

ΠΑΝΕΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωστικών στο λιμάνι αλιευτικών
σκαφών του Βόλου**

Αγγελακόπουλος Ραφαήλ

ΒΟΛΟΣ 2016

**«Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωστικών
στο λιμάνι αλιευτικών σκαφών του Βόλου»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1. **Κωνσταντίνος Κορμάς**, Καθηγητής, Οικολογία Υδρόβιων Μικροοργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.
2. **Άρης Ψιλοβίκος**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.
3. **Ήρα Καραγιάννη**, Λέκτορας, Υδροβιολογία, Τμήμα Βιολογικών Εφαρμογών & Τεχνολογιών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, **Μέλος**.

*Family is one of God's masterpieces,
the other one is friendship*

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 τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους κ. Άρη Ψιλοβίκο και κα. Ήρα Καραγιάννη. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Ελένη Νικούλη για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά της, καθώς επίσης τους συμφοιτητές μου που ήμασταν μαζί στον εργαστήριο για τη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια του πειράματος. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου που σε περιόδους άγχους για την εκπόνηση της εργασίας αυτής με στήριξαν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου και τις αδερφές μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

Περίληψη

Τα λιμάνια είναι κλειστές περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα ρύπανσης στα ιζήματα, και χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου στη υδάτινη στήλη. Παρουσιάζουν «φτωχή» ποιότητα νερών, εξαιτίας στάσιμων περιοχών μέσα στα λιμάνια. Τα λιμάνια ως ‘κλειστά’ συστήματα μπορούν να υποστηρίξουν μια ποικιλία φυτοπλαγκτονικών οργανισμών, εντούτοις οι πληροφορίες σχετικά με τη δομή αυτών των οργανισμών είναι περιορισμένες. Η εκτίμηση της σύνθεσης της φυτοπλαγκτονικής κοινότητας είναι απαραίτητη γνώση για την κατανόηση της δομής και της δυναμικής των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Επίσης, συνεισφέρει στον εμπλουτισμό των γνώσεων σχετικά με το πώς οι φυσικές και χημικές διαδικασίες επηρεάζουν τη βιολογική δραστηριότητα του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εκτίμηση της χρονικής διακύμανσης σημαντικών φωτοσυνθετικών χρωστικών (χλωροφύλλη-α, χλωροφύλλη-β, χλωροφύλλη -c, ολικά καροτενοειδή) ως δείκτες της παρουσίας διαφορετικών φυτοπλαγκτονικών ομάδων στον λιμάνι του Βόλου. Επιπρόσθετα, μελετάται η επίδραση φυσικοχημικών παραμέτρων του θαλασσινού νερού στη διακύμανση των παραπάνω χρωστικών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης-α, στο Λιμάνι του Βόλου επικρατούν υψηλές μεσοτροφικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης σχετικά με την ημερήσια διακύμανση των φυτοχρωστικών στο Λιμάνι του Βόλου, είναι τα πρώτα αποτελέσματα στον ελληνικό και μεσογειακό χώρο. Στο Λιμάνι του Βόλου υπήρξε σημαντική διακύμανση όλων των χρωστικών σε κάθε μια από τις ημέρες δειγματοληψίας. Εντούτοις, η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α καθώς και ο λόγος της χλωροφύλλης-α προς το σύνολο των χρωστικών είχαν τις υψηλότερες τιμές καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης. Η συγκέντρωση των ολικών καροτενοειδών ήταν μικρότερη της χλωροφύλλης-α αλλά ήταν υψηλότερη από τις άλλες χρωστικές σχεδόν όλες τις ημέρες της δειγματοληψίας. Ακολούθησε η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-γ, η οποία κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα σχεδόν όλες τις ημέρες. Η χλωροφύλλη-β είχε την μικρότερη συγκέντρωση. Στην παρούσα μελέτη αποδείχθηκε ότι οι αλλαγές στη συγκέντρωση των φυτοχρωστικών επηρεάζονται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, οι ώρες ηλιοφάνειας και ο άνεμος. Οι αλλαγές αυτές παρατηρήθηκαν σε ημερήσιο χρονικό διάστημα, αποδεικνύοντας τη σημαντικότητα της

