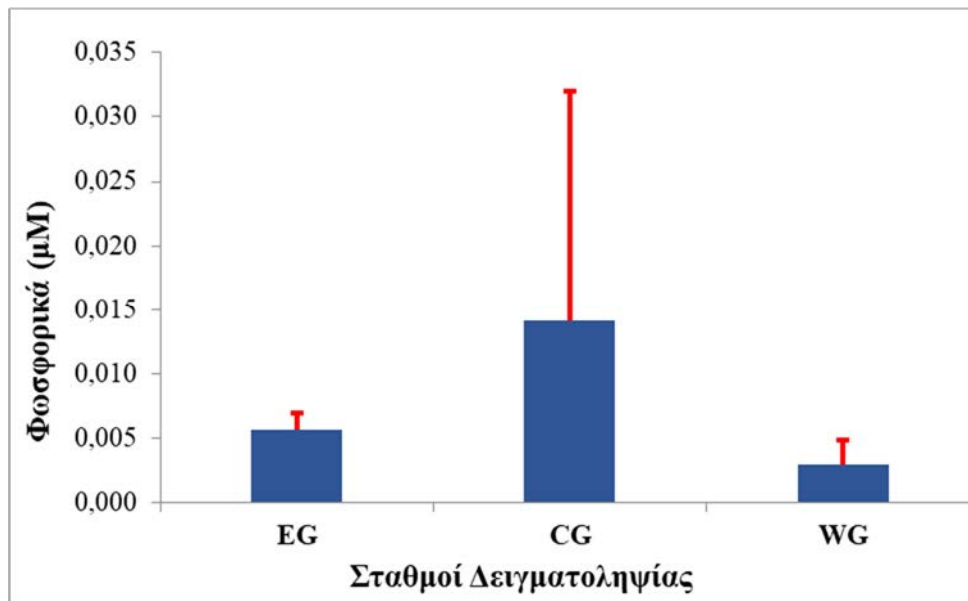
Σχήμα 6: Μέση τιμή των αμμωνιακών και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (EG-Ανατολικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, WG-Δυτικός Παγασητικός).



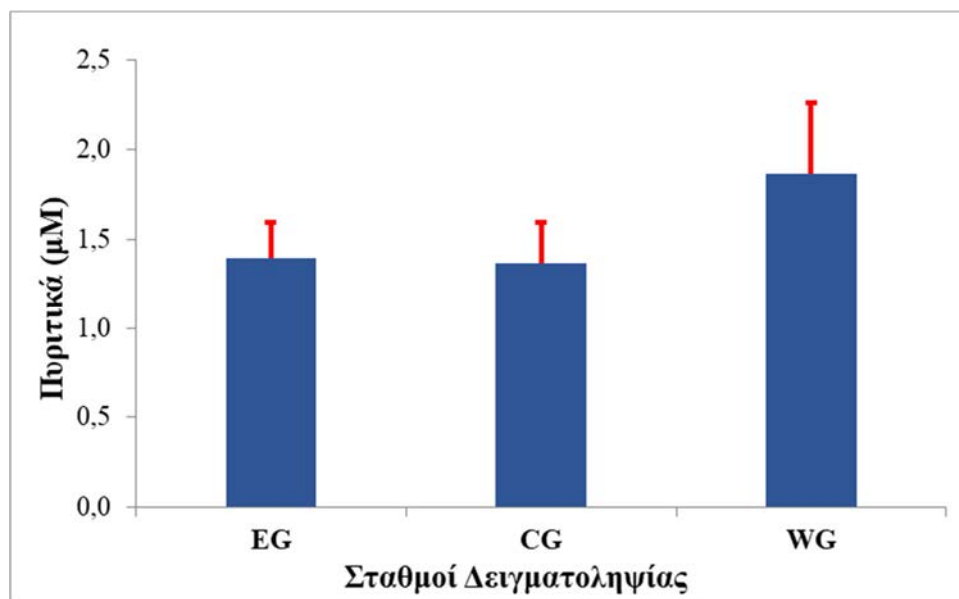
Σχήμα 7: Μέση τιμή των νιτρωδών και τυπική απόκλιση στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (EG-Ανατολικός Παγασητικός, CG-Κεντρικός Παγασητικός, WG-Δυτικός Παγασητικός).



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



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



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

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 6. Συγκεκριμένα, η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (One-way ANOVA) εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στα νιτρικά άλατα (NO_2).

Πίνακας 6: Αποτελέσματα σύγκρισης των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών του Παγασητικού κόλπου με τη χρήση της μονοπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (One-way ANOVA). (ΜΣ: Μη Σημαντικό, *: $p < 0,05$)

Παράμετρος (μM)	Βαθμοί Ελευθερίας (DF)	F-value	P-value
Αμμωνιακά (NH_4)	2	1,50	ΜΣ
Νιτρώδη (NO_2)	2	1,36	ΜΣ
Νιτρικά (NO_3)	2	6,57	*
Φωσφορικά (PO_4)	2	0,64	ΜΣ
Πυριτικά (SiO_2)	2	1,94	ΜΣ

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Φυσικοχημικές και βιολογικές παράμετροι

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) και η χλωροφύλλη *a*. 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

Στην παρούσα έρευνα, οι τιμές της θερμοκρασίας παρουσίασαν ομοιόμορφη κατανομή σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας. Ο μέσος όρος της θερμοκρασίας κυμάνθηκε στους 15,51°C, μια σχετικά αναμενόμενη τιμή ανάλογα με την εποχή που πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία (Μάιος). Ανάλογες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την περίοδο 1975-76 έδειξαν ότι τα εποχιακά εύρη των τιμών θερμοκρασίας στην επιφάνεια του Παγασητικού είναι μεγάλα (12-25,5°C και 36-38°C, αντίστοιχα) σε αντίθεση με αυτό των βαθιών νερών, όπου παρατηρείται κάποια σταθερότητα (13-15°C και 38-38,5°C, αντίστοιχα). Οι κατανομές των θερμοαλατικών χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια μετρήσεων την περίοδο 1986-89 οδήγησαν στα παρακάτω συμπεράσματα (Παβέλη, 2006)

Εκτός από το χειμώνα, όπου εμφανίζεται πλήρως ομογενοποιημένη, η υδάτινη στήλη διακρίνεται σε τρία στρώματα τα οποία ανάλογα με την εποχή χαρακτηρίζονται από διαφορετικό πάχος:

- το επιφανειακό στρώμα (10-30 m),
- το ενδιάμεσο (20-40 m) και
- το βαθύ στρώμα (σε περιοχές με βάθος μεγαλύτερο των 50 m).

