

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

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωστικών στο λιμάνι του Βόλου κατά τη
φθινοπωρινή και εαρινή περίοδο»**

Δήμητρα Κουκουβίνου

ΒΟΛΟΣ 2019

**«Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωστικών στο λιμάνι του Βόλου κατά τη
φθινοπωρινή και εαρινή περίοδο»**

Εξεταστική επιτροπή:

- 1. Κωνσταντίνος Κορμάς**, Καθηγητής, Οικολογία Υδρόβιων Μικροοργανισμών,
Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή
Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπων*
- 2. Ήρα Καραγιάννη**, Επίκουρη Καθηγήτρια, Υδροβιολογία, Τμήμα Βιολογικών
Εφαρμογών & Τεχνολογιών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, *Μέλος*

Στην οικογένειά μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της πτυχιακής εργασίας μου κ.Κωνσταντίνο Κορμά για την αμέριστη βοήθειά του, την εμπιστοσύνη και υπομονή που υπέδειξε κατά τις δειγματοληψίες, τη διεξαγωγή του πειράματος αλλά και τη συγγραφή της παρούσας εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το μέλος της εξεταστικής επιτροπής κ.Έρα Καραγιάννη.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ.Ελένη Νικούλη για τις συμβουλές της κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, καθώς και τους Κωνσταντίνα Παπία και Στέφανο Σωτηρίου για την πολύτιμη βοήθειά τους τόσο στις δειγματοληψίες όσο και στη διαδικασία του πειράματος.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την συνεχή στήριξη και συμπαράσταση καθ' όλα τα έτη σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα παράκτια οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από πλούσια ποικιλομορφία και παραγωγικότητα, αποτελούσαν δε πάντα σημείο έλξης για την εγκατάσταση πληθυσμών, τη δημιουργία λιμανιών και χώρων αναψυχής. Οι συνεχείς ανθρωπογενείς παρεμβάσεις οδήγησαν στην υποβάθμιση των παράκτιων οικοσυστημάτων με αποτέλεσμα την ανάγκη διαχείρισης και καταγραφής της κατάστασής τους. Ένα ημίκλειστο σύστημα όπως ο Παγασητικός κόλπος είναι αποδέκτης αστικής, γεωργικής και βιομηχανικής ρύπανσης λόγω των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται στις γύρω περιοχές. Στην παρούσα μελέτη ως δείκτης εκτίμησης της περιβαλλοντικής κατάστασης για το λιμάνι του Βόλου χρησιμοποιήθηκε η χλωροφύλλη-a. Συνεπώς σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας ήταν η καταγραφή των ημερήσιων διακυμάνσεων των φυτοχρωστικών (χλωροφύλλη-a, χλωροφύλλη-b, χλωροφύλλη-c, καροτενοειδή, φαιοφυτίνες) στο λιμάνι του Βόλου για τους μήνες Οκτώβριο-Νοέμβριο (2016) και Μάρτιο (2017). Οι υψηλότερες τιμές των φυτοχρωστικών παρατηρήθηκαν κατά την εαρινή περίοδο (04/03/2017) με κυρίαρχη φυτοχρωστική τη χλωροφύλλη-a στα $6,437\mu\text{g/l}$ και μέση τιμή $1,774\pm 1,337\mu\text{g/l}$. Το φθινόπωρο η μέγιστη τιμή που καταγράφηκε για την χλωροφύλλη-a ήταν $5,648\mu\text{g/l}$ (07/11/2016) με μέση τιμή $0,844\pm 1,086\mu\text{g/l}$. Επίσης, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των φυτοχρωστικών με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες για την εκτίμηση της επιρροής τους στη διακύμανση των τιμών. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που παρουσίασαν στατιστικώς σημαντική συσχέτιση με τις φυτοχρωστικές ήταν η θερμοκρασία νερού, η θερμοκρασία του αέρα και η ένταση του ανέμου. Η χλωροφύλλη-b είχε τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις (μέση τιμή φθινόπωρο= $0,059\pm 0,080\mu\text{g/l}$, μέση τιμή άνοιξη= $0,068\pm 0,105\mu\text{g/l}$) καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης όπως και η χλωροφύλλη-c (μέση τιμή φθινόπωρο= $0,232\pm 0,626\mu\text{g/l}$, μέση τιμή άνοιξη= $0,378\pm 0,306\mu\text{g/l}$). Τα καροτενοειδή ήταν η δεύτερη μεγαλύτερη σε συγκέντρωση φυτοχρωστική (μέση τιμή φθινόπωρο= $0,323\pm 0,411\mu\text{g/l}$, μέση τιμή άνοιξη= $0,976\pm 0,975\mu\text{g/l}$) που καταγράφηκε στη μελέτη αυτή. Επιπλέον, ο λόγος της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-a προς

τη χλωροφύλλη-a συν τις φαιοφυτίνες (χλωροφύλλη-a/(χλωροφύλλη-a+ φαιοφυτίνες)) εκτιμά τις ημερήσιες ανθίσεις νέου φυτοπλαγκτού, οι οποίες παρατηρήθηκαν σε όλες τις δειγματοληψίες του Οκτωβρίου-Νοεμβρίου και Μαρτίου. Σύμφωνα με την ανάλυση των αποτελεσμάτων το λιμάνι του Βόλου χαρακτηρίζεται από υψηλές μεσοτροφικές συνθήκες τόσο το φθινόπωρο όσο και την άνοιξη. Οι μεταβολές που καταγράφηκαν στο διάστημα των ημερήσιων δειγματοληψιών αποδεικνύουν την αναγκαιότητα παρατήρησης των φυτοχρωστικών και σε ημερήσια βάση.

Λέξεις κλειδιά: φυτοχρωστικές, ημερήσιες διακυμάνσεις, λιμάνι Βόλου, χλωροφύλλη-a

Keywords: photosynthetic pigments, daily variations, port of Volos, chlorophyll-a

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Θαλάσσιο Περιβάλλον.....	1
1.2 Παράκτια ζώνη	1
1.3 Πλαγκτικοί οργανισμοί.....	3
1.3.1 Φυτοπλαγκτόν	3
1.3.2 Φυτοχρωστικές.....	7
1.4 Σκοπός μελέτης.....	10
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	11
2.1 Περιοχή δειγματοληψιών	11
2.2 Δειγματοληψία	12
2.3 Διήθηση και αποθήκευση φίλτρων	13
2.4 Εκχύλιση φωτοσυνθετικών χρωστικών	14
2.5 Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων.....	17
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	18
3.1 Διακύμανση φυτοχρωστικών.....	18
3.2 Διακύμανση περιβαλλοντικών παραμέτρων	24
3.3 Η επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στις ημερήσιες διακυμάνσεις των φυτοχρωστικών	28
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	32
4.1 Σύγκριση της παρούσας μελέτης με Πάσχου (2016), Αγγελικόπουλου (2016), Καλαϊτζάκη & Μάρκου (2017) και Τζιώγα (2018).	32
4.2 Συγκεντρώσεις φυτοχρωστικών.....	34
4.2.1 Ημερήσιες διακυμάνσεις της χλωροφύλλης-a.....	34
4.2.2 Ημερήσιες διακυμάνσεις της χλωροφύλλης-b	36
4.2.3 Ημερήσιες διακυμάνσεις της χλωροφύλλης-c.....	37
4.2.4 Ημερήσιες διακυμάνσεις των Καροτενοειδών	37
4.2.5 Ημερήσιες διακυμάνσεις των Φαιοφυτίνων.....	38
4.3 Περιβαλλοντικοί Παράγοντες.....	38
4.3.1 Θερμοκρασία νερού.....	38
4.3.2 Αγωγιμότητα.....	39
4.3.3 Ηλιοφάνεια	39
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	41
6. ABSTRACT	45

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Θαλάσσιο Περιβάλλον

Ο όρος θαλάσσιο περιβάλλον περιλαμβάνει το σύνολο των αλμυρών τμημάτων της υδρόσφαιρας που καλύπτουν τα 2/3 της επιφάνειας της γης, αλλά και των υδάτινων εκτάσεων που περιορίζονται από ξηρά, σε αντίθεση με τον ανοιχτό ωκεανό. Αποτελεί στοιχείο απαραίτητο για τη διατήρηση της ζωής, οι περισσότερες μορφές ζωής εξελίχθηκαν αρχικά σε θαλάσσια ενδιαιτήματα και μέχρι σήμερα χαρακτηρίζονται από μεγάλη βιοποικιλότητα. Διαμορφώνουν τις κλιματικές και καιρικές συνθήκες, ενώ αποτελούν σημαντική προέλευση υπηρεσιών και αγαθών για τον άνθρωπο. (Barnes & Hughes 1999)

1.2 Παράκτια ζώνη

Οι περιοχές που ορίζονται ως παράκτιες ζώνες είναι το σημείο αλληλεπίδρασης μεταξύ του χερσαίου και του θαλάσσιου τμήματος της γης. Αποτελούν σημαντικό παράγοντα για τη ρύθμιση της οικονομίας και της οικολογίας μιας χώρας. Χαρακτηρίζονται ως οι πιο παραγωγικές και ποικιλόμορφες περιοχές στο περιβάλλον (McLean et al. 2001). Οι παράκτιες ζώνες σε όλες τις Ευρωπαϊκές θάλασσες έχουν χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση πληθυσμών, δημιουργία λιμανιών, πάρκων προστασίας και αναψυχής καθώς και για την παραγωγή ενέργειας. Οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και οι περιβαλλοντικές αλλαγές έχουν οδηγήσει στην απειλή των παράκτιων ζωνών γεγονός που επιβάλλει την προστασία τους. Είναι αποδέκτες της ανθρώπινης δραστηριότητας στην οικιστική, βιομηχανική, αγροτική και τουριστική ζώνη με αποτέλεσμα να δημιουργούν επιβλαβείς συνθήκες στο θαλάσσιο οικοσύστημα. Επίσης, οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται για την οικολογική υποβάθμιση του θαλάσσιου και χερσαίου περιβάλλοντος. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μέσω του

φαινομένου του θερμοκηπίου οδηγεί στην αύξηση της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας τις τελευταίες δεκαετίες, με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης της θάλασσας πλήττοντας διάφορες περιοχές του πλανήτη μας(Δουκάκης 2017). Ακόμη, η υπερφόρτωση των υδάτων με θρεπτικά στοιχεία, όπως νιτρικά και φωσφορικά ιόντα, μπορεί να οδηγήσει στο φαινόμενο του ευτροφισμού με επιβλαβείς επιπτώσεις τόσο στην παράκτια ζώνη όσο και στους ζωικούς οργανισμούς. Τα νιτρικά και φωσφορικά ιόντα, που χρησιμοποιούνται σε καθαριστικά καθημερινής χρήσης ή λιπάσματα, παρασύρονται μέσω του υδροφόρου ορίζοντα ή των ποταμών και καταλήγουν στο θαλάσσιο περιβάλλον, με αποτέλεσμα την πρόκληση πιθανής ανεξέλεγκτης άνθισης του φυτοπλαγκτού. Οι συνέπειες αυτού του φαινομένου είναι η αύξηση επιβλαβών φυκών που δημιουργούν ανοξικές συνθήκες στο νερό, προκαλώντας ασφυξία στα ψάρια(Carpenter 2005). Μερικές από τις περιοχές που έχουν παρουσιάσει φαινόμενα ευτροφισμού είναι οι παράκτιοι όρμοι της Ιαπωνίας, το εσωτερικό τμήμα της Αδριατικής και ο νότιος κόλπος της Βόρειας Θάλασσας(Φυτιάνος 1996). Επίσης, άνθιση φυτοπλαγκτού παρατηρείται κυρίως τη θερμή περίοδο λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και της ηλιοφάνειας.

Η δημιουργία λιμένα στα παράκτια οικοσυστήματα, προσφέρει οικονομική ωφέλεια στην περιοχή που δραστηριοποιείται, ωστόσο οδηγεί στην ρύπανση των περιοχών αυτών μέσω των λιμενικών εργασιών που πραγματοποιούνται(Χαραλαμπίδης 2005). Η ιζηματοπόθεση, η εισροή οργανικής ύλης, βαρέων μετάλλων, υδρογονανθράκων καθώς και η περιορισμένη ανανέωση των υδάτων είναι κάποιες από τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτά τα ενδιαιτήματα(Antoniadou & Chintiroglou 2011). Η ρευμάτωση μπορεί να δράσει είτε θετικά σε ένα λιμένα μέσω της ανανέωσης των υδάτων και την απομάκρυνση ρυπαντών, είτε αρνητικά μεταφέροντας φερτές ύλες που καθιζάνουν

στον πυθμένα αλλάζοντας τη μορφολογία του (Georgiadis et al. 2016). Ο Φυτιανός (1996) αναφέρει ότι η μειωμένη ικανότητα ανανέωσης των υδάτων σε πυκνοκατοικημένες παράκτιες περιοχές μπορεί να είναι πιθανή αιτία ευτροφισμού.

1.3 Πλαγκτικοί οργανισμοί

Στο πλαγκτόν ανήκουν οι οργανισμοί που ζουν στην επιπελαγική ζώνη και μεταφέρονται παθητικά οριζόντια ή κάθετα από τα ρεύματα.