παρακολούθησης των φυτοχρωστικών των θαλάσσιων οικοσυστημάτων σε ημερησία βάση.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
1.1. Γενικά χαρακτηριστικά θαλάσσιων οικοσυστημάτων	1
1.2. Παράκτιες Περιοχές	1
1.3. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά θαλάσσιων υδάτων	2
1.3.1. Κύματα	2
1.3.2. Θερμοκρασία	3
1.3.3. pH.....	4
1.3.4. Θολερότητα	4
1.3.5. Αγωγιμότητα.....	4
1.3.6. Φως των θαλάσσιων υδάτων	5
1.4. Βιολογικά χαρακτηριστικά θαλάσσιων οικοσυστημάτων	5
1.4.1. Φυτοπλαγκτόν.....	6
1.5. Φωτοσύνθεση.....	8
1.5.1. Φωτοσυνθετικές ενώσεις.....	8
1.6. Σκοπός	12
2. Υλικά και μέθοδοι	13
2.1. Περιοχή μελέτης	13
2.2. Πειραματική διαδικασία στην περιοχή δειγματοληψίας	14
2.3. Διαδικασία διήθησης και αποθήκευσης των φίλτρων.....	15
2.4. Εκχύλιση φωτοσυνθετικών χρωστικών και ποσοτικός προσδιορισμός της συγκέντρωσης τους.....	16
2.5. Στατιστική επεξεργασία	17
3. Αποτελέσματα.....	18
3.1. Διακύμανση περιβαλλοντικών παραμέτρων	18
3.2. Διακύμανση φυτοχρωστικών.....	22
3.3. Επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων στη διακύμανση της συγκέντρωσης των φυτοχρωστικών.....	27
4. Συζήτηση – Συμπέρασμα	29
5. Βιβλιογραφία	36
5.1. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	36

5.2.	Ελληνική Βιβλιογραφία.....	42
5.3.	Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	43

1. Εισαγωγή

1.1. Γενικά χαρακτηριστικά θαλάσσιων οικοσυστημάτων

Η θάλασσα, με την ευρύτερη έννοια του όρου, περιλαμβάνει το σύνολο των αλμυρών τμημάτων της υδρόσφαιρας, τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους και καλύπτουν περίπου τα 2/3 της επιφάνειας της Γης. Με τη γεωγραφική έννοια, ο όρος θάλασσα αναφέρεται σε σχετικά περιορισμένη και κλειστή υδάτινη έκταση που περιβάλλεται από ξηρά, σε αντίθεση με τον ευρύτερο ωκεανό. Στη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου η μορφή των θαλασσών αλλάζει συνεχώς, καθώς το υγρό στοιχείο προσαρμόζεται στο σχήμα που του επιβάλλει η συνεχής μετατόπιση των ηπείρων. Από γεωλογική άποψη οι σύγχρονες θάλασσες είναι πρόσφατοι σχηματισμοί: όλες σχηματίστηκαν στο χρονικό διάστημα μεταξύ Παλαιογενούς και Νεογενούς, με περιγράμματα περίπου ίδια με τα σύγχρονα, και διαμορφώθηκαν τελικά στο Τεταρτογενές (πριν από 2 εκατ. χρόνια) (Nurand-Avraham, 1977).