Ο σχηματισμός τόσο θερμοκλινούς όσο και αλοκλινούς στο ενδιάμεσο στρώμα της υδάτινης στήλης είναι εμφανής. Η θερμοκρασία μεταβάλλεται εποχιακά, στο μεν επιφανειακό στρώμα από 12°C το χειμώνα φτάνει τους 25,5°C το καλοκαίρι, ενώ στο ενδιάμεσο στρώμα η αντίστοιχη διακύμανση είναι 11,5-24°C, ενώ στο βαθύτερο είναι πολύ μικρότερη 11-12°C.

Εποχιακές κατακόρυφες κατανομές της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της πυκνότητας καθιστούν εμφανή την παρουσία ισχυρής στρωμάτωσης, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, ενώ η προαναφερθείσα αυτή στρωμάτωση, διατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, πλην του χειμώνα, οφειλόμενη κυρίως στην αντίστοιχη διατήρηση του αλοκλινούς (Theodorou, 1995; Θεοδώρου και συν., 1997). Επίσης, μετρήσεις κατά τον Σεπτέμβριο του 1992 φανέρωσαν έντονη στρωμάτωση της υδάτινης στήλης, με την παρουσία τριών στρωμάτων στα βαθύτερα σημεία του κόλπου (>50 m) (Μπαρμπετσέας, 1993). Έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 1999 (Petihakis et al., 2005), παρουσιάζει μικρό εύρος διακύμανσης της θερμοκρασίας στο επιφανειακό στρώμα (12,5-13,7°C, Φεβρουάριος & Μάρτιος), με χαμηλότερες τιμές στον δυτικό κόλπο. Η διακύμανση μειώνεται με το βάθος, υποδηλώνοντας ένα καλά αναμειγμένο στρώμα. Στον δίαυλο των Ορεών είναι εμφανής η ανάπτυξη ισχυρής θερμοβαθμίδας, πιθανόν λόγω της συνάντησης ψυχρότερων υδάτων από τον βόρειο Ευβοϊκό με

θερμότερα από το Αιγαίο. Οι Petihakis et al. (2005), αναφέρουν πως 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 & Kladoudatos (2008), από έρευνες σε δύο περιοχές του κόλπου (νοτιοδυτικά & νοτιοανατολικά), παρατήρησαν πως η θερμοκρασία κατά την εποχή της άνοιξης ήταν κατά μέσο όρο 16,3°C. Η τιμή αυτή είναι σύμφωνη με τις μετρήσεις της παρούσας έρευνας. Επίσης, 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 άγγιξε τους 26,44°C. Επιπλέον, σύμφωνα με τους Papadimitriou et al. (2018), σε έρευνα που πραγματοποίησαν στα νοτιοδυτικά του Παγασητικού κόλπου η ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας ήταν 13,26 °C την άνοιξη, ενώ η μέγιστη ήταν 26,44 °C το καλοκαίρι.

4.1.2 Αλατότητα

Τα άλατα αποτελούν τα κυριότερα συστατικά που είναι διαλυμένα στο θαλασσινό νερό. Η συνολική ποσότητα των διαλυμένων στο νερό αλάτων ονομάζεται αλατότητα. Η αλατότητα αποτελεί φυσικό παράγοντα, ο οποίος συνδέεται ή επηρεάζει έμμεσα τους οργανισμούς, καθώς η μεταβολή αυτής προκαλεί τροποποίηση της φυσικοχημικής κατάστασης του νερού (δηλαδή μεταβολή της διαλυτότητας των αερίων, αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από τους οργανισμούς για ωσμωρύθμιση, κ.ά.). Οι μεταβολές αυτές της αλατότητας οφείλονται στην πρόσθεση ή αφαίρεση αλάτων από το νερό. Οι μηχανισμοί οι οποίοι οδηγούν την προσθήκη ή την αφαίρεση αλάτων από το νερό είναι (Νεοφύτου & Νεοφύτου, 2017):

1. Εξάτμιση Πήξη νερού
2. Βροχή
3. Είσοδος ποτάμιων νερών
4. Τήξη πάγων στους πόλους

Επίσης, η αλατότητα εκφράζει το μέτρο της συγκέντρωσης των διαλυμένων στο θαλάσσιο νερό αλάτων. Μέχρι σχετικά πρόσφατα, μετριόταν σε «μέρη επί τοις χιλίοις», σήμερα όμως προσδιορίζεται με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θαλάσσιου νερού και αποδίδεται με πρακτικές μονάδες αλατότητας (psu) (Θεοδώρου, 2017; Μπαμπάτσος & Παπαγεωργίου, 2019). Η αλατότητα στην ανοιχτή θάλασσα κυμαίνεται μεταξύ 33 και 39‰. Συνεπώς είναι δυνατό να παρατηρηθούν σημαντικές διακυμάνσεις των τιμών αυτών, επηρεαζόμενες από το βάθος, την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος. Υψηλές τιμές αλατότητας παρουσιάζουν περιοχές όπου η βροχόπτωση είναι περιορισμένη, η εξάτμιση υψηλή και αισθητή η κυκλοφορία και η μίξη των υδάτων (Νεοφύτου & Νεοφύτου, 2017). Γενικότερα, οι τιμές της αλατότητας που παρατηρούνται στις ελληνικές θάλασσες και γενικότερα σε ολόκληρη τη Μεσόγειο Θάλασσα, κυμαίνονται από 30 έως 40 psu, σε αντίθεση με τον ανοιχτό ωκεανό που αγγίζουν τα 35 psu. Παρ' όλα αυτά, η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους από υψηλότερες τιμές αλατότητας στο ανατολικό τμήμα, κατά κύριο λόγο όμως την χειμερινή περίοδο, εν συγκρίσει με το δυτικό τμήμα και τον Δίαυλο του Τρικεριού. Βασική αιτία των παραπάνω, μάλλον αποτελούν οι εισροές γλυκών υδάτων από τους χειμάρρους των περιοχών Σούρπης και Αλμυρού. 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 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).

