

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

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωστικών στο λιμάνι του Βόλου»

Πάσχου Μαρία

ΒΟΛΟΣ 2016

«Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωστικών στο λιμάνι του Βόλου»

Διμελής 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 και Τεχνολογιών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, ***Μέλος***

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Κωνσταντίνο Κορμά για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και την κ. Ήρα Καραγιάννη για τις χρήσιμες συμβουλές της και την καθοδήγησή της στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα Νικούλη Ελένη για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά της, όσον αφορά την προμήθεια εργαστηριακού υλικού και την αμέριστη συμπαράστασή της κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της δυναμικής των υδάτινων και χερσαίων συστημάτων βασίζεται κατά κύριο λόγο στην πρωτογενή παραγωγή. Η παραγωγή αυτή εκτελείται από φωτοαυτότροφους προκαρυωτικούς και ευκαρυωτικούς μικροοργανισμούς, οι οποίοι ονομάζονται μικροφύκη. Η ικανότητά τους να φωτοσυνθέτουν βασίζεται στις διάφορες φωτοσυνθετικές χρωστικές που περιέχουν στα κυτταρά τους. Η κυριότερη και σημαντικότερη από αυτές, η χλωροφύλλη-α, αποτελεί σημαντικό οικολογικό δείκτη ρύπανσης ενός θαλάσσιου οικοσυστήματος από ευτροφισμό. Είναι σημαντικό να υπάρχει εκτίμηση της σύνθεσης της κοινότητας του φυτοπλαγκτού διότι αποτελεί απαραίτητη γνώση για να κατανοηθεί η δομή και η δυναμική των θαλάσσιων οικοσυστημάτων αλλά και οι φυσικές και χημικές διεργασίες που επηρεάζουν τη βιολογική δραστηριότητα των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης ήταν να εκτιμηθεί η ημερήσια μεταβολή των φωτοσυνθετικών χρωστικών ουσιών (χλωροφύλλη-α, χλωροφύλλη-β, χλωροφύλλη-γ και τα καροτενοειδή) ως δείκτες της παρουσίας των διαφόρων ομάδων φυτοπλαγκτού στο λιμάνι του Βόλου από τις 13/10/15 μέχρι 11/11/15. Επιπλέον, μελετήθηκαν οι επιδράσεις φυσικο-χημικών παραμέτρων του θαλάσσιου νερού στις μεταβολές των παραπάνω φυτοχρωστικών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης-α, στο λιμάνι του Βόλου, επικρατούν υψηλές μεσοτροφικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης αποτελούν μία από τις πρώτες μελέτες που διεξήχθησαν τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Μεσόγειο σε ημερήσια χρονική κλίμακα. Στο λιμάνι του Βόλου παρατηρήθηκαν αρκετές διαφοροποιήσεις σε όλες τις χρωστικές σε κάθε μία από τις ημερήσιες δειγματοληψίες. Παρόλαυτα, η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α καθώς και η

αναλογία της σε σύγκριση με τις συνολικές χρωστικές είχε τα υψηλότερα ποσοστά σε όλη την μελέτη. Οι συγκεντρώσεις των καροτενοειδών ήταν λίγο χαμηλότερες από εκείνες της χλωροφύλλης-α, αλλά αρκετά υψηλότερες από εκείνες της χλωροφύλλης-β και χλωροφύλλης-γ. Από την μελέτη αυτή προκύπτει ότι μεταβολές στις συγκεντρώσεις των φυτοχρωστικών επηρεάστηκαν από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, οι ώρες ηλιοφάνειας και ο άνεμος. Οι αλλαγές αυτές που παρατηρήθηκαν σε ημερήσια βάση αποδεικνύουν την σημασία της τακτικής παρακολούθησης των φυτοχρωστικών των θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

Λέξεις κλειδιά: ημερήσιες μεταβολές, χλωροφύλλες, περιβαλλοντικοί παράγοντες

. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	I
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Γενικές πληροφορίες για τα μικροφύκη.....	1
1.2. Κυριότερες φωτοσυνθετικές χρωστικές.....	2
1.3. Σημαντικότερες ομάδες φυτοπλαγκτού.....	4
1.4. Σκοπός της μελέτης.....	6
2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	7
2.1. Περιοχή μελέτης.....	7
2.2. Δειγματοληψία.....	7
2.3. Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων.....	8
3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	11
4.ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	16
4.1. Σύγκριση των δύο μελετών.....	16
4.2. Διακυμάνσεις της χλωροφύλλης-α.....	18
5.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	21
5.1. Ξένη Βιβλιογραφία.....	21
5.2.Ελληνική Βιβλιογραφία.....	23

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικές πληροφορίες για τα μικροφύκη

Σ' ένα οικοσύστημα, το πρώτο βήμα για την ροή της ενέργειας και των υλικών μέσα σε αυτό πραγματοποιείται από τους πρωτογενείς παραγωγούς. Το οργανικό υλικό που συντίθεται από αυτούς τους παραγωγούς αποτελεί την βάση για τον κύκλο του άνθρακα και όλων των στοιχείων που χρησιμοποιούν οι μικροοργανισμοί και οι μακροοργανισμοί και υποστηρίζει όλες τις τροφικές αλυσίδες της βιόσφαιρας. Οι βιογεωχημικοί κύκλοι και η δυναμική των τροφικών αλυσίδων εξαρτώνται από τη βιομάζα των πρωτογενών παραγωγών, την ταυτότητά τους, τα ποσοστά χρήσης διοξειδίου του άνθρακα και της παραγωγής βιομάζας. Οι μικροοργανισμοί που επιτελούν πρωτογενή παραγωγή είναι σημαντικοί τόσο σε παγκόσμια όσο και σε τοπική κλίμακα. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αφθονία τους στους ωκεανούς, καθώς αντιπροσωπεύουν περίπου το ήμισυ του συνόλου της παγκόσμιας παραγωγής, ενώ το υπόλοιπο αποτελείται από επίγεια ανώτερα φυτά (Kirchman, 2012).

Όλοι οι φωτοαυτότροφοι μικροοργανισμοί, είτε είναι ευκαρυωτικοί είτε είναι προκαρυωτικοί, ονομάζονται μικροφύκη και αυτοί που επιπλέουν ελεύθερα στα υδάτινα ενδιαιτήματα είναι γνωστοί ως φυτοπλαγκτόν. Τα φύκη είναι υπεύθυνα από τη μια για τη δημιουργία ενός μεγάλου ποσοστού του οξυγόνου το οποίο υπάρχει στη γήινη ατμόσφαιρα και από την άλλη για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων οργανικού άνθρακα. Οι φωτοαυτότροφοι αυτοί μικροοργανισμοί αποτελούν τους βασικούς συντελεστές στη διαμόρφωση της βιοποικιλότητας με εκτιμώμενο αριθμό ειδών από 36.000 έως > 10 εκατομμύρια. Κάθε είδος εμφανίζει ένα μοναδικό

συνδυασμό γνωρισμάτων και έτσι διαδραματίζει έναν ή περισσότερους ρόλους στα οικοσυστήματα (Graham 2011).

1.2 Κυριότερες Φωτοσυνθετικές Χρωστικές

Η παρουσία των φωτοσυνθετικών χρωστικών-χλωροφύλλων, καροτενοειδών και βιλιπρωτεϊνών στα φύκη αποτελεί θεμελιώδες γνώρισμά τους. Η χλωροφύλλη-α αποτελεί, για όλους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς που εκλύουν οξυγόνο, την κύρια φωτοσυνθετική χρωστική και είναι παρούσα σε όλα τα κυανοβακτήρια, φύκη καθώς και σε άλλους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς εκτός από τα φωτοσυνθετικά θειοβακτήρια (Wetzel, 2001). Η χλωροφύλλη-α απορροφάται σε μήκη κύματος που αντιστοιχούν περισσότερο στο κόκκινο χρώμα του φάσματος (κοντά στα 650-700 nm) και λιγότερο στο μπλε-μωβ χρώμα (κοντά στα 450 nm). Για αυτό τον λόγο αποτελεί την κυρίαρχη χρωστική των φυτοπλαγκτικών οργανισμών που ζουν στα ανώτερα στρώματα της εύφωτης ζώνης. Η χλωροφύλλη-α συναντάται σε φυτοπλαγκτικούς οργανισμούς που ζουν στα κατώτερα μέρη της εύφωτης ζώνης. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του νερού όπως και η σύνθεση των ειδών του φυτοπλαγκτού επηρεάζουν την περιεκτικότητα της φυτοπλαγκτικής βιομάζας σε χλωροφύλλη-α (Tryphon, 1997).

