

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εβδομαδιαία διακύμανση φυκοκυανίνης στο λιμάνι του Βόλου

Ιωάννα Τζιώγα

Βόλος 2018

«Εβδομαδιαία διακύμανση της φυκοκυανίνης στο λιμάνι του Βόλου»

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**

«Αν αγαπάει κάποιος πραγματικά την φύση μπορεί να βρει παντού την ομορφιά»

Vincent Willem van Gogh

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Κωνσταντίνο Κορμά, κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και για την υπομονή που έκανε για την υλοποίηση του πειράματος αλλά και της συγγραφής της. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Θεοδότη Παπαδημητρίου για τις συμβουλές της και για την πολύτιμη βοήθεια της στο πειραματικό μέρος καθώς και την Επίκ. Καθηγ. Ήρα Καραγιάννη για τις συμβουλές της για την συγγραφή της πτυχιακής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου και τον κ. Στέλιο Γουνιώτη για όλα όσα μου έχουν προσφέρει κατά την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων και την άμεση υποστήριξη τους σε κάθε μου επιλογή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παράκτια ζώνη είναι ένα πλούσιο σύστημα από οικολογικής, κοινωνικοοικονομικής αλλά και βιολογικής άποψης. Τα χαρακτηριστικά της περιοχής μπορούν να μας δώσουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του περιβάλλοντος. Εξαιτίας των ανθρωπογενών επεμβάσεων υπάρχει συνεχής μείωση της οικολογικής κατάστασης των οικοσυστημάτων. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να εκτιμηθούν οι διακυμάνσεις των φυτοχρωστικών (χλωροφύλλη-a, χλωροφύλλη-b, χλωροφύλλη-c, φυκοκυανίνη) και η εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης στο λιμάνι του Βόλου. Ολοένα και περισσότερο χρησιμοποιείται η μελέτη των φυτοχρωστικών ως δείκτης ποιότητας των υδάτων. Επιπλέον, έγινε συσχέτιση των φυσικοχημικών παραγόντων του θαλασσινού νερού με τις χρωστικές. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα στο λιμάνι του Βόλου επικρατούν υψηλές μεσοτροφικές συνθήκες. Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-a ήταν υψηλότερη (2,075 $\mu\text{g/l}$ έως 0,275 $\mu\text{g/l}$) από τις υπόλοιπες χρωστικές. Η χλωροφύλλη-c είχε την μικρότερη συγκέντρωση. Επίσης, ο λόγος της χλωροφύλλης-a προς το άθροισμα των υπόλοιπων χρωστικών βρισκόταν πάνω από το 50%, το οποίο υποδηλώνει ότι υπήρχε συνεχώς άνθιση νέου φυτοπλαγκτού. Από την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ότι οι φυτοχρωστικές επηρεάστηκαν από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία νερού, η αγωγιμότητα και η θερμοκρασία αέρα. Οι τιμές της φυκοκυανίνης ήταν οι χαμηλότερες απ' όλες τις φυτοχρωστικές, αλλά παρατηρήθηκε αύξηση τους καλοκαιρινούς μήνες. Η μέγιστη τιμή ήταν στις 22/06/2016 (0,044 $\mu\text{g/l}$). Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που την επηρέασαν ήταν η θερμοκρασία του νερού και η θερμοκρασία του αέρα.

Λέξεις κλειδιά: φυτοχρωστικές, φυκοκυανίνη, Λιμάνι Βόλου

Keywords: phytosynthetic pigments, phycocyanin, Volos Port

Περιεχόμενα

I.	ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	I
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
	1.1 Παράκτια συστήματα.....	1
	1.2 Ευτροφισμός.....	1
	1.3 Φωτοσύνθεση.....	2
	1.4 Φυτοπλαγκτόν.....	2
	1.4.1 Κυανοφύκη.....	5
	1.4.2 Χλωροφύλλη- a.....	8
	1.4.3 Φυκοκυανίνη.....	8
	1.4.4 Δευτερεύουσες χρωστικές.....	9
	1.5 Σκοπός της μελέτης.....	10
2	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	11
	2.1 Περιοχή δειγματοληψίας.....	11
	2.2 Δειγματοληψίες.....	11
	2.3 Διαδικασία διήθησης.....	12
	2.4 Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων.....	12
3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	16
	3.1 Διακύμανση περιβαλλοντικών παραμέτρων.....	16
	3.2 Διακύμανση φωτοσυνθετικών χρωστικών.....	17

3.3 Επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη διακύμανση συγκέντρωσης των φυτοχρωστικών.....	20
4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ	
4.1 Σύγκριση Παπαδήμου (2016) –Καλαϊτζάκη, Μάρκου (2016).....	25
4.2 Διακύμανση της χλωροφύλλης – a.....	26
4.3 Φυκοκυανίνη.....	28
5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	30
6 ABSTRACT.....	34

1. Εισαγωγή

1.1 Παράκτια συστήματα

Ως «Παράκτια ζώνη» ορίζονται τα επιφανειακά ύδατα που περιλαμβάνουν το κομμάτι της ξηράς το οποίο βρίσκεται σε αλληλεπίδραση με το θαλάσσιο τμήμα. Τα παράκτια συστήματα χαρακτηρίζονται από υψηλή παραγωγικότητα (λιβάδια Ποσειδωνίας, δέλτα ποταμών, λιμνοθάλασσες κλπ.) αλλά και μεγάλη βιοποικιλότητα ειδών. Είναι ένα ιδιόμορφο σύστημα καθώς δέχεται μεγάλο μέρος ανθρωπογενών επιδράσεων και γι' αυτό το λόγο, θα πρέπει να προστατεύεται. Εξαιτίας του υπερπληθυσμού, της ρύπανσης, της εκμετάλλευσης των θαλασσών δημιουργούνται οικολογικά προβλήματα με αποτέλεσμα να υποβαθμίζονται τα παράκτια συστήματα.

1.2 Ευτροφισμός

«Ευτροφισμός» είναι η φυσική διεργασία με την οποία επιβαρύνεται με οργανικό και ανόργανο φορτίο ένα υδάτινο οικοσύστημα. Η διεργασία αυτή είναι αποτέλεσμα κυρίως ανθρωπογενών παρεμβάσεων. Οι σημαντικότερες πηγές ρύπανσης είναι οι σημειακές αλλά και οι μη σημειακές. Το φαινόμενο του ευτροφισμού οφείλεται στη διοχέτευση μεγάλης ποσότητας θρεπτικών αλάτων, όπως αζώτου, φωσφόρου (Vollenweider, 1998) αλλά και άλλων παραγόντων, όπως είναι η κτηνοτροφία, η γεωργία αλλά και από φυσικούς παράγοντες (π.χ. γεωμορφολογικά, κλιματολογικά χαρακτηριστικά, θερμοκρασία). Ουσιαστικά όλοι αυτοί οι παράγοντες συμβάλουν στο να προκληθούν φαινόμενα άνθισης φυτοπλαγκτού. Ένα από τα αποτελέσματα της είναι η μείωση του οξυγόνου στο νερό δημιουργώντας πολλά προβλήματα στη βιοποικιλότητα του συστήματος (μείωση αριθμού ή ακόμη εξαφάνιση ειδών). Κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου εμφανίζεται το «φαινόμενο της άνθισης του νερού» (bloom), δηλαδή η αύξηση του φυτοπλαγκτού λόγω των αυξημένων εισροών

θρεπτικών. Οι ανθίσεις του νερού μειώνουν σημαντικά την οικολογική αξία του οικοσυστήματος (ισορροπία τροφικής αλυσίδας) προκαλούν οικονομικά προβλήματα (τουρισμός) αλλά και προβλήματα δημόσιας υγείας (παραγωγή τοξινών) (Καρανδεινός, 1990). Το φαινόμενο του παράκτιου ευτροφισμού παρατηρείται κυρίως σε περιοχές που υπάρχει ανάμειξη του θαλασσινού και γλυκού νερού. Τα νερά μπορούν να διακριθούν σε ολιγότροφα, μεσότροφα και εύτροφα, ανάλογα με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-a (World Bank, 1998).

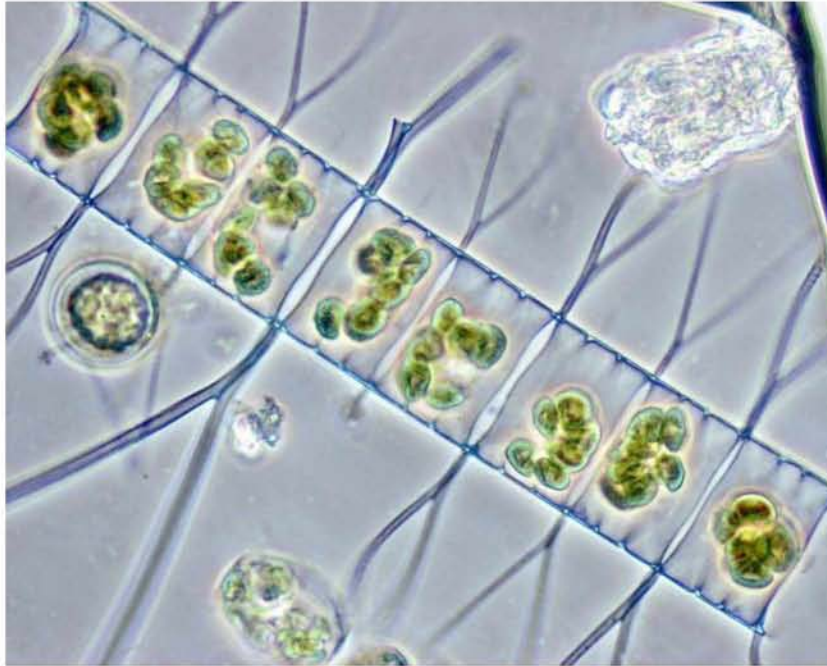
1.3 Φωτοσύνθεση

Η φωτοσύνθεση είναι η ικανότητα των φυτοπλαγκτικών οργανισμών να μετατρέπουν τις απλές ανόργανες ενώσεις (νερό, διοξείδιο του άνθρακα) σε οργανικές ενώσεις – π.χ. γλυκόζη – με την βοήθεια της ηλιακής ενέργειας. Οι φωτοσυνθετικές χρωστικές που βρίσκονται στα κύτταρα των φυτικών οργανισμών δεσμεύουν την ηλιακή ενέργεια. Με αυτόν τον τρόπο η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε χημική. Υπάρχουν φυτά τα οποία, μπορούν να φωτοσυνθέσουν με την βοήθεια άλλων χρωστικών ουσιών (ξανθοφύλλη, φυκοκυανίνη, φυκοερυθρίνη).