Οι Papadimitiou et al. (2018), σε έρευνα που πραγματοποίησαν στο νοτιοδυτικό τμήμα του κόλπου βρήκαν πως η αλατότητα ήταν ομοιογενής σε όλους τους σταθμούς έφθανε περίπου τα 37,7 psu. Σύμφωνα με τους Μπαμπάτσος & Παπαγεωργίου (2019), από έρευνα της ποιότητας του νερού σε διάφορους σταθμούς στο βόρειο τμήμα του Παγασητικού κόλπου ανέδειξαν τιμές αλατότητας που κυμαίνονταν μεταξύ 35,45 και 36,3 psu. Η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε στο λιμάνι του Βόλου (34,45 psu), ενώ η υψηλότερη στην περιοχή Σουτραλί (36,3 psu), κοντά στην περιοχή της Αγριάς. Οι προαναφερθείσες τιμές ήταν σχετικά χαμηλότερες από τις μετρήσεις που καταγράφηκαν στην παρούσα έρευνα 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.

Σύμφωνα με τους Petihakis et al. (2005), την περίοδο Φεβρουαρίου – Ιουνίου παρατηρούνται σχετικά χαμηλές τιμές αλατότητας (35,9-36,9 psu) στις περιοχές των όρμων του Αλμυρού (επιφανειακό στρώμα), πιθανότατα λόγω εισροών γλυκών υδάτων από το λιώσιμο των πάγων, καθώς επίσης και στον όρμο του Βόλου μέχρι τα 10 m βάθος. Τους μήνες από τον Ιούλιο μέχρι τον Νοέμβριο, αρχικά παρατηρείται ομοιόμορφη κατανομή στο επιφανειακό στρώμα (35-36 psu), χωρίς ενδείξεις παρουσίας εισροών από την ξηρά, ενώ οι υψηλότερες τιμές αλατότητας εμφανίζονται κοντά στο πυθμένα (38,22 psu). Η Ψόχιου (2003), για την αλατότητα η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε την άνοιξη, στα πολύ βαθιά στρώματα του Διαύλου των Ωρεών (38,42 psu), ενώ η μικρότερη τιμή το φθινόπωρο στο επιφανειακό στρώμα της ίδιας περιοχής 35,8 psu. Οι τιμές αλατότητας αυξάνονται με το βάθος, εκτός από τον χειμώνα, όπου

παρουσιάζεται μικρό εύρος τιμών στην υδάτινη στήλη. Η ύπαρξη αλοκλινούς είναι εμφανής την άνοιξη και το καλοκαίρι σε βάθος 20-40 m, ενώ το φθινόπωρο σε βάθος 40-50 m.

Το βάθος στο βορειοδυτικό κομμάτι του κόλπου φτάνει τα 70 m και τα τρία στρώματα είναι εμφανή. Το δυτικό κομμάτι του κόλπου επηρεάζεται κατά την περίοδο των βροχών από την εισροή γλυκού νερού από την περιοχή του Αλμυρού και της Σούρπης. Και τα τρία στρώματα είναι παρόντα στη βαθύτερη περιοχή, ενώ μια ελαφριά διαστρωμάτωση είναι εμφανής στο επιφανειακό στρώμα ακόμη και το χειμώνα. Το καλοκαίρι το πάχος του αλοκλινούς είναι μόνο περίπου 10 μέτρα, ενώ στις άλλες περιοχές είναι περίπου 30 μέτρα. Το ανατολικό τμήμα είναι η βαθύτερη περιοχή του κόλπου και τα διαφορετικά στρώματα νερού εδώ είναι πιο εμφανή. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της περιοχής είναι η υψηλότερη αλατότητα τους περισσότερους μήνες και ιδιαίτερα το χειμώνα.

4.1.3 Διαλυμένο οξυγόνο

Επειδή η θάλασσα βρίσκεται συνεχώς σε επαφή με την ατμόσφαιρα, τα αέρια υπάρχουν στο θαλάσσιο νερό, βρίσκονται σε συγκεντρώσεις που εξαρτώνται από τη διαλυτότητά τους, καθώς και από τις χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχουν (Φυτιανός, 2017). Το Οξυγόνο αποτελεί ένα πολύ δραστικό στοιχείο τόσο από χημική όσο κι από βιολογική άποψη, όμως λόγω της έντονης δραστικότητάς του η περιεκτικότητά αυτού στο θαλασσινό νερό παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις, οι οποίες δεν είναι εύκολο να προβλεφθούν (Δανεσάκης και συν., 2015).

Τα επιφανειακά ύδατα τις περισσότερες φορές είναι κορεσμένα σε οξυγόνο, κυρίως εξαιτίας του κυματισμού, ο οποίος προκαλεί έντονη ανάμειξη των υδάτων με

τον περιβάλλοντα ατμοσφαιρικό αέρα. Το μέγιστο της περιεκτικότητας του θαλασσινού νερού στο συγκεκριμένο στοιχείο, καταγράφεται συνήθως σε βάθη περίπου 50 μέτρων και οφείλεται κυρίως στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα τόσο των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών, όσο και των μακροφυκών και των θαλάσσιων φανερόγαμων. Στο βαθύτερο σημείο της ευφωτικής ζώνης υπάρχει ισορροπία μεταξύ του οξυγόνου που παράγεται από το φυτοπλαγκτόν κατά τη φωτοσύνθεση με εκείνο που καταναλώνεται κατά την αναπνοή του φυτοπλαγκτού (Θεοδώρου, 2017). Το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο διαχέεται με αργό ρυθμό σε βαθύτερες μάζες. Εν συνεχεία οι μάζες αυτές, με τη συμβολή των θαλάσσιων ρευμάτων, φτάνουν σε μεγαλύτερα βάθη παρέχοντας σε ικανοποιητικό βαθμό, για την επιβίωση ορισμένων οργανισμών, επιπλέον οξυγόνο (Νεοφύτου & Νεοφύτου, 2017). Όσο βαθύτερα προσμετράται η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε οξυγόνο, τόσο πιο έντονες είναι χρονικά και χωρικά οι διακυμάνσεις του, ενώ εξίσου δύσκολες εμφανίζονται και στην πρόβλεψή τους (Δασενάκης και συν., 2015). Αντιθέτως, σε βαθιά στρώματα κλειστών θαλάσσιων οικοσυστημάτων, στα οποία η ανάμειξη των υδάτων είναι ατελής ή ακόμη και ανύπαρκτη, υπάρχει περίπτωση να εμφανιστεί και παντελής έλλειψη οξυγόνου.

Σύμφωνα με τον Friligos (1988), από μετρήσεις που πραγματοποίησε την περίοδο 1975-1976, κατά τον μήνα Φεβρουάριο οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου κυμαίνονταν από 5,5 έως 6 mg/l, ενώ τον Αύγουστο είχε τιμές 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 των περιόδων 1986-1989 έδειξαν ότι είχε 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).