Το πλαγκτόν ανάλογα με το μέγεθός του χωρίζεται στις εξής κατηγορίες (Dussart 1964)(Πίν.1):

Πίνακας 1:Κατηγορίες πλαγκτού ανάλογα με το μέγεθος

Μεγαλοπλαγκτόν	(π.χ. μέδουσες) >20 cm
Μακροπλαγκτόν	(π.χ. καρκινοειδή) 2 – 20 cm
Μεσοπλαγκτόν	(π.χ. ζωοπλαγκτό, κωπήποδα) 0,2 – 20 mm
Μικροπλαγκτόν	(π.χ. μικροφύκη,διάτομα) 20 – 200 μm
Νανοπλαγκτόν	(π.χ. νανοφύκη, δινομαστιγωτά) 2 – 20 μm
Πικοπλαγκτόν	(π.χ. βακτήρια, κυανοβακτήρια) 0,2 – 2 μm
Φεμτοπλαγκτόν	(π.χ. ιοί) 0.02 – 0,2 μm

1.3.1 Φυτοπλαγκτόν

Το φυτοπλαγκτόν ή αλλιώς και μικροφύκη είναι ένας αυτότροφος οργανισμός, που συναντάται σε επιφανειακά ύδατα θαλασσών, ποταμών και ωκεανών. Επιλέγει να ζει στην εύφωτη ζώνη και κυρίως στα επιφανειακά στρώματα όπου εμπλουτίζονται με θρεπτικά συστατικά μέσω της ανανέωσης των υδάτων. Μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης και τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας δεσμεύει το διοξείδιο του άνθρακα και παράγει βιομάζα. Το φυτοπλαγκτόν είναι υπεύθυνο για το 70% της παραγωγής οξυγόνου στη γη καθώς και για την πρωτογενή παραγωγικότητα της θάλασσας (Falkowski et al. 2003, Arrigo 2005). Είναι στην πρώτη θέση της τροφικής αλυσίδας για πολλούς οργανισμούς, συνεπώς συμβάλει στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και στην υποστήριξη της αλιείας. Οι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί

χρησιμοποιούνται ως δείκτες κλιματικής αλλαγής και υποβάθμισης της ποιότητας των υδάτων, λόγω της ευαισθησίας τους στις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι κύριες ομάδες φυτοπλαγκτονικών οργανισμών είναι τα δινομαστιγωτά, τα διάτομα, τα κυανοβακτήρια και τα κοκκολιθοφόρα.



Εικόνα 1: Άνθιση φυτοπλαγκτού στη Βαλτική θάλασσα

([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phytoplankton_bloom_in_the_Baltic_Sea_\(July_3,_2001\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phytoplankton_bloom_in_the_Baltic_Sea_(July_3,_2001).jpg), NASA)

- Τα δινομαστιγωτά ή δινόφυτα είναι μονοκύτταροι οργανισμοί και ανήκουν στα πρωτόζωα. Το μεγαλύτερο που έχει παρατηρηθεί φτάνει τα 2mm διάμετρο. Διαθέτουν μαστίγια και το εξωτερικό τους περίβλημα καλύπτεται από πλάκες κυτταρίνης. Αναπαράγονται με απλή διαίρεση και σε περιπτώσεις άνθισης ορισμένα είδη παράγουν τοξίνες επιβλαβείς για την υγεία των υπόλοιπων

οργανισμών(Παπανικολοπούλου 2012). Κάποια είδη δινωμαστιγωτών είναι γνωστά για την πρόκληση της «ερυθράς παλίρροιας» όπου η παρουσία της προκαλεί δυσμενείς συνθήκες στους θαλάσσιους οργανισμούς. Οι περιοχές που πλήττονται συχνότερα από τα συγκεκριμένα είδη φυκών είναι κυρίως οι ακτές της Καλιφόρνιας, της Φλόριντα, οι βόρειο-ανατολικές ακτές της Αγγλίας και η Βόρεια Θάλασσα(Φυτιανός 1996).



Εικόνα 2: Εμφάνιση ερυθράς παλίρροιας στις ακτές της Φλόριντα (2018)

(<https://www.nationalgeographic.com/environment/2018/08/news-longest-red-tide-wildlife-deaths-marine-life-toxins/>)

- Τα διάτομα είναι μονοκύτταροι ευκαρυωτικοί οργανισμοί και το μέγεθός τους κυμαίνεται από 2 έως 200 μm . Το κυτταρικό τους τοίχωμα αποτελείται από διοξείδιο του πυριτίου και η αναπαραγωγή γίνεται κυρίως με απλή κυτταρική διαίρεση (Παπανικολοπούλου 2012). Είναι η πολυπληθέστερη ομάδα φυτοπλαγκτονικών οργανισμών και συναντάται τόσο σε εύκρατες όσο και σε

ψυχρές θάλασσες. Το κυτταρικό τοίχωμα των διατόμων καθιζάνοντας στον πυθμένα δημιουργεί περιοχές αποθέσεων που είναι γνωστές ως γη των Διατόμων ή πυριτική γη. Ο συνδυασμός του συγκεκριμένου υλικού των αποθέσεων με την εκρηκτική νιτρογλυκερίνη οδήγησε στην ανακάλυψη μια σταθερής και εύχρηστης δυναμίτιδας(Θεοδώρου 2004).

- Τα κυανοβακτήρια ή κυανοφύκη είναι μονοκύτταροι προκαρυωτικοί οργανισμοί, το μέγεθός τους κυμαίνεται από 2 έως 100 μm, συναντώνται σε πολλά ενδιαιτήματα παγκοσμίως (θαλάσσια και λιμναία) και είναι σημαντικοί πρωτογενείς παραγωγοί. Μία άνθιση κυανοβακτηρίων μπορεί να προκληθεί από την αυξημένη θερμοκρασία του νερού ($\geq 25^{\circ}\text{C}$), το ηλιακό φως και από την αυξημένη εισροή θρεπτικών συστατικών (άζωτο, φώσφορο). Είναι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί και έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν το ατμοσφαιρικό άζωτο σε ανόργανες μορφές (αμμώνιο ή νιτρικά). Έχει παρατηρηθεί ότι έπειτα από μία άνθηση τα κυανοβακτήρια παράγουν τοξίνες (κυανοτοξίνες), οι οποίες έχουν επίπτωση στην υγεία άλλων οργανισμών(Sanseverino et al. 2017).
- Τα κοκκολιθοφόρα είναι μονοκύτταροι οργανισμοί, διαθέτουν μαστίγια και το μέγεθός τους είναι μικρότερο από 50μm. Το εξωτερικό τους περίβλημα καλύπτεται από πλάκες ανθρακικού ασβεστίου που παράγουν οι ίδιοι και ονομάζονται κοκκόλιθοι. Τα κοκκολιθοφόρα προσλαμβάνουν το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα από τους ωκεανούς, το μετατρέπουν σε ανθρακικό ασβέστιο και το εναποθέτουν στο ίζημα. Επικρατούν σε oligοτροφικά ύδατα, με χαμηλή παραγωγικότητα(Δήμιζα 2012, Αθανασίου 2012).

1.3.2 Φυτοχρωστικές

Οι φυτοχρωστικές είναι χημικές ενώσεις, που μπορούν να απορροφούν ακτινοβολία στο ορατό φάσμα του φωτός, το οποίο κυμαίνεται από 320nm έως 800nm. Οι χρωστικές χωρίζονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες, στις χλωροφύλλες, στις ξανθοφύλλες, στα καροτένια και στις βιλιπρωτεΐνες.

- **Χλωροφύλλες**

Η χλωροφύλλη-a είναι μία από τις σημαντικότερες χρωστικές του φυτοπλαγκτού, η οποία συναντάται σχεδόν σε όλους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Μέγιστο φάσμα απορρόφησης 650-700nm (κόκκινο χρώμα) ενώ λιγότερο στο 450nm (μπλε-μωβ χρώμα). Έχει οριστεί ως δείκτης της ποιότητας αλλά και της παραγωγικότητας των υδάτινων συστημάτων λόγω της ευκολίας στον προσδιορισμό της. Οι Steele(1962) και Cullen(1982) εξέτασαν περαιτέρω τη χρήση της χλωροφύλλης-a ως δείκτη εκτίμησης της βιομάζας της πρωτογενούς παραγωγικότητας και των πρωτογενών παραγωγών(Boyer et al. 2009). Ένα θαλάσσιο οικοσύστημα διακρίνεται για την ευτροφικότητά του ανάλογα με τις τιμές των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης-a (Jorgensen & Richardson 1996). Σύμφωνα με την οδηγία Οδηγία 2000/60/EK, που αφορά τον τύπο παράκτιων υδάτων της Ανατολικής Μεσογείου, ένα οικοσύστημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως oligότροφο, μεσότροφο και εύτροφο ανάλογα με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-a, για το διαχωρισμό των επιπέδων δίνεται ο Πίνακας 2.

Πίνακας 2. Επίπεδα ευτροφισμού σύμφωνα με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-a (τροποποιημένο από Karydis 1999 και Pagou et al. 2002)-, τροποποιήθηκαν από τους Simboura et al. 2005, για να συνάδει με την κλίμακα ποιότητας που ορίζει η Οδηγία 2000/60/EK

Επίπεδα ευτροφισμού	Συγκέντρωση χλωροφύλλης-a (µg/l)
Ολιγοτροφικό	<0,1
Χαμηλό μεσοτροφικό	0,1-0,6
Υψηλό μεσοτροφικό	0,6-2,21
Ευτροφικό	>2,21

Επιπλέον χρωστικές που συναντάμε στο φυτοπλαγκτόν είναι η χλωροφύλλη-b που συναντάται κυρίως στα ανώτερα φυτά και στα πράσινα φύκη. Η χλωροφύλλη-b αυξάνει την ικανότητα της χλωροφύλλης-a να αιχμαλωτίζει το ηλιακό φως. Η χλωροφύλλη-c συναντάται στα διάτομα και στα δινομαστιγωτά, έχει τον ίδιο ρόλο με τη χλωροφύλλη-b.

- **Ξανθοφύλλες**

Είναι οξυγονούχα παράγωγα των καροτενοειδών και αποτελούνται από ενώσεις όπως ζεαξανθίνη, ασταξανθίνη, διατοξανθίνη, βιολαξανθίνη, αλλοξανθίνη, περιδίνη. Οι ξανθοφύλλες βοηθούν στις διάφορες λειτουργίες των φωτοσυνθετικών οργανισμών αλλά και στην επιβίωσή τους (Eonseon et al. 2003).

- **Καροτένια**

Τα καροτένια βρίσκονται σχεδόν σε όλα τα φωτοσυνθετικά κύτταρα και ρόλος τους είναι να δεσμεύουν το ηλιακό φως και να το μεταφέρουν στη χλωροφύλλη-a.

Αποτελούνται από τις ενώσεις α-καροτένιο, β-καροτένιο, γ-καροτένιο, ε-καροτένιο και λυκοπένιο (Wetzel 2001).

- **Βιλιπρωτεΐνες**

Οι βιλιπρωτεΐνες είναι χρωστικές πρωτεΐνης και συναντώνται στα κυανοβακτήρια, στα ροδοφύκη και στα κρυπτοφύκη. Μερικές από τις ενώσεις που αποτελούνται είναι η φυκοκυανίνη, φυκοερυθρίνη και αλλοφυκοκυανίνη(Wetzel 2001).

1.4 Σκοπός μελέτης

Η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και μελέτη των φωτοσυνθετικών χρωστικών, ως δείκτες της ποιότητας του νερού, οδήγησε στη πραγματοποίηση της μελέτης αυτής. Η παρούσα μελέτη έχει ως σκοπό την καταγραφή της ημερήσιας διακύμανσης των φυτοχρωστικών (χλωροφύλλη-a, χλωροφύλλη-b, χλωροφύλλη-c και τα καροτενοειδή) στο λιμάνι του Βόλου κατά τη φθινοπωρινή και εαρινή περίοδο(2016-2017) καθώς και την επιρροή των περιβαλλοντικών και φυσικοχημικών παραμέτρων στη μεταβολή των τιμών τους. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν μπορούν να συγκριθούν με αντίστοιχες μελέτες που έχουν διεξαχθεί στο λιμάνι του Βόλου, συνεπώς να εξάγουν συμπεράσματα για την ποιότητα των υδάτων του Παγασητικού κόλπου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιοχή δειγματοληψιών

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στο λιμάνι του Βόλου, στην περιοχή ανάμεσα από το κεντρικό κτίριο του Πανεπιστημίου και την εκκλησία του Αγ.Κωνσταντίνου, στον Παγασητικό κόλπο(Εικ.3) Ο Παγασητικός κόλπος εκτείνεται σε μία περιοχή 520 km² στην κεντρική Ελλάδα (Δυτικό Αιγαίο Πέλαγος), το βάθος του κυμαίνεται από 69 μέχρι 108 m και ο υδάτινος όγκος του είναι 36 km³. Στο νότιο σημείο του κόλπου δημιουργείται ένας διάυλος (Τρίκερι) που ενώνει τον Παγασητικό με τον Ευβοϊκό κόλπο και το Αιγαίο πέλαγος(Petihakis et al. 2002). Για πολλά χρόνια ο Παγασητικός κόλπος ήταν αποδέκτης βιομηχανικής, γεωργικής και αστικής ρύπανσης. Η εντατικοποίηση της γεωργίας οδήγησε στην επιβάρυνση του δικτύου με μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων μέσω μικρών χειμάρρων (Petihakis et al. 2004). Η δημιουργία του βιολογικού καθαρισμού λυμάτων και η σύνδεσή του με τις βιομηχανικές περιοχές του Βόλου το 1998-,οδήγησε στη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων αλλά και στην αφαίρεση του αζώτου πριν την εναπόθεση στον Παγασητικό κόλπο(Ψόχιου 2002). Η απόφαση της αποξήρανσης της λίμνης Κάρλας(1962) και η διοχέτευση των υδάτων της μέσω σήραγγας στον Παγασητικό κόλπο, είχε ως αποτέλεσμα την μεταφορά οργανικού φορτίου και θρεπτικών από το Θεσσαλικό κάμπο.-‘ Ο Παγασητικός χαρακτηρίζεται ως ολιγοτροφικός με ευτροφικές τάσεις στην περιοχή του όρμου του Βόλου, ενώ παρουσιάζει ελάχιστα αυξημένες συγκεντρώσεις θρεπτικών σε σχέση με το Αιγαίο Πέλαγος με μικρές εποχιακές διακυμάνσεις’- (Kormas et. al 2014, Παβέλη 2006).