Σύμφωνα με τον Βρυώνη (2013) είναι σημαντικό να γνωρίζουμε για τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α σε ένα οικοσύστημα γιατί αυτή έχει μεγάλη οικολογική αξία. Πιο συγκεκριμένα η χλωροφύλλη-α δίνει πολύτιμες πληροφορίες για την εκτίμηση της βιομάζας του φυτοπλαγκτού σε μια θαλάσσια περιοχή διαδραματίζοντας πρωταρχικό ρόλο στη φωτοσύνθεση, αφού δεσμεύει την ηλιακή ενέργεια. Επιπλέον η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α αποτελεί δείκτη ρύπανσης ενός θαλάσσιου οικοσυστήματος από ευτροφισμό (Jorgensen & Richardson, 1996).

Σύμφωνα με τους Graham & Wilcox (2011), “η χλωροφύλλη-β είναι από δομική άποψη παρόμοια με την χλωροφύλλη-α και πιθανώς να εξελίχθηκε από αυτήν. Είναι ευρέως γνωστόν ότι λειτουργεί ως επικουρική χρωστική στα χλωροπλαστίδια (green plastids) πολλών ευκαρυωτικών φυκών και ανωτέρων φυτών και απαντάται επίσης στα γένη *Prochloron*, *Prochlorococcus* και *Prochlorothrix* των κυανοβακτηρίων”. Η χλωροφύλλη-β είναι μια φωτοσυλλεκτική χρωστική που μεταφέρει την απορροφημένη φωτεινή ενέργεια προς τη χλωροφύλλη-α για τις κύριες φωτοχημικές αντιδράσεις (Govindjee & Braun, 1974). Οι μέγιστες φασματικές ζώνες απορρόφησης κείνται στα ca. 645 nm και στα 435nm.

Η χλωροφύλλη-γ η οποία είναι πιθανώς μια επικουρική χρωστική στο φωτοσύστημα II, αποτελείται από τρία φασματικώς διακριτά συστατικά. Σύμφωνα με τον Meeks (1974) “Οι ζώνες μέγιστης απορρόφησης του εκχυλίσματος ανευρίσκονται στα ca. 630-635 nm, ενώ στην κυρίαρχη κυανή περιοχή του φάσματος στα 583-586nm και 444-452 nm”.

Μεταξύ των πολλών καροτινοειδών που διαθέτουν τα μικροφύκη, οι καροτίνες είναι γραμμικοί ακόρεστοι υδρογονάθρακες, ενώ οι ξανθοφύλλες είναι οξυγονωμένα παράγωγα των καροτινών (Goodwin 1974). Όπως και στην περίπτωση της χλωροφύλλης-b, η φωτεινή ενέργεια που απορροφάται από τα καροτινοειδή και τις βιλιπρωτεΐνες μεταφέρεται στη χλωροφύλλη-α, με αποτέλεσμα τον φθορισμό και την διέγερση των μορίων της χλωροφύλλης-α. Η β-καροτίνη είναι η ευρύτερα διαδεδομένη από όλες τις καροτίνες και αντικαθίσταται από την α-καροτίνη μόνο σε ορισμένα χλωροφύκη και στα Cryptophyceae (κρυπτοφύκη). Οι βιλιπρωτεΐνες είναι υδατοδιαλυτά σύμπλοκα χρωστικής-πρωτεΐνης που υπάρχουν στα κυανοβακτήρια και σε μικρότερο βαθμό, σε ορισμένα κρυπτοφύκη και ροδοφύκη (Wetzel, 2001).

1.3 Σημαντικότερες ομάδες φυτοπλαγκτού

Η διάκριση των κυριότερων ομάδων φυτοπλαγκτού μπορεί να γίνει από τις χρωστικές αλλά μπορεί επίσης να γίνει βάση της διαφοράς στη σύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος, στο μέγεθος του ίδιου του κυττάρου και στην παραγωγή συγκεκριμένων ενώσεων. Οι παραλλαγές σε αυτές τις ιδιοτητές, εξηγούν τις διαφορετικές επιπτώσεις του φυτοπλαγκτού στα υδάτινα οικοσυστήματα.

Τα κυανοβακτήρια (cyanobacteria), που είναι επίσης γνωστά ως χλωροξυβακτήρια (chloroxybacteria), κυανόφυτα (cyanophytes), ή κυανοφύκη (blue-green algae), είναι υπεύθυνα για τη συγκρότηση ενός επαρκώς-καθορισμένου κλάδου των ευβακτηρίων (Graham & Wilcox, 2011). Η διάκριση των κυανοβακτηρίων σε σχέση με άλλα βακτήρια βασίζεται στο γεγονός ότι μόνο στα πρώτα υπάρχει χλωροφύλλη-α, η οποία είναι το ίδιο κοινή στους χλωροπλάστες των ανωτέρων φυκών και των ανωτέρων φωτών και παρουσιάζει δομικές διαφορές με τη βακτηριοχλωροφύλλη (Wetzel, 2001). Ένα χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι η παραγωγή οξυγόνου ως προϊόν φωτοσύνθεσης το οποίο λέγεται οξυγενής φωτοσύνθεση ή οξυγονοπαραγωγική φωτοσύνθεση (oxygenic photosynthesis). Τα κυανοβακτήρια απαντώνται σε διαφορετικά θαλάσσια και γλυκέων υδάτων ενδιαιτήματα καθώς και σε χερσαία συστήματα (Graham & Wilcox, 2011).

Τα διάτομα (Bacillariophyceae) αποτελούν την πιο σημαντική ομάδα μικροφυκών του φυτοπλαγκτού, έστω και αν τα περισσότερα είδη είναι εδραιωμένα και σχετίζονται με τα υποστρώματα της παράλιας ζώνης (Wetzel, 2001). Ο λόγος για τον οποίο θεωρούνται σημαντικοί φωτοαυτότροφοι μικροοργανισμοί είναι οι μεγάλες ανθίσεις του φυτοπλαγκτού που προκύπτουν σε λίμνες και παράκτιους ωκεανούς. Την άνοιξη λειτουργούν καλύτερα από τα άλλα μικροφύκη επειδή χρησιμοποιούν

υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών (η κυρίαρχη μορφή ανόργανων πηγών αζώτου την άνοιξη) και φωσφορικών, διότι αναπτύσσονται ταχύτερα από τα άλλα μικροφύκη στις χαμηλές θερμοκρασίες του νερού της άνοιξης και μπορούν να αντιμετωπίσουν την μεγάλη διακύμανση του φωτός που συμβαίνει την άνοιξη (Kirchman, 2012).