1.4 Φυτοπλαγκτόν

Τα «μικροφύκη» γνωστά και ως «φυτοπλαγκτόν» επιπλέουν ελεύθερα στα οικοσυστήματα και μετακινούνται με τον άνεμο και με τα ρεύματα. Οι φυτοπλαγκτικοί οργανισμοί είναι οι σημαντικότεροι πρωτογενείς παραγωγοί των υδάτινων συστημάτων με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας μετέχουν στο φαινόμενο της φωτοσύνθεσης και εκλύουν οξυγόνο. Αποτελούν την βάση της τροφικής αλυσίδας και παράγουν τροφή για τους ανώτερους ζωικούς οργανισμούς. Οι πολυπληθέστερες ομάδες του φυτοπλαγκτού είναι τα διάτομα, τα δεινομαστιγωτά, τα κοκκολιθοφόρα και τα κυανοφύκη.

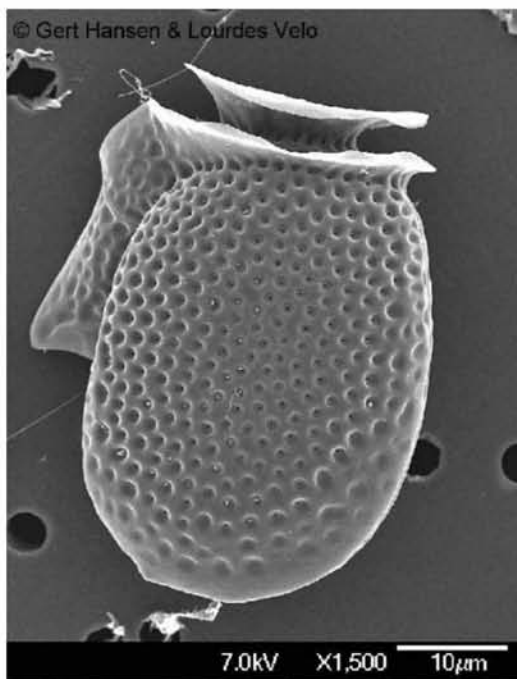
- Τα διάτομα (Εικόνα 1) είναι η σημαντικότερη ομάδα των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών τόσο στα θαλάσσια συστήματα όσο και στα εσωτερικά νερά εξαιτίας της αφθονίας τους.



Εικόνα 1. *Chaetoceros decipiens*

(<http://www.marinespecies.org/photogallery>)

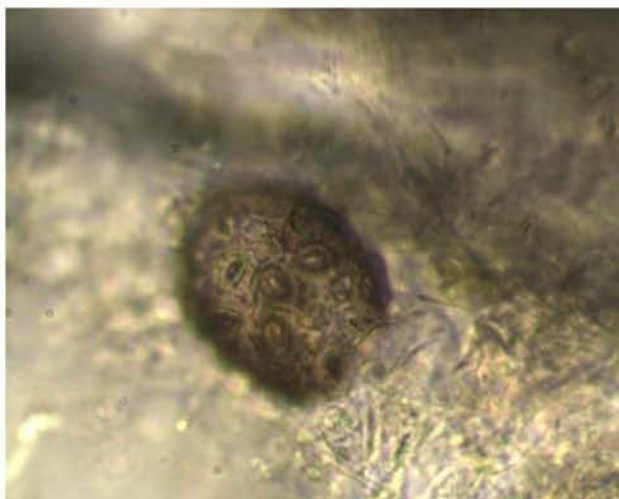
- Τα περισσότερα δινομαστιγωτά (Εικόνα 2) ανήκουν στο θαλάσσιο πλαγκτόν, διαθέτουν μαστίγια για να μετακινούνται και συνήθως αναπαράγονται με διχοτόμηση.



Εικόνα 2. (*Dinophysis acuminata*) Το πιο κοινό τοξικό δινοφύκος στις ελληνικές ακτές

(<http://www.marinespecies.org/photogallery>)

- Τα περισσότερα κοκκολιθοφόρα (Εικόνα 3) είναι μονοκύτταρα και βρίσκονται σε αφθονία στην θάλασσα.



Εικόνα 3. Κοκκολιθοφόρο (Coccolithophore)

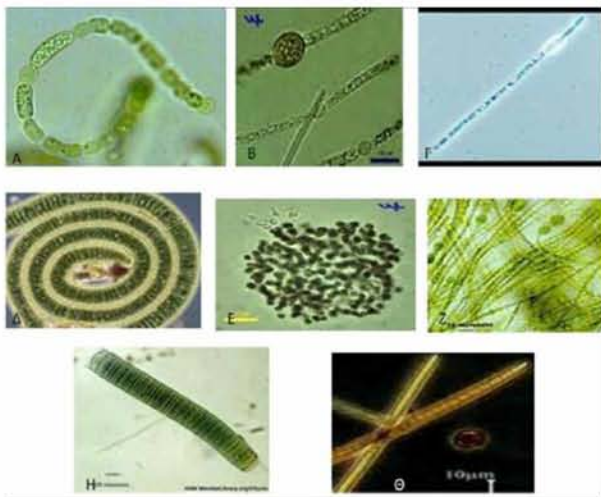
(<http://www.marinespecies.org/photogallery>)

1.4.1 Κυανοφύκη

Η παρουσία των κυανοβακτηρίων ήταν ήδη γνωστή στην ανθρωπότητα εδώ και δυο χιλιάδες χρόνια, όπως μαρτυρούν περιστασιακές περιγραφές από ταξιδιώτες, ιστορικούς και σεναριογράφους όπως ο Shakespear (Fogg et al., 1973; Codd and Beattie, 1991). Η περιγραφή της λίμνης Llangrose της Ουαλίας, από τον Geraldus Cambrensis το 1188 “μαρτυρά” την ύπαρξη των επιπλέοντων κυανοβακτηρίων: “Η λίμνη έχει υπερφυσικές ικανότητες αφού κάποιες φορές χρωματίζεται με ανοιχτό πράσινο, ενώ άλλες φορές χρωματίζεται κόκκινη σε κάποια σημεία της λης και το νερό της κινείται σε ρεύματα και στροβίλους” (Codd and Beattie, 1991). Επιπλέον υπάρχουν αποδείξεις ότι η τοξικότητα των κυανοβακτηρίων ήταν ήδη γνωστή στους ιθαγενείς της Βόρειας Αμερικής, της Αφρικής και της Αυστραλίας (Hayman, 1992).

Σε επιστημονικό επίπεδο, τα κυανοβακτήρια ήρθαν στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος, το 1970 στο πρώτο διεθνές συνέδριο των φωτοσυνθετικών προκαρυωτικών οργανισμών χωρίς όμως να γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην τοξικότητά τους ή στις επικίνδυνες επιδράσεις τους στην ανθρώπινη υγεία. Το 2004 το 6ο διεθνές συνέδριο με θέμα τα τοξικά κυανοβακτήρια, προσέλκυσε πολλούς επιστήμονες που ασχολούνταν με τις κυανοβακτηριακές τοξίνες (Huisman et al., 2005). Το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας σε σχέση με τα κυανοβακτήρια συνεχώς μεγαλώνει με θεμελιώδεις έρευνες που ασχολούνται με την υποβάθμιση των υδάτων, την εξεύρεση αναλυτικών και μοριακών τεχνικών για τη μελέτη τους και τον προσδιορισμό των τοξικών επιδράσεων των κυανοβακτηρίων στους υδρόβιους και χερσαίους οργανισμούς. Τα κυανοβακτήρια αποτελούν φυσικό κομμάτι του γήινου οικοσυστήματος, εδώ και 3 δισεκατομμύρια

χρόνια. Αποτελούν τους πρώτους οργανισμούς που εκμεταλλεύτηκαν την ηλιακή ενέργεια μέσω της φωτοσύνθεσης και η παρουσία τους ήταν καθοριστική για τον εμπλουτισμό της ατμόσφαιρας με οξυγόνο (Schopf 1993). Αποτελούν μια ομάδα φωτοσυνθετικών προκαρυωτικών οργανισμών με μεγάλη ποικιλία ως προς τη μορφολογία, τη φυσιολογία και τον μεταβολισμό τους (Codd, 1995).