1.2. Παράκτιες Περιοχές

Οι παράκτιες περιοχές αποτελούν ένα ιδιόμορφο οικοσύστημα το οποίο αποτελείται από τρία φυσικά στοιχεία: την ξηρά την θάλασσα και τον αέρα. Η παράκτια ζώνη αποτελεί το σημείο όπου τα τρία αυτά στοιχεία συναντώνται. Παράκτια ζώνη είναι μια μεταβατική ζώνη μεταξύ του ηπειρωτικού και του θαλάσσιου χώρου, η οποία χαρακτηρίζεται από την αλληλεπίδραση των βασικών στοιχείων της φύσης: του εδάφους, του νερού και του αέρα. Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει το χερσαίο και γειτονικό θαλάσσιο τμήμα (υδάτινο και βυθός). Στο τμήμα αυτό οι χερσαίες διεργασίες επηρεάζουν άμεσα τις θαλάσσιες διεργασίες και χρήσεις και αντίστροφα. (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2002). Η παράκτια ζώνη αποτελεί μια ζώνη μεταβλητού εύρους που συνορεύει με την ηπειρωτική, την νησιωτική χώρα και τις λίμνες. Οι παράκτιες περιοχές αποτελούν ένα από τα πιο ευμετάβλητα και οικολογικά ευαίσθητα συστήματα (Jiggells, 1998). Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων και του διαλυμένου οξυγόνου στα παράκτια νερά διαφέρουν σημαντικά από αυτές στην ανοικτή θάλασσα και οι μεταβολές σε αυτά χρονικά και τοπικά είναι μεγαλύτερες. Με τη συνεχιζόμενη αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού αυξάνονται και οι πιέσεις που δέχονται τα παράκτια οικοσυστήματα. Οι κύριες απειλές συμπεριλαμβάνουν μεταξύ άλλων την κλιματική αλλαγή, την εισβολή εξωτικών ειδών, τη ρύπανση και

τον ευτροφισμό, την υπερεκμετάλλευση θαλάσσιων πόρων, τον κατακερματισμό ή και εξαφάνιση ενδιαιτημάτων (Kletou & Hall-Spencer, 2012). Η κατασκευή και λειτουργία παράκτιων έργων μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον και ειδικότερα στην ποιότητα νερού και ιζήματος, στα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά προκαλώντας και ιζηματοπόθεση, στη θαλάσσια βιοποικιλότητα (χλωρίδα, πανίδα, ενδιαιτήματα) και στην αισθητική του τοπίου (Valiela, 1977).

Τα λιμάνια γενικά είναι κλειστές περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα ρύπανσης στα ιζήματα, και χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου στη υδάτινη στήλη. Παρουσιάζουν «φτωχή» ποιότητα νερών, εξαιτίας στάσιμων περιοχών μέσα στα λιμάνια, ενώ σπάνια οι μελέτες εστιάζουν στο πως ο σχεδιασμός ενός λιμανιού επηρεάζει τον βαθμό της περιβαλλοντικής ρύπανσης μέσα σε αυτό (Guerra-Garcia et al., 2005). Η αυξημένη χρήση χρωμάτων στα πλοία και τα σκάφη, έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση οργανοκασσιτερικών ενώσεων στα παράκτια νερά αλλά και στα λιμάνια, ουσίες που είναι τοξικές για τους υδάτινους οργανισμούς (Tolosa et al., 1996; Fent, 2004) και μεταβάλλουν την σύνθεση των βιοκοινωνιών στις παράκτιες περιοχές. (Tolosa et al., 1996).

1.3. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά θαλάσσιων υδάτων

1.3.1. Κύματα

Τα κύματα είναι κινήσεις που δημιουργούνται επί τόπου υπό την επίδραση ειδικών τοπικών συνθηκών. Διακρίνουμε 3 μεγάλες κατηγορίες κυμάτων: τα επιφανειακά ή τοπικά, τα στάσιμα και τα Tsunamis ή θαλάσσια σεισμικά ή παλιρροϊκά κύματα. Από οικολογική άποψη τα κύματα είναι περισσότερο σημαντικά στην παράκτια ζώνη. Στην ωκεάνια ζώνη αποκτούν σημασία μόνο στα επιφανειακά στρώματα γιατί επηρεάζουν τον αερισμό, τη διείσδυση του φωτός και την ανάμιξη των υδάτων. Στην παράκτιο η ένταση του κυματισμού επιδρά πάνω στην κάθετη κατανομή των οργανισμών και καθορίζει το είδος της πανίδας που εγκαθίσταται σε κάθε περιοχή. Επίσης επηρεάζει τη μορφολογία των οργανισμών η οποία προσαρμόζεται στην ένταση του κυματισμού της κάθε περιοχής. Έχει παρατηρηθεί ότι στις περιοχές που ο κυματισμός είναι πολύ έντονος, οι οργανισμοί αποκτούν πιο πεπλατυσμένα σχήματα που τους επιτρέπουν να αντιστέκονται στην αποκόλληση. Τέλος έχει παρατηρηθεί ότι σε παράκτιες περιοχές που προστατεύονται από τον κυματισμό, η θερμοκρασία

μπορεί να φτάσει κατά τη διάρκεια του χειμώνα ή του καλοκαιριού σε επικίνδυνα για την επιβίωση των οργανισμών όρια. Με την ανάδευση που προκαλεί ο κυματισμός, ομογενοποιεί τη θερμοκρασία και διευκολύνει την οξυγόνωση του νερού και τη χρήση των θρεπτικών αλάτων που κατακάθονται στον πυθμένα από τους αυτότροφους οργανισμούς (Underwood, 1990).