Στα γλαυκόφυτα (glaucophytes) περιλαμβάνονται αρκετοί μονοκύτταροι ή αποικιακοί γλυκέων υδάτων ευκαρυώτες, στους οποίους υπάρχουν κυανοπράσινα φωτοσυνθετικά πλαστίδια. Τα χλωραραχνιόφυτα (chlorarachniophytes) αποτελούν μια μικρή ομάδα μονοκύτταρων θαλάσσιων ειδών τα οποία κατέχουν φωτοσυνθετικά πλαστίδια παρόμοια με εκείνα των χλωροφυκών. Τα ευγληνοειδή (euglenoids) είναι κατά κύριο λόγο μονοκύτταρα μαστιγωτά και μερικά είδη (όπως το γένος *Euglena*) κατέχουν και αυτά, φωτοσυνθετικά πλαστίδια παρόμοια με εκείνα των χλωροφυκών, παρόλο που πολλά από τα γένη τους είναι ετερότροφα. Μερικά ευγληνοειδή δεν διαθέτουν κανένα πλαστίδιο, ενώ άλλα έχουν άνευ-χρωστικών πλαστίδια χωρίς να είναι σε θέση να φωτοσυνθέσουν. Τα περισσότερα από τα είδη αυτά συναντώνται σε γλυκέων-υδάτων οικοσυστήματα, παρόλο που υπάρχουν και θαλάσσιοι αντιπρόσωποι (Graham & Wilcox, 2011).

Οι κρυπτομονάδες, γνωστές και ως κρυπτόφυτα, είναι είτε θαλάσσια είτε γλυκέων υδάτων μονοκύτταρα μαστιγωτά. Διαθέτουν άνευ-χρωστικών πλαστίδια, αν και τα περισσότερα είδη διαθέτουν πλαστίδια με χροιά ερυθρά, κυανοπράσινη, ελαιοπράσινη ή φαία. Όσον αφορά τα απτόφυτα (haptophytes), τα οποία είναι γνωστά και ως πρημνεσιόφυτα (prymnesiophytes) περιλαμβάνουν μονοκύτταρους οργανισμούς και αποικίες που είναι είτε μαστηγιόφοροι είτε μη-μαστηγιόφοροι. Τα δινομαστιγωτά είναι πρωτίστως μονοκύτταρα με δύο διαφορετικά είδη μαστιγίων. Περίπου μισά από τα γένη των δινομαστιγωτών είναι ετερότροφοι μικροοργανισμοί δίχως χρωστικές, ενώ άλλα περιέχουν πλαστίδια με συγκεκριμένο τύπο rubisco,

ένζυμο υπεύθυνο για την δέσμευση του άνθρακα. Τα περισσότερα είδη είναι θαλάσσια αν και υπάρχουν πολλοί αντιπρόσωποι των γλυκέων υδάτων (Graham & Wilcox, 2011).

1.4 Σκοπός της μελέτης

Οι μελέτες οι οποίες έχουν διεξαχθεί στο λιμάνι του Βόλου σχετικά με τις χρωστικές ουσίες (χλωροφύλλη-α, χλωροφύλλη-β, χλωροφύλλη-γ και τα καροτενοειδή) είναι πολύ περιορισμένες. Η μοναδική μελέτη πάνω στις φυτοχρωστικές ουσίες η οποία αναφέρεται στα αλιευτικά σκάφη στο λιμάνι του Βόλου για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα διεξήχθη από τον Αγγελακόπουλο (2016). Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να εκτιμηθεί η χρονική μεταβολή των φωτοσυνθετικών χρωστικών ουσιών (χλωροφύλλη-α, χλωροφύλλη-β, χλωροφύλλη-γ και τα καροτενοειδή) ως δείκτες της παρουσίας των διαφόρων ομάδων φυτοπλαγκτού στο λιμάνι του Βόλου στο χρονικό διάστημα από τις 13/10/2015 μέχρι τις 11/11/2015.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας βρίσκεται στο λιμάνι του Βόλου στο βόρειο τμήμα του Παγασητικού Κόλπου ο οποίος είναι μια ρηχή, ημίκλειστη θαλάσσια περιοχή στην κεντρική Ελλάδα με μέσο βάθος 69m και μέγιστο 108m (Karagiorgis et al 2001). Εκτείνεται στο Βόρειο-Δυτικό Αιγαίο Πέλαγος με συνολική επιφάνεια 520 km². Επικοινωνεί με το Αιγαίο Πέλαγος μέσω ενός καναλιού (Τρίκερι), πλάτους 5,5 km και βάθους 80 m. Το οικοσύστημα του κόλπου επηρεάζεται ως επί το πλείστον από διάφορες δραστηριότητες που αναπτύσσουν οι κάτοικοι της περιοχής γύρω από την βιομηχανική πόλη του Βόλου (Πρίμπας, 2011). Σύμφωνα με τους Petihakis et al. (2004), η έναρξη λειτουργίας της μονάδας βιολογικού καθαρισμού στην πόλη χρονολογείται στο 1987, παρά το γεγονός ότι ο σχεδιασμός του πραγματοποιήθηκε το 1964, ενώ ένα χρόνο αργότερα (1988) ολοκληρώθηκε η σύνδεση της βιομηχανικής περιοχής στο αποχετευτικό δίκτυο. Ο Theodorou (1995) αναφέρει ότι τα λύματα υφίστανται πρωτοβάθμια επεξεργασία και οδηγούνται στον Παγασητικό Κόλπο μέσω υποθαλάσσιου αγωγού που βρίσκεται στην τοποθεσία Αγκίστρι, σε βάθος 55 m. Η ημερήσια ροή επεξεργασμένων αστικών λυμάτων υπολογίζεται σε 7.000 m³ (Theodorou, 1995).

2.2 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στο λιμάνι του Βόλου και συγκεκριμένα μπροστά από την εκκλησία του Αγίου Κωνσταντίνου από τον μήνα Οκτώβριο (13/10/15) μέχρι το Νοέμβριο (11/11/15). Σε ημερήσια βάση, κατά τις μεσημεριανές ώρες και μεταξύ 12:00 και 14:30, γίνονταν λήψη θαλασσινού νερού από 1,75lt μέχρι

2lt σε ειδικό πλαστικό αδιαφανές δοχείο. Επίσης, γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας της θάλασσας με θερμόμετρο σε βαθμούς Κελσίου, και στη συνέχεια καταγράφονταν το βαρομετρικό, τα καιρικά φαινόμενα και η κατάσταση στην επιφάνεια της θάλασσας. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, το θαλασσινό δείγμα μεταφέροταν κατευθείαν στο εργαστήριο για διήθηση.

2.3 Επεξεργασία και Ανάλυση των Δεδομένων

Στο εργαστήριο έγινε διήθηση με κενό σε πύργο διήθησης, με αντλία κενού σε χαμηλό κενό που δεν ξεπερνούσε τα 100mmHg. Η διήθηση πραγματοποιήθηκε για κάθε 500 ml του δείγματος με πλαστικό σωλήνα των 500ml. Για το φιλτράρισμα χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα GF/F (Hewes et al. 1990) των 0,7 μm . Την ώρα που έγινε η διήθηση, μετρήθηκαν το pH (με πεχαμετρικό χαρτί) και η αγωγιμότητα (αγωγιμόμετρο σε mS). Το χρώμα που είχε το φίλτρο κατά το τέλος της διαδικασίας προσδιορίζει την πυκνότητα της χλωροφύλλης. Το φίλτρο στη συνέχεια διπλώθηκε προσεκτικά με λαβίδα και καλύφθηκε με αλουμινόχαρτο όπου πάνω του αναγραφόταν με ανεξίτηλο μαρκαδόρο ο κωδικός για την ημερομηνία και ο όγκος του δείγματος. Το δείγμα μετά φυλάχθηκε στην κατάψυξη στους -20°C .

Μετά την συλλογή των 30 φίλτρων του πειράματος, πραγματοποιήθηκε τοποθέτηση του κάθε φίλτρου σε σωλήνα φυγοκέντρωσης των 10ml, όπου προστέθηκαν 6ml ακετόνης 90% με σιφόνιο των 10 ml και με τη χρήση γυάλινης ράβδου έγινε η διάλυση του για να προκύψει η εκχύλιση της χλωροφύλλης στο διάλυμα. Στην συνέχεια, τοποθετήθηκε parafilm στο στόμιο του σωλήνα για να κλείσει αεροστεγώς και να μην εξατμιστεί η ακετόνη. Τα δείγματα διατηρήθηκαν στο σκοτάδι στους 4°C για περίπου 24h και την επόμενη μέρα, αφού απέκτησαν

θερμοκρασία δωματίου, ανά 6 παρτίδες φυγοκεντρήθηκαν για 20 λεπτά στις 4.000 στροφές. Με το πέρας αυτής της διαδικασίας το διαλυμένο φίλτρο καθίζησε στον πυθμένα του σωλήνα και με πιπέτα Pasteur αφαιρέθηκε το υπερκείμενο και μεταφέρθηκε σε κυψελίδα φωτομέτρησης χαλαζία του 1cm.