Εικόνα 5. Γένη τοξινών κυανοβακτηρίων: Α) *Anabaena*, Β) *Aphanizomenon*, Γ) *Cylindrospermopsis*, Δ) *Lyngbya*, Ε) *Microcystis*, Ζ) *Nostoc*, Η) *Oscillatoria*, Θ) *Planktothrix*

(<http://www-cyanosite.bio.purdue.edu/>)

Εξαιτίας της ικανότητας τους για αερόβια και αναερόβια φωτοσύνθεση, μπορούν να αναπτυχθούν σε πολλά διαφορετικά περιβάλλοντα, υδάτινα και χερσαία και πολλές φορές κάτω από ακραίες συνθήκες. Τα κύρια περιβάλλοντα ανάπτυξης των κυανοβακτηρίων είναι τα λιμναία και τα θαλάσσια. Επιβιώνουν σε νερά αλμυρά, υφάλμυρα ή καθόλου αλμυρά, σε κρύες ή ζεστές πηγές και σε περιβάλλοντα που κανένα άλλο μικροφύκος μπορεί να ζήσει (Chorus, 1999). Πολλοί θαλάσσιοι τύποι (Humm and Wicks, 1980) αναπτύσσονται στις ακτές ως βενθική βλάστηση. Ένας

αριθμός ειδών που ζει στα εσωτερικά ύδατα μπορεί να αντέξει και σε μεγάλες συγκεντρώσεις χλωριούχου νατρίου (Reed et al, 1984). Εσωτερικά ύδατα με ποικίλα τροφικά επίπεδα αποτελούν τα συνηθέστερα ενδιαίτηματα των κυανοβακτηρίων. Πολλά είδη κατοικούν και σε επιφανειακά επιλίμνια αλλά και σε βαθιά υπολίμνια ευτροφικά νερά (Whitton,1973). Εκεί έχουν μια ταχύτατη ανάπτυξη, λόγω της μεγάλης εισροής θρεπτικών, όπως ο φωσφόρος και το άζωτο (Wiegand and Pflugmacher, 2005).

Πολλά είδη κυανοβακτηρίων διαθέτουν ειδικές ιδιότητες, όπως η δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου (Ressom et al., 1994) και η παραγωγή δευτερογενών τοξικών μεταβολιτών. Αυτές οι κυανοβακτηριακές τοξίνες ταξινομούνται σε πέντε λειτουργικές ομάδες: ηπατοτοξίνες, νευροτοξίνες, κυτοτοξίνες, δερματοτοξίνες και ερεθιστικές ενδοτοξίνες, όπως τα λιποπολυσακχαρίδια (Sivonen and Jones, 1999; Saker and Griffiths, 2000). Από τις πιο διαδεδομένες τοξίνες, είναι οι μικροκυστίνες οι οποίες έχουν ηπατοτοξική δράση (Carmichael, 1994).

Τα κυανοβακτήρια με την παραγωγή των τοξινών, 'κατηγορούνται' για την υποβάθμιση των υδάτων και για την τοξίκωση πολλών ζώων συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου (Chorus, 2001; Carmichael, 2001; Mohamed et al., 2003; Huisman and Visser 2005). Η έκθεση στις κυανοτοξίνες μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της κατανάλωσης μολυσμένου νερού ή μέσω της επαφής με αυτό. Ο ανθρώπινος πληθυσμός μπορεί να εκτεθεί επίσης, μέσω της κατανάλωσης υδρόβιων μολυσμένων οργανισμών (Pouria et al., 1998; Jochimsen et al., 1998; Rao et al., 2002; Madhavi, 2006). Συνεπώς, εύτροφα ύδατα πρέπει να ελέγχονται για την παρουσία των κυανοβακτηρίων για την προάσπιση της δημόσιας υγείας και της σωστής λειτουργίας του υδάτινων οικοσυστημάτων.

1.4.2 Χλωροφύλλη-a

Η χλωροφύλλη- a (Chl-a) αποτελεί την σημαντικότερη φωτοσυνθετική χρωστική για όλους τους οργανισμούς που φωτοσυνθέτουν και εκλύουν οξυγόνο. Αποτελεί μια πράσινη χρωστική που συμμετέχει στην φωτοσύνθεση, δηλαδή στην θρέψη των κυττάρων. Ο προσδιορισμός της αποτελεί μια διαδικασία εύκολη και γρήγορη. Η μελέτη της λειτουργεί και ως δείκτης μέτρησης οικολογικής κατάστασης του συστήματος. Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της τροφικής κατάστασης ενός οικοσυστήματος και αποτελεί δείκτη ρύπανσης από ευτροφισμό (Jorgensen & Richardson 1996). Επίσης, αποτελεί δείκτη της συγκέντρωσης των πρωτογενών παραγωγών (Wang et al. 2010).

1.4.3 Φυκοκυανίνη

Η φυκοκυανίνη είναι μια φωτοσυνθετική χρωστική που συναντάται κυρίως στα κυανοβακτήρια. Επιπλέον, συναντάται στα ροδόφυτα και στα κρυπτόφυτα. Τα μήκη κύματος που απορροφά είναι μεταξύ του 615-650 nm. Η φυκοκυανίνη ανήκει στην κατηγορία των φυκοβιλιπρωτεϊνών που δίνει το χαρακτηριστικό μπλε χρώμα των κυανοβακτηρίων. Για την παρακολούθηση των κυανοβακτηριακών πληθυσμών πλέον χρησιμοποιείται η μελέτη της φυκοκυανίνης (Ahn et al., 2002). Χρησιμοποιείται ευρέως στην βιομηχανία τροφίμων και καλλυντικών ως φυσική χρωστική. Επίσης, πρόσφατες μελέτες έχουν καταδείξει την αντιφλεγμονώδη (Romay et al., 2003; Reddy et al, 2003; Bhat και Madyastha, 2001) και την αντιοξειδωτική δράση της (Estrada et al., 2001, Bhat and Madyastha, 2000).

1.4.7 Δευτερεύουσες Χρωστικές

Δευτερεύουσες χρωστικές είναι η χλωροφύλλη - b, c, τα καροτενοειδή και οι ξανθοφύλλες. Τα σημαντικότερα καροτένια είναι το α- και β- καροτένιο, το λυκοπένιο, η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη.

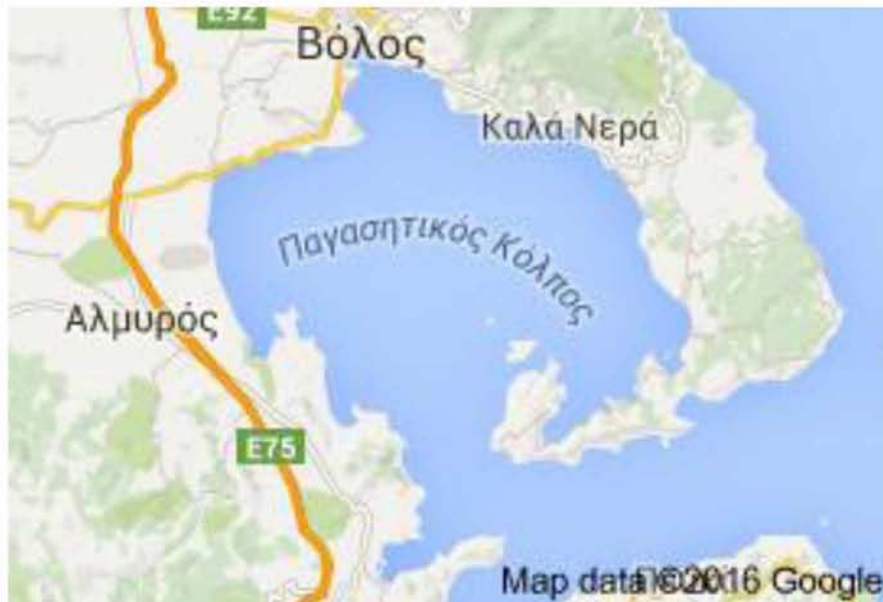
1.5 Σκοπός της μελέτης

Οι μελέτες σχετικά με τις φυτοχρωστικές (φυκοκυανίνη, χλωροφύλλη-a, χλωροφύλλη-b, χλωροφύλλη-c και καροτονοειδή) σε λιμάνια είναι περιορισμένες. Ειδικότερα, οι έρευνες που σχετίζονται με την φυκοκυανίνη σε θαλασσινό νερό είναι ελάχιστες. Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζουμε τις διακυμάνσεις των φωτοσυνθετικών χρωστικών ουσιών από 16/03/2016 έως 16/12/2016. Επίσης, γίνεται συσχέτιση μεταξύ των χρωστικών ουσιών, με τις φυσικοχημικές παραμέτρους του θαλασσινού νερού αλλά και με περιβαλλοντικούς παράγοντες. Τέλος, γίνεται συσχέτιση της φυκοκυανίνης με την χλωροφύλλη-a αλλά και εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης του λιμανιού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιοχή δειγματοληψίας

Ο Παγασητικός κόλπος αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα λιμάνια της Ελλάδας με έντονες ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Συνδέεται με το Αιγαίο Πέλαγος αλλά και με τον Ευβοϊκό Κόλπο. Το μέσο βάθος του κόλπου είναι 69m, ενώ το μέγιστο βάθος στην ανατολική πλευρά είναι 108 m (Korres et al. 2012). Η συνολική επιφάνεια του κόλπου είναι 520 km² και ο συνολικός όγκος είναι 36 km³ (Petihakis et al., 2002). Σημαντικό ρόλο για την μείωση του οργανικού φορτίου έπαιξε η κατασκευή του βιολογικού καθαρισμού.