1.3.2. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας ελέγχου της ποιότητας και της λειτουργίας των υδάτινων οικοσυστημάτων επειδή επηρεάζει τη διαλυτότητα του οξυγόνου και άλλων συστατικών (Treusdale et al., 1955), το μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών (Wood et al., 1997) αλλά και τη διαδικασία διάσπασης των οργανικών ουσιών που υπάρχουν (Katterer et al., 1998). Η θερμοκρασία των θαλασσών και των ωκεανών εξαρτάται από την αλληλεπίδραση των παραγόντων που προκαλούν τη θέρμανση και την ψύξη των θαλασσών. Τα επιφανειακά θαλάσσια στρώματα επηρεάζονται από τις ημερήσιες αλλαγές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας αλλά αντιδρούν με κάποια καθυστέρηση. Έτσι, το μέγιστο παρατηρείται γύρω στις 14ω και το ελάχιστο γύρω στα μεσάνυχτα (1ω). Σε γενικές γραμμές, το εύρος των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας των επιφανειακών στρωμάτων είναι μικρό (Kawai and Wada, 2007). Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται: α) το καλοκαίρι (όσον αφορά την εποχή), β) στις τροπικές περιοχές (όσον αφορά το γεωγραφικό πλάτος), γ) στις παράκτιες περιοχές (όσον αφορά την απόσταση από την ξηρά). Οι εποχιακές αλλαγές της θερμοκρασίας είναι κυρίως αισθητές στα επιφανειακά ύδατα των εύκρατων περιοχών. Μειώνονται όσο προχωράμε προς τον Ισημερινό και προς τους πόλους. Στον Ισημερινό οι εποχιακές διακυμάνσεις δεν υπερβαίνουν 3°C και στους πόλους 2°C.

Η θερμοκρασία της θάλασσας μειώνεται με το βάθος. Στα επιφανειακά στρώματα η μείωση της θερμοκρασίας γίνεται απότομα, ενώ στα βαθύτερα γίνεται βραδύτερα. Στις εύκρατες περιοχές, η μέση ετήσια θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων είναι 13°C. Τον χειμώνα παρατηρείται ισόθερμο στρώμα. Την άνοιξη η επιφανειακή θερμοκρασία αυξάνει με απορρόφηση ενέργειας και εμφανίζεται ένα εποχιακό θερμοκλινές που γίνεται πιο έντονο το καλοκαίρι. Το φθινόπωρο τα επιφανειακά ύδατα ψύχονται, η πυκνότητά τους αυξάνει, η στρωμάτωση διαταράσσεται και το εποχιακό θερμοκλινές παύει προοδευτικά να υπάρχει. Το

μόνιμο θερμοκλινές είναι σχετικά έντονο. Στα 1500 m βάθος η θερμοκρασία δεν ξεπερνάει τους 4°C (Ridgway, 1969).

1.3.3. pH

Το pH παίζει σπουδαίο ρόλο στο θαλάσσιο οικοσύστημα γιατί καθορίζει τη διαλυτότητα και τη χημική μορφή των περισσοτέρων ουσιών που βρίσκονται σ' αυτό. Η μείωση ή η αύξηση του pH είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη φωτοσύνθεση και την αναπνοή των οργανισμών του θαλάσσιου οικοσυστήματος και επομένως σχετίζεται με την παραγωγικότητα της βιομάζας. Οι φυσιολογικές τιμές για τη θάλασσα κυμαίνονται από 6-9. Οι διακυμάνσεις του pH μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα το θάνατο πολλών οργανισμών (π.χ. πλαγκτόν στο 6,5 και η πέρκα στους 6,3-6,5). Εάν η τιμή του pH είναι κάτω από 6,5 αρχίζουν οι δυσμενείς επιπτώσεις σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς και κάτω από pH 5 όλα τα ζώα και τα φυτά πεθαίνουν (Bates, 1982; Marion et al., 2011).