Τα δείγματα φωτομετρήθηκαν έναντι ακετόνης 90% στα εξής μήκη κύματος: 750, 664, 647, 630, 510 και 480 nm, όπου τα 750⁴ είναι για την θολερότητα, τα 664 για την χλωροφύλλη-α (C_a), τα 647 για την χλωροφύλλη-β (C_β), τα 630 για την χλωροφύλλη-γ (C_γ), τα 510 και τα 480 για τα καροτενοειδή (C_{ok}). Στη συνέχεια προστέθηκε στο δείγμα (και όχι στο τυφλό) 2 ml HCl 10% όταν πραγματοποιήθηκαν οι δεύτερες μετρήσεις στα 750nm και 664 nm για τις φαιοφυτίνες.

Στους παρακάτω τύπους υπολογίστηκαν αρχικά οι παράγοντες C_x και έπειτα όλες οι χρωστικές εκτός από τις φαιοφυτίνες:

Χλωροφύλλη α (C_a) είναι: $11,85*(E_{664})-1,54*(E_{647})-0,08*(E_{630})$

Χλωροφύλλη β (C_b) είναι: $21,03*(E_{647})-5,43*(E_{664})-2,66*(E_{630})$

Χλωροφύλλη γ (C_c) είναι : $24,52*(E_{630})-1,67*(E_{664})-7,60*(E_{647})$

Ολικά Καροτενοειδή (C_{ok}) είναι: $7,6*(E_{480}-(1,49*E_{510}))$

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης κάθε χρωστικής έγινε με την εξίσωση:

$$\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1} = C_x \cdot v/V \cdot 1$$

όπου $E_{664,647,630}$ = απορρόφηση στα αντίστοιχα μήκη κύματος-απορρόφηση στα 750nm (E₇₅₀)

E_{510} = απορρόφηση στα 510 nm – το διπλάσιο της απορρόφησης στα 750nm (E₇₅₀)

E_{480} = απορρόφηση στα 480nm – το τριπλάσιο της απορρόφησης στα 750nm (E_{750})

C_x = αποτέλεσμα από τον παραπάνω πίνακα για την κάθε χρωστική

v = ο όγκος της ακετόνης που χρησιμοποιήθηκε (ml)

V = ο όγκος του θαλασσινού νερού που διηθήθηκε (l)

l = το μήκος της κυψελίδας (cm)

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης των φαιοφυτίνων έγινε άμεσα από τον τύπο:

$$\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1} = (26,7 * ((1,7 * E_{664,\mu}) - E_{664,\pi})) * v / V * l$$

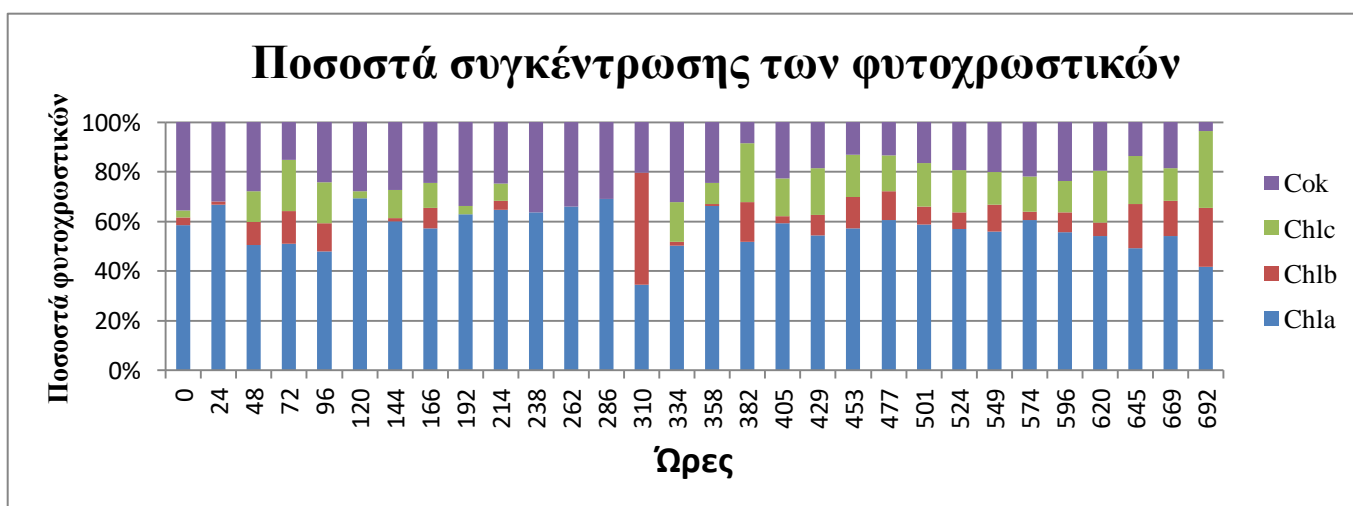
όπου $E_{664,\pi}$ = όπως E_{664} (π =πριν την προσθήκη του οξέος)

$E_{664,\mu}$ = όπως αλλά μετά την προσθήκη του οξέος (μ =μετά)

l = το μήκος της κυψελίδας (cm)

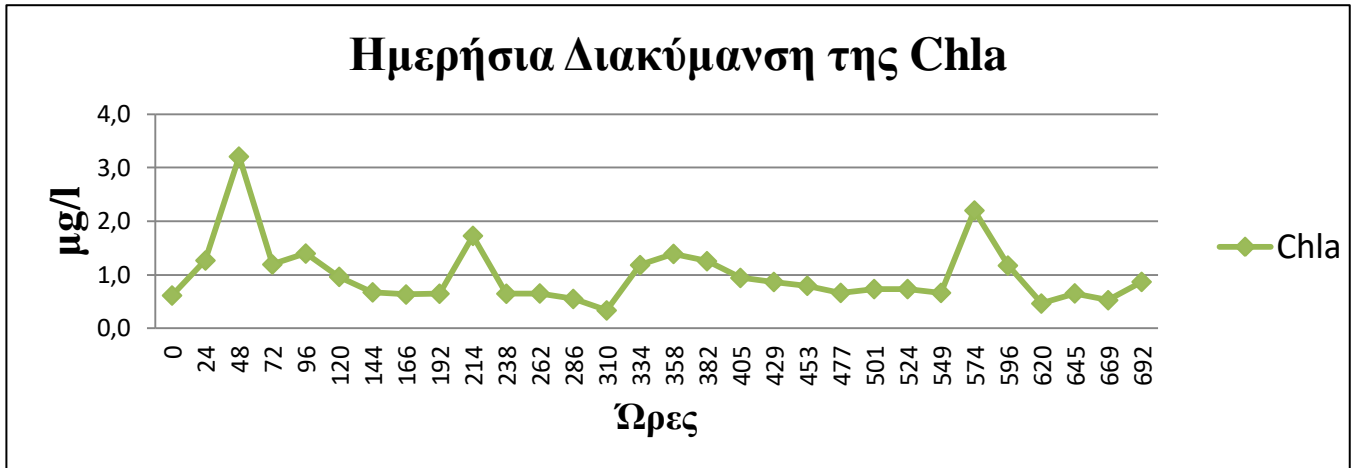
3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι ώρες που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.1 είναι οι διαφορές των ημερών με την πρώτη μέρα έναρξης του πειράματος.