Εικόνα 6. Περιοχή δειγματοληψίας

2.2 Δειγματοληψίες

Η συλλογή των δειγμάτων ξεκίνησε στις 16/03/2016 και ολοκληρώθηκε στις 16/12/2016. Η περιοχή δειγματοληψίας ήταν το λιμάνι του Βόλου και, πιο συγκεκριμένα, λίγα μέτρα μπροστά από την εκκλησία του Αγίου Κωνσταντίνου. Μια φορά την εβδομάδα συλλέγονταν θαλασσινό νερό (2000 ml) από την επιφάνεια της

θάλασσας σε αδιαφανές πλαστικό δοχείο. Επίσης, γινόταν επιτόπια μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού, με θερμόμετρο, παρατήρηση των καιρικών συνθηκών αλλά και της κατάστασης που βρισκόταν η θάλασσα (κυματισμός, αιωρούμενο μακροσκοπικό υλικό, πχ σκουπίδια, νεκρή φυτική βιομάζα). Έπειτα, το δοχείο μεταφερόταν στο εργαστήριο μέσα σε διάστημα 1 ώρας για να πραγματοποιηθεί η διήθηση.

2.3 Διαδικασία διήθησης

Αρχικά, γινόταν μέτρηση του pH με πεχαμετρικό χαρτί αλλά και μέτρηση της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας με ειδική συσκευή. Στην συνέχεια, γινόταν διήθηση 500 ml νερού με φίλτρα νιτροκυτταρίνης (πόρος 0.22μm, διάμετρος 47mm) για την φυκοκυανίνη και διήθηση 1,5L για την χλωροφύλλη σε φίλτρα GF/F με άνοιγμα πλέγματος 0,7μm (διάμετρος 0,47mm). Η συσκευή που χρησιμοποιούνταν για την διήθηση ήταν η αντλία κενού στην οποία το κενό δεν ξεπερνούσε τα 150mmHg. Μετά το τέλος της διήθησης ξεπλένονταν ο πύργος διήθησης συσκευή με απιονισμένο νερό για την απομάκρυνση τυχόν υπολειμμάτων και άλατα. Έπειτα, το φίλτρο διπλώνονταν προσεκτικά στην μέση με την λαβίδα και τυλιγόταν με αλουμινόχαρτο, πάνω στο οποίο αναγραφόταν η ημερομηνία και τα ml που διηθούνταν. Τέλος, τα δείγματα αποθηκεύονταν στην κατάψυξη στους -20°C μέχρι την εκχύλιση των φυτοχρωστικών.

2.4 Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων

Όταν ολοκληρώθηκε η διαδικασία των δειγματοληψιών ξεκίνησε η διαδικασία της ανάλυσης των φυτοχρωστικών. Όσο αναφορά τον ποσοτικό προσδιορισμό των χλωροφυλλών- a, χλωροφυλλών-b, χλωροφυλλών-c, καροτενοειδών και φαιοφυτινών ακολούθηθηκε η εξής διαδικασία:

Αρχικά, τα φίλτρα τοποθετήθηκαν σε σωλήνα φυγοκέντρισης των 10ml στον οποίο προστέθηκαν 6ml ακετόνης 90% (v/v) και έπειτα, με την βοήθεια γυάλινης ράβδου, έγινε η μηχανική ρήξη του φίλτρου για να πραγματοποιηθεί η εκχύλιση των φυτοχρωστικών. Έπειτα, καλύφθηκε με parafilm το στόμιο των σωλήνων για να μην εξατμιστεί η ακετόνη. Στην συνέχεια, τοποθετήθηκαν στο ψυγείο για 24h στους 4⁰C. Την επόμενη ημέρα το εκχυλισμένο διάλυμα βγήκε από το ψυγείο και, αφού πήρε θερμοκρασία δωματίου, φυγοκεντρήθηκε για 20 λεπτά στις 4.000 στροφές/λεπτό. Μετά την ολοκλήρωση της φυγοκέντρωσης τα κομμάτια από τα διαλυμένα φίλτρα καθίζησαν στον πυθμένα του σωλήνα. Τέλος, με την χρήση πιπέτας Pasteur μεταφερόταν το υπερκείμενο υγρό στην κυψελίδα μήκους 1 cm για να ξεκινήσει η διαδικασία της φασματοφωτομέτρησης. Τα μήκη κύματος που μελετήθηκαν είναι τα εξής: 750, 664, 647, 510, 480 nm. Στην συνέχεια, προσθέτονταν στο δείγμα δύο σταγόνες HCl 10% (v/v) και φωτομετρούσαμε σε δύο μήκη κύματος (750 και 664nm) για τον προσδιορισμό των φαιοφυτινών. Τέλος, υπολογίστηκαν οι συγκεντρώσεις των φυτοχρωστικών με την χρήση των εξισώσεων των Jeffrey & Humphrey (1975).

Πίνακας 1. Μήκη κύματος.

750nm	Θολερότητα
664nm	χλωροφύλλη-a
647nm	χλωροφύλλη-b
510nm	χλωροφύλλη-c
480nm	καροτονοειδή
750nm HCl	Φαιοφυτίνες
664nm HCl	Φαιοφυτίνες

Πίνακας 2. Τύποι υπολογισμού φυτοχρωστικών $E_{664,647,630,750}$ (nm): απορρόφηση στα αντίστοιχα μήκη κύματος, E_{510} : απορρόφηση στα 510 nm, E_{480} : απορρόφηση στα 480 nm, v : ο όγκος της ακετόνης που χρησιμοποιήθηκε (ml), V : ο όγκος του θαλασσινού νερού (l), l : το μήκος της κυψελίδας (cm), E_{664} : απορρόφηση στα 664 nm για την χλωροφύλλη –a , προσθήκη HCl για την μέτρηση των φαιοφυτίνων.

Φυτοχρωστικές	Τύπος
Χλωροφύλλη-a	$\{[11,85*(E_{664})-1,54*(E_{647})-0,08*(E_{630})]*v\}/V* l$
Χλωροφύλλη-b	$\{[21,03*(E_{647})-5,43*(E_{664})-2,66*(E_{630})]*v/V* l$
Χλωροφύλλη-c	$\{[24,52*(E_{630})-1,67*(E_{664})-7,60*(E_{647})]*v/V* l$
Καροτενοειδή	$\{[7,6*(E_{480}-(1,49*E_{510}))]*v/V* l$
Φαιοφυτίνες	$\{26,7*[1,7*(E_{664},HCl)]-(E_{664})\}*v/V* l$

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό της φυκοκυανίνης ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

Αρχικά, δημιουργήθηκε το ρυθμιστικό διάλυμα εκχύλισης (phosphate buffer).

Χρειάστηκαν 1.000 ml απιονισμένου νερού στα οποία προστέθηκαν 1,36g KH_2PO_4 . Για

τη ρύθμιση του pH στην τιμή 7, προστέθηκαν στο παραπάνω διάλυμα 2,2 mol KOH.

Στη συνέχεια, τα φίλτρα τοποθετήθηκαν σε σωλήνα φυγοκέντρου και προστέθηκαν

5ml από το ρυθμιστικό διάλυμα με την χρήση πιπέτας Pasteur. Έπειτα, τα δείγματα

τοποθετήθηκαν στην κατάψυξη στους $-20^{\circ}C$ για 12h και για άλλες 12h στο ψυγείο

στους $12^{\circ}C$. Η διαδικασία πάγωμα-ξεπάγωμα ακολουθήθηκε για δύο κύκλους. Έπειτα,

τα δείγματα βγήκαν από το ψυγείο και περιμέναμε να αποκτήσουν την θερμοκρασία

του δωματίου. Μετά τα δείγματα επεξεργάστηκαν με υπερήχους (sonication) για να

σπάσουν περισσότερα κύτταρα (συχνότητα 20kHz, 50% cycle, 120sec). Στην συνέχεια,

τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν για δέκα λεπτά στις 4.000 στροφές/λεπτό. Τέλος, η

συγκέντρωση της φυκοκυανίνης υπολογίστηκε μετά τη φωτομέτρηση των δειγμάτων,

σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (Sarada et al., 1999):

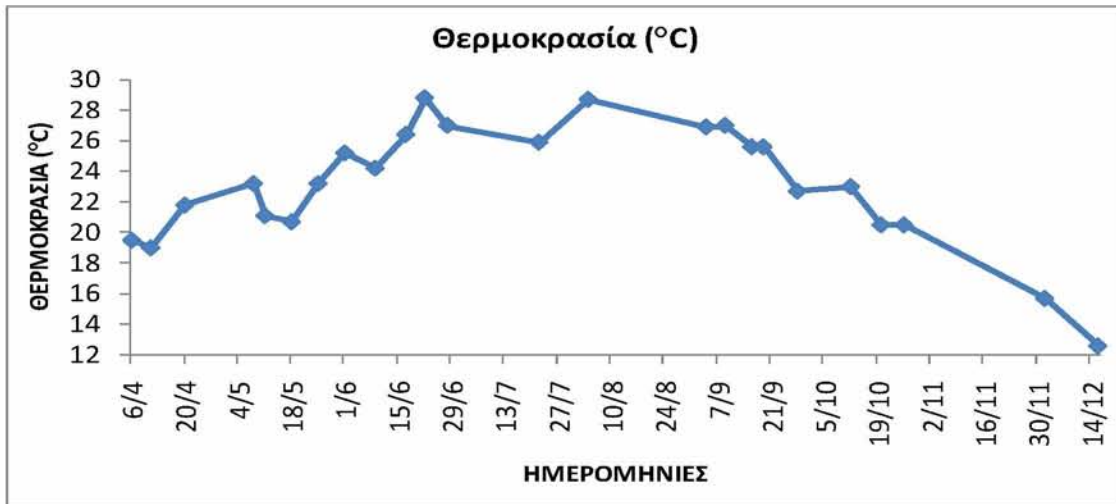
$$C_{\text{phyc}} = (A_{615} - 0.474 * A_{652}) / 5.34 \text{ (}\mu\text{g/l)}$$

όπου A_{615} η απορρόφηση στα 615 nm και A_{652} η απορρόφηση στα 652 nm.