Έρευνα που διενεργήθηκε κατά το διάστημα 1998 – 1999 κατέγραψε ότι η μέγιστη συγκέντρωση BOD παρατηρήθηκε το καλοκαίρι του 1999, κατά κύριο λόγο στο μεσαίο στρώμα της περιοχής του κόλπου και άγγιζε τα 10,2 mg/l, ενώ η ελάχιστη καταγράφηκε το φθινόπωρο του 1998 στο επιφανειακό στρώμα του ίδιου τμήματος του κόλπου, περίπου στα 6,13 mg/l (Ψόχιου, 2003). Οι Petihakis et al. (2005), σε παρόμοια έρευνα ανέδειξαν συγκεντρώσεις οξυγόνου τον Φεβρουάριο, με σημαντική βαθμίδωση από το εσωτερικό (0,5 mg/l) προς το εξωτερικό τμήμα (5,5 mg/l) του Παγασητικού κόλπου, ενώ ταυτόχρονα βρήκαν ότι οι συγκεντρώσεις αυξάνονται με το βάθος. Αντίστοιχα, από τους μήνες Μάιο μέχρι και Ιούνιο, οι συγκεντρώσεις του κυμάνθηκαν από 5-7,7 mg/l, σε όλα τα βάθη, γεγονός που υποδεικνύει ένα καλά οξυγονωμένο σύστημα. Την περίοδο Ιουλίου μέχρι τον Σεπτέμβριο του 1999, το BOD ήταν από 5 έως 6,5 mg/l, δηλαδή ένα επαρκώς οξυγονωμένο σύστημα, ενώ την περίοδο του Νοεμβρίου του ίδιου έτους, παρατηρήθηκε ότι με τη βάθυνση του θερμοκλινούς ένα μεγάλο τμήμα του πυθμένα ήταν πάνω από αυτό επιτρέποντας έτσι στα διάφορα θρεπτικά που απελευθερώνονται από τις βιολογικές διεργασίες των βενθικών οργανισμών να βρίσκονται μέσα στην εύρωτη ζώνη. Αποτέλεσμα αυτή της δράσης είναι η εμφάνιση υψηλότερων συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου στα επιφανειακά στρώματα (7,8 mg/l) και χαμηλότερες τιμές κοντά στον πυθμένα (5 mg/l).

4.1.4 Ενεργός Οξύτητα (pH)

Το pH του νερού εκφράζει τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου σε ένα υδατικό περιβάλλον. Εξαρτάται από φυσικοχημικές παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα, του οξυγόνου, των αλάτων, καθώς και διαφόρων άλλων ενώσεων και ουσιών (Boyd, 1981;

Petit, 1989; Νεοφύτου, 2007). Ωστόσο εξαρτάται και επηρεάζεται εξίσου και από 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).

Οι Neofitou & Kladatos (2008), καθώς και η Φλώρου (2017), από έρευνα που πραγματοποίησαν σε περιοχές του Παγασητικού κόλπου κατέγραψαν εύρος τιμών για το pH από 7,92-8,04 και 7,89-8,2, αντίστοιχα. Σε πιο πρόσφατη έρευνα των Neofitou et al. (2019), σε περιοχή με μονάδα εκτροφής, το pH ήταν περίπου στο 8,2. Ο Τατσιόπουλος (2018), σε διαφορετικούς σταθμούς του βόρειου Παγασητικού κόλπου, κατά την εποχή του χειμώνα, κατέγραψε τιμές από 7,92-8,4. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας ήταν σχεδόν σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας υψηλότερα από τις προαναφερθείσες βιβλιογραφικές αναφορές. Συγκεκριμένα, στον ανατολικό κόλπο (EG) ήταν $8,56 \pm 0,04$, στον κεντρικό (CG) $8,56 \pm 0,04$ και στον δυτικό $8,59 \pm 0,03$.

4.1.5 Χλωροφύλλη α

Οι φυτοπλακτονικοί οργανισμοί βρίσκονται στη βάση της τροφικής αλυσίδας των υδάτινων οικοσυστημάτων και επηρεάζουν την επιβίωση άλλων οργανισμών, όπως είναι το ζωοπλαγκτόν, τα ψάρια, καθώς και τα θαλάσσια θηλαστικά. Το φυτοπλαγκτόν 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).

Οι εισροές θρεπτικών συστατικών από ανθρωπογενείς επιδράσεις, μπορεί να είναι είτε σημειακές, όπως οι εκροές αστικών αποβλήτων και η βιομηχανική δραστηριότητα, είτε μη σημειακές, όπως η απόπλυση γεωργικών εδαφών διαμέσου των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Τα διάφορα μορφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά του αποδέκτη (θάλασσα), όπως το βάθος και η ικανότητα ανανέωσης του νερού, επηρεάζουν άμεσα και την ευαισθησία αυτού ως τις ευτροφικές συνθήκες. Ο ευτροφισμός αποτελεί μια από τις σημαντικότερες και κυριότερες απειλές, κυρίως σε παράκτιες περιοχές, κλειστούς κόλπους και λιμνοθάλασσες, και 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).

Μετρήσεις για τον Παγασητικό κόλπο την περίοδο 1975 – 76 έδειξαν 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). Αντίστοιχα, μετρήσεις τον Απρίλιο του 1999, έδειξαν ότι οι τιμές για την χλωροφύλλη *a* κυμάνθηκαν σε χαμηλά επίπεδα, η μέση τιμή ήταν περίπου 0,85 mg/m³ και η ελάχιστη 0,85 mg/m³. Όσον αφορά την κατακόρυφη

κατανομή της παραμέτρου, οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στο επιφανειακό στρώμα, ενώ σημειώθηκε σημαντική μείωση των συγκεντρώσεων ως προς το βάθος. Τα υψηλά ποσοστά του φυτοπλαγκτού, δείχνουν ότι ένα μεγάλο ποσοστό της βιομάζας αυτού (με τη μορφή της χλωροφύλλης *a*), οφείλεται σε μικρά είδη φυτοπλαγκτού (μέγεθος κυττάρων $<2\ \mu\text{m}$). Το παραπάνω χαρακτηριστικό ενδέχεται να οφείλεται στη στρωματοποίηση, τη διαθεσιμότητα και τις αναλογίες των θρεπτικών αλάτων στον κόλπο.