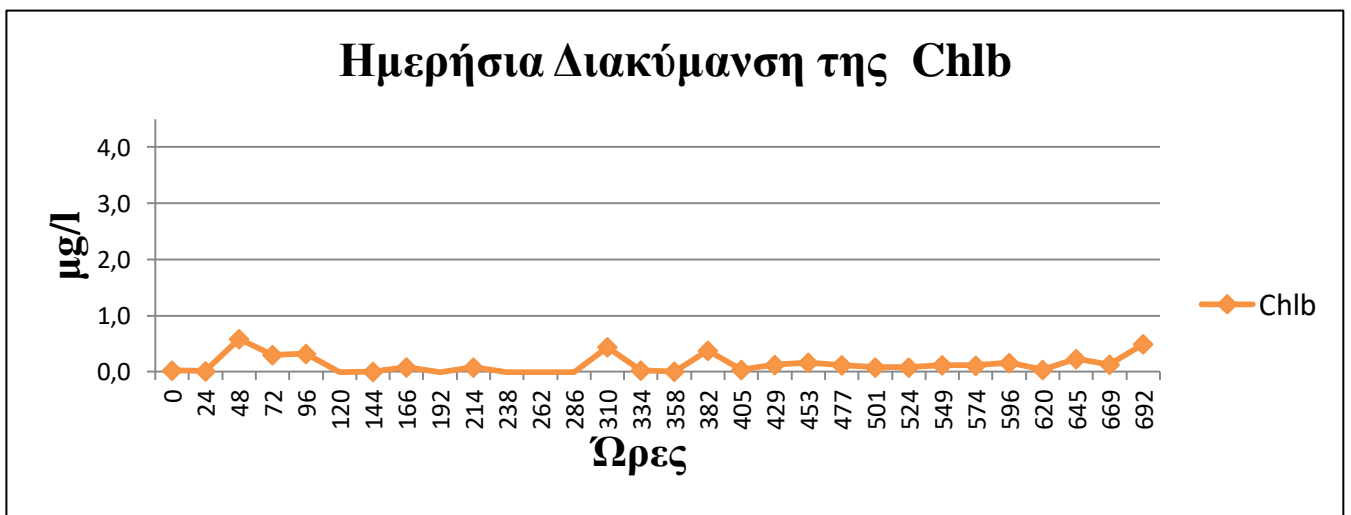


Σχήμα 3.1: Ποσοστά συγκέντρωσης φυτοχρωστικών και συγκεκριμένα της χλωροφύλλης-α (Chla), χλωροφύλλης-β (Chlb), χλωροφύλλης-γ (Chlc) και των καροτενοειδών (Cok) στο λιμάνι του Βόλου-Άγιος Κωνσταντίνος.

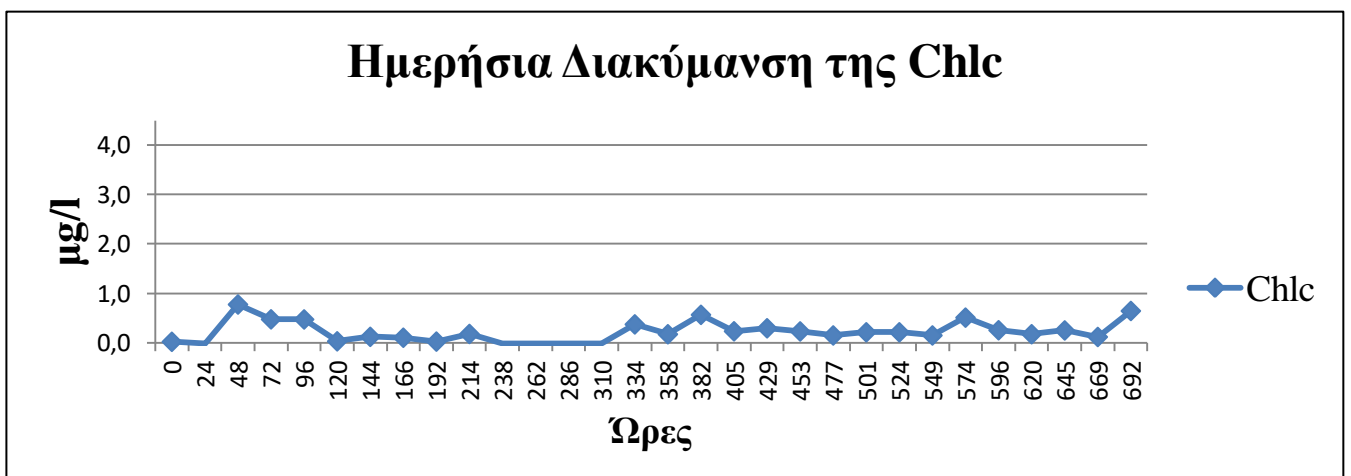
Το μεγαλύτερο ποσοστό της Chla παρατηρήθηκε στις 120 ώρες το οποίο ήταν περίπου 65%, για την Chlb στις 310 ώρες με ποσοστό περίπου 42%, για την Chlc το ποσοστό ήταν 35% στις 692 ώρες και για τα Cok 38% την 1^η μέρα.



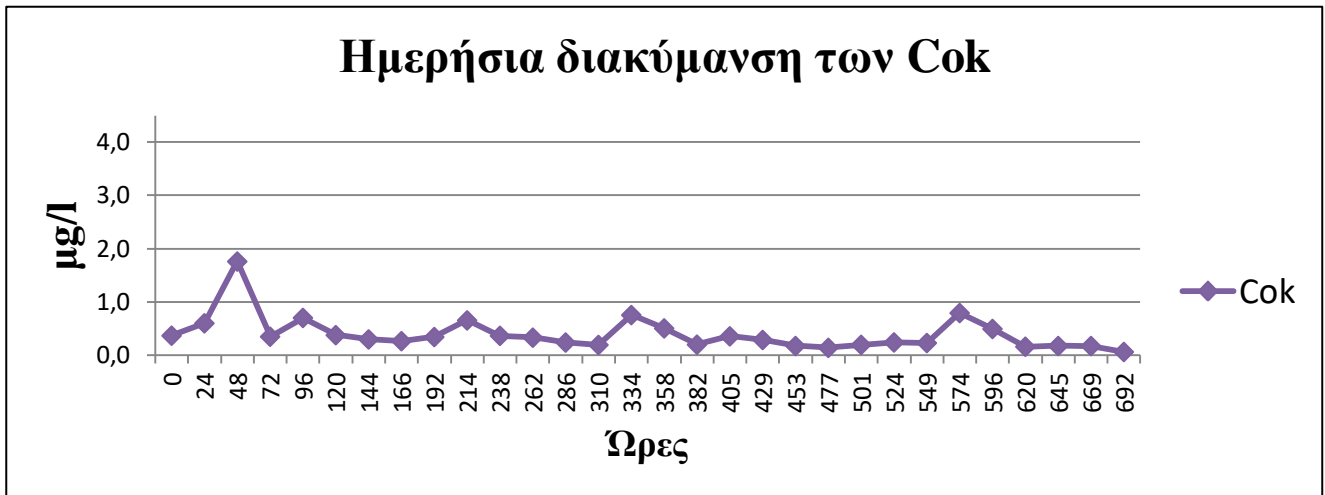
Σχήμα 3.2: Ημερήσια διακύμανση της χλωροφύλλης-α (Chla)



Σχήμα 3.3: Ημερήσια διακύμανση της χλωροφύλλης-β (Chlb)



Σχήμα 3.4: Ημερήσια διακύμανση της χλωροφύλλης-γ (Chlc)



Σχήμα 3.5: Ημερήσια διακύμανση των καροτενοειδών (Cok)



Σχήμα 3.6: Ημερήσια διακύμανση των φαιοφυτίνων (Cf)

Οι τιμές της Chla κυμάνθηκαν από 0,345 µg/l έως 3,216 µg/l με την ελάχιστη τιμή να προκύπτει στις 310 ώρες και με την μέγιστη στις 48 ώρες. Οι τιμές της Chlb κυμάνθηκαν από 0,013 µg/l έως 0,596 µg/l όπου η ελάχιστη προέκυψε σε 144 ώρες, ενώ η μέγιστη στις 48 ώρες. Στη Chlc οι τιμές της κυμάνθηκαν από 0,030 µg/l έως 0,785 µg/l, με την ελάχιστη τιμή να εμφανίζεται την πρώτη μέρα (0 ώρες) και τη μέγιστη στις 48 ώρες, στα Cok οι τιμές κυμάνθηκαν από 0,074 µg/l έως 1,771 µg/l, έχοντας την ελάχιστη τιμή στις 692 ώρες και τη μέγιστη στις 48 ώρες. Όσον αφορά τις τιμές των Cf η διακύμανση των τιμών τους ήταν από 0,168 µg/l μέχρι 2,019 µg/l, όπου η ελάχιστη προέκυψε στις 144 ώρες και η μέγιστη στις 72 ώρες.