3. Αποτελέσματα

3.1 Διακύμανση περιβαλλοντικών παραμέτρων

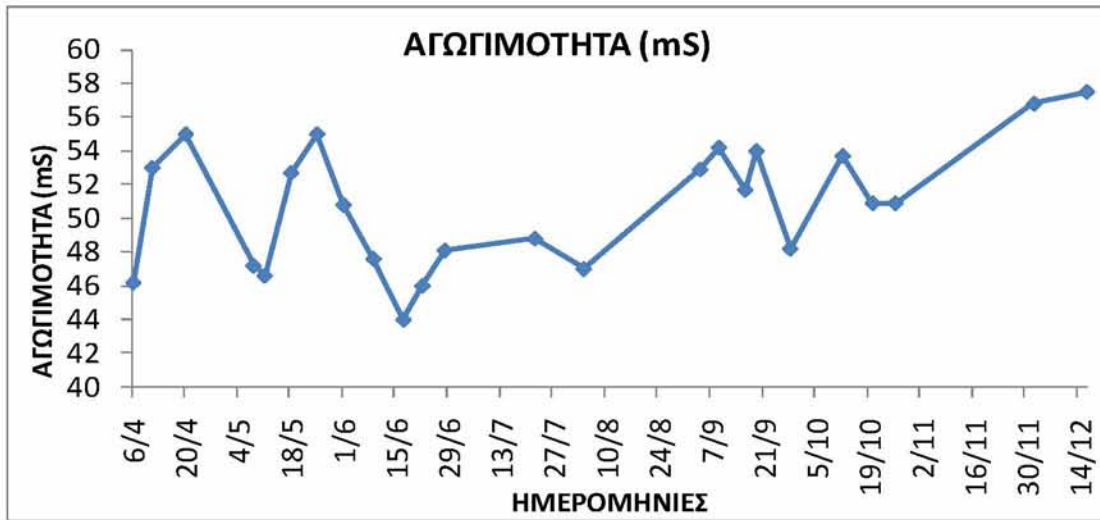
Στο σχήμα 1 αποτυπώνεται η διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού που συλλέχθηκε για την ανάλυση. Το εύρος της διακύμανσης ήταν από 12,6 °C έως και 28,8 °C. Η μικρότερη τιμή σημειώθηκε στις 16/12/16 ενώ η υψηλότερη στις 22/06/16.



Σχήμα 1. Διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού στο λιμάνι του Βόλου.

Στο Σχήμα 2 αποτυπώνεται η διακύμανση της αγωγιμότητας του νερού στο λιμάνι του Βόλου. Το εύρος της διακύμανσης κυμάνθηκε από 44 mS έως 57,5 mS. Η υψηλότερη

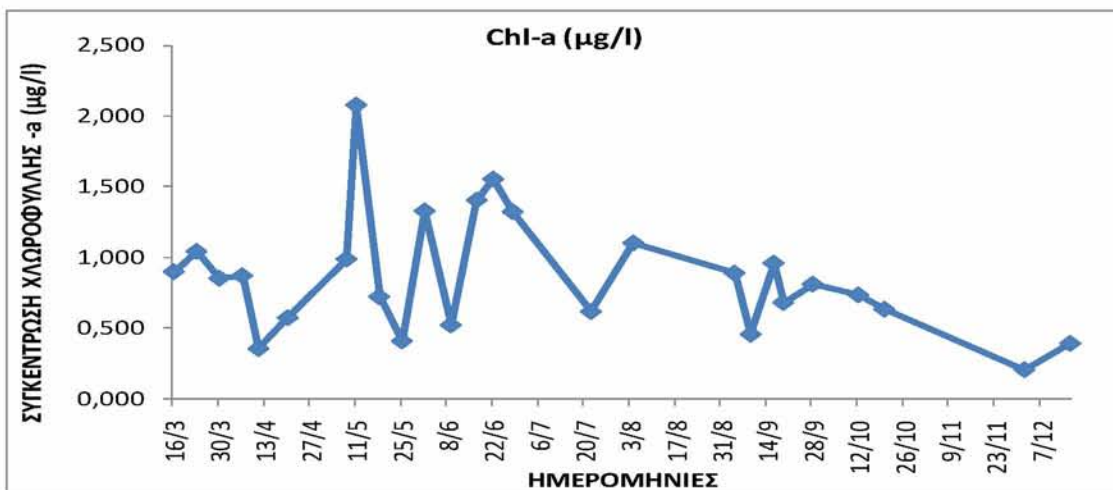
τιμή καταγράφηκε στις 16/12/2016 ενώ η μικρότερη στις 17/06/2016.



Σχήμα 2. Διακύμανση της αγωγιμότητας στο λιμάνι του Βόλου.

3.2 Διακύμανση φωτοσυνθετικών χρωστικών

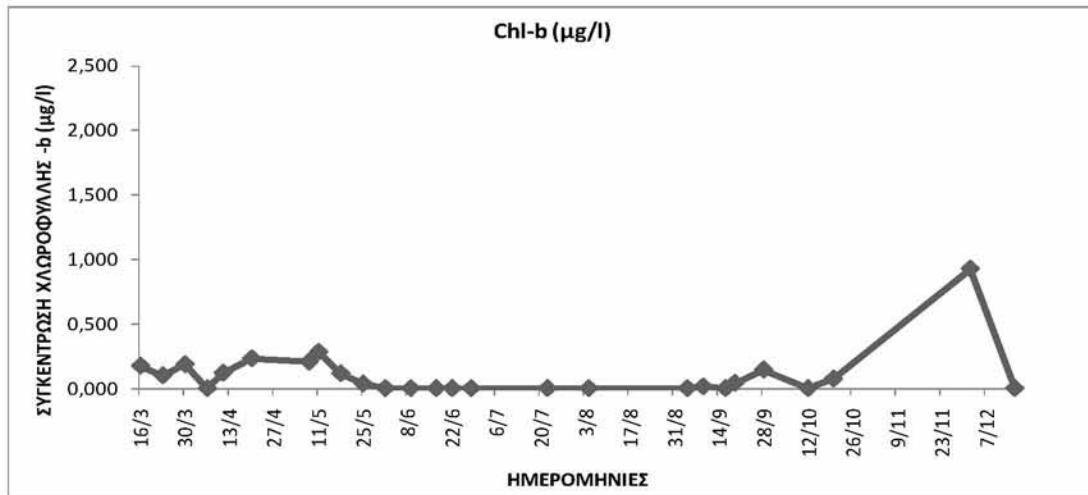
Στο σχήμα 3 φαίνεται η διακύμανση της χλωροφύλλης-a. Το εύρος της διακύμανσης ήταν από 2,075 $\mu\text{g/l}$ έως 0,274 $\mu\text{g/l}$. Η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 11/05/2016 ενώ η χαμηλότερη στις 02/12/2016. Η μέση τιμή της χλωροφύλλης-a ήταν 0,861.



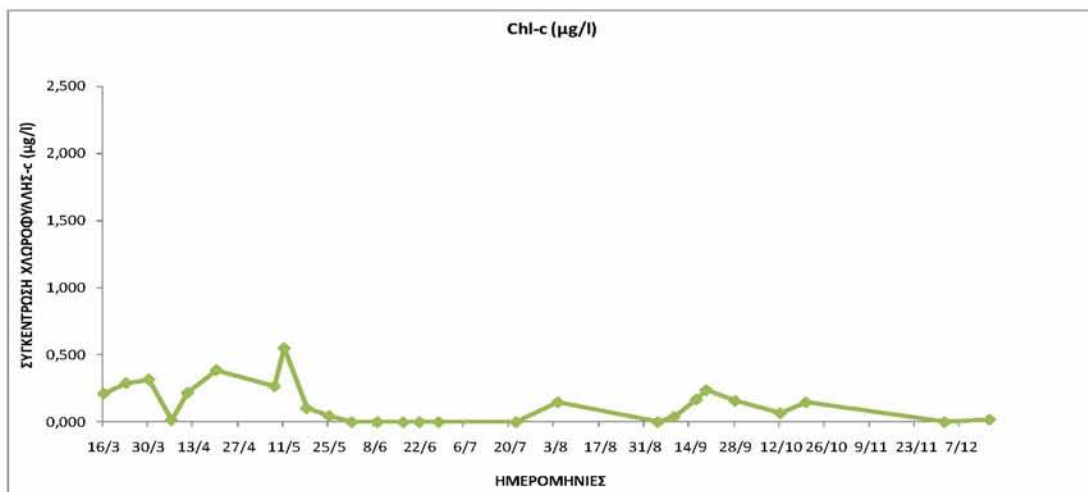
Σχήμα 3. Διακύμανση χλωροφύλλης-a στο λιμάνι του Βόλου.

Στο Σχήμα 4 φαίνεται η διακύμανση της χλωροφύλλης-b. Η υψηλότερη τιμή της παρατηρήθηκε στις 2/12/2016 (1,235 $\mu\text{g/l}$).

Σχήμα 4. Διακύμανση χλωροφύλλης-b στο λιμάνι του Βόλου.