Εικόνα 3: Περιοχή δειγματοληψιών στο λιμάνι του Βόλου, πάρκο Αγίου Κωνσταντίνου (πορτοκαλί σημείο)

(<https://maps.google.com/>)

2.2 Δειγματοληψία

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν κατά τους φθινοπωρινούς μήνες Οκτώβριο (21/10/2016) μέχρι το Νοέμβριο (18/11/2016) και όλο το μήνα Μάρτιο. Τα δείγματα συλλέχτηκαν σε ημερήσια βάση κατά τις μεσημεριανές ώρες μεταξύ 13:00-15:00. Με τη χρήση ενός κουβά γινόταν λήψη του θαλασσινού νερού, στη συνέχεια μέτρηση της θερμοκρασίας του με θερμόμετρο (σε βαθμούς Celsius) και αποθήκευση σε σκουρόχρωμο δοχείο όγκου 2L. Ο σκούρος χρωματισμός του δοχείου αποσκοπεί στην αποτροπή διείσδυσης των ηλιακών ακτινών και συνεπώς στην διατήρηση των τιμών του δείγματος μέχρι την επεξεργασία του. Επιπλέον, γινόταν καταγραφή των καιρικών φαινομένων (ηλιοφάνεια, βροχή, συννεφιά), του ανέμου καθώς και της επιφάνειας της

θάλασσας για τυχόν φερτές ύλες. Το δείγμα μεταφερόταν αμέσως στο εργαστήριο για διήθηση.

2.3 Διήθηση και αποθήκευση φίλτρων

Στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν εκ νέου μετρήσεις, όπως θερμοκρασία, αγωγιμότητα και pH. Η θερμοκρασία και η αγωγιμότητα μετρήθηκαν με συσκευή μέτρησης αγωγιμότητας ενώ το pH με πεχαμετρικό χαρτί. Στη διήθηση χρησιμοποιήθηκε πύργος διήθησης(Εικ.4) με αντλία κενού και τοποθετήθηκαν φίλτρα GF/F διαμέτρου 47mm και διαπερατότητα υλικών μεγέθους 0,7 μ m. Το δείγμα χωρίστηκε σε πλαστικούς σωλήνες των 500 ml και τοποθετήθηκε σταδιακά στη συσκευή διήθησης, στο τέλος της διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο νερό για ξέπλυμα των τοιχωμάτων από υπολείμματα του δείγματος.



Εικόνα 4: Συσκευή διήθησης νερού(προσωπικό αρχείο)

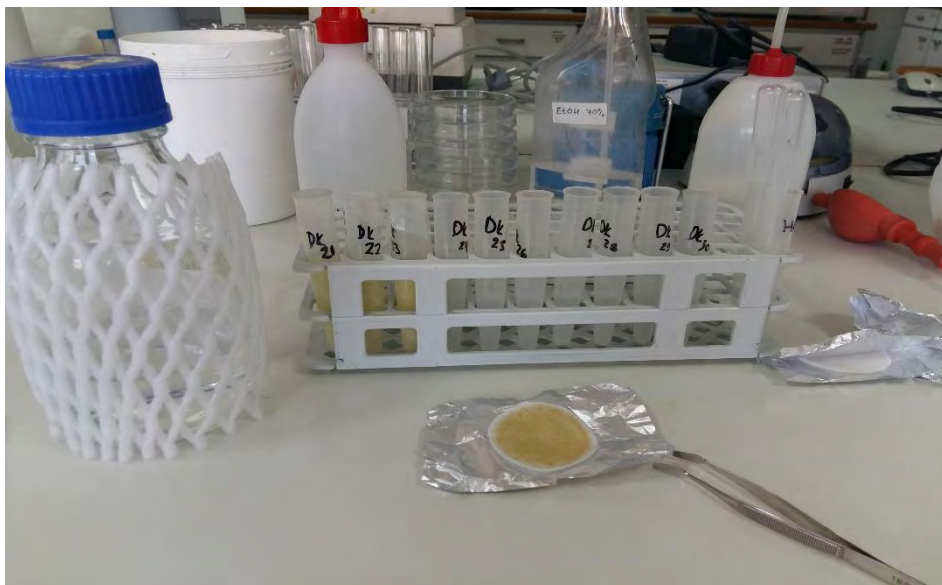
Στη συνέχεια, το φίλτρο διπλώθηκε στη μέση, καλύφθηκε με αλουμινόχαρτο, επισημάνθηκε με ημερομηνία και λίτρα νερού, τοποθετήθηκε στην κατάψυξη στους -20°C για τη διατήρηση του δείγματος μέχρι το επόμενο στάδιο της επεξεργασίας. Τα χρώματα των φίλτρων ήταν κυρίως αποχρώσεις του κίτρινου μέχρι σκούρο καφέ σε περίπτωση που υπήρχε έντονος κυματισμός την ημέρα της δειγματοληψίας(Εικ.5).



Εικόνα 5: Οι αποχρώσεις των φίλτρων GF/F σε διάστημα 5 ημερών(προσωπικό αρχείο)

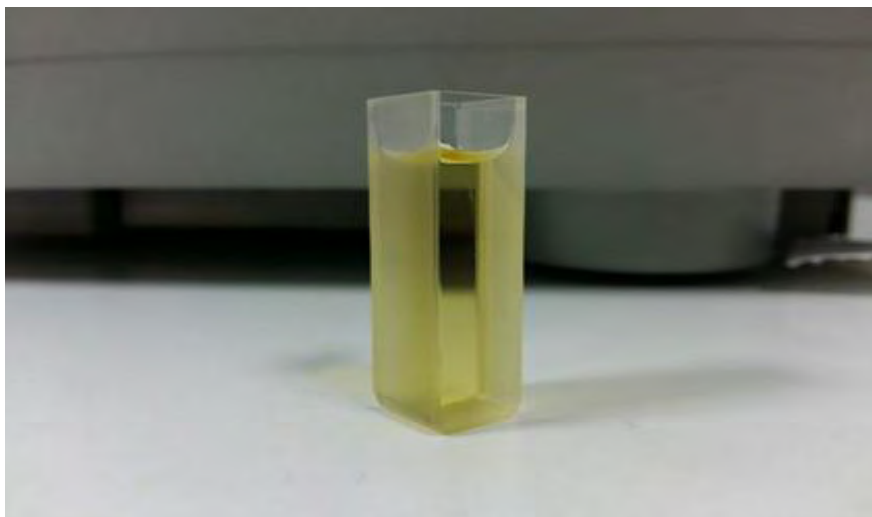
2.4 Εκχύλιση φωτοσυνθετικών χρωστικών

Έπειτα από τη συλλογή 30 δειγμάτων έγινε η προετοιμασία για φωτομετρική ανάλυση. Τα δείγματα βγήκαν από την κατάψυξη και παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου, τοποθετήθηκαν σε σωληνάρια φυγοκέντρισης 10ml και προστέθηκαν 5 ml ακετόνης συγκέντρωσης 90%(Εικ.6)Το φίλτρο με τη χρήση μιας γυάλινης ράβδου, που δεν αντιδρά με την ακετόνη, διαλύθηκε και ομογενοποιήθηκε με την ακετόνη, το σωληνάριο σκεπάστηκε με parafilm και τοποθετήθηκε στο ψυγείο σε θερμοκρασία 4°C για 24 h.



Εικόνα 6: Διαδικασία εκχύλισης των φωτοσυνθετικών χρωστικών(προσωπικό αρχείο)

Την επόμενη μέρα, τα δείγματα βγήκαν από το ψυγείο και παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου για 30 λεπτά, ύστερα τοποθετήθηκαν στη φυγόκεντρο για 20 λεπτά στις 4000 στροφές το λεπτό. Αφού φυγοκεντρήθηκαν τα δείγματα τοποθετήθηκαν με σταθερές κινήσεις, χωρίς να αναμιχθεί το υπερκείμενο υγρό με τα υπολείμματα του φίλτρου και των στερεών υλικών, σε βάση για σωληνάρια. Με τη χρήση πλαστικής πιπέτας Pasteur αφαιρέθηκε το υπερκείμενο υγρό (χωρίς να διαταραχθεί το ίζημα) και τοποθετήθηκε σε κυψελίδα χαλαζία 1 cm για φωτομέτρηση(Εικ.7). Χρησιμοποιήθηκε ίδιας ποσότητας μάρτυρας με ακετόνη 90% και τα δείγματα φωτομετρήθηκαν στα μήκη κύματος 750 nm για τη θολερότητα, 664 nm για τη χλωροφύλλη-a, 647 nm για τη χλωροφύλλη-b, 630 nm για τη χλωροφύλλη c, για τα καροτενοειδή στα 510 nm και 480 nm. Έπειτα, προστέθηκε μόνο στο δείγμα 2 σταγόνες HCl 10% (v/v) ανακινήθηκε και μετρήθηκαν ξανά τα μήκη κύματος 750 nm και 640 nm για τις φαιοφυτίνες. Σε περίπτωση που οι τιμές της θολερότητας ξεπερνούσαν το 0.006 τα δείγματα τοποθετούνταν ξανά για φυγοκέντριση.



Εικόνα 7: Υπερκείμενο υγρό δείγματος σε κυψελίδα χαλαζία (προσωπικό αρχείο)

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το φασματοφωτόμετρο τοποθετήθηκαν σε πίνακα φύλλων excel και με τους παρακάτω τύπους υπολογίστηκαν οι χλωροφύλλες a,b,c, τα ολικά καροτενοειδή και οι φαιοφυτίνες.

Χλωροφύλλη-a είναι: $\{ [11,85*(E_{664}) - 1,54*(E_{647}) - 0,08*(E_{630})] * v \} / V * I$

Χλωροφύλλη-b είναι: $\{ [21,03*(E_{647}) - 5,43*(E_{664}) - 2,66*(E_{630})] * v \} / V * I$

Χλωροφύλλη-c είναι : $\{ [24,52*(E_{630}) - 1,67*(E_{664}) - 7,60*(E_{647})] * v \} / V * I$

Ολικά καροτενοειδή είναι: $\{ [7,6*(E_{480}) - (1,49 * E_{510})] * v \} / V * I$

Φαιοφυτίνες είναι: $\{ 26,7 * [1,7*(E_{664,HCl})] - (E_{664}) \} * v / V * I$

Όπου: E750 : απορρόφηση στα 750 nm

E664,647,630 : απορρόφηση στα αντίστοιχα μήκη κύματος

E510 : απορρόφηση στα 510 nm

E480 : απορρόφηση στα 480 nm

E664,HCl : απορρόφηση στα 664 nm μετά την προσθήκη 2 σταγόνων υδροχλωρικού οξέως

v : όγκος της ακετόνης που χρησιμοποιήθηκε (ml)

V : όγκος του θαλασσινού νερού που διηθήθηκε (l)

I : το μήκος της κυψελίδας που χρησιμοποιήθηκε (cm)

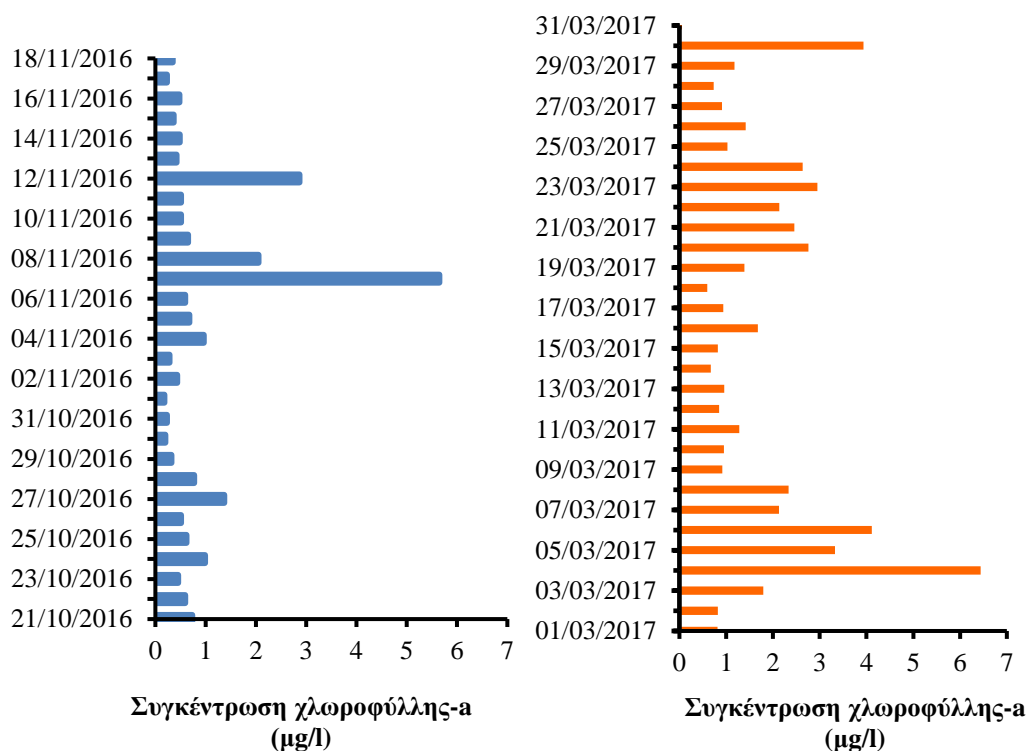
2.5 Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων

Έπειτα από την επεξεργασία των τιμών των δειγμάτων σε υπολογιστικά φύλλα Excel δημιουργήθηκαν ραβδογράμματα με τις ημερήσιες διακυμάνσεις των φυτοχρωστικών και διαγράμματα διασποράς με τη θερμοκρασία νερού στο εργαστήριο, την ηλιοφάνεια και την αγωγιμότητα. Στη συνέχεια, με τη χρήση του προγράμματος Past 3 υπολογίστηκαν οι συσχετίσεις μεταξύ των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης-a, της χλωροφύλλης-b, της χλωροφύλλης-c, των καροτενοειδών και των φαιοφυτίνων με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (βροχή, ένταση ανέμου, ηλιοφάνεια, θερμοκρασία νερού, θερμοκρασία αέρα) και την αγωγιμότητα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Διακύμανση φυτοχρωστικών

Στα παρακάτω διαγράμματα (Σχ.1,2) απεικονίζονται με μπλε χρώμα οι δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν τους μήνες Οκτώβριο με Νοέμβριο 2016 και με πορτοκαλί χρώμα οι δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν το Μάρτιο του 2017 στο λιμάνι του Βόλου.