Στους Πίνακες 1-5 παρουσιάζονται οι τιμές του R (τετραγωνική ρίζα του R-τετράγωνο και είναι η συσχέτιση μεταξύ της παρατηρούμενης και προβλεπόμενης τιμής της εξαρτημένης μεταβλητής) και του P (Sig.1-tailed-τιμή κατά Pearson) στην αλληλεπίδραση του άνεμου, των ωρών ηλιοφάνειας (Ηλιος) της ίδιας, της προηγούμενης μέρας (Ηλιος-1) και μετά από δύο μέρες (Ηλιος-2), του pH, της θερμοκρασίας (Θ), της αγωγιμότητας του νερού (Α) και της βροχής με την Chla, τη Chlb, τη Chlc, τα Cok και του λόγου της χλωροφύλλης-α με το άθροισμα της με τις φαιοφυτίνες. Στιν πίνακα 1 παρουσιάζονται οι τιμές των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν για την Chla όπου οι τιμές του P κυμαίνονται από 0,001 έως 0,509 και για το R είναι από 0,020 έως 0,541. Στον πίνακα 2 οι τιμές για τις μετρήσεις της Chlb στο P είναι από 0,024 μέχρι 0,370 και το R από 0,099 μέχρι 0,364. Στον πίνακα 3 οι τιμές που αφορούν τις μετρήσεις για της Chlc για το P κυμαίνονται από 0,026 έως 0,486 και το R από 0,007 μέχρι 0,358. Οι μετρήσεις για τα Cok στον πίνακα 4 όσον αφορά το P είναι από 0 μέχρι 0,156 και το R είναι από 0,125 μέχρι 0,518. Στον πίνακα 5 που αφορά τις μετρήσεις του λόγου της Chla με το άθροισμά της με τις Cf, οι τιμές του P είναι από 0,142 μέχρι 0,469 και του R από 0,018 έως 0,121.

Πίνακας 3.1: Παλινδρόμηση της Chla

Περιβαλλοντικοί παράγοντες		Θερμοκρασία in situ oC	pH	Αγωγιμότητα (mS)	Άνεμος (km/h)	Βροχή (mm)	Ήλιος	Ήλιος-1	Ήλιος-2
R	Chla	0,099	0,020	0,541	0,363	0,135	0,256	0,261	0,261
Sig.(1-tailed)	Chla	0,301	0,509	0,001	0,024	0,238	0,256	0,082	0,082

Πίνακας 3.2: Παλινδρόμηση της Chlb

Περιβαλλοντικοί παράγοντες		Θερμοκρασία in situ oC	pH	Αγωγιμότητα (mS)	Άνεμος (km/h)	Βροχή (mm)	Ήλιος	Ήλιος-1	Ήλιος-2
R	Chlb	0,099	0,283	0,364	0,210	0,165	0,065	0,063	0,068
Sig. (1-tailed)	Chlb	0,301	0,065	0,024	0,133	0,192	0,367	0,370	0,361

Πίνακας 3.3: Παλινδρόμηση της Chlc

Περιβαλλοντικοί παράγοντες		Θερμοκρασία in situ oC	pH	Αγωγιμότητα (mS)	Άνεμος (km/h)	Βροχή (mm)	Ήλιος	Ήλιος-1	Ήλιος-2
R	Chlc	0,007	0,249	0,358	0,302	0,167	0,154	0,152	0,153
Sig. (1-tailed)	Chlc	0,486	0,093	0,026	0,052	0,189	0,209	0,211	0,210

Πίνακας 3.4: Παλινδρόμηση των Cok

Περιβαλλοντικοί παράγοντες		Θερμοκρασία in situ oC	pH	Αγωγιμότητα (mS)	Άνεμος (km/h)	Βροχή (mm)	Ήλιος	Ήλιος-1	Ήλιος-2
R	Cok	0,191	0,518	0,726	0,345	0,125	0,439	0,445	0,443
Sig. (1-tailed)	Cok	0,156	0,002	0,000	0,031	0,255	0,008	0,007	0,007

Πίνακας 3.5: Παλινδρόμηση της Chla/ (Chla+Cf)

Περιβαλλοντικοί παράγοντες		Θερμοκρασία in situ oC	pH	Αγωγιμότητα (mS)	Άνεμος (km/h)	Βροχή (mm)	Ήλιος	Ήλιος-1	Ήλιος-2
R	Chla/(Chla+Cf)	0,108	0,018	0,107	0,121	0,073	0,018	0,015	0,022
Sig. (1-tailed)	Chla/(Chla+Cf)	0,284	0,142	0,286	0,262	0,351	0,462	0,469	0,455

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Σύγκριση των δύο μελετών

Στο σχήμα 2 η Chla είχε την υψηλότερη τιμή της στις 15/10/15 στα 3,216 μg/l. Τις επόμενες μέρες οι τιμές της ήταν πολύ χαμηλότερες, ενώ στις 22/10/15 σημείωσε άνοδο στα 1,736 μg/l και μετά από 15 μέρες (6/11/15) σημείωσε την δεύτερη υψηλότερη τιμή στα 2,209 μg/l. Γενικά, τις μέρες αυτές είχε μέτρια ηλιοφάνεια, με μέση θερμοκρασία θάλασσας στους 21° C, η επιφάνεια της θάλασσας ήταν σχετικά ήρεμη και επικρατούσε άπνοια.

Για την Chlb (σχήμα 3) οι τιμές της ήταν πολύ χαμηλότερες σε σχέση με της Chla, με τη μέγιστη να βρίσκεται στα 0,596μg/l στις 15/10/15 και με χαμηλότερες τιμές στα 0,452μg/l (26/10/15) και 0,389μg/l (29/10/15). Λίγο υψηλότερες τιμές, απ'την Chlb παρατηρούνται στην Chlc (σχήμα 4) με τιμές στα 0,785μg/l (15/10/15), 0,576μg/l (29/10/15) και 0,520μg/l (6/11/15). Τα Cok (σχήμα 5) έχουν λίγο χαμηλότερες τιμές από την χλωροφύλλη-α και εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές με την ίδια συχνότητα που εμφανίζονται στην Chla. Συγκεκριμένα, οι τιμές είναι 1,171 μg/l (15/10/15), 0,766 μg/l (27/10/15) και 0,804 μg/l (6/11/15). Στις Cf οι τιμές είναι πολύ υψηλότερες απ'ότι των άλλων χρωστικών, εκτός της Chla. Στις 16/10/15 είχαν την υψηλότερη τιμή (2,019μg/l) αλλά και στις 20/10/15, 22/10/15 και 1/11/15 με τιμές 0,929 μg/l, 1,226 μg/l και 0,937 μg/l, όπου οι μέρες που προέκυπταν οι μέγιστες τιμές είναι παρόμοιες με της Chla.

Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι η Chla, Chlb, Chlc και τα Cok επηρεάζονται από τις μεταβολές στις τιμές της αγωγιμότητας, του ανέμου και του pH. Συγκεκριμένα, αποδεικνύεται στατιστικά σημαντική σχέση των χρωστικών με τους

παράγοντες αυτούς. Στην Ch1a προκύπτει συντελεστής συσχέτισης $R=0,541$ και $P=0,01$ για την αγωγιμότητα, στον άνεμο είναι $R=0,363$ και $P<0,05$. Στην Ch1b παρατηρείται στην αγωγιμότητα $R=0,364$ και $P<0,05$ όπως και στην Ch1c, $R=0,358$ και $P<0,05$. Στα Cok, υπάρχει αλληλεπίδραση με το pH, την αγωγιμότητα, τον άνεμο και τις ώρες ηλιοφάνειας της ίδιας μέρας αλλά και των προηγούμενων ημερών, όπου στο πρώτο είναι $R=0,518$ και $P<0,05$ και στο δεύτερο $R=0,726$ και $P=0$, στο τρίτο είναι $R=0,345$ και $P<0,05$ στο τέταρτο είναι $R=0,439$ και $P=0,005$ και στο πέμπτο και έκτο είναι $R=0,445$ με $P<0,01$ και $R=0,443$ και $P<0,01$. Στον λόγο της Ch1a με το άθροισμά της με τις Cf, δεν παρατηρείται καμία στατιστικά σημαντική σχέση με τους παράγοντες.

Στην μελέτη του Αγγελακόπουλου (2016) που πραγματοποιήθηκε στο λιμάνι του Βόλου και συγκεκριμένα στα αλιευτικά σκάφη, οι τιμές των φυτοχρωστικών με την μέθοδο της παλινδρόμησης δείχνουν να επηρεάζονται διαφορετικά από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες σε σύγκριση με την παρούσα μελέτη. Συγκεκριμένα, στην Ch1a υπάρχει αλληλεπίδραση με την θερμοκρασία ($R=0,4520$ και $P<0,05$), τον άνεμο ($R=0,3730$ και $P<0,05$) και την βροχή ($R=0,418$ και $P<0,05$), στην Ch1b από την θερμοκρασία ($R=0,642$ και $P=0$), τον άνεμο ($R=0,513$ και $P<0,05$), τις ώρες ηλιοφάνειας της ίδιας μέρας ($R=0,404$ και $P<0,05$), της προηγούμενης ($R=0,4$ και $P<0,05$) και των δύο προηγούμενων ($R=0,398$ και $P<0,05$). Η Ch1c επηρεάστηκε από την θερμοκρασία ($R=0,58$ και $P=0$) και των ωρών ηλιοφάνειας όπως και στην Ch1b, δηλαδή στην πρώτη $R=0,49$ και $P<0,01$, στην δεύτερη ($R=0,485$ και $P<0,01$) και στην τρίτη $R=0,485$ και $P=0$. Στα Cok οι αλληλεπιδράσεις προκύπτουν στην βροχή ($R=0,503$ και $P<0,01$) και σε όλες τις τιμές για τις ώρες ηλιοφάνειας ($R=0,41$ και $P<0,05$, $R=0,413$ και $P<0,05$, $R=0,416$ και $P<0,05$). Στον λόγο της Ch1a με το άθροισμα της με τις Cf δεν προκύπτουν αλληλεπιδράσεις με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Οι Morse et al (2014) όταν πραγματοποίησαν τις μελέτες τους για τον προσδιορισμό της δυναμικής του φυτοπλαγκτού και των θρεπτικών συστατικών του ποταμού Lafayette, ο οποίος εκβάλλει στην ακτή Chesapeake της Virginia των ΗΠΑ, αναφέρουν ότι η ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως οι παλλιρροϊκοί κύκλοι και οι αναμίξεις της επιφάνειας του νερού από τις εντάσεις των ανέμων.

Στον πίνακα 6 με την χρήση του t-test έγιναν συγκρίσεις μεταξύ των δύο μελετών στις τιμές των Ch1a, Ch1b, Ch1c και των Cok . Η μόνη θετική συσχέτιση παρατηρείται στα Cok όπου το $P < 0,05$, ενώ οι υπόλοιπες έχουν $P > 0,05$. Σε αυτήν την περίπτωση, οι μετρήσεις για αυτές τις χρωστικές έχουν ίδια αποτελέσματα για τις διακυμάνσεις των φωτοσυνθετικών χρωστικών (εκτός από τα Cok).

Πίνακας 4.1 Σύγκριση των διακυμάνσεων των φυτοχρωστικών τις παρούσας μελέτης και του Αγγελακόπουλου (2016).

t-test	
Χρωστικές	sig.(2-tailed)
Ca	0,1
Cβ	0,3
Cγ	0,051
Cok	0,04
Ca/Cα+Cφ	0,514

4.2 Διακυμάνσεις της Ch1a

Η εκτίμηση για την οικολογική ποιότητα του λιμανιού στον Βόλο μπορεί να συγκριθεί με άλλες παρόμοιες μελέτες, αλλά μόνο με βάση τις μετρήσεις για την Ch1a, επειδή δεν έχουν βρεθεί μελέτες που να αναφέρουν ημερήσιες μεταβολές φυτοχρωστικών για λιμάνια και γενικώς για τις θάλασσες. Η Μποζατζίδου (2013) αναφέρει στην μελέτη της ότι οι τιμές της Ch1a στον Θερμαϊκό κόλπο κυμάνθηκαν

από 0,111 $\mu\text{g/l}$ έως 3,836 $\mu\text{g/l}$ για τους μήνες Οκτώβριο με Νοέμβριο, ενώ στους Ασημακοπούλου et al (2015) οι τιμές για την Chla κυμαίνονταν από 0,30 mg m^{-3} –4,30 mg m^{-3} , δηλαδή 0,3 $\mu\text{g/l}$ – 4,30 $\mu\text{g/l}$. Στην μελέτη των Ignatiades et al (1985) στον Σαρωνικό Κόλπο, οι τιμές της Chla κυμαίνονταν από 0,29 $\mu\text{g/l}$ μέχρι 1,14 $\mu\text{g/l}$. Οι Meziti et al (2014) γνωστοποιούν ότι οι τιμές της Chla στους διάφορους σταθμούς δειγματοληψίας, μέσα στον Κόλπο της Ηγουμενίστας τον Σεπτέμβριο ήταν από 2,53 $\mu\text{g/l}$ μέχρι 5,3 $\mu\text{g/l}$ ενώ τον Οκτώβριο ήταν από 0,34 $\mu\text{g/l}$ μέχρι 2,02 $\mu\text{g/l}$ και τον Νοέμβριο ήταν μικρότερες από 0,7 $\mu\text{g/l}$ και της Chlb μικρότερες των 0,5 $\mu\text{g/l}$. Επίσης, οι Kormas et al (2014) αναφέρουν ότι τον Σεπτέμβριο στο κανάλι Τρίκερι οι τιμές της Chla ήταν μέχρι τα 0,83 $\mu\text{g/l}$.

Όπως έχει γίνει αναφορά παραπάνω για την εκτίμηση της βιομάζας του φυτοπλαγκτού και της πρωτογενούς παραγωγής χρησιμοποιείται η συγκέντρωση της Chla ως παράμετρος σε πελαγικά συστήματα. Ο λόγος για τον οποίο έχει χρησιμοποιηθεί εντατικά ως δείκτης τροφικής κατάστασης, οφείλεται στην ευκολία προσδιορισμού της (Bayer et al, 2009). Οι Karydis (1999) και Pagou et al (2002) ανέπτυξαν την πρώτη κλίμακα ευτροφισμού βασιζόμενη σε παραμέτρους φυτοπλαγκτού όπως η Chla. Αργότερα η κλίμακα τροποποιήθηκε από τους Simboura et al. (2005), έτσι ώστε να συμβαδίζει με την χρωματική πενταβάθμια κλίμακα ποιότητας που ορίζει η Οδηγία. Συγκεκριμένα στον Πίνακα 4.2 δίνονται τα όρια ευτροφισμού που αφορούν τα παράκτια ύδατα της Ανατολικής Μεσογείου.