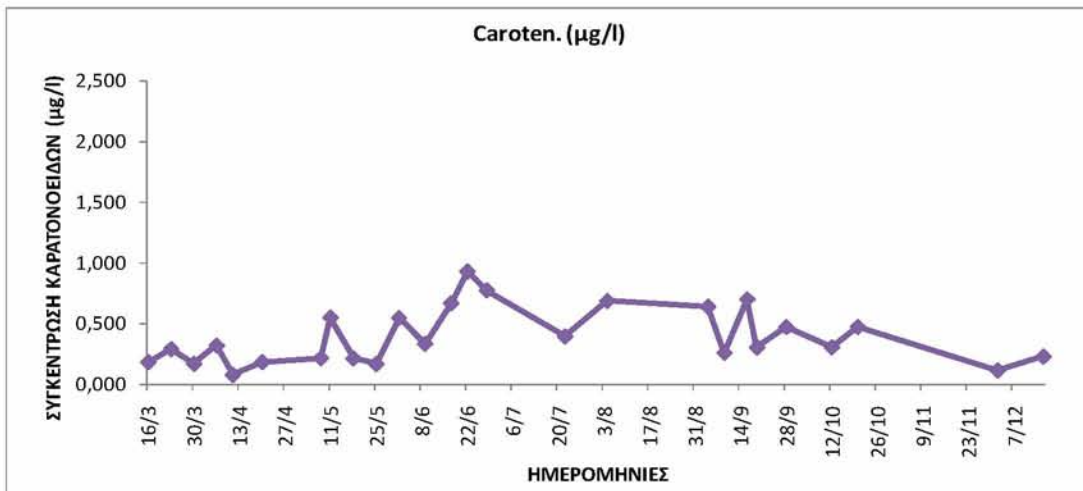


Στο Σχήμα 5 αποτυπώνεται η διακύμανση της χλωροφύλλης-c. Το εύρος των τιμών ήταν από 0 έως 0,549 $\mu\text{g/l}$. Η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 11/05/2016.



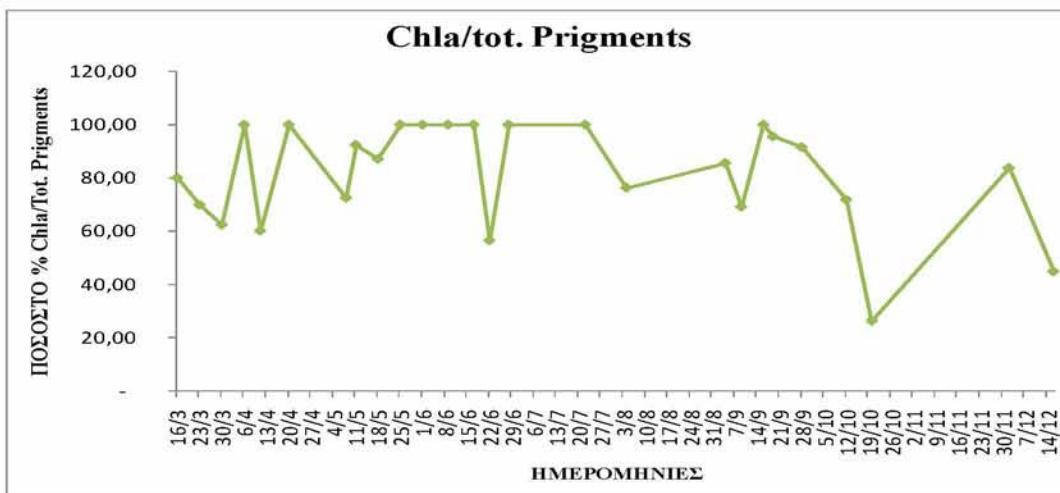
Σχήμα 5. Διακύμανση χλωροφύλλης-c στο λιμάνι του Βόλου.

Στο Σχήμα 6 αποτυπώνεται η διακύμανση των καροτονοειδών. Το εύρος των τιμών ήταν από 0,776 $\mu\text{g/l}$ έως 0,078 $\mu\text{g/l}$.



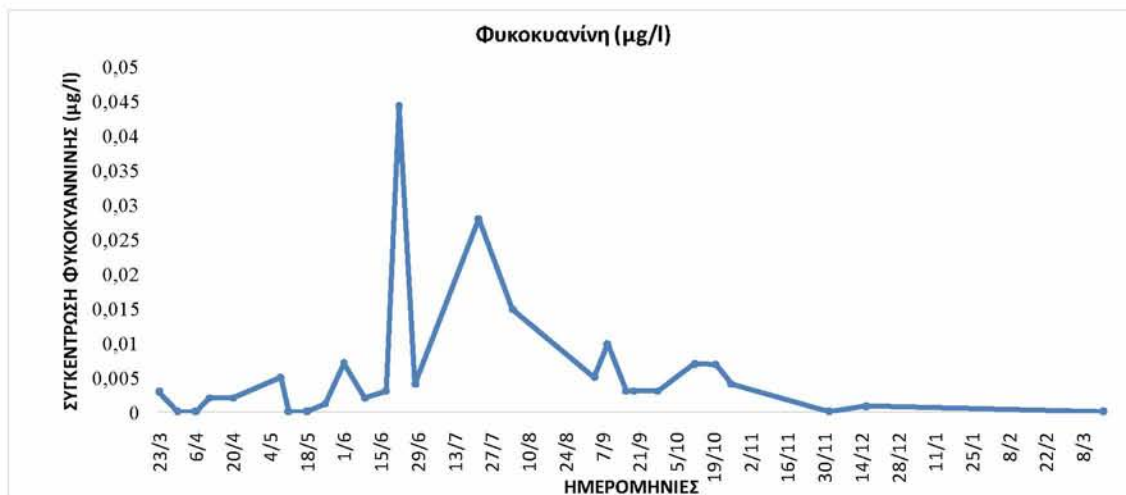
Σχήμα 6. Διακύμανση των καροτονοειδών στο λιμάνι του Βόλου.

Στο Σχήμα 7 φαίνεται ο λόγος της χλωροφύλλης-a προς το άθροισμα των υπολοίπων χρωστικών. Το εύρος που κυμάνθηκε είναι 44,9% έως 100%.



Σχήμα 7. Διακύμανση του λόγου της χλωροφύλλης-a προς το άθροισμα των υπόλοιπων χρωστικών.

Στο Σχήμα 8 αποτυπώνεται η διακύμανση της φυκοκυανίνης. Το εύρος των τιμών κυμάνθηκε από 0 έως 0,044 $\mu\text{g/l}$. Η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 22/06/2016.



Σχήμα 8. Εβδομαδιαία διακύμανση της φυκοκυανίνης στο λιμάνι του Βόλου.

3.3 Επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη διακύμανση συγκέντρωσης των φυτοχρωστικών .

Στον Πίνακα 1 καταγράφονται οι συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα στις φυτοχρωστικές και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, οι οποίες αναλύθηκαν με το στατιστικό πρόγραμμα Past. Η χλωροφύλλη-*a* παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική συσχέτιση με την αγωγιμότητα ($R^2=0,503$, $P<0,05$) με την θερμοκρασία του νερού, την θερμοκρασία του αέρα ($R^2=0,164$, $P<0,05$) και την ηλιοφάνεια ($R^2=0,255$, $P<0,05$). Η χλωροφύλλη- *b* εμφάνισε ασθενή συσχέτιση με την θερμοκρασία του νερού ($R^2=0,277$, $P<0,05$) με την θερμοκρασία του αέρα ($R^2=0,247$, $P<0,05$) και με την ηλιοφάνεια ($R^2=0,173$, $P<0,05$). Η χλωροφύλλη- *c* αλλά και ο λόγος της χλωροφύλλης- *a* προς το άθροισμα της χλωροφύλλης με τις υπόλοιπες χρωστικές δεν εμφάνισαν καμία συσχέτιση με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους που μελετήθηκαν. Τα καροτονοειδή παρουσίασαν συσχέτιση με την αγωγιμότητα ($R^2=0,376$, $P<0,05$) με την θερμοκρασία

νερού ($R^2 = 0,436$, $P < 0,05$), την θερμοκρασία αέρα ($R^2 = 0,440$, $P < 0,05$) και με την ηλιοφάνεια ($R^2 = 0,180$, $P < 0,05$). Η φυκοκυανίνη παρουσιάζει συσχέτιση με την θερμοκρασία αέρα ($R^2 = 0,302$, $P < 0,05$) αλλά και με την θερμοκρασία νερού ($R^2 = 0,315$, $P < 0,05$). Τέλος, δεν παρατηρήθηκε συσχέτιση της χλωροφύλλης- a με την φυκοκυανίνη ($R^2 = 0,051$)

Πίνακας 1. Συσχετίσεις φυτοχρωστικών με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες (με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές συσχέτισεις)

		R^2	p
Χλωροφύλλη- a	Αγωγιμότητα	0,503	0,0001
	Θερμοκρασία αέρα	0,164	0,039
	Θερμοκρασία νερού	0,200	0,032
	Βροχή	0,001	0,863
	Ηλιοφάνεια	0,255	0,008
	Ταχύτητα ανέμου	0,044	0,299
	Χλωροφύλλη- b	Αγωγιμότητα	0,911
	Θερμοκρασία αέρα	0,277	0,005

	Θερμοκρασία νερού	0,247	0,015
	Βροχή	0,016	0,532
	Ηλιοφάνεια	0,173	0,033
	Ταχύτητα ανέμου	0,021	0,473
<hr/>			
Χλωροφύλλη- c	Αγωγιμότητα	0,001	0,884
	Θερμοκρασία αέρα	0,025	0,437
	Θερμοκρασία νερού	0,018	0,534
	Βροχή	1,755 ^E - 06	0,994
	Ηλιοφάνεια	0,001	0,863
	Ταχύτητα ανέμου	0,003	0,763
<hr/>			
Καροτονοειδή	Αγωγιμότητα	0,376	0,001
	Θερμοκρασία αέρα	0,440	0,0002
	Θερμοκρασία νερού	0,436	0,0006