Σχήμα 1(αριστερά),2(δεξιά): Ημερήσια διακύμανση της χλωροφύλλης-a στο λιμάνι του Βόλου.(Οκτώβριος-Νοέμβριος μπλε, Μάρτιος πορτοκαλί)

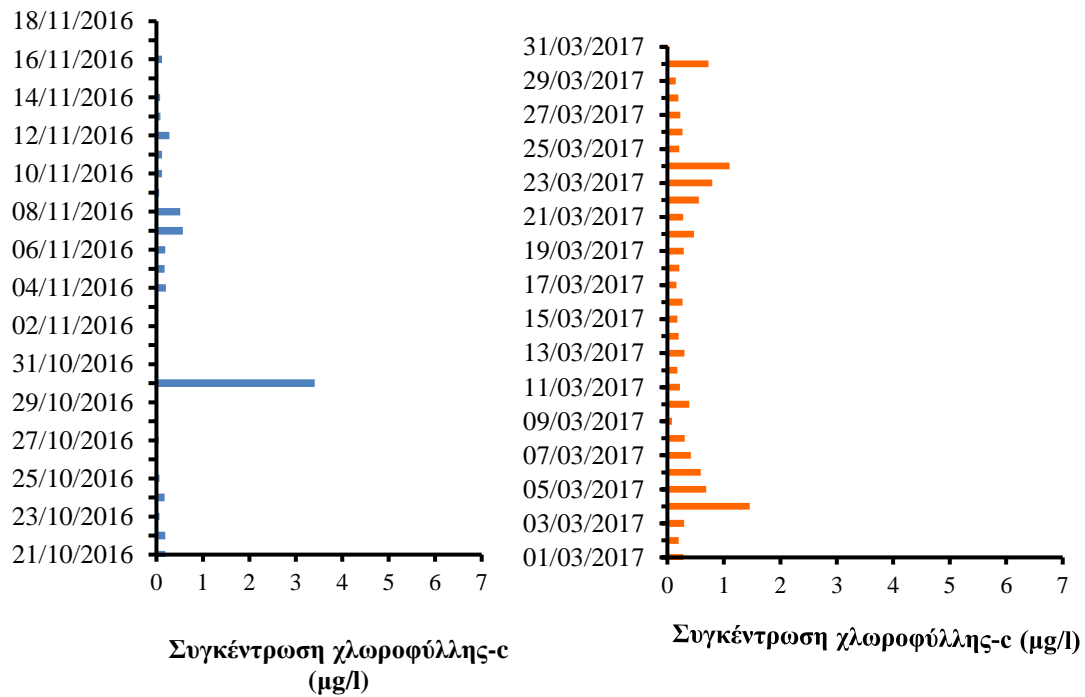
Στο σχήμα 1 απεικονίζεται η ημερήσια διακύμανση της χλωροφύλλης-a με την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται στις 07/11/2016 (5,648 µg/l) και τη χαμηλότερη στη

01/11/2016 (0,178 $\mu\text{g/l}$). Στο σχήμα 2 η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στις 04/03/2017 (6,437 $\mu\text{g/l}$) και η χαμηλότερη στις 31/03/2017 (0,055 $\mu\text{g/l}$).



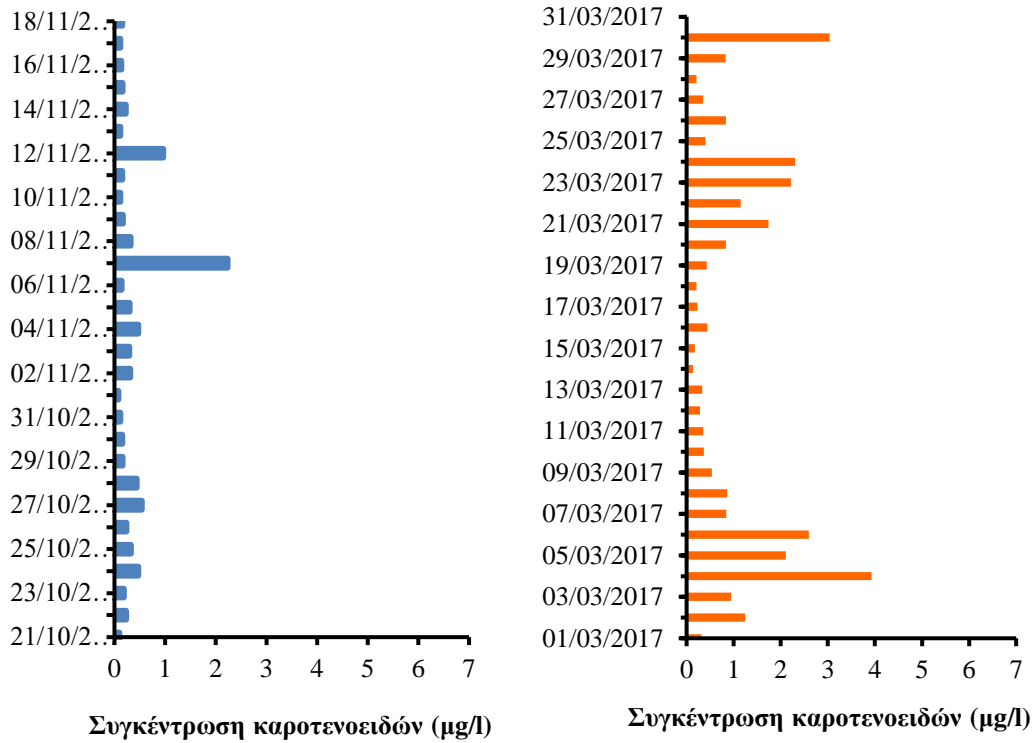
Σχήμα 3(αριστερά),4(δεξιά): Ημερήσια διακύμανση της χλωροφύλλης-b στο λιμάνι του Βόλου. (Οκτώβριος-Νοέμβριος μπλε, Μάρτιος πορτοκαλί)

Στο σχήμα 3 απεικονίζεται η ημερήσια διακύμανση της χλωροφύλλης-b με την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται στις 08/11/2016 (0,335 $\mu\text{g/l}$) και μηδενικές τιμές να παρατηρούνται από 26/10-02/11 και 17/11-18/11/2016. Στο σχήμα 4 απεικονίζεται η ημερήσια διακύμανση της χλωροφύλλης-b με την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται στις 06/03/2017 (0,565 $\mu\text{g/l}$) και μηδενικές τιμές να παρατηρούνται στις 04/03/2017, 09/03/2017, 21-22/03/2017, 24-25/03/2017 και 29-30/03/2017.



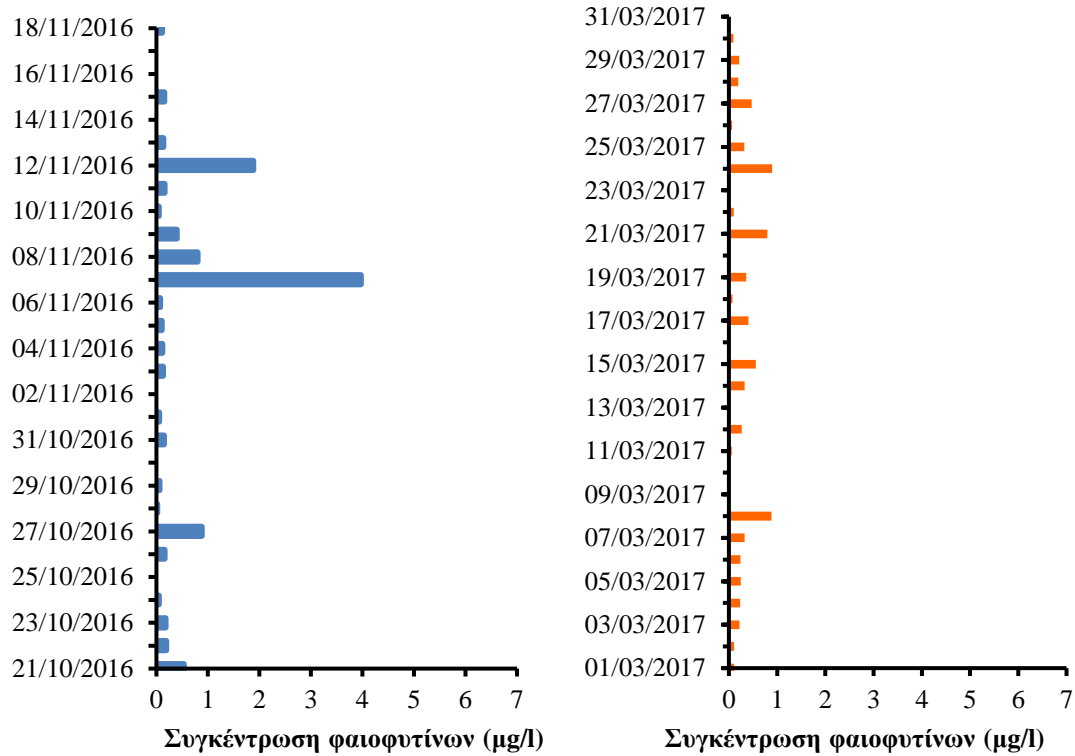
Σχήμα 5(αριστερά),6(δεξιά): Ημερήσια διακύμανση της χλωροφύλλης-*c* στο λιμάνι του Βόλου. (Οκτώβριος-Νοέμβριος μπλε, Μάρτιος πορτοκαλί)

Στο σχήμα 5 απεικονίζεται η ημερήσια διακύμανση της χλωροφύλλης-*c* με την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται στις 30/10/2016 (3,404 µg/l) και μηδενικές τιμές στις 28/10-29/10, 31/10-02/11 και στις 17/11/2016. Στο σχήμα 6 η υψηλότερη τιμή παρατηρείται στις 04/03/2017 (1,457 µg/l) και η χαμηλότερη στις 31/03/2017 (0,034 µg/l).



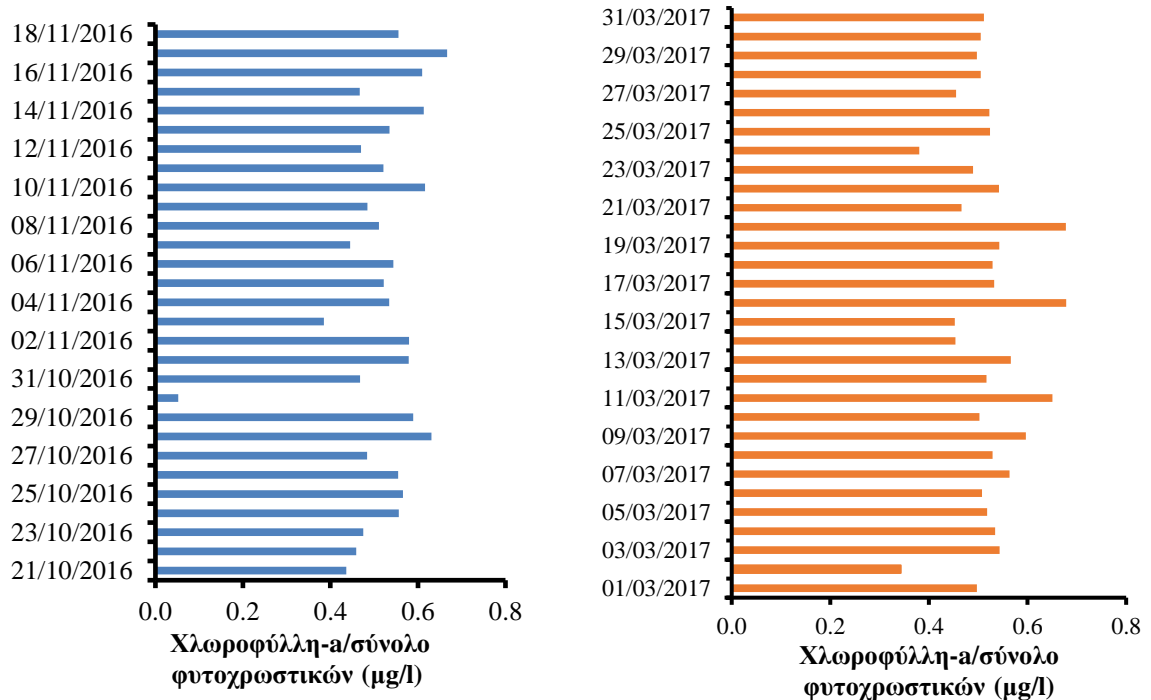
Σχήμα 7(αριστερά),8(δεξιά): Ημερήσια διακύμανση των καροτενοειδών στο λιμάνι του Βόλου.(Οκτώβριος-Νοέμβριος μπλε, Μάρτιος πορτοκαλί)

Στο σχήμα 7 απεικονίζεται η ημερήσια διακύμανση των καροτενοειδών με την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται στις 07/11/2016 (2,235µg/l) και χαμηλότερη στη 01/11/2016 (0.076 µg/l). Στο σχήμα 8 η υψηλότερη τιμή παρατηρείται στις 04/03/2017 (3,926 µg/l) και μηδενική στις 31/03/2017.