Πίνακας 4.2: Κλίμακα ευτροφισμού βασισμένη στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α (τροποποιημένο από Karydis, 1999 και Pagou et al., 2002) και σε συμφωνία με την οικολογική κατάσταση, όπως ορίζεται από την Οδηγία 2000/60/EK (σύμφωνα με τους Simboura et al., 2005) για τα παράκτια ύδατα της Ανατολικής Μεσογείου

Κλίμακα Ευτροφισμού	Χλωροφύλλη-α(μg/l)	Οικολογική κατάσταση
Συνθήκες αναφοράς	<0,1	Υψηλή
Ολιγότροφο	0,1-0,4	Καλή
Χαμηλό μεσότροφο	0,6-2,21	Μέτρια
Υψηλό μεσότροφο	0,6-2,21	Ελλιπής
Εύτροφο	>2,21	Κακή

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.2 και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης σχετικά με τη συγκέντρωση της Chla στο λιμάνι του Βόλου, προκύπτει το συμπέρασμα ότι επικρατούν υψηλές μεσοτροφικές συνθήκες.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

5.1 Ξένη Βιβλιογραφία

- 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.
- Goodwin T. W. (1974), Carotenoids and biliproteins In W. D. P. Stewart, ed. Algal Physiology and Biochemistry. University of California Press, Berkley.pp. 176-205.
- Govindjee and B. & Z. Braun (1974), Light absorption, emission and photosynthesis. In W. D. P. Stewart, ed. Algal Physiology and Biochemistry. University of California Press, Berkeley. pp. 346-390.
- Graham, J.,Graham L. & Wilcox L. (2011), ΦΥΚΗ, Εκδόσεις Κωσταράκη, Αθήνα.
- Ignatiades L., Vassiliou A. & Karydis M. (1985), A comparison of phytoplankton biomass parameters and their interrelation with nutrients in Saronicos Gulf (Greece), Springer, 3:201-206
- Jorgensen B. & Richardson K. (1996), Eutrophication; definition, history and effects in eutrophication in coastal, marine ecosystems, coastal and estuarine studies, Elsevier.
- Karageorgis A.P., Sioulas A.I. & Anagnostou C. L. (2001), Use of surface sediments in Pagassitikos Gulf Greece to detect anthropogenic influence, Springer, 21: 200-211.

- Karydis, M., 1999, Evaluation report of the eutrophication level in coastal greek areas, Univ. O Aegean, Mytilini, February 1999 (in Greek).
- Kirchman D. (2012), Process in Microbial Ecology. Oxford , University Press, USA.
- 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.
- Meeks, J. C. (1974), Chlorophylls. In W.D.P. Stewart, ed. Algal Physiology and Biochemistry, University of California Press, Berkley, pp. 161-175.
- Meziti A., Kormas K. A., Moustaka-Gouni M., Karayanni H. (2014), Spatially uniform but temporally variable bacterioplankton in a semi-enclosed coastal area, Elsevier, 38: 358-367.
- Morse R., Mulholland M., Egerton T. & Marshall H. (2014), Phytoplankton and nutrient dynamics in a tidally dominated eutrophic estuary: daily variability and controls on bloom formation, Marine Ecology Progress Series, USA, 503: 59-74.
- Pagou K., Siokou-Frangou I., Papathanasiou E., (2002), Nutrients and their ratios in relation to eutrophication and HAB occurrence. The case of eastern Mediterranean coastal waters. In: Second Workshop on “Thresholdsof Environmental Sustainability: the case of nutrients”, 18-19 June, Brussels, Belgium.

- Petihakis G., Triantafyllou G. & Theodorou A. (2004), Application of a complex management tool in Pagassitikos Gulf, Proceedings of the 7th Pan-Hellenic Geographic Conference.
- Simboura N., Panayotidis P. & Papathanasiou E. (2005), A synthesis of the implementation of the European Water Framework Directive in the Mediterranean ecoregion: The case of Saronikos, Elsevier, 5:253-266.
- Theodorou A. (1995), Ecological monitoring studies for Volos sea outfall (Pagassitikos Gulf, Western Aegean Sea), Water Science and Technology, 32: 273-280.
- Tryphon E., Moustaka-Gouni M. & Nikolaidis G. (1997), Planktic cyanophytes and their ecology in the shallow Lake Mikri Prespa, Greece, Nordic Journal of Botany, pp. 17: 439-448.
- Wetzel, R. G. (2001), Limnology: lake and river ecosystems. Academic Press, San Diego, California.

5.2 Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αγγελακόπουλος P. (2016), Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωστικών στο λιμάνι αλιευτικών σκαφών του Βόλου, προπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Ιχθυολογίας και Υδατινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Ασημακοπούλου Γ., Ζερβουδάκη Σ., Πάγκου Κ., Σιώκου Ι., Κωνσταντινοπούλου Α., Ζούλιας Θ. & Κρασακοπούλου Ε. (2015), Χρονικές Μεταβολές και Τάσεις στο Πελαγικό Οικοσύστημα του Κόλπου Ελευσίνας,

Διεθνές Συνέδριο με θέμα τις Περιβαλλοντικές Προοπτικές του Κόλπου της Ελευσίνας.

- Βρυώνης Π. (2013), Μελέτη των πεδίων ανάμειξης γλυκού και αλμυρού νερού με βάση εποχιακές μεταβολές φυσικοχημικών παραμέτρων, μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο 2000, Οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.
- Μποζατζίδου Μ. (2013), Εκτίμηση της Οικολογικής Ποιότητας των Υδάτων στην Παράκτια Ζώνη του Δήμου Θερμαϊκού (με βάση το φυτοπλαγκτό), μεταπτυχιακή διατριβή, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών των Τμημάτων Βιολογίας, Γεωλογίας & Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Πρίμπας Ι. (2011), Αξιολόγηση στατιστικών Μεθόδων για την Ποσοτική Εκτίμηση του Ευτροφισμού, διδακτορική διατριβή, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Abstract

A very large percentage of the dynamics of aquatic and terrestrial systems is based mainly on primary production. The production is performed by photoautotrophic prokaryotic and eukaryotic microorganisms which are called micro-algae. Their ability to photosynthesize is based on various photosynthetic pigments contained in their plastids. The main and most important of these, chlorophyll-a, is an important ecological indicator of pollution of the marine ecosystem from eutrophication. It is important to estimate the composition of the phytoplankton community as a necessary knowledge to understand the structure and dynamics of marine ecosystems and the physical and chemical processes that affect the biological activity of marine ecosystems. The purpose of this study was to evaluate the diurnal variation of photosynthetic pigments (chlorophyll-a, chlorophyll-b, c-chlorophyll and carotenoids) as indicators of the presence of different phytoplankton groups in the port of Volos from 13/10/15 until 11/11/15. In addition, we studied the physico-chemical parameters of seawater effects to changes in the phytopigments above. According to the results on the concentrations of chlorophyll-a, the port of Volos has high ambient mesotrophic conditions. The results of this study are one of the first studies that were done both in Greece and in the Mediterranean on a daily time scale. At the port of Volos several variations were observed in all colors in each of the daily samples. Nevertheless, the concentration of chlorophyll-a as well as the ratio compared with the total pigments had higher rates throughout the study. The concentrations of carotenoids were slightly lower than those of chlorophyll-a, but considerably higher than those of chlorophyll-b and chlorophyll-c. The study shows that

changes in the concentrations of phytopigments are influenced by environmental factors such as temperature, the hours of sunlight sunshine and wind. These changes that were observed on a daily basis prove the importance of regular monitoring of phytopigments in marine ecosystems.

Keywords: diurnal variation, chlorophylls, environmental factors