	Βροχή	0,0002	0,934
	Ηλιοφάνεια	0,180	0,030
	Ταχύτητα Ανέμου	0,031	0,385
<hr/>			
Φυκοκυανίνη	Αγωγιμότητα	0,111	0,110
	Θερμοκρασία αέρα	0,302	0,001
	Θερμοκρασία νερού	0,315	0,004
	Βροχή	0,013	0,504
	Ηλιοφάνεια	0,111	0,088
	Ταχύτητα ανέμου	0,001	0,834
<hr/>			
Χλωροφύλλη- a/Χλωροφύλλη-a+ Φαιοφυτίνες	Αγωγιμότητα	0,004	0,322

Θερμοκρασία αέρα	0,120	0,082
Θερμοκρασία νερού	0,103	0,082
Βροχή	0,011	0,605
Ταχύτητα ανέμου	0,0009	0,879

4.Συζήτηση

4.1 Σύγκριση με Σ. Παπαδήμου (2017) –, Κ. Καλαϊτζάκη και Μ. Μάρκου (2017)

Την ίδια χρονική περίοδο πραγματοποιήθηκαν τρεις μελέτες στον Παγασητικό Κόλπο, σε διαφορετικές περιοχές. Στην μελέτη των Καλαϊτζάκη και Μάρκου (2017) η χλωροφύλλη-α δεν παρουσίασε καμία ένδειξη συσχέτισης με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, αντίθετα η μελέτη της Παπαδήμου (2017) έδειξε συσχέτιση με την ηλιοφάνεια ($R^2=0,313$), την αγωγιμότητα ($R^2=0,536$) και τη θερμοκρασία νερού ($R^2=0,526$). Οι μέγιστες τιμές της ήταν 1,094 $\mu\text{g/l}$ και 1,6 $\mu\text{g/l}$ αντίστοιχα. Στην συγκεκριμένη έρευνα η χλωροφύλλη-α επηρεάστηκε από την αγωγιμότητα ($R^2= 0,503$), την θερμοκρασία νερού ($R^2=0,200$) την θερμοκρασία αέρα ($R^2= 0,164$) και από την ηλιοφάνεια ($R^2=0,255$). Η χλωροφύλλη- b παρουσίασε συσχέτιση με την θερμοκρασία αέρα ($R^2= 0,277$), την θερμοκρασία νερού ($R^2=0,247$) και την ηλιοφάνεια ($R^2= 0,173$). Στην Παπαδήμου (2017) και στην Καλαϊτζάκη και Μάρκου (2017) φαίνεται ότι επηρεάστηκε από την θερμοκρασία νερού ($R^2= 0,091$), ($R^2=0,306$), την αγωγιμότητα ($R^2= 0,137$). Επίσης, η χλωροφύλλη- c φαίνεται ότι στην εργασία της Παπαδήμου επηρεάστηκε από την αγωγιμότητα ($R^2 0,341$) την ηλιοφάνεια ($R^2= 0,180$) και τη θερμοκρασία νερού ($R^2= 0,315$) ενώ στις Καλαϊτζάκη και Μάρκου από την ταχύτητα ανέμου ($R^2= 0,548$) αντίθετα στην συγκεκριμένο μελέτη δεν επηρεάστηκε από κανένα παράγοντα. Τέλος, τα καροτονοειδή στις Καλαϊτζάκη και Μάρκου (2017) δεν επηρεάστηκαν από κάποιο παράγοντα αντίθετα στην μελέτη της Παπαδήμου επηρεάστηκε από την αγωγιμότητα ($R^2=0,306$), την θερμοκρασία νερού ($R^2=0,204$) και από την ηλιοφάνεια ($R^2=0,152$). Στην παρούσα μελέτη οι παράγοντες που επηρέασαν τα καροτονοειδή ήταν η αγωγιμότητα ($R^2=0,376$), η θερμοκρασία αέρα ($R^2= 0,440$), η θερμοκρασία νερού ($R^2=0,436$) και η ηλιοφάνεια ($R^2= 0,180$).

Συμπερασματικά, όπως ήταν αναμενόμενο στο λιμάνι και στη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο βιολογικό καθαρισμό βρέθηκαν μεγαλύτερες τιμές της χλωροφύλλης- a. Αρχικά ο βιολογικός καθαρισμός αποτελεί μια σημειακή πηγή ρύπανσης και το λιμάνι είναι ένα ιδιόμορφο σύστημα που δέχεται πληθώρα ανθρωπογενών επεμβάσεων. Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων και του διαλυμένου οξυγόνου διαφέρουν από τα παράκτια συστήματα σε σχέση με την ανοιχτή θάλασσα. Τέλος, στην μελέτη της Παπαδήμου 2017 αναφέρει ότι τα Κάτω Λεχώνια είναι ένα ολιγοτροφικό σύστημα, εξαιτίας της θέσης τους.

4.2 Διακύμανση της χλωροφύλλης-a

Σύμφωνα με τις Πάγκου και Ασημακοπούλου (1997), η ολική χλωροφύλλη-a στον Θερμαϊκό κόλπο εμφάνισε την μέγιστη μέση τιμή τον Μάρτιο (4,351 $\mu\text{g/l}$) και την ελάχιστη τον Δεκέμβριο (0,676 $\mu\text{g/l}$). Από αυτό προκύπτει ότι, κατά το θέρος, υπάρχει ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού εξαιτίας του εμπλουτισμού του κόλπου με θρεπτικά και αστικά απόβλητα (Πάγκου 1994). Στην μελέτη της η Μποζατζίδου (2013) αναφέρει ότι η χλωροφύλλη-a κυμάνθηκε από 0,111 $\mu\text{g/l}$ έως 3,846 $\mu\text{g/l}$ τους μήνες Νοέμβριο-Οκτώβριο στον Θερμαϊκό κόλπο. Με βάση τις Καλαϊτζάκη και Μάρκου (2017), στην μελέτη που διεξήχθη στον Βόλο η μέγιστη τιμή της χλωροφύλλης-a ήταν 1,094 $\mu\text{g/l}$. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης-a καταγράφονται κατά την ανοιξιάτικη περίοδο λόγω του εμπλουτισμού της υδάτινης στήλης με θρεπτικά αλλά και λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και του φωτός σε εύκρατα παράκτια οικοσυστήματα (Delgado, 1990; Estrada et al., 1993). Επίσης, οι Κορμας et al. (2014) αναφέρουν ότι στο Τρίκερι η τιμή της ήταν μέχρι 0,83 $\mu\text{g/l}$ τον Σεπτέμβρη και η

μέγιστη τιμή της στο Βόλο ήταν 2,26 μg/l τον Απρίλιο. Στην μελέτη του Βρυώνη (2013) φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση της χλωροφύλλης-a με την θερμοκρασία, γεγονός το οποίο συμφωνεί και με την δική μας μελέτη. Επίσης, στο Κρητικό Πέλαγος η διακύμανση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-a κυμάνθηκε από 0,07-0,36μg/l (Πεσματζόγλου et al. 2006). Σύμφωνα, με τους Meziti et al. (2015) η συγκέντρωση της χλωροφύλλης- a στον Κόλπο της Ηγουμενίτσας τον Αύγουστο ήταν 1,34-2,79μg/l ενώ τον Οκτώβρη κυμάνθηκε από 0,34-2,02μg/l. Τέλος, οι Σταμάτης et al. (1999) αναφέρουν ότι στον Στρυμονικό κόλπο η μέση τιμή της χλωροφύλλης την άνοιξη ήταν 0,440g/l.

Συμφωνα με τον πίνακα αλλά και με τα αποτελέσματα της μελέτης προκύπτει ότι στο λιμάνι του Βόλου επικρατούν υψηλές μεσοτροφικές συνθήκες. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και η Πάσχου (2016) και ο Αγγελακόπουλος (2016) αλλά και ο Βυρώνης (2013).

Πίνακας 3. Κλίμακα ευτροφισμού βασισμένη στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-a (τροποποιημένο από Karydis, 1999 και Pagou et al. 2002) και σε συμφωνία με την οικολογική κατάσταση, όπως ορίζεται από την Οδηγία 2000/60ΕΚ (σύμφωνα με τους Simboura et al. 2005) για τα παράκτια ύδατα της Ανατολικής Μεσογείου.