1.3.4. Θολερότητα

Η θολερότητα, σπουδαία οικολογική παράμετρος καθορίζει την ικανότητα διέλευσης του ηλιακού φωτός μέσα στο νερό που επηρεάζει άμεσα την παραγωγή των αυτότροφων φυτών. Προκαλείται ή από φυσική αιτία (διάβρωση ή αποσύνθεση οργανισμών μετά το θάνατο) ή από τα κολλοειδή και λεπτόκοκκα αιωρούμενα στερεά που περιέχονται στα λύματα και βιομηχανικά απόβλητα και καθιζάνουν στον πυθμένα με μεγάλη δυσκολία. Η μεγάλη θολερότητα αποβάλλει από το οικοσύστημα τα είδη που έχουν αυξημένες ανάγκες στο φως. Ο βαθμός θολερότητας των νερών συνήθως λαμβάνεται σαν ενδεικτικό μέτρο εκτίμησης του βαθμού της ρύπανσης (Chang et al., 2002; Coble et al., 2004).

1.3.5. Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα του θαλασσινού νερού εξαρτάται κυρίως από την αλατότητα, αλλά και από τη θερμοκρασία και την πίεση. Όταν η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται, αυξάνεται και η αγωγιμότητα. Αυτό αποδίδεται στην αυξανόμενη κινητικότητα των ιόντων, αλλά και στην αύξηση της διαλυτότητας πολλών αλάτων και οξειδίων και μπορεί να παρατηρηθεί σε ημερήσια βάση, καθώς κατά τη διάρκεια της ημέρας ο ήλιος ζεσταίνει τη θάλασσα και αυξάνεται η αγωγιμότητά της, ενώ τη νύχτα η

αγωγιμότητα μειώνεται, αφού μειώνεται αντίστοιχα και η θερμοκρασία. Η αγωγιμότητα αυξάνεται, επίσης, με την αύξηση της πίεσεως (Millero et al., 2008).

1.3.6. Φως των θαλάσσιων υδάτων

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που διεισδύει στο θαλασσινό νερό εξαρτάται από: α) την ηλιοφάνεια, β) την ποσότητα σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, και γ) τη γωνία προσπτώσεως στην επιφάνεια της θάλασσας (Lorenzen, 1972). Η σχέση απορρόφησης του φωτός με το βάθος είναι εκθετική. Το φάσμα της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της θάλασσας καλύπτει την περιοχή 290 – 3000 nm. Το φως αποτελεί ένα σημαντικό οικολογικό παράγοντα επειδή συνδέεται με πολλά φαινόμενα και λειτουργίες που καθορίζουν την ύπαρξη της ζωής όπως είναι: α) η φωτοσύνθεση, β) η όραση, γ) η θέρμανση και δ) η ακτινοβολία.

1.4. Βιολογικά χαρακτηριστικά θαλάσσιων οικοσυστημάτων

Οι συνθήκες που επικρατούν στο θαλάσσιο περιβάλλον, είναι εξαιρετικά ποικίλες και διαμορφώνουν ποικίλα οικολογικά περιβάλλοντα, από τα επιφανειακά νερά, πλούσια σε οξυγόνο και ηλιακή ακτινοβολία, μέχρι τα νερά των αβύσσων με μόνιμη απουσία φωτός, τεράστιες πιέσεις, χαμηλές θερμοκρασίες και συχνά έλλειψη οξυγόνου. Η πολυμορφία των συνθηκών έδωσε τη δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλης ποικιλίας οργανισμών, από μονοκύτταρα φύκη έως τα μεγάλα θηλαστικά, οι οποίοι προσάρμοσαν τις λειτουργίες τους στις συνθήκες αυτές (Kirchman, 2012). Οι θαλάσσιοι οργανισμοί ανάλογα με τον τρόπο ζωής τους μπορούν να ταξινομηθούν σε πλαγκτόν (= οργανισμοί που μεταφέρονται παθητικά, από τα ρεύματα), νηκτό (=οργανισμοί που κολυμπούν ενεργητικά) και βένθος (=οργανισμοί του βυθού). Η μεγάλη ποικιλία των πλαγκτονικών οργανισμών επιβάλλει τη διάκρισή τους σε Φυτοπλαγκτόν και Ζωοπλαγκτόν. Το ολοπλαγκτόν είναι οι οργανισμοί που έχουν αποκλειστική και μόνο πλαγκτονική διαβίωση, ενώ μεροπλαγκτόν αυτοί που έχουν μερική πλαγκτονική διαβίωση, όπως οι προνύμφες των ψαριών. Το πλαγκτόν βάσει του μεγέθους διακρίνεται σε 7 κατηγορίες (Tomas, 1997):