Σχήμα 9(αριστερά),10(δεξιά): Ημερήσια διακύμανση των φαιοφυτίνων στο λιμάνι του Βόλου.
(Οκτώβριος-Νοέμβριος μπλε, Μάρτιος πορτοκαλί)

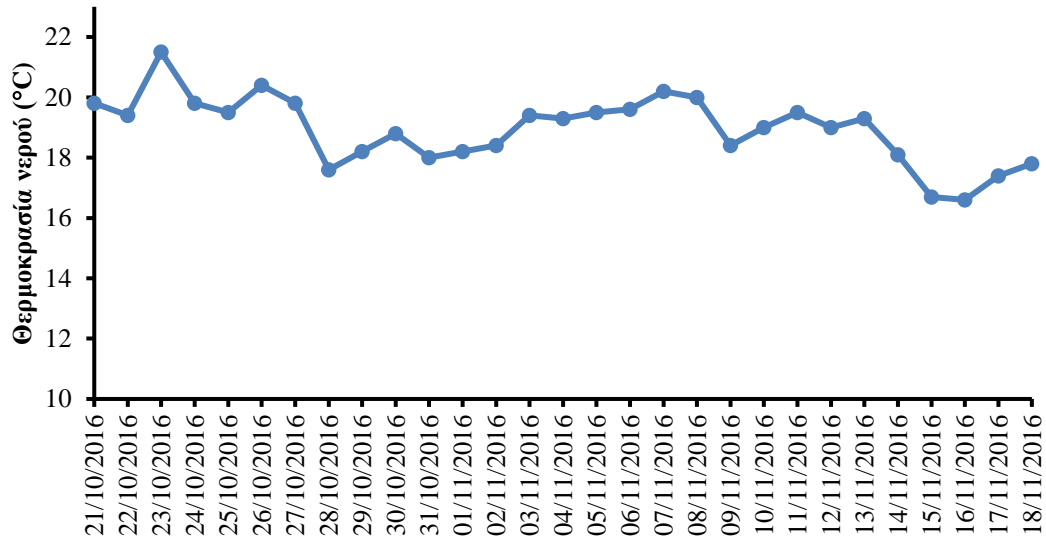
Στο σχήμα 9 απεικονίζεται η ημερήσια διακύμανση των φαιοφυτίνων με την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται στις 07/11/2016 (3,965 μg/l) και μηδενικές τιμές στις 25/10, 30/10, 02/11, 14/11, 16-17/11. Στο σχήμα 10 η υψηλότερη τιμή παρατηρείται στις 24/03/2017 (0,894 μg/l) και μηδενική στις 09-10/03/2017, 13/03/2017, 20/10/2017, 23/03/2017 και στις 31/03/2017.



Σχήμα 11(αριστερά),12(δεξιά): Ημερήσια διακύμανση του λόγου της χλωροφύλλης-α προς το σύνολο των φυτοχρωστικών (Οκτώβριος-Νοέμβριος μπλε, Μάρτιος πορτοκαλί).

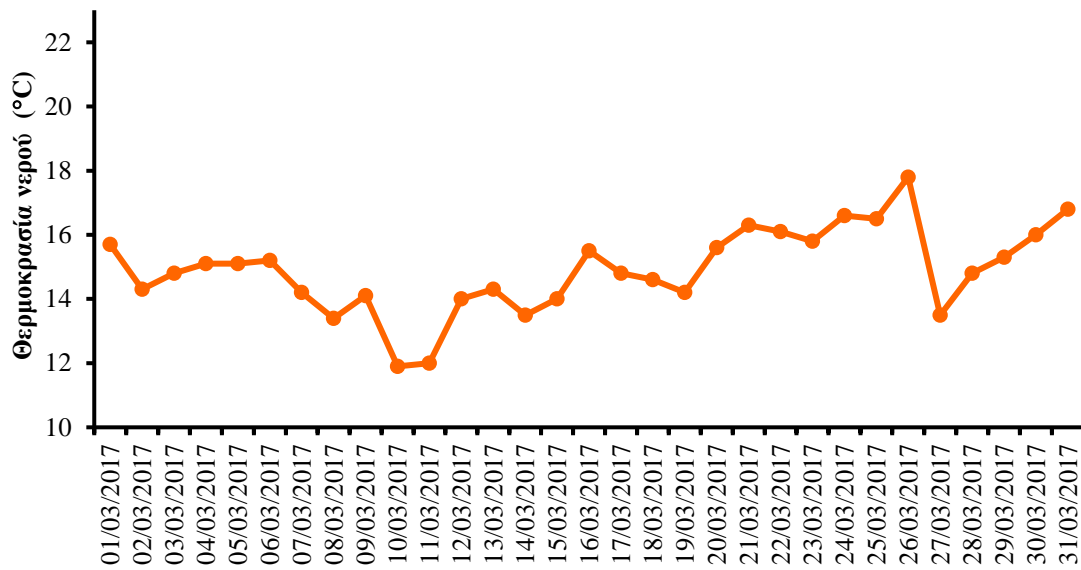
Στο σχήμα 11 υπολογίστηκε ο λόγος της χλωροφύλλης-α προς το σύνολο των φυτοχρωστικών με την υψηλότερη τιμή να καταγράφεται στις 17 /11/2016 (0,667 μg/l) και τη χαμηλότερη στις 30/10/2016(0,052 μg/l). Στο σχήμα 12 η υψηλότερη τιμή παρατηρείται στις 16 και 20/03/2017 (0,678 μg/l) και τη χαμηλότερη στις 02/03/2017 (0,343 μg/l).

3.2 Διακύμανση περιβαλλοντικών παραμέτρων



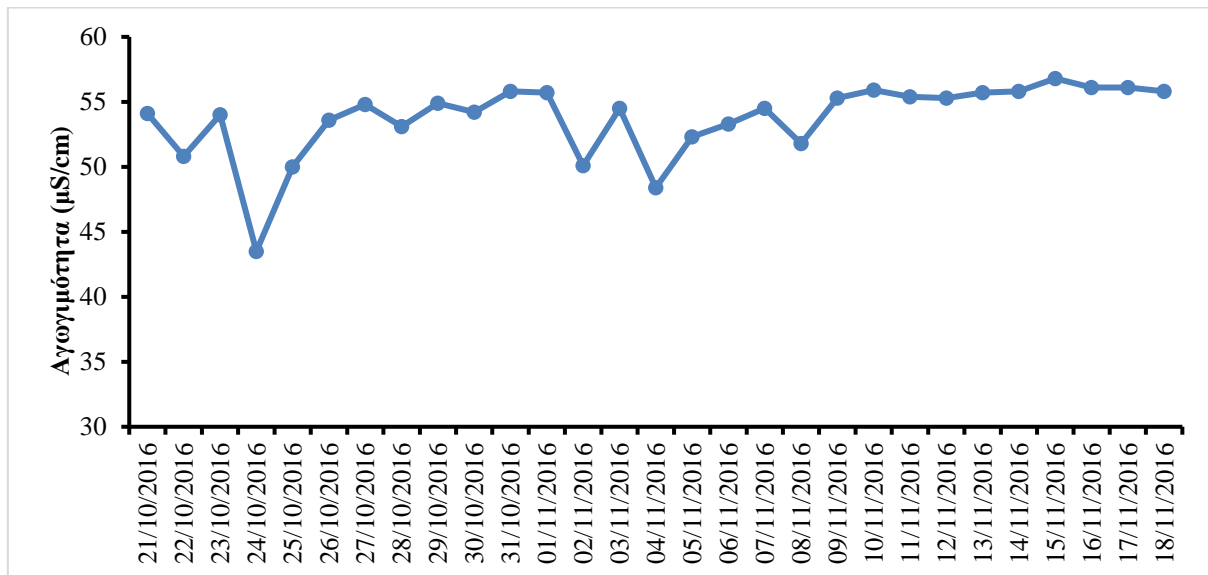
Σχήμα 13: Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας νερού στο λιμάνι του Βόλου. (μετρήσεις εργαστηρίου, Οκτώβριος-Νοέμβριος)

Στο σχήμα 13 απεικονίζεται η ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας νερού του δείγματος με τις τιμές να κυμαίνονται από 16,6°C μέχρι 21,5°C. Η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε στις 16/11/2016 και υψηλότερη στις 23/10/2016.



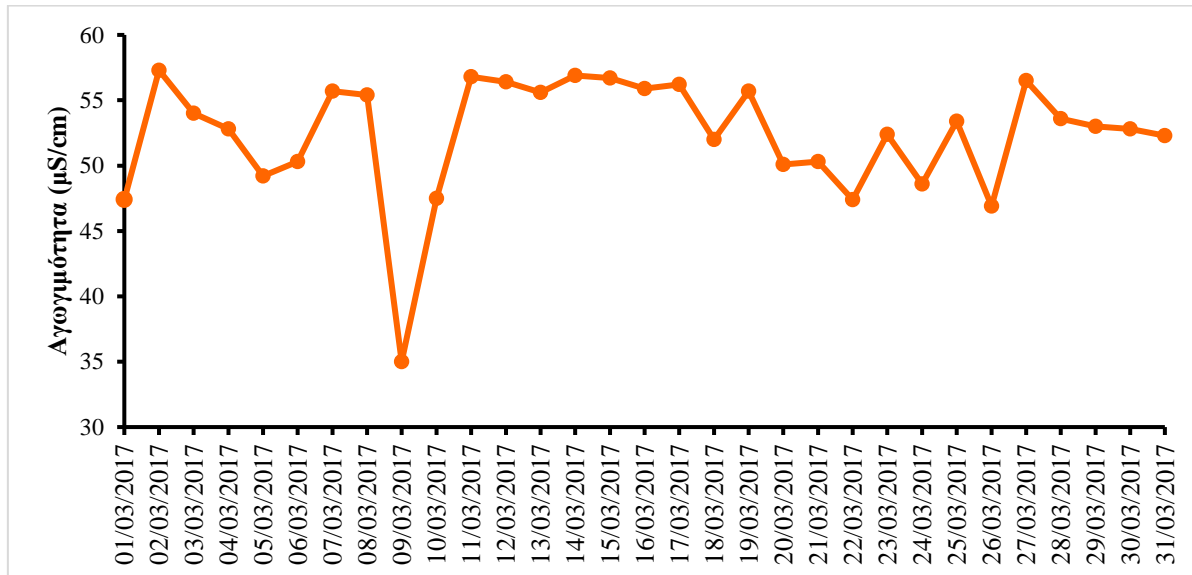
Σχήμα 14: Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας νερού στο λιμάνι του Βόλου. (μετρήσεις εργαστηρίου, Μάρτιος).

Στο σχήμα 14 απεικονίζεται η ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας νερού του δείγματος με τις τιμές να κυμαίνονται από 11,9°C μέχρι 17,8°C. Η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε στις 10/03/2017 και υψηλότερη στις 26/03/2017.



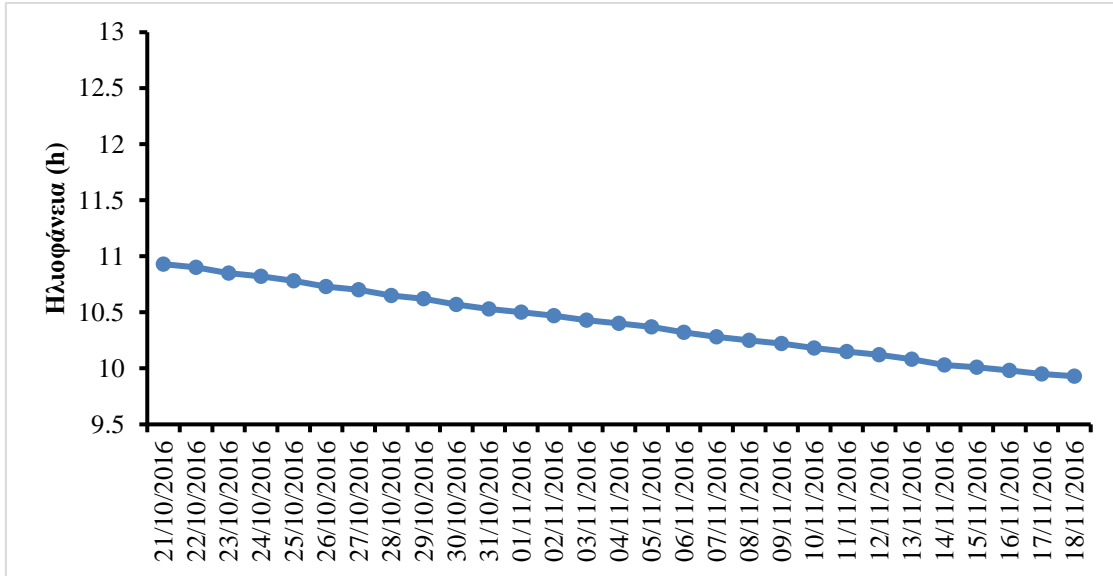
Σχήμα 15: Ημερήσια διακύμανση της αγωγιμότητας του νερού στο λιμάνι του Βόλου (μετρήσεις εργαστηρίου, Οκτώβριος-Νοέμβριος)

Στο σχήμα 15 απεικονίζεται η ημερήσια διακύμανση της αγωγιμότητας του νερού του δείγματος με τις τιμές να κυμαίνονται από 43,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ μέχρι 56,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε στις 24/10/2016 και υψηλότερη στις 15/11/2016.



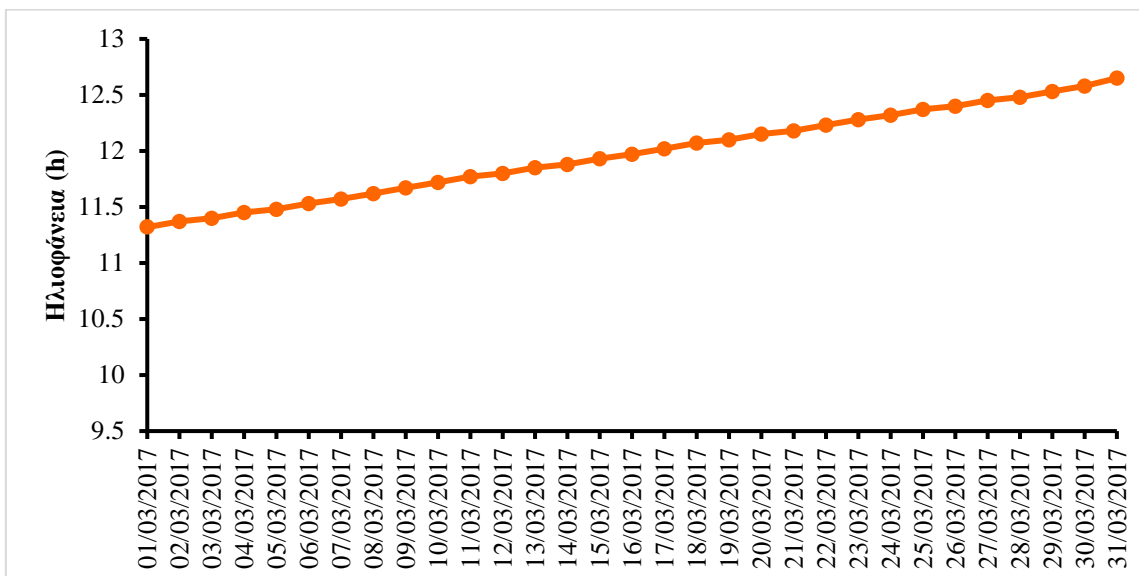
Σχήμα 16: Ημερήσια διακύμανση της αγωγιμότητας του νερού στο λιμάνι του Βόλου (μετρήσεις εργαστηρίου, Μάρτιος)

Στο σχήμα 16 απεικονίζεται η ημερήσια διακύμανση της αγωγιμότητας του νερού με την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται στις 02/03/2017 (57,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$) και χαμηλότερη (35,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$) στις 09/03/2017.