Έρευνα για το διάστημα 1998-99, ανέδειξε ότι η μέγιστη μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης *a* παρατηρήθηκε τον χειμώνα του 99 στο επιφανειακό στρώμα του εσωτερικού κόλπου ($0,66\ \text{mg/m}^3$) και η ελάχιστη το καλοκαίρι του 98 στο επιφανειακό στρώμα του εξωτερικού κόλπου ($0,02\ \text{mg/m}^3$) (Ψόχιου, 2003). Η παρούσα έρευνα παρουσιάζει σχετικά παρόμοιες τιμές με τις προαναφερθείσες αναφορές. Συγκεκριμένα, στον ανατολικό κόλπο (EG) η μέγιστη τιμή για την χλωροφύλλη *a* ήταν $2,51\ \text{mg/m}^3$ και η ελάχιστη $0,35\ \text{mg/m}^3$. Για τον κεντρικό (CG) και δυτικό (WG) κόλπο, οι μέγιστες τιμές ήταν $2,75$ και $3,04\ \text{mg/m}^3$, αντίστοιχα, ενώ οι ελάχιστες ήταν $0,56$ και $0,35\ \text{mg/m}^3$, αντίστοιχα. Ο Παγασητικός κόλπος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ολιγοτροφικό σύστημα με τάσεις προς το μεσοτροφικό, σε ορισμένες περιοχές, χωρίς να παρουσιάζει σημαντικό πρόβλημα ρύπανσης (Παβέλη, 2006).

Σύμφωνα με τους Μπαμπάτσος & Παπαγεωργίου (2019), η τιμές της χλωροφύλλης *a* κυμάνθηκαν από $1,15$ - $5,01\ \text{mg/m}^3$. Αυξημένες τιμές παρατηρήθηκαν στο Λιμάνι και στον Άγιο Κωνσταντίνο, ενώ οι τιμές των υπόλοιπων σταθμών κυμάνθηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα. Σε γενικές γραμμές, στον Παγασητικό κόλπο η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a* κυμαίνεται μεταξύ $0,20$ και $0,75\ \text{mg/m}^3$ και βρίσκεται εντός του εύρους που έχει καταγραφεί σε άλλες ολιγοτροφικές παράκτιες περιοχές (Neofitou & Klaoudatos, 2008). Σύμφωνα με 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 α κυμάνθηκε από 2,91 έως 3,23 mg/m³.

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 αποτελούν τροφή των φυτικών οργανισμών, μακροφυτών ή φυτοπλαγκτού. Οι ενώσεις αυτές αποτελούν συνήθως τα τελικά ή και ενδιάμεσα προϊόντα της βιολογικής ή χημικής αποδόμησης της οργανικής ύλης. Από τα παραπάνω συστατικά, τα πιο σημαντικά και άφθονα στο θαλάσσιο περιβάλλον, είναι 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). Πηγές θρεπτικών συστατικών μπορεί να αποτελούν η ξηρά, καθώς και η ατμόσφαιρα. Η ξηρά τροφοδοτεί τους υδάτινους 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 θαλασσίνο νερό σαν ενυδατωμένη αμμωνία, όπου κυριαρχεί η κατιονική μορφή. Τόσο η ενυδατωμένη αμμωνία, όσο και τα αμμωνιο-κατιόντα μπορούν να προσροφηθούν σε διάφορες επιφάνειες και αλληλοεπιδρούν με πηλώδη ορυκτά. Το άζωτο αμμωνιακών μπορεί να οξειδωθεί φωτοχημικά (Φυτιανός, 2017). Το άζωτο είναι βασικό στοιχείο, αναγκαίο στους έμβιους οργανισμούς, πρωτίστως για την παρασκευή πρωτεϊνών και υπάρχει σε πολύ μεγάλες ποσότητες στην ατμόσφαιρα, αποτελώντας περίπου το 80% του όγκου της. Ωστόσο, τα φυτά, τα ζώα και οι περισσότεροι μικροοργανισμοί δεν έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν άμεσα το ατμοσφαιρικό άζωτο γ' αυτόν τον σκοπό (Δασενάκης και συν., 2015).

Στο υδάτινο περιβάλλον το μοριακό άζωτο (N_2) βρίσκεται σχεδόν στη μισή τιμή κορεσμού του και είναι έτσι η επικρατέστερη μορφή του στοιχείου. 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). Η αμμωνία είναι έντονα τοξική για τους υδρόβιους οργανισμούς. Τα ψάρια είναι ευαίσθητα 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).

Οι κύριες μορφές ανόργανου αζώτου είναι τα νιτρικά, τα νιτρώδη και τα αμμωνιακά ιόντα που αντιπροσωπεύουν το 5% του ολικού αζώτου που είναι διαλυμένο στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι συνήθεις συγκεντρώσεις τους είναι, για τα νιτρικά 1-500 $\mu\text{g NO}_3^- - \text{N dm}^{-3}$, για τα νιτρώδη <1-50 $\mu\text{g NO}_2^- - \text{N dm}^{-3}$ και για αμμωνιακά <1-50 $\mu\text{g NH}_4^+ - \text{N dm}^{-3}$ (Φυτιανός, 2017).

Τον Μάιο του 1998, κατά τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας, οι μέγιστες συγκεντρώσεις αμμωνίας (11 lg at/l) βρέθηκαν στην περιοχή της εκροής λυμάτων (πλησίον της 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 (Petihakis et al., 2005). Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι στην περιοχή του κόλπου που παρατηρήθηκαν απότομες κλίσεις στο 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.

4.2.2 Νιτρώδη

Το άζωτο νιτρωδών είναι η μορφή με την οποία το άζωτο βρίσκεται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις στο θαλασσινό νερό. 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).

Σύμφωνα με τους Neofitou et al. (2019), σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στον Παγασητικό κόλπο σε περιοχή με μονάδα εκτροφής ιχθύων, παρατήρησαν πως η μέση συγκέντρωση 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, οι Neofitou & Kladoudatos (2008), κατέγραψαν τις μέγιστες συγκεντρώσεις νιτρωδών στα 0,10 μM , σε περιοχές πλησίον μονάδων εκτροφής του Παγασητικού. Στην παρούσα έρευνα 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. Όλες οι τιμές ήταν χαμηλότερες από τις προαναφερθείσες έρευνες, γεγονός που επιδεικνύει την πιθανή επιρροή των διαδικασιών εκτροφής στην ποιότητα των υδάτων.