- Μεγαλοπλαγκτόν (π.χ. μέδουσες) >20 cm
- Μακροπλαγκτόν, (π.χ. καρκινοειδή) 2 – 20 cm
- Μεσοπλαγκτόν, (π.χ. κωπήποδα) 0.2 – 20 mm
- Μικροπλαγκτόν, (π.χ. μικροφύκη) 20 – 200 mm

- Νανοπλαγκτόν, (π.χ. νανοφύκη) 2 – 20 μm
- Πικοπλαγκτόν, (π.χ. βακτήρια) 0.2 – 2 μm
- Φεμτοπλαγκτόν, (π.χ. ιοί) 0.02 – 0.2 μm

1.4.1. Φυτοπλαγκτόν

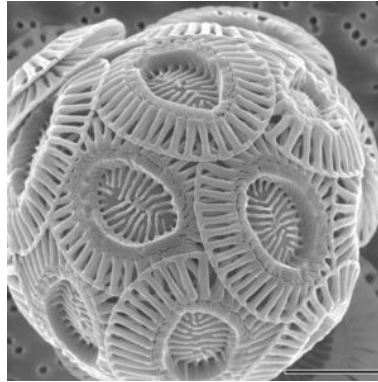
Οι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί περιέχουν χλωροφύλλη και χρειάζονται ηλιακή ενέργεια για να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν. Επιπλέον χρειάζονται ανόργανα θρεπτικά συστατικά, κυρίως ενώσεις αζώτου, φωσφόρου, πυριτίου αλλά και σίδηρο, τα οποία μετατρέπουν σε πρωτεΐνες, λίπη και σάκχαρα. Το φυτοπλαγκτόν ζει στην ευφωτική ζώνη των θαλασσών, όπου οι περισσότεροι από τους οργανισμούς, χρησιμοποιούν τα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στο μπλε και το πράσινο (Wetzel, 2006). Επίσης, αποτελεί τη βάση αρκετών θαλάσσιων τροφικών πλεγμάτων καθώς είναι τροφή μεγάλης ποικιλίας θαλασσίων πλασμάτων, όπως γαρίδων, σαλιγκαριών, μεδουσών αλλά και φαλαινών. Οι πλουσιότερες σε είδη ομάδες του φυτοπλαγκτού είναι τα διάτομα, τα δινομαστιγωτά, τα κυανοφύκη και τα κοκκολιθοφόρα (Tomas, 1997).

- Τα διάτομα (Εικόνα 1) διαθέτουν πυριτικό σκελετό και η δομή τους είναι συμπαγής αποτελούμενη από αλυσίδες. Χαρακτηρίζονται από μια μεγάλη ποικιλία μορφών και αναπαράγονται μονογονικά με διαίρεση του κυττάρου τους. Τα διάτομα κυριαρχούν στις ψυχρές και εύκρατες θάλασσες.



Εικόνα 1. Γένη Διατόμων

- Τα κοκκολιθοφόρα (Εικόνα 2) καλύπτουν το ζελατινώδες σώμα τους με πλάκες από ανθρακικό ασβέστιο. Είναι μονοκύτταροι σφαιρικοί ή ελλειψοειδής οργανισμοί και επικρατούν σε τροπικές-υποτροπικές θάλασσες. Σε μεγάλους αριθμούς δίνουν στη θάλασσα ένα γαλακτώδες χρώμα.