Σχήμα 17: Ημερήσια διακύμανση της διάρκειας της ηλιοφάνειας κατά την περίοδο των δειγματοληψιών.

Στο σχήμα 17 απεικονίζονται οι ώρες διάρκειας της ηλιοφάνειας την περίοδο που διεξήχθη το πείραμα, με τις τιμές να κυμαίνονται από 9,93 ώρες μέχρι 10,93 ώρες. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στις 21/10/2016 και η υψηλότερη στις 18/11/2016.



Σχήμα 18: Ημερήσια διακύμανση της διάρκειας της ηλιοφάνειας κατά την περίοδο των δειγματοληψιών.

Στο σχήμα 18 απεικονίζονται οι ώρες διάρκειας της ηλιοφάνειας την περίοδο που διεξήχθη το πείραμα, με τις τιμές να κυμαίνονται από 11,32 ώρες μέχρι 12,65 ώρες. Η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε την πρώτη μέρα του μήνα και η υψηλότερη την τελευταία. Οι τιμές του pH παρέμειναν σταθερές σε όλη τη διάρκεια του πειράματος στους 7,5 βαθμούς.

3.3 Η επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στις ημερήσιες διακυμάνσεις των φυτοχρωστικών

Πίνακας 3: Συσχέτιση των φυτοχρωστικών με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες

	Οκτώβριος- Νοέμβριος 2016				
Αγωγιμότητα	R²	p	Βροχή	R²	p
Χλωροφύλλη-a	0,004	0,743	Χλωροφύλλη-a	0,002	0,808
Χλωροφύλλη-b	0,051	0,237	Χλωροφύλλη-b	0,012	0,577
Χλωροφύλλη-c	0,000	0,923	Χλωροφύλλη-c	0,001	0,861
Καροτενοειδή	0,014	0,542	Καροτενοειδή	0,003	0,761
Φαιοφυτίνες	0,010	0,599	Φαιοφυτίνες	0,002	0,816
Θερμοκρασία νερού	R²	p	Ένταση Ανέμου	R²	p
Χλωροφύλλη-a	0,107	0,084	Χλωροφύλλη-a	0,026	0,404
Χλωροφύλλη-b	0,164	0,029	Χλωροφύλλη-b	0,023	0,431
Χλωροφύλλη-c	0,005	0,712	Χλωροφύλλη-c	0,000	0,939
Καροτενοειδή	0,079	0,139	Καροτενοειδή	0,010	0,604
Φαιοφυτίνες	0,090	0,115	Φαιοφυτίνες	0,051	0,240
Θερμοκρασία αέρα	R²	p	Ηλιοφάνεια	R²	p
Χλωροφύλλη-a	0,296	0,002	Χλωροφύλλη-a	0,007	0,675
Χλωροφύλλη-b	0,475	3,5155E-05	Χλωροφύλλη-b	0,000	0,936
Χλωροφύλλη-c	0,011	0,584	Χλωροφύλλη-c	0,007	0,670
Καροτενοειδή	0,197	0,016	Καροτενοειδή	0,000	0,912
Φαιοφυτίνες	0,225	0,009	Φαιοφυτίνες	0,008	0,642

Η συσχέτιση των περιβαλλοντικών παραγόντων με τις φυτοχρωστικές πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Past 3 και τα αποτελέσματα καταγράφηκαν στον παραπάνω πίνακα (Πίν. 3). Οι συγκεντρώσεις των φυτοχρωστικών συσχετίστηκαν με την αγωγιμότητα, τη βροχή, τη θερμοκρασία του νερού, την ένταση του ανέμου, τη θερμοκρασία του αέρα και την ηλιοφάνεια. Για τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο οι φυτοχρωστικές παρουσίασαν στατιστικά σημαντική συσχέτιση ($p < 0,05$) με τη θερμοκρασία του νερού και τη θερμοκρασία του αέρα. Πιο συγκεκριμένα, η χλωροφύλλη-b παρουσίασε στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τη θερμοκρασία του νερού, με την τιμή του p να είναι 0,029 και του R^2 0,164. Επιπλέον, η χλωροφύλλη-a, τα καροτενοειδή και οι φαιοφυτίνες παρουσίασαν στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τη θερμοκρασία του αέρα. Οι τιμές του p και του R^2 κυμάνθηκαν ως εξής, για τη χλωροφύλλη-a $p=0,296$ και $R^2=0,002$, για τα καροτενοειδή $p=0,197$ και $R^2=0,016$, για τις φαιοφυτίνες $p=0,225$ και $R^2=0,009$.

Πίνακας 4: Συσχέτιση των φυτοχρωστικών με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες

	Μάρτιος 2017				
Αγωγιμότητα	R²	p	Βροχή	R²	p
Χλωροφύλλη-a	0,011	0,570	Χλωροφύλλη-a	0,023	0,420
Χλωροφύλλη-b	0,001	0,874	Χλωροφύλλη-b	0,009	0,603
Χλωροφύλλη-c	0,016	0,497	Χλωροφύλλη-c	0,044	0,256
Καροτενοειδή	0,027	0,379	Καροτενοειδή	0,026	0,387
Φαιοφυτίνες	0,049	0,234	Φαιοφυτίνες	0,046	0,245
Θερμοκρασία νερού	R²	p	Ένταση Ανέμου	R²	p
Χλωροφύλλη-a	0,053	0,214	Χλωροφύλλη-a	0,151	0,031
Χλωροφύλλη-b	0,018	0,469	Χλωροφύλλη-b	0,000	0,919
Χλωροφύλλη-c	0,056	0,201	Χλωροφύλλη-c	0,145	0,035
Καροτενοειδή	0,107	0,072	Καροτενοειδή	0,159	0,027
Φαιοφυτίνες	0,000	0,971	Φαιοφυτίνες	0,006	0,686
Θερμοκρασία αέρα	R²	p	Ηλιοφάνεια	R²	p
Χλωροφύλλη-a	0,047	0,243	Χλωροφύλλη-a	0,039	0,289
Χλωροφύλλη-b	0,000	0,914	Χλωροφύλλη-b	0,076	0,133
Χλωροφύλλη-c	0,024	0,404	Χλωροφύλλη-c	0,015	0,517
Καροτενοειδή	0,065	0,166	Καροτενοειδή	0,013	0,537
Φαιοφυτίνες	0,011	0,580	Φαιοφυτίνες	0,000	0,906

Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων για το μήνα Μάρτιο παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα (Πίν.4). Η ένταση του ανέμου ήταν ο μοναδικός παράγοντας που παρουσίασε στατιστικά σημαντική συσχέτιση ($p < 0,05$) με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-a, της χλωροφύλλης-c και των καροτενοειδών. Για τη χλωροφύλλη-a το p ήταν 0,031 και το $R^2=0,151$, για τη χλωροφύλλη-c το p ήταν 0,035 και το $R^2=0,145$, για τα καροτενοειδή το p ήταν 0,027 και το $R^2=0,159$. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των συσχετίσεων η ένταση του ανέμου επηρέασε τις τιμές της χλωροφύλλης-a, της χλωροφύλλης-c και των καροτενοειδών. Στον παρακάτω πίνακα (Πίν. 5) παρατίθενται οι τιμές της έντασης του ανέμου καθώς και της βροχόπτωσης.

Πίνακας 5: Ημερήσιες διακυμάνσεις της βροχόπτωσης και της έντασης του ανέμου.

	Βροχή (mm)	Ένταση ανέμου (km/hr)		Βροχή (mm)	Ένταση ανέμου (km/hr)
21/10/2016	0,0	3,2	01/03/2017	2,8	4.4
22/10/2016	23,6	2,9	02/03/2017	0,0	7.1
23/10/2016	0,0	2,1	03/03/2017	0,0	2.4
24/10/2016	1,0	1,6	04/03/2017	0,0	2.8
25/10/2016	0,0	1,9	05/03/2017	0,0	2.0
26/10/2016	0,2	2,0	06/03/2017	0,0	3.3
27/10/2016	0,8	2,5	07/03/2017	0,0	3.1
28/10/2016	1,6	2,1	08/03/2017	3,4	5.2
29/10/2016	0,0	2,0	09/03/2017	36,0	2.4
30/10/2016	0,0	3,3	10/03/2017	3,2	4.9
31/10/2016	0,0	16,7	11/03/2017	29,2	13.2
01/11/2016	0,0	7,0	12/03/2017	0,0	10.4
02/11/2016	0,0	2,2	13/03/2017	0,4	4.7
03/11/2016	0,0	2,0	14/03/2017	0,0	6.0
04/11/2016	0,0	3,0	15/03/2017	0,0	4.2
05/11/2016	0,0	2,3	16/03/2017	0,0	5.1
06/11/2016	0,0	3,1	17/03/2017	0,0	5.2
07/11/2016	0,0	6,5	18/03/2017	0,0	2.7
08/11/2016	1,4	5,9	19/03/2017	0,0	4.2
09/11/2016	4,4	5,2	20/03/2017	0,0	2.4
10/11/2016	0,0	3,3	21/03/2017	0,0	2.6
11/11/2016	0,0	4,0	22/03/2017	0,0	2.7
12/11/2016	0,0	4,1	23/03/2017	0,0	2.6
13/11/2016	0,0	4,6	24/03/2017	0,0	2.4
14/11/2016	0,0	1,5	25/03/2017	0,0	2.5
15/11/2016	2,8	2,0	26/03/2017	0,0	3.9
16/11/2016	0,6	2,7	27/03/2017	0,0	7.4
17/11/2016	0,0	1,8	28/03/2017	0,0	3.1
18/11/2016	0,0	1,5	29/03/2017	0,0	3.8
			30/03/2017	0,0	3.0
			31/03/2017	0,0	6.3

Μία ακόμη συσχέτιση πραγματοποιήθηκε μεταξύ των φυτοχρωστικών του Οκτωβρίου-Νοεμβρίου με αυτών του Μαρτίου. Το υπολογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το t-test (spss). Τα αποτελέσματα του προγράμματος εμφάνισαν μία στατιστικά σημαντική συσχέτιση ($p < 0,05$) μεταξύ της χλωροφύλλης-a των δύο δειγματοληψιών.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Σύγκριση της παρούσας μελέτης με Πάσχου (2016), Αγγελακόπουλου (2016), Καλαϊτζάκη & Μάρκου (2017) και Τζιώγα (2018)

Οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για τη διακύμανση των φυτοχρωστικών στο λιμάνι του Βόλου είναι της Πάσχου(2016) μπροστά από την εκκλησία του Αγ.Κωνσταντίνου, του Αγγελακόπουλου(2016) στην περιοχή των αλιευτικών σκαφών, των Καλαϊτζάκη & Μάρκου(2017) κοντά στο Βιολογικό καθαρισμό του Βόλου και της Τζιώγας(2018) μπροστά από το πάρκο του Αγ.Κωνσταντίνου όπως στην παρούσα εργασία. Η μελέτη της Πάσχου(2016) παρουσίασε συσχέτιση της χλωροφύλλης-a με την αγωγιμότητα ($R=0,541$) και τον άνεμο ($R=0,363$) κατά τις δειγματοληψίες του Οκτωβρίου-Νοεμβρίου 2015. Αντίθετα, η μελέτη του Αγγελακόπουλου(2016) ένα χρόνο μετά παρουσίασε στατιστικώς σημαντική διαφορά με τη θερμοκρασία ($R=0,4520$), τον άνεμο ($R=0,3730$) και τη βροχή ($R=0,418$). Στη μελέτη της Τζιώγας(2018) που πραγματοποιήθηκε από 16/03/2016-16/12/2016 η χλωροφύλλη-a συσχετίστηκε με την αγωγιμότητα ($R^2=0,503$), τη θερμοκρασία νερού ($R^2=0,200$), τη θερμοκρασία του αέρα ($R^2=0,164$) και με την ηλιοφάνεια ($R^2=0,255$). Ενώ στη μελέτη των Καλαϊτζάκη & Μάρκου(2017) (5/04/2016-29/06/2016) δεν παρουσιάστηκε καμία συσχέτιση της χλωροφύλλης-a με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Στην παρούσα εργασία οι τιμές της χλωροφύλλης-a παρουσίασαν στατιστικώς σημαντική συσχέτιση με την Θερμοκρασία του αέρα θερμοκρασία ($R^2=0,296$) κατά τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο ενώ με την ένταση του ανέμου($R^2=0,151$) το μήνα Μάρτιο.

Η χλωροφύλλη-b παρουσίασε συσχέτιση μόνο με τη θερμοκρασία του νερού ($R^2=0,164$) κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. Στην Πάσχου(2016) με την αγωγιμότητα ($R=0,364$), στις Καλαϊτζάκη & Μάρκου(2017) με τη θερμοκρασία νερού ($R^2=0,091$) ενώ στον Αγγελακόπουλο(2016) και την Τζιώγα(2018) με την θερμοκρασία ($R=0,642$), ($R^2= 0,277$) και τις ώρες ηλιοφάνειας($R=0,656$), ($R^2=0,173$). Ακόμη, από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας, των Καλαϊτζάκη & Μάρκου(2017) και του Αγγελακόπουλου(2016) φαίνεται η χλωροφύλλη-c να επηρεάζεται από την ένταση του ανέμου σε τρεις διαφορετικές περιόδους, την εαρινή($R=0,145$), την καλοκαιρινή($R=0,548$) και τη φθινοπωρινή($R=0,409$) αντίστοιχα. Ωστόσο, στη μελέτη της Πάσχου(2016) υπάρχει σημαντική συσχέτιση με την αγωγιμότητα ($R=0,358$) και στις Τζιώγας(2018) δεν υπάρχει συσχέτιση της χλωροφύλλης-c με κάποιο περιβαλλοντικό παράγοντα.