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). Οι Gabrielides & Theocharis (1978), κατέγραψαν ότι η διακύμανση νιτρικών ήταν πολύ ασταθής και κυμάνθηκε από λιγότερο του 0,1 $\mu\text{g-at/l}$, και σε μερικές περιπτώσεις περισσότερο από 6 $\mu\text{g-at/l}$. Ο κόλπος του Βόλου και το ανατολικό μέρος του Παγασητικού, τον Μάιο παρουσίασαν τις μεγαλύτερες τιμές. Τα νιτρικά ήταν επίσης συγκεντρωμένα σε βαθιά νερά, όπου αποτελούσαν της κύρια μορφή του αζώτου. Οι Neofitou et al. (2019), αναφέρουν πως οι συγκεντρώσεις νιτρικών κυμαίνονταν 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.

4.2.4 Φωσφορικά

Ο φώσφορος παίζει σημαντικό ρόλο στον βιολογικό μεταβολισμό. Είναι απαραίτητος για τη ζωή, 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 απαντά 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. Πολυφωσφορικά ιόντα υπάρχουν κυρίως σε εκβολές των ποταμών και στα παράκτια ύδατα, ως αποτέλεσμα των ανθρωπογενών ρυπάνσεων 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). Οι διαδικασίες προσρόφησης και εκρόφησης φωσφορικών επηρεάζονται ουσιαστικά από αλλαγές στο δυναμικό οξειδοαναγωγής. 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 τη διάσπαση του συμπλόκου και την απελευθέρωση των φωσφορικών στο νερό (Δανεσάκης και συν., 2015).

Νέες ποσότητες φωσφορικών εισέρχονται διαρκώς στο θαλάσσιο περιβάλλον, μέσω των ποταμών και άλλων επιφανειακών υδάτων, προερχόμενες από τη διάβρωση των χερσαίων πετρωμάτων, την απόπλυση καλλιεργούμενων εδαφών αλλά και τη διάσπαση των πολυφωσφορικών, που χρησιμοποιούνται στα διάφορα απορρυπαντικά (Δανεσάκης και συν., 2015). Ως προς τις συγκεντρώσεις των φωσφορικών αλάτων, σε βάθη της υδάτινης στήλης από 0 έως 30 m, ήταν σχετικά χαμηλές με τη μέγιστη τιμή να είναι 0,5 $\mu\text{g at/l}$, το οποίο καταγράφηκε στο επιφανειακό στρώμα στον όρμο του Βόλου τον Απρίλιο του 98. Σε βάθος 60 m βρέθηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις, τόσο στον Βόλο όσο και στην περιοχή του Αλμυρού. Γενικά, τα βαθύτερα στρώματα εμφανίζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα στον χρόνο, με το υπερκείμενο στρώμα του ιζήματος να είναι σημαντικά πλουσιότερο σε φωσφορικά ιόντα, εξαιτίας της απελευθέρωσής του από διαδικασίες των βενθικών οργανισμών. Ο φώσφορος αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη φυτοπλαγκτού και 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). Τα κλειστά και ημίκλειστα συστήματα χαρακτηρίζονται από περιορισμό των φωσφορικών, 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 Τρικερίου τον Δεκέμβριο του 1976.

Τα ανώτερα στρώματα του κέντρο-εξωτερικού κόλπου παρουσιάζουν μεγάλες περιόδους περιορισμού των φωσφορικών αλάτων, σε αντίθεση με τα βαθύτερα στρώματα, που είναι ως επί το πλείστον περιορισμένο το άζωτο. Τα παραπάνω παρατηρούμενα μοτίβα στον εσωτερικό κόλπο γύρω από εκροές αστικών λυμάτων είναι πολύ σημαντικά, καθώς απεικονίζουν τέτοιες διαδικασίες μπορούν και επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών και εν συνεχεία την 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).

4.2.5 Πυριτικά

Το πυρίτιο απαντάται στα φυσικά ύδατα στη σταθερή οξειδωτική κατάσταση +4. Στο θαλάσσιο νερό απαντάται τόσο σε διαλυτή μορφή όσο και σε σωματιδιακή μορφή. Στη διαλυτή μορφή απαντά ως ορθοπυριτικό οξύ (H_4SiO_4) ή ιόντα πυριτίου (Si_4^+), προερχόμενο 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, προερχόμενα συνήθως από την αποσάθρωση των χερσαίων πετρωμάτων. Παράλληλα, το πυρίτιο απαντάται ως 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 πυρίτιο στο θαλάσσιο περιβάλλον θεωρείται θρεπτικό στοιχείο, γιατί είναι απαραίτητο συστατικό της στερεάς δομής πολύ σημαντικών κατηγοριών πλαγκτονικών οργανισμών, όπως τα διάτομα ή τα ραδιολάρια, αλλά και μεγαλύτερων οργανισμών, όπως οι σπόγγοι. Οι οργανισμοί αυτοί προσλαμβάνουν το πυριτικό οξύ και το μετατρέπουν σε διοξείδιο του πυριτίου, προκειμένου να ενσωματώσουν το πυρίτιο στο σκελετικό τους υλικό. Με τον θάνατο των οργανισμών αυτών, το σωματιδιακό πυρίτιο απελευθερώνεται στην υδάτινη στήλη, για να αποτελέσει μέρος του σωματιδιακού πυριτικού κλάσματος. Το σωματιδιακό αυτό υλικό μπορεί να διαλυθεί ή να καταβυθιστεί και να ενσωματωθεί στα παράκτια ή ωκεάνια ιζήματα (Officer & Ryther, 1980; Δασενάκης και συν., 2015). Το σχετικά χαμηλό pH της βροχής ευνοεί την διάλυση πετρωμάτων του στερεού φλοιού της γης και τη μεταφορά πυριτίου στη θάλασσα. Η μεταφορά μέσω των ποταμών είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την ατμοσφαιρική οδό (10:1). Άλλη σημαντική πηγή είναι η διάβρωση των ακτών από τους παγετώνες. Το πυρίτιο εισέρχεται στη θάλασσα ως διαλυτό (Si(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. Γενικά, έχει διαπιστωθεί η αντιστρόφως ανάλογη συσχέτιση των πυριτικών προς την αλατότητα. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη διαλυτότητα του πυριτικού οξέος σε διαλύματα χαμηλής ιοντικής ισχύος (Δασενάκης και συν., 2015). Τέλος, σύμφωνα με τους Neofitou et al. (2019), τα πυριτικά άλατα παρουσίασαν παρόμοιο μοτίβο κατανομής 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. Αντίστοιχα, οι Neofitou & Kladoudatos (2008), σε έρευνα που πραγματοποίησαν στις δύο μονέδες εκτροφής ιχθύων του Παγασητικού κόλπου αναφέρουν πως οι τιμές πυριτικού άλατος ήταν γενικά χαμηλές και στις δύο εγκαταστάσεις. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις πυριτικού άλατος ήταν 4,89 και 2,45 μM, αντίστοιχα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κυριότερα συμπεράσματα της παρούσας διατριβής είναι τα εξής:

- Τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού στα σημεία δειγματοληψίας εμφάνισαν την αναμενόμενη εποχιακή διακύμανση, ανταποκρινόμενα στην ευρύτερη περιοχή έρευνας (Παγασητικός κόλπος).
- Τα θρεπτικά άλατα εμφάνισαν ελαφρώς αυξημένες συγκεντρώσεις στους σταθμούς όπου υπάρχει έντονη ανθρωπογενής δραστηριότητα.
- 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.
- 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.
- 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

- Ασημάκη Α., Νεοφύτου Ν., Συρβή Ρ., Ψωφάκης Π., Λόλας Α., Βαφείδης Δ., Καραπαναγιωτίδης Ι., Φλώρου Μ., Τζιάντζιου Α. (2016).** Επίδραση του Ολοθουρίου *Holothuria polii* στη μείωση του οργανικού φορτίου από την εκτροφή ψαριών σε εργαστηριακές συνθήκες: Προκαταρκτικά Αποτελέσματα. 2^ο Διεθνές Συνέδριο Εφαρμοσμένης Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, 10 - 12 Νοεμβρίου 2016, Μεσολόγγι, Ελλάδα, HydroMediT 2016, σελ. 140-143.
- Βαφείδης Δ., Κλαουδάτος Σ.Α. (2022),** Πειραματική αλιεία στον Παγασητικό κόλπο, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, Τεχνική έκθεση.
- Γεωργίου Θ., Κυριάκου Κ., Παπατριανταφύλλου Ζ. (2015),** Περιβαλλοντικές επιπτώσεις εκτροφής ιχθύων σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς στην περιοχή της Μηλίνας (Παγασητικός κόλπος). Προπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Γεωργόπουλος Δ. & Θεοχάρης Α. (1983).** Υδρολογία της περιοχής του Παγασητικού Κόλπου. Τεχνική Έκθεση Εθνικού Κέντρου Θαλασσίων Μελετών, σελ. 5-33.
- 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.Α. (2005).** Πανεπιστημιακές Παραδόσεις του Μαθήματος Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 9, 33-34.
- Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Α. (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.
- Λασκαράτος Α. & Θεοχάρης Α. (1984).** Συμβολή στη μελέτη της Φυσικής Ωκεανογραφίας του Παγασητικού κόλπου. Α΄ Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας. Μάιος 1984, σελ. 50-55.
- 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.
- Μπαλόπουλος Ε., Παπαγεωργίου Ε., Χαραλαμπίκης Α., Παπαδόπουλος Β. (1987).** Μετρήσεις θαλασσιών ρευμάτων στο Δυτικό Αιγαίο Πέλαγος (Παγασητικός Κόλπος). Β΄ Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Αθήνα, σελ. 282-293.
- 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.Χ. & Νεοφύτου Χ.Ν. (2017).** Ιχθυολογία, Τρίτη Έκδοση, Εκδόσεις University Studio Press, Σελ 53-54, ISBN 978-960-12-2345-2.

- 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.
- 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.
- Συρβή Ρ., Νεοφύτου Ν., Βαφείδης Δ., Σκόρδας Κ., Λόλας Α., Νικολάου Μ., Ζαΐρης Δ. (2016β).** Συμβολή του Ολοθουρίου *Holothuria tubulosa* στη μείωση του οργανικού φορτίου από την εκτροφή ιχθύων σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς. 2^ο Διεθνές Συνέδριο Εφαρμοσμένης Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, 10 - 12 Νοεμβρίου 2016, Μεσολόγγι, Ελλάδα, HydroMediT 2016, σελ. 144-147.
- Σύρβη Ρ., Νεοφύτου Ν., Καραπαναγιωτίδης Ι., Βαφείδης Δ., Λόλας Α., Αντωνίου Κ., Ψωφάκης Π., Τζιάτζίου Α. (2016α).** Συμβολή του Ολοθουρίου *Holothuria tubulosa* στη μείωση του οργανικού φορτίου από την εκτροφή ψαριών σε εργαστηριακές συνθήκες. 2^ο Διεθνές Συνέδριο Εφαρμοσμένης Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, 10-12 Νοεμβρίου 2016, Μεσολόγγι, Ελλάδα, HydroMediT 2016, σελ. 364-367.
- 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.

Ψόχιου 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

Amon R.M.W. & Herndl G.J. (1991). Deposit Feeding and Sediment:. II. Decomposition of Fecal Pellets of *Holothuria tubulosa* (Holothurioidea, Echinodermata). *Marine Ecology*, 12(2): 175–184.

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.

Arzul G., Rosenthal H., Clement A., Carreto J.I. (2001). Aquaculture in Southern America and ecological interactions with noxious phytoplankton in aquaculture. In: *Environment and Marine Phytoplankton*, ed. by IFREMER, Actes colloq 34: 7-28.

Ballios I., Neofitou N., Psafakis P., Lolas A., Syvri R., Asimaki A., Tziantziou L., Karapanagiotidis I., Skordas K., Vafidis D. (2018). Effects of sea cucumber *Holothuria tubulosa* on organic load reduction from fish farming operation in laboratory conditions. Conference: 3rd International Congress of Applied Ichthyology & Aquatic Environment, Hydromedit 2018.

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.

Beusen A.H.W., Bouwman A.F., Van Beek L.P.H., Mogollón J.M., Middelburg J.J.