Εικόνα 2. Κοκκολιθοφόρος οργανισμός *Emiliana huxleyi*

- Τα δινομαστιγωτά (Εικόνα 3) απαντούν σε όλες τις θάλασσες και χαρακτηρίζονται από μια εξαιρετικά μεγάλη ποικιλία ειδών. Διαθέτουν μαστίγιο, ώστε να μετακινούνται στο νερό, και το σώμα τους καλύπτεται από σύνθετα κελύφη. Σε μεγάλους αριθμούς δημιουργούν τις ερυθρές παλίρροιες.



Εικόνα 3. *Dinophysis acuminata*: Το πιο κοινό τοξικό δινομαστιγωτό στις ελληνικές ακτές

- Τα κυανοφύκη ή κυανοβακτήρια (Εικόνα 4) είναι τα πιο άφθονα και πιο μικρά φυτοπλαγκτονικά είδη. Είναι απλοί μονοκύτταροι οργανισμοί με σκελετό από

χιτίνη και περίβλημα από πολυσακχαρίτες. Σε μεγάλους αριθμούς δημιουργούν τα πράσινα φυτοπλαγκτονικά «blooms».

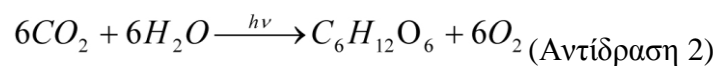
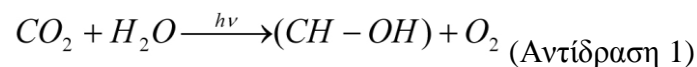


Εικόνα 4. Θαλάσσιο κυανοβακτήριο *Lyngbya majuscula*

1.5. Φωτοσύνθεση

Η φωτοσύνθεση είναι ένας γενικός μηχανισμός, που λειτουργεί χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια και μπορεί να χρησιμοποιεί εκτός από το H₂O και άλλους δότες ηλεκτρονίων, όπως άλλωστε και να χρησιμοποιεί και άλλους δέκτες ηλεκτρονίων εκτός του CO₂, όπως NO₃⁻, N₂ ή ακόμα και H⁺, οι οποίοι ανάγονται σε αμμωνιακά και σε μοριακό υδρογόνο αντίστοιχα (Blankenship et al.1995; van Niel 1941).

Όταν ως οξειδωτικό χρησιμοποιείται το CO₂ και ως αναγωγικό το H₂O, τότε έχουμε την κλασσική αντίδραση φωτοσύνθεσης, που επιτελείται από τα φυτά, η γενική μορφή της οποίας είναι:



Με $h\nu$ συμβολίζεται η φωτεινή ενέργεια, ενώ η οργανική ένωση που σχηματίζεται είναι η γλυκόζη.

1.5.1. Φωτοσυνθετικές ενώσεις

Φωτοσυνθετικές ενώσεις ή φυσικές χρωστικές είναι οι ενώσεις που μπορούν να απορροφούν ακτινοβολία στο ορατό φάσμα του φωτός. Η κυριότερη χρωστική είναι

η χλωροφύλλη-a, η οποία απαντάται σε όλους τους φυτικούς οργανισμούς. Οι φυτικές χρωστικές χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες (Jeffrey and Vesk, 1997):

- Χλωροφύλλες

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι ενώσεις:

Χλωροφύλλη -a, Χλωροφύλλη -c1, Χλωροφύλλη -b, Χλωροφύλλη -c2, Διβυνιλοχλωροφύλλη -a, Χλωροφύλλη -c3, Διβυνιλοχλωροφύλλη -b

- Καροτένια:

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι ενώσεις:

α-καροτένιο, β-καροτένιο, γ-καροτένιο, ε-καροτένιο, Λυκοπένιο

- Ξανθοφύλλες:

Πρόκειται για τη μεγαλύτερη κατηγορία φυτικών χρωστικών αφού περιλαμβάνει 25 ενώσεις:

Αλλοξανθίνη	Μοναδοξανθίνη	Περιδίνη	Δινοξανθίνη
Σιφονείνη	Ζεαξανθίνη	19'Εξανοιλοξυφ ουκοξανθίνη	Πρασινοξανθίνη
Εστέρας Βοχεριαξανθίνης	19'βουτανιοιλοξυ φουκοξανθίνη	Κροκοξανθίνη	Πυροξανθίνη
Ανθεραξανθίνη	Νεοξανθίνη	Εχινενόνη	
Σιφοναξανθίνη	Φουκοξανθίνη	Διαδινοξανθίνη	
Βιολαξανθίνη	Κανθαροξανθίνη	Περιδινινόλη	
Αστραξανθίνη	Λουτείνη	Διατοξανθίνη	

- Βιλιπρωτεΐνες

Αλλοφυκοκυανίνη, Φυκοκυανίνη, Φυκοερυθρίνη.