Τα καροτενοειδή σε αυτή τη μελέτη παρουσίασαν συσχέτιση με την ένταση του ανέμου($R^2=0,159$) την εαρινή περίοδο και με τη θερμοκρασία($R^2=0,197$) την φθινοπωρινή, ενώ στη μελέτη του Αγγελακόπουλου(2016) κατά τη φθινοπωρινή περίοδο των δειγματοληψιών με την ένταση του ανέμου($R=0,361$), τη θερμοκρασία ($R=0,484$) και τη βροχή($R=0,374$). Στη μελέτη της Τζιώγας(2018) τα καροτενοειδή επηρεάστηκαν από την αγωγιμότητα($R^2=0,376$), τη θερμοκρασία του αέρα ($R^2= 0,440$), τη θερμοκρασία νερού($R^2=0,436$) και την ηλιοφάνεια($R^2= 0,180$). Τα αποτελέσματα της Πάσχου(2016) έδειξαν ότι υπάρχει αλληλεπίδραση με το pH ($R=0,518$), την αγωγιμότητα($R= 0,726$), τον άνεμο($R= 0,345$) και τις ώρες ηλιοφάνειας($R=0,439$). Στις Καλαϊτζάκη & Μάρκου(2017) τα καροτενοειδή δεν

εμφάνισαν κάποια σημαντική στατιστική συσχέτιση με κάποιο περιβαλλοντικό παράγοντα. Στη παρούσα μελέτη οι φαιοφυτίνες εμφάνισαν συσχέτιση με τη θερμοκρασία του αέρα ($R^2=0,225$) κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μελέτες που δεν παρουσίασαν συσχέτιση με κάποιο περιβαλλοντικό παράγοντα.

4.2 Συγκεντρώσεις φυτοχρωστικών

4.2.1 Ημερήσιες διακυμάνσεις της χλωροφύλλης-a

Στο Σχήμα 1 καταγράφονται οι ημερήσιες διακυμάνσεις της χλωροφύλλης-a κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. Η υψηλότερη τιμή που παρατηρήθηκε ήταν $5,648\mu\text{g/l}$ (07/11/2016) με μέση τιμή συγκέντρωσης χλωροφύλλης-a στα $0,844\pm 1,086\mu\text{g/l}$. Την επόμενη ημέρα η τιμή της χλωροφύλλης-a μειώθηκε στα $2,050\mu\text{g/l}$ και παρουσίασε μία αύξηση ξανά στις 12/11/2016 ($2,869\mu\text{g/l}$). Οι ημερήσιες καταγραφές των περιβαλλοντικών συνθηκών οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι αιτία της αύξησης των τιμών των φυτοχρωστικών τις συγκεκριμένες ημέρες ήταν ο έντονος κυματισμός που ανακάτεψε τη θάλασσα με φύκη (ή μακροφύκη) και φύλλα. Παρόμοιες τιμές αναφέρθηκαν στη μελέτη του Αγγελακόπουλου (2016) όπου η μέση τιμή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-a την ίδια περίοδο ήταν $0,77\mu\text{g/l}$ καθώς και στη μελέτη της Πάσχου(2016) όπου οι τιμές κυμάνθηκαν από $0,345\mu\text{g/l}$ έως $3,216\mu\text{g/l}$ (Οκτώβριος-Νοέμβριος 2015). Οι Kormas et. al (2014) εντόπισαν την τιμή της στα $0,83\mu\text{g/l}$ (Σεπτέμβρης) στο Τρίκερι, ενώ οι τιμές της Μποζατζίδου(2013) στο Θερμαϊκό κόλπο κυμάνθηκαν από $0,111\mu\text{g/l}$ έως $3,846\mu\text{g/l}$ κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-a στη μελέτη της Παπίας(προσωπική επαφή), κατά την ίδια περίοδο στο λιμάνι του Βόλου, ήταν $0,7\pm 0,004\mu\text{g/l}$. Τα αποτελέσματα των μελετών (Αγγελακόπουλος, 2016; Πάσχου,2016; Τζιώγα, 2018) συμφωνούν με

αυτά της παρούσας εργασίας κατατάσσοντας το λιμάνι του Βόλου στα υψηλά μεσότροφα συστήματα κατά τη διάρκεια του Φθινοπώρου.

Στην παρούσα μελέτη η υψηλότερη τιμή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-a ήταν 6,437 $\mu\text{g/l}$ και παρατηρήθηκε το Μάρτιο στις 04/03/2017 (Σχ.2). Αντίστοιχη υψηλή τιμή καταγράφηκε προς το τέλος του μήνα στις 30/03/2017 (3,935 $\mu\text{g/l}$). Παρατηρώντας τον Πίνακα 5, οι τιμές της βροχόπτωσης και της έντασης του ανέμου δεν παρουσίασαν απότομες αλλαγές, συνεπώς η αύξηση των τιμών της χλωροφύλλης-a τις συγκεκριμένες ημέρες οφείλεται σε φερτά υλικά. Στο σημείο δειγματοληψίας επικρατούσε ηλιοφάνεια, με ελάχιστο κυματισμό και η επιφάνεια της θάλασσας είχε φύλλα, φύκη και σκουπίδια. Σύμφωνα με τον Πίνακα 3 η χλωροφύλλη-a παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική συσχέτιση με τη θερμοκρασία του αέρα ενώ σύμφωνα με τον Πίνακα 4 με την ένταση του ανέμου. Η μέση τιμή της χλωροφύλλης-a ήταν για την εαρινή περίοδο $1,774 \pm 1,337 \mu\text{g/l}$ χαρακτηρίζοντας το λιμάνι του Βόλου (Πιν.2) υψηλό μεσοτροφικό. Αντίστοιχα, στη μελέτη της Τζιώρας(2018) που πραγματοποιήθηκε στο λιμάνι του Βόλου κατά την εαρινή περίοδο η μέση τιμή της χλωροφύλλης-a ήταν $0,8 \pm 0,44 \mu\text{g/l}$, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι οι συνθήκες που επικρατούν στο λιμάνι του Βόλου είναι υψηλές μεσοτροφικές. Στην μελέτη της Πάγκου & Ασημακοπούλου(1997) που πραγματοποιήθηκε στο Θερμαϊκό κόλπο(Μάρτιο) η μέση τιμή της χλωροφύλλης-a ήταν 4,351 $\mu\text{g/l}$, γεγονός που οφείλεται στις εισροές θρεπτικών και αστικών λυμάτων στον κόλπο. Τα παράκτια συστήματα είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στις μεταβολές που οφείλονται σε εισροές θρεπτικών ουσιών χερσαίας ή ανθρωπογενούς προέλευσης, οι ακτές της Αιγύπτου-Ισραήλ-Λιβάνου και η Καταλανική ακτή παρουσίασαν θετικές τάσεις συγκέντρωσης χλωροφύλλης λόγω εισροών θρεπτικών που προέρχονται από ανθρωπογενείς δράσεις (Collera et al. 2016). Σύμφωνα

με τους Petihakis et.al 2005 πιστεύεται ότι στο λιμάνι του Βόλου ένα μεγάλο ποσοστό των θρεπτικών συστατικών εισέρχεται στο σύστημα μέσω ενός δικτύου μικρών χειμάρρων. Από τα αποτελέσματα των φυτοχρωστικών της παρούσας μελέτης προκύπτει ότι οι υψηλότερες τιμές της εργασίας παρατηρήθηκαν το Μάρτιο, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι κατά την εαρινή περίοδο η αφθονία της τροφής και η ηλιακή ακτινοβολία προκαλούν την άνθιση του φυτοπλαγκτού.

4.2.2 Ημερήσιες διακυμάνσεις της χλωροφύλλης-b

Αναλύοντας τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας η μεγαλύτερη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-b για το μήνα Μάρτιο(2017) βρέθηκε στα 0,565μg/l, ενώ για τον Οκτώβριο-Νοέμβριο(2016) στα 0,335μg/l (Σχ.1,2). Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος η χλωροφύλλη-b είχε τις χαμηλότερες τιμές από τις υπόλοιπες φυτοχρωστικές. Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης-b ήταν $0,068 \pm 0,105 \mu\text{g/l}$ για το Μάρτιο(2017) και $0,059 \pm 0,080 \mu\text{g/l}$ για τους Οκτώβριο-Νοέμβριο(2016). Ο μοναδικός περιβαλλοντικός παράγοντας συσχέτισης με τη φυτοχρωστική ήταν η θερμοκρασία νερού ($R^2=0,164$, $p<0,05$) κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. Οι τιμές της χλωροφύλλης-b παρέμειναν σε χαμηλά επίπεδα χωρίς σημαντικές διακυμάνσεις καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης, κάτι που παρατηρήθηκε και στις μελέτες των Αγγελακόπουλου (2016), Πάσχου (2016), Καλαϊτζάκη & Μάρκου (2017), Τζιώγας (2018).

4.2.3 Ημερήσιες διακυμάνσεις της χλωροφύλλης-c

Η υψηλότερη τιμή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-c που καταγράφηκε τον Οκτώβριο-Νοέμβριο ήταν 3.404 $\mu\text{g/l}$ στις 30/10/2016 και η μέση τιμή ήταν $0,232\pm 0,626\mu\text{g/l}$. Την εαρινή περίοδο η υψηλότερη τιμή βρέθηκε 1,457 $\mu\text{g/l}$ στις 04/03/2017 και η μέση τιμή ήταν $0,378\pm 0,306\mu\text{g/l}$. Η χλωροφύλλη-a, η χλωροφύλλη-c και τα καροτενοειδή παρουσίασαν στατιστικώς σημαντική συσχέτιση με την ένταση του ανέμου κατά την εαρινή περίοδο (Μάρτιο). Στη μελέτη που πραγματοποίησε ο Αγγελακόπουλος(2016) στο λιμάνι του Βόλου (αλιευτικά σκάφη) κατέληξε ότι η χλωροφύλλη-c έχει θετική συσχέτιση με την ένταση του ανέμου. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν οι Καλαϊτζάκη & Μάρκου(2017) μελετώντας την περιοχή έναντι του βιολογικού καθαρισμού του Βόλου. Στις μελέτες των Gabrielson και Lukatelich(1985) και Small(1963) ο άνεμος είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την οριζόντια και κατακόρυφη κατανομή του φυτοπλαγκτού, μεταφέρει την αιωρούμενη ύλη, τις θρεπτικές ουσίες από τον πυθμένα στην επιφάνεια και οργανισμούς όπως το ζωοπλαγκτόν.

4.2.4 Ημερήσιες διακυμάνσεις των Καροτενοειδών

Τα καροτενοειδή είναι η δεύτερη ομάδα φυτοχρωστικών με τις υψηλότερες τιμές στην παρούσα μελέτη φτάνοντας τα 2,235 $\mu\text{g/l}$ τον Οκτώβριο-Νοέμβριο (07/11/2016) και τα 3,926 $\mu\text{g/l}$ το Μάρτιο(04/03/2017), οι μέσες τιμές ήταν $0,323\pm 0,411\mu\text{g/l}$ και $0,976\pm 0,975\mu\text{g/l}$ αντίστοιχα. Εκτός από τη στατιστικώς σημαντική συσχέτιση με τον άνεμο, τα καροτενοειδή εμφάνισαν θετική συσχέτιση με τη θερμοκρασία του αέρα.

4.2.5 Ημερήσιες διακυμάνσεις των Φαιοφυτίνων

Η υψηλότερη τιμή που καταγράφηκε στις ημερήσιες διακυμάνσεις των φαιοφυτίνων για τη φθινοπωρινή περίοδο ήταν 3,965 $\mu\text{g/l}$ (07/11/2016) με μέση τιμή 0,356 \pm 0,795 $\mu\text{g/l}$, ενώ για την εαρινή ήταν 0,894 $\mu\text{g/l}$ (24/03/2017) με μέση τιμή 0,245 \pm 0,253 $\mu\text{g/l}$. Στην παρούσα μελέτη η θερμοκρασία του αέρα ήταν η μόνη παράμετρος συσχέτισης με τις φαιοφυτίνες, στις υπόλοιπες μελέτες οι φαιοφυτίνες δεν παρουσίασαν καμία συσχέτιση με κάποιο περιβαλλοντικό παράγοντα. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, ο λόγος της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-a / (χλωροφύλλη-a + φαιοφυτίνες) παρουσιάζει τις ανθίσεις νέου φυτοπλαγκτού που πραγματοποιήθηκαν σε ημερήσια βάση. Σύμφωνα με τις δειγματοληψίες του Οκτωβρίου-Νοεμβρίου όλες οι τιμές βρέθηκαν πάνω από το 50% με μέση τιμή 80,6%, γεγονός που υποδηλώνει την άνθιση του φυτοπλαγκτού. Οι ανθίσεις νέου φυτοπλαγκτού παρατηρήθηκαν σε όλες τις δειγματοληψίες του Μαρτίου καθώς οι τιμές του λόγου των συγκεντρώσεων ήταν πάνω από 50% με μέση τιμή 86,7%. Τα αποτελέσματα της μελέτης των Καλαϊτζάκη & Μάρκου(2017) στην περιοχή του βιολογικού καθαρισμού του Βόλου έδειξαν ότι μόνο τα 4 στα 9 δείγματα(εαρινή περίοδο) είχαν τιμές πάνω από 50%, αντίθετα στη μελέτη της Τζιώγας(2018) υπήρχαν ανθίσεις νέου φυτοπλαγκτού καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών(αδημοσίευτα δεδομένα).

4.3 Περιβαλλοντικοί Παράγοντες

4.3.1 Θερμοκρασία νερού

Η θερμοκρασία νερού για τους μήνες Οκτώβριο-Νοέμβριο(2016) κυμάνθηκε από 16,6°C μέχρι 21,5°C, ενώ το Μάρτιο(2017) από 11,9°C μέχρι 17,8°C. Η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχικότητα και την

ατμοσφαιρική θερμοκρασία παρουσιάζοντας τις υψηλότερες τιμές κατά το θέρος. Κατά τους χειμερινούς μήνες οι τιμές της θαλάσσιας θερμοκρασίας στο Βόρειο Αιγαίο Πέλαγος κυμαίνονται από 13°C φτάνοντας τους 24°C στο νότιο τμήμα (Poulos et al. 1996). Στη μελέτη των Kormas et al. (2014) για τον Παγασητικό κόλπο η μέση θερμοκρασία νερού ήταν 12,9±0,2°C για τον Απρίλη και 18,5±5,1°C για το Σεπτέμβρη.