Κλίμακα Ευτροφισού	Χλωροφύλλη-a (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

4.3 Φυκοκυανίνη

Οι περισσότερες μελέτες για την φυκοκυανίνη αφορούν τα εσωτερικά νερά εξαιτίας της αφθονίας των κυανοβακτηρίων. Η ανάπτυξη των κυανοβακτηρίων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως το υψηλό pH (Reynolds & Walsby, 1975), την υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών ουσιών (Watson et al., 1997), η σημαντικότερη όμως περιβαλλοντική παράμετρος που επηρεάζει την ανάπτυξη τους είναι η θερμοκρασία (Davis et al., 2009, McQueen & Lean, 1987). Αυτό επιβεβαιώνεται και στην δική μας έρευνα ($R^2=0,315$). Στη Βαλτική παρατηρούνται πολλά προβλήματα με τις ανθίσεις των κυανοβακτηρίων ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι μεγαλύτερες τιμές στην μελέτη μας παρατηρήθηκαν τους μήνες Ιούνιο- Αύγουστο. Σύμφωνα με τους Woźniak et al 2016 η μέγιστη τιμή της φυκοκυανίνης παρατηρήθηκε τέλη Ιουνίου. Επίσης, το δείγμα που προήλθε από τον Θερμαϊκό Κόλπο σε δειγματοληψία του Μαρτίου ήταν 0,016 $\mu\text{g/l}$ την ίδια χρονική περίοδο στον Παγασητικό Κόλπο οι τιμές ήταν από 0 έως 0,002 $\mu\text{g/l}$. Την ίδια περίοδο σε δειγματοληψίες στο λιμάνι της Καβάλας και στο λιμάνι της Πάτρας οι τιμές ήταν πολύ χαμηλές. Η υψηλότερη τιμή στον Θερμαϊκό Κόλπο πιθανότατα να οφείλεται στην ρύπανση του οικοσυστήματος. Στον Κόλπο Gdansk η μέση τιμή της ήταν 2,14 mg/m^3 ενώ η μέγιστη ήταν 18,95 mg/m^3 . Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-a αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας της φυκοκυανίνης, το αντίθετο δεν μπορεί να συμβεί. Οι διαφορές στις τιμές της φυκοκυανίνης που

μελετήθηκε στη θάλασσα σε σχέση με μια λίμνη είναι τεράστιες. Στην μελέτη της Χαμόγλου (2013) τον Μάρτιο στην λίμνη Κάρλα η τιμή της φυκοκυανίνης ήταν 39,92μg/l και η μέγιστη τιμή της ήταν 396,28 μm/l. Επίσης, παρατηρήθηκε ανοδική πορεία από το Μάρτιο έως την κορύφωση της τον μήνα Οκτώβριο. Σύμφωνα με τους Simis et al. (2007) η αναλογία της συγκέντρωσης της φυκοκυανίνης και χλωροφύλλης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης αναλογίας των κυανοβακτηρίων στο φυτοπλαγκτό. Η παρούσα μελέτη έδειξε ότι η φυκοκυανίνη αυξάνεται τους καλοκαιρινούς μήνες όπως ήταν αναμενόμενο σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες (Wasmund 1997, Kanoshina et al 2003, Woźniak et al 2016), και ότι ο περιβαλλοντικός παράγοντας που την επηρέασε ήταν η θερμοκρασία του νερού και η θερμοκρασία του αέρα. Οι τιμές της στο λιμάνι του Βόλου ήταν αρκετά χαμηλότερες σε σχέση με της Βαλτικής γι' αυτό το λόγο δεν παρουσιάζονται τα ίδια φαινόμενα. Τον Αύγουστο του 1982 στην Βαλτική πραγματοποιήθηκε κυανοβακτηριακή άνθιση (*Nodularia spumigena*) και ως αποτέλεσμα είχε να πεθάνουν 9 σκυλιά, τα οποία είχαν έρθει σε επαφή με το νερό. Η Βαλτική είναι από τις πλέον μολυσμένες θάλασσες, ενδεχομένως η αυξημένη διαθεσιμότητα φωσφόρου και αζώτου οδηγεί στις κυανοβακτηριακές ανθίσεις τους καλοκαιρινούς μήνες. Τέλος, η μελέτη της φυκοκυανίνης μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για την άνθιση των κυανοβακτηριακών πληθυσμών και ιδιαίτερα των πληθυσμών που παράγουν τοξίνες.

5.Βιβλιογραφία

5.1 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Ahn C. Y., Chung A. C., Oh H. M., (2002) Rainfall, phycocyanin, and N:P ratios related to cyanobacterial blooms in a Korean large reservoir, *Hydrobiologia* 474: 117-124
- Edler L., Fernö S., Lind G. M., Lundberg R., Nilsson O. P., (2012) Mortality of dogs associated with a bloom of the cyanobacterium *Nodularia spumigena* in the Baltic Sea, *Ophelia*
- Gin K.Y. H., Koh S. T., Lin I. I., (2002) Study of the effects of suspended marine clay on the reflectance spectra of phytoplankton, *International Journal of Remote Sensing*
- Karydis, M., 1999, Evaluation report of the eutrophication level in coastal greek areas, Univ. O Aegean, Mytilini, February 1999 (in Greek).
- 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.
- Meziti A., Kormas Ar. K., Moustaka-Gouni M., Karayanni H., (2015) Spatially uniform but temporally variable bacterioplankton in a semi-enclosed coastal area, *Systematic and Applied Microbiology* 38 358–367
- Sarada R., Manoj G. M., Ravishankar G. A., (1999) Phycocyanin from *Spirulina* sp: influence of processing of biomass on phycocyanin yield, analysis of

efficacy of extraction methods and stability studies on phycocyanin. *Process Biochemistry*

- Seppälä J., Ylöstalo R., Kaital S., Hällfors S., Raateoja M., Maunula P., (2007) Ship-of-opportunity based phycocyanin fluorescence monitoring of the filamentous cyanobacteria bloom dynamics in the Baltic Sea, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*
- Wasmund N., 1997, Occurrence of cyanobacterial blooms in the Baltic sea in relation to environmental conditions, *International Review of Hydrobiology*
- Woźniak M., Bradtke M. K., Darecki M., Krężel A 2016, Empirical Model for Phycocyanin Concentration Estimation as an Indicator of Cyanobacterial Bloom in the Optically Complex Coastal Waters of the Baltic Sea, *Remote Sensing*

5.2 Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αγγελακόπουλος P., 2016 Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωστικών στο λιμάνι αλιευτικών σκαφών στο Βόλο, προπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Βρυώνης Π 2013 Μελέτη των πεδίων ανάμειξης γλυκού και αλμυρού νερού με βάση εποχιακές μεταβολές φυσικοχημικών παραμέτρων, μεταπτυχιακή διατριβή, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας
- Καλαϊτζάκη Ο., Μάρκου Μ., 2017 Χρονική κατανομή των φυτοχρωστικών στη θαλάσσια περιοχή κοντά στην έξοδο του ρεύματος Μπουρμπουλήθρα, Βόλος,

- προπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Κυριακόπουλος Γ., Τσελέντης Γ., Γαζής Χ., 1996 Πρωτογενής Παραγωγικότητα, προπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Ιχθυοκομίας- Αλιείας Τ.Ε.Ι Μεσολογγίου
 - Μποζατζίδου Μ., 2013 Εκτίμηση της Οικολογικής Ποιότητας των Υδάτων στην Παράκτια Ζώνη του Δήμου Θερμαϊκού (με βάση το φυτοπλαγκτό), μεταπτυχιακή διατριβή, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακό Σπουδών των τμημάτων Βιολογίας, Γεωλογίας & Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
 - 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 φυτοχρωστικών στα Κάτω Λεχώνια Μαγνησίας, προπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
 - Πάσχου Μ., 2016 Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωστικών στο λιμάνι του Βόλου, προπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
 - Πεσματζόγλου Ι., Ψαρρά Σ., Τσελεπίδης Α., 2006 Μελέτη της εαρινής δυναμικής και παραγωγικότητας του φυτοπλαγκτού σε σχέση με φυσικοχημικούς παράγοντες σε ένα ολιγοτροφικό οικοσύστημα 8^{ου} Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας & Αλιείας

- Πετροπούλου Κ., 2008 Χαρακτηρισμός κυανοβακτηρίων στη λίμνη της Καστοριάς , προπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτήριο Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Παράρτημα Ν. Μουδανιών
- Σάκκα Ε., 2005 Φυτοπλαγκτόν και Ρύπανση της Θάλασσας, προπτυχιακή διατριβή, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας
- Σταμάτης Ν., Ιωαννίδου Δ., Κουτράκης Ε., (1999) Θρεπτικά άλατα, χλωροφύλλη, θερμοκρασία, αλατότητα και διαλυμένο οξυγόνο σε τρεις περιοχές του Στρυμονικού κόλπου, Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας – Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων Υγροτόπων
- Τζανέτου Γ., 2015 Μελέτη της διακύμανσης μακροθρεπτικών συστατικών και φυσικοχημικών παραμέτρων σε πεδίο ανάμειξης αλμυρού και γλυκού νερού σε συνάρτηση με την λειτουργία φράγματος, μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών
- Χαμόγλου Μ., 2013 Επιδράσεις υδρολογικών και περιβαλλοντικών παραγόντων στη συγκέντρωση των μικροκυστινών: μια μαθηματική προσομοίωση στη λίμνη Κάρλα, μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

5.3 Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- www.meteo.gr
- www.WoRMS.com

Weekly variation of phycocyanin in the harbor of Volos City, Greece

Ioanna Tzioga

Abstract

The coastal zone is a rich system from an ecological, socio-economic and biological aspect. The characteristics of the area can give us information about the state of the environment. Due to anthropogenic interventions there is a continuous decline in the quality of ecosystems. The aim of the present thesis is to evaluate the variations of photosynthetic pigments (chlorophyll-a, chlorophyll-b, chlorophyll-c, phycocyanin) and the ecological state of Volos' port. Increasingly, the study of photosynthetic pigments is used as indicators of water quality. Additionally, the physicochemical factors of seawater have been correlated with the dyes. According to the results at the port of Volos, high mesotrophic conditions prevail. Chlorophyll-a concentration was higher (2,075 $\mu\text{g} / \text{l}$ to 0,275 $\mu\text{g} / \text{l}$) than the other pigments. Chlorophyll-c had the lowest concentration. Also, chlorophyll-a to the total pigments was above 50%, which proves that there was a constant blooming of a new phytoplankton. Analysis of the data shows that photosynthetic pigments were influenced by environmental factors such as water temperature, conductivity and ambient temperature. In the harbour of Volos prevail high mesotrophic conditions. Phycocyanin values were low in all photosynthetic pigments, and were observed to increase in the summer months. The highest value was on 22/06/2016 (0.044 $\mu\text{g} / \text{l}$). Environmental factors that influenced it were water temperature and ambient temperature.