- (2016). Global riverine N and P transport to ocean increased during the 20th century despite increased retention along the aquatic continuum. *Biogeosciences*, 13(8): 2441-2451.
- Beusen A.H.W., Doelman J.C., Van Beek L.P.H., Van Puijenbroek P.J.T.M., Mogollón J.M., Van Grinsven H.J.M., ... Bouwman A.F. (2022).** Exploring river nitrogen and phosphorus loading and export to global coastal waters in the Shared Socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, 72: 102426.
- Bouwman A.F., Beusen A.H.W., Lassaletta L., van Apeldoorn D.F., van Grinsven H.J.M., Zhang J., Ittersum van M.K. (2017).** Lessons from temporal and spatial patterns in global use of N and P fertilizer on cropland. *Scientific Reports*, 7(1): 40366.
- Boyd C.E. (1981).** Water quality in warmwater fish ponds. Agricultural Experiment Station, Auburn University, 359 p.
- Caragitsou E., Siapatis A., Anastasopoulou A. (2001).** Seasonal structure of fish larvae assemblages in the Pagasitikos Gulf (Greece). *Rapport de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Mediterranee*, 36: 250.
- Conley D.J. (1997).** Riverine contribution of biogenic silica to the oceanic silica budget. *Limnology and Oceanography*, 42(4): 774-777.
- Dietrich V.J., Lagios E., Zographos G. (2019).** 12,800 years ago, Hellas and the World on Fire and Flood. *Journal of Geography and Earth Sciences*, 7(1): 78-109.
- Dimarchopoulou D., Keramidas I., Tsagarakis K., Tsikliras A.C. (2019).** Ecosystem Models and Effort Simulations of an Untrawled Gulf in the Central Aegean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 6: 648.
- Dosdat A. (2000).** Environmental impact of aquaculture in the Mediterranean: nutritional and feeding aspects. In: *Cahiers Options Méditerranéennes*.

Environmental impact assessment of Mediterranean aquaculture farms, 55 (ed. By A. Uriarte & B. Basurco), INO Reproducciones, S.A.: Zaragoza, Spain, pp. 23-36.

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: Oceanographie pelagique mediterraneene (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.

Klaoudatos D., Vafidis D., Exadactylos A., Neofitou N., Lolas A., Apostologamvrou C. (2021). ASSESSMENT OF DEMERSAL FISHERY RESOURCES IN

PAGASITIKOS GULF (CENTRAL AEGEAN SEA). Conference Paper, 4th International Conference of Applied Ichthyology, Oceanography and Aquatic Environment, Hydromedit 2021.

Koliou-Mitsiou A. (1991). Recognition, valuation and confrontation of Pagasitikos Gulf pollution sources. In : Proc. II Cont. on Environmental Science and Technology (T. Lekkas, Ed.). Molivos-Greece, (in Greek with english summary), 544-551.

Kontas A., Kucuksezgin F., Altay O., Uluturhan E. (2004) Monitoring of eutrophication and nutrient limitation in the Izmir Bay (Turkey) before and after Wastewater Treatment Plant. Environment International, 29: 1057-1062.

Korres G., Triantafyllou G., Petihakis G., Raitzos D.E., Hoteit I., Pollani A., ... Tsiaras K. (2012). A data assimilation tool for the Pagasitikos 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., Lolas A., Ballios I., Skordas K., Tziantziou L., Vafidis D. (2019). Contribution of sea cucumber *Holothuria tubulosa* on organic load reduction from

fish farming operation. *Aquaculture*, 501: 97-103.

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.

Park H.S. & Kim J.M. (2002). Spatial and temporal variation of benthic environmental and macrofaunal communities since 'Ash caging culture in Korea. Sea farming today and tomorrow. Extended Abstracts and Short Communications. European Aquaculture Society. Special Publication 32: 419.

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

Pearson T.H. & Rosenberg R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography Marine Biology Annual Review*, 16: 229-311.

Peñuelas J., Poulter B., Sardans J., Ciais P., van der Velde M., Bopp L., ... Janssens I.A. (2013). Human-induced nitrogen–phosphorus imbalances alter natural and managed ecosystems across the globe. *Nature Communications*, 4(1).

- 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.
- Petihakis G., Tsiaras K., Triantafyllou G., Korres G., Tsagaraki T.M., Tsapakis M., ... Frangoulis C. (2012c).** Application of a complex ecosystem model to evaluate effects of finfish culture in Pagasitikos Gulf, Greece. Journal of Marine Systems: 94, 65-77.
- Petit J. (1989).** Water supply treatment and recycling in aquaculture. In: Aquaculture, (Ed. G. Gilbert), Ellis Horwood Ltd., 2nd Edition, Vol. II, 63-196.
- Raitsos D.E., Korres G., Triantafyllou G., Petihakis G., Pantazi M., Tsiaras K., Pollani A. (2012).** Assessing chlorophyll variability in relation to the environmental regime in Pagasitikos Gulf, Greece. Journal of Marine Systems, 94: 16-22.

- 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.
- Tolon T., Emiroğlu D., Günay D., Özgül A. (2017).** Sea cucumber (*Holothuria tubulosa* Gmelin, 1790) culture under marine fish net cages for potential use in integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 46: 749-756.
- Triantafyllou G., Petihakis G., Dounas C., Athanasios T. (2001).** Assessing Marine Ecosystem Response to Nutrient Inputs. *Marine Pollution Bulletin*, 43(7-12), 175-186.
- 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 30/10/2023)
- <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/0f50cafe-9837-5000-8b8e-a9961d504fac> (Πρόσβαση 30/10/2023)

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 and 25th of May 2022, within the framework of the wider project of the Department of Agriculture, 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 (EG-Eastern Gulf, CG-Central Gulf, WG-Western 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 for in-lab nutrient analyses (ammonium, nitrite, nitrate, phosphate and silicate).

The results of this thesis indicated that the physicochemical characteristics of the 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 15.51°C, with the highest value occurring in the EG at 22.18°C. Respectively for salinity the mean value was 38.38 psu, with the highest value being equally in the eastern sampling station (38.52 psu). In terms of dissolved oxygen, the mean value was 5.83 mg/l, with the highest value being observed at the central sampling station (6.29 mg/l). For pH, the mean value in the gulf reached 8.57, while the highest value occurred at WG and was equal to 8.62. Finally, for the parameter of chlorophyll α , the mean value of all 3 stations was 1.38 mg/m³, while the highest value was recorded at the western station of the gulf and was 3.04 mg/m³.

Similarly for the nutrients the following applies, for ammonium the mean concentration was 0.30 μM , while the highest was recorded at the central station and was 0.50 μM . Similarly for nitrite, the mean value was 0.0056 μM , while the highest concentration was at WG station (0.0096 μM). As for the concentration of nitrate the mean concentration was 2.30 μM , while the highest concentration was at the East Pagasitikos gulf. Phosphate showed a mean value equal to 0.007 μM , and the highest concentration was equally recorded at the East station. Finally, for silicates the mean value was 1.54, while the maximum was observed at the Western station (2.41 μM).

The statistical analysis of nutrient concentrations among sampling stations showed significant differences only for nitrates ($p < 0.05$), which was due to stations EG and WG differences. In any case, there is no significant difference in nutrient concentrations compared to the normal values that usually appear in the gulf during the corresponding period of the year.

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