4.3.2 Αγωγιμότητα

Οι τιμές της αγωγιμότητας κατά τη φθινοπωρινή περίοδο κυμάνθηκαν από 43,5 μS/cm μέχρι 56,8 μS/cm και την εαρινή από 35,0 μS/cm μέχρι 57,3 μS/cm. Οι μέσες τιμές της αγωγιμότητας για την περίοδο των δειγματοληψιών ήταν 53,71±2,88 μS/cm για τις ημέρες δειγματοληψίας το φθινόπωρο και 52,39±4,60 μS/cm για την άνοιξη. Η μέση τιμή της αγωγιμότητας στη μελέτη της Τζιώγας (αδημοσίευτα δεδομένα) για την ίδια περίοδο ήταν 49,4±3,78 mS ενώ στη μελέτη της Παπαδήμου (2017) για τα Κ.Λεχώνια ήταν 55,3±0,54 mS.

4.3.3 Ηλιοφάνεια

Οι ημερήσιες τιμές της διάρκειας της ηλιοφάνειας ήταν 9,93 ώρες μέχρι 10,93 ώρες για το φθινόπωρο (Οκτώβριος-Νοέμβριος 2016), ενώ 11,32 και 12,65 ώρες ηλιοφάνειας για την άνοιξη (Μάρτιος 2017). Οι εύκρατες ζώνες χαρακτηρίζονται από έντονη ηλιοφάνεια και χαμηλά ποσοστά θρεπτικών, οι μέγιστες τιμές παραγωγικότητας παρατηρούνται σε δύο περιόδους, το φθινόπωρο και την άνοιξη (Μπουφίδου 2018). Στην παρούσα μελέτη η ηλιοφάνεια δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τις χλωροφύλλες, αντίθετα στη μελέτη της Τζιώγας (2018) σχεδόν όλες οι φυτοχρωστικές συσχετίστηκαν με τις ώρες ηλιοφάνειας. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης κατατάσσουν το λιμάνι του Βόλου στα υψηλά μεσοτροφικά συστήματα. Οι απότομες αλλαγές στις τιμές των φυτοχρωστικών

προέκυψαν από την πρόσμιξη φερτών υλικών όπως φύλλα και φύκη. Επίσης, οι ημερήσιες διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των φυτοχρωστικών οφείλονταν στην επιρροή των περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η θερμοκρασία νερού και ο άνεμος. Η συσχέτιση των περιβαλλοντικών παραμέτρων με τις διακυμάνσεις των φυτοχρωστικών επιβάλλει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Arrigo K. R. (2005). Marine microorganisms and global nutrient cycles. *Nature*, 437(7057):349-355

Barnes R. S. K., Hughes R. N. (1999) *An Introduction to Marine Ecology* (e-book). Blackwell Science Ltd, 3rd edition, 1:1-8

Boyer J. N., Kelble C. R., Ortner P. B., Rudnick D. T. (2009) Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. *Elsevier*, 9:56-67

Carpenter S. R. (2005) Eutrophication of aquatic ecosystems: Bistability and soil phosphorus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102:10002-10005

Colella S., Falcini F., Rinaldi E., Sammartino M., Santoleri R. (2016) Mediterranean Ocean Colour Chlorophyll Trends. *PLOS ONE*, 1-16

Cullen J.J. (1982) The deep chlorophyll maximum Comparing vertical profiles of chlorophyll a. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 39:791–803.

Dussart B. H. (1965) *Hydrobiologia*. Springer, 26:72

Eonseon J., Polle J. E.W., Lee H. K., Hyun S. M., Chang M. (2003) Xanthophylls in Microalgae: From Biosynthesis to Biotechnological Mass Production and Application. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 13:165–174

Gabrielson J.O., Lukatelich R.J. (1985) Wind-related resuspension of sediments in the Peel-Harvey estuarine system. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 20:135-145

Jorgensen B., Richardson K. (1996) *Eutrophication: definition history and effects in eutrophication in coastal, marine ecosystems, coastal and estuarine studies*. Elsevier.

Karydis M. (1999). Evaluation of the trophic levels in Greek coastal ecosystems. Scientific Report, University of Aegean.

Kormas Ar. K., Karayanni H., Christaki U., Giannakourou A., Assimakopoulou G., Gotsis-Skretas O. (2014) Microbial Food Web Structure and Its Impact on Primary Production in a Meso-Oligotrophic Coastal Area (Pagasitikos Gulf, Aegean Sea). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 14: 527-537

McLean R.F., Tsyban A., Burkett V., Codignott J.O., Forbes D.L., Mimura N., Beamish R.J., Ittekkot V. (2001) *Coastal Zones and Marine Ecosystems*. Cambridge University Press, 343-379

Pagou K., Siokou – Frangou I., Papathanassiou E. (2002). Nutrients and their ratios in relation to eutrophication and HAB occurrence. The case of Eastern Medoterranean coastal waters. Second Workshop on Thresholds of Environmental Sustainability: The case of nutrients, 18 – 19 June, Brussels

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, 6th International Symposium Proceedings: a multi-disciplinary Symposium on Coastal Zone Research, Management and Planning, Porto, Portugal, volume:2

Petihakis G., Triantafyllou G., Theodorou A. (2004) Application of a complex management tool in Pagasitikos Gulf, Proceedings of the 7th PanHellenic Geographic Conference

Poulos S.E., Drakopoulos P., Collins M.B. (1996). Seasonal fluctuations in sea surface temperature, water budgets and circulation patterns in the Aegean Sea (eastern Mediterranean): an overview Journal of Marine Systems, 13, p 225-244.

Sanseverino I., Conduto A., Diana S., Loos R., Lettieri T. (2017) Cyanotoxins: methods and approaches for their analysis and detection. Joint Research Centre Technical Report

Simboura N., Panayotidis P., Papathanasiou E. (2005). A synthesis of the biological quality elements for the implementation of the European Water Framework Directive in the Mediterranean ecoregion: The case of Saronikos Gulf. Elsevier, pp 253-266

Steele J.H. (1962). Environmental control of photosynthesis in the sea. Limnology and Oceanography 7:137–150

Stewart R. H. (2008). Introduction to physical oceanography. Faculty Publications

Small L. F. (1963) Effect of wind on the distribution of chlorophyll a in cleat lake, Iowa. Association for the Science of Limnology and Oceanography, 426-432

Wetzel R. G. (2001), Limnology: lake and river ecosystems. Academic Press, San Diego, California, Chapter 2(4th proof), p 47 and Chapter 3(4th proof), p63

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αγγελικόπουλος P. (2016) Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωστικών στο λιμάνι αλιευτικών σκαφών του Βόλου. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ.44

Αθανασίου Α. (2012) Κλιματική μεταβολή στο ανώτερο ολόκαινο: παλαιοωκεανογραφική έρευνα κοκκολιθοφόρων σε ιζήματα του Αιγαίου πελάγους. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.138

Βερροϊόπουλος Γ. (2015) Οδηγός αναγνώρισης ζωοπλαγκτονικών οργανισμών. Πανεπιστήμιο Αθηνών

Βρυώνης Παναγιώτης (2013) Μελέτη των πεδίων ανάμειξης γλυκού και αλμυρού νερού με βάση εποχιακές μεταβολές φυσικοχημικών παραμέτρων. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 322

Δήμιζα Μ.Δ., Τριανταφύλλου Μ.Β., Κρασακοπούλου Ε (2012) Δυσμορφία κοκκόλιθων σε φυσικές συγκεντρώσεις κοκκολιθοφόρων από το Αιγαίο πέλαγος. Επιστημονική Επετηρίδα, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 101: 23-30

Δουκάκης Ε. (2017) Εκτίμηση των επιπτώσεων της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης και των κυματικών καταγίδων στην ελληνική παράκτια ζώνη. Hellenic Center for Marine Research

- Θεοδώρου Ι. Α. (2004) Ωκεανογραφία: Εισαγωγή στο Θαλάσσιο Περιβάλλον. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε, Αθήνα, σελ.712
- Καλαϊτζάκη Ο., Μάρκου Μ. (2017) Χρονική κατανομή των φυτοχρωσικών στη θαλάσσια περιοχή κοντά στην έξοδο του ρεύματος Μπουρμπουλήθρα, Βόλος, Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ.30
- Μποζατζίδου Μ. (2013) Εκτίμηση της Οικολογικής Ποιότητας των Υδάτων στην Παράκτια Ζώνη του Δήμου Θερμαϊκού (με βάση το φυτοπλαγκτό). Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ.80
- Μπουφίδου Θ. (2018) Μελέτη των μεταβολών της αλατότητας και της χλωροφύλλης στο Θερμαϊκό κόλπο και της εξάρτησής τους από μετεωρολογικές παραμέτρους. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 17
- Παβέλη Α. (2006) Ανάλυση περιβαλλοντικών παραγόντων στον Παγασητικό κόλπο. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 84
- Πάγκου Κ., Ασημακοπούλου Γ. (1997) Εποχιακή κατανομή της χλωροφύλλης α, σύμφωνα με την τάξη μεγέθους των φυτοπλαγκτονικών κυττάρων, στον Θερμαϊκό κόλπο. Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Τόμος 1
- Παπαδήμου Σ. (2017) Εποχική διακύμανση φυτοχρωσικών στα Κάτω Λεχώνια Μαγνησίας, Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ.34
- Παπανικολοπούλου Α. Α. (2012) Χρήση εργαστηριακών μικρόκοσμων για τη μελέτη αυτοοργάνωσης και διαταραχών φυτοπλαγκτονικών συνευρέσεων. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
- Πάσχου Μ. (2016) Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωσικών στο λιμάνι του Βόλου. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ.25
- Σαββάκης Ε. (2014) Πληθυσμιακή κατανομή των καβουριών *Liocarnicus depurator* και *Goneplax rhomboids* στον Παγασητικό κόλπο. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 45
- Στεργίου Κ., Τσίκληρας Α. (2015) Αλιευτική βιολογία και αλιεία [ηλεκτρ. βιβλ.]. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα, 3:1-22
- Τζιώγα Ι. (2018) Εβδομαδιαία διακύμανση φυκοκυανίνης στο λιμάνι του Βόλου. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ.34
- Φυτιανός Κ. (1996) Η ρύπανση των θαλασσών. UNIVERSITY STUDIO PRESS Α.Ε, Θεσσαλονίκη, pp 337
- Χαραλαμπίδης Λ. (2005) Γεωχημικές μελέτες στα λιμάνια του Πειραιά, του Λαυρίου και της Ραφήνας και στον κόλπο της Ελευσίνας. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πειραιώς
- Ψόγιου Ε.Ν., (2002) Εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης του Παγασητικού κόλπου : συμβολή στην αιφορική διαχείριση του. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, σελ.187

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phytoplankton_bloom_in_the_Baltic_Sea_\(July_3,_2001\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phytoplankton_bloom_in_the_Baltic_Sea_(July_3,_2001).jpg),

NASA: http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=5020

<https://www.clab.edc.uoc.gr/arca/gr/coast/>

www.meteo.gr

<https://www.nationalgeographic.com/environment/2018/08/news-longest-red-tide-wildlife-deaths-marine-life-toxins/>

6. ABSTRACT

TITTLE: Autumn and spring diel variations of phytoplankton pigments in the Volos harbor, Greece

Coastal ecosystems are characterized by rich diversity and productivity, they have always been an attraction point for the settlement of population, the construction of ports and recreation areas. Continuous anthropogenic interventions have led to the degradation of coastal ecosystems, resulting in the need to manage and record their situation. A semi-closed system such as Pagasitikos Gulf is a recipient of urban, agricultural and industrial pollution due to the surrounding activities. In this study, chlorophyll-a was used as an indicator of environmental assessment for the port of Volos. Therefore, the purpose of this study was the record of daily variation of photosynthetic pigments (chlorophyll-a, chlorophyll-b, chlorophyll-c, carotenoids, phaeophytins) in the port of Volos in October-November (2016) and March (2017). Higher photosynthetic pigments were observed in spring period (04/03/2017), the predominant photosynthetic pigment was chlorophyll-a at 6,437 $\mu\text{g/l}$ and an average of 1,774 \pm 1,340 $\mu\text{g/l}$. In autumn, the maximum record of chlorophyll-a was 5,648 $\mu\text{g/l}$ (07/11/2016) with an average of 0,844 \pm 1,09 $\mu\text{g/l}$. Additionally, a correlation between photosynthetic pigments and environmental factors showed their influence on value's fluctuations. The environmental factors that showed a statistically significant correlation with photosynthetic pigments were water temperature, air temperature and wind intensity. Chlorophyll-b had the lowest concentration (mean autumn= 0,059 \pm 0,08 $\mu\text{g/l}$, mean spring=0,068 \pm 0,10 $\mu\text{g/l}$) throughout the study, as did chlorophyll-c (mean autumn=0,232 \pm 0,63 $\mu\text{g/l}$, mean spring=0,378 \pm 0,31 $\mu\text{g/l}$). In this study's records,

Carotenoids had the second highest concentration of photosynthetic pigments (mean autumn= $0,323\pm 0,41\mu\text{g/l}$, mean spring= $0,976\pm 0,98\mu\text{g/l}$). In addition, the ratio of chlorophyll-a to chlorophyll-a plus phaeophytins ($\text{chlorophyll-a} / (\text{chlorophyll-a} + \text{phaeophytins})$) estimates the daily phytoplankton blooms which were observed during all samplings in October-November and March. According to the results, the port of Volos is characterized by high-mesotrophic conditions both in autumn and spring. The variation, recorded at the daily samples, demonstrates the importance of monitoring photosynthetic pigments daily.

Keywords: photosynthetic pigments, daily variations, port of Volos, chlorophyll-a