Οι χλωροφύλλες είναι κυκλικές τετραπυρόλες με ένα άτομο Mg στο κέντρο του δακτυλίου και συνδεδεμένες με μια φυτική ομάδα. Τα μέλη της ομάδας των χλωροφυλλών διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους, όσον αφορά τη χημική τους δομή (Εικόνα 5).

Δεν απορροφούν όλες οι χρωστικές στα ίδια μήκη κύματος: Αρκετές από τις χρωστικές, που αναφέρονται παραπάνω, απορροφούν σε διαφορετικά μήκη κύματος από ότι η χλωροφύλλη-a και χρησιμοποιούνται από τα φυτά προκειμένου να γίνεται καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Οι χρωστικές αυτές ονομάζονται συμπληρωματικές (Falkowski and Raven, 2007).

Η χλωροφύλλη -a είναι πανταχού παρούσα, η χλωροφύλλη -b είναι χαρακτηριστική των χερσαίων φυτών αλλά απαντάται και στα χλωροφύκη (μίκρο- και μάκροφύκη), ενώ, η χλωροφύλλη -c1 και -c2 σε φαιοφύκη και διάτομα.

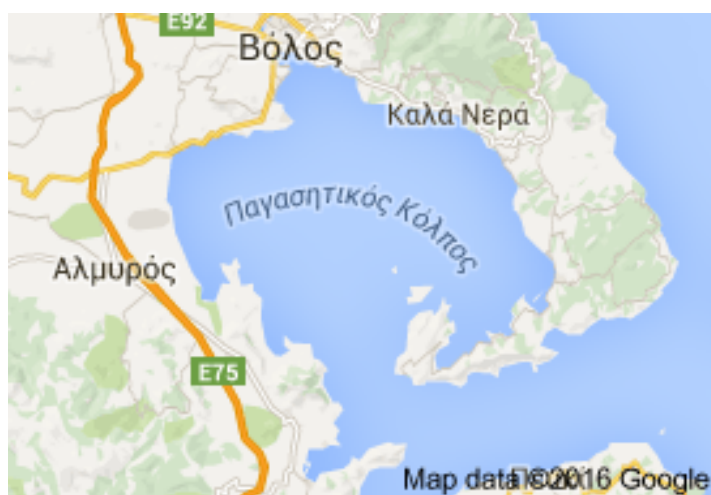
1.6. Σκοπός

Οι μελέτες που σχετίζονται με την παρουσία των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών στα θαλάσσια οικοσυστήματα, είναι ελάχιστες. Τα λιμάνια ως ‘κλειστά’ συστήματα μπορούν να υποστηρίξουν μια ποικιλία φυτοπλαγκτονικών οργανισμών, εντούτοις οι πληροφορίες σχετικά με τη δομή αυτών των οργανισμών είναι περιορισμένες. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εκτίμηση της χρονικής διακύμανσης σημαντικών φωτοσυνθετικών χρωστικών (χλωροφύλλη-a, χλωροφύλλη-b, χλωροφύλλη -c, ολικά καροτενοειδή) ως δείκτες της παρουσίας διαφορετικών φυτοπλαγκτονικών ομάδων στον λιμάνι του Βόλου. Επιπρόσθετα, μελετάται η επίδραση φυσικοχημικών παραμέτρων του θαλασσινού νερού στη διακύμανση των παραπάνω χρωστικών.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1. Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι το λιμάνι του Βόλου, στον Παγασητικό Κόλπο (Εικόνα 7). Ο Παγασητικός Κόλπος είναι ένας ημίκλειστος κόλπος στο δυτικό Αιγαίο Πέλαγος βόρεια της Εύβοιας. Το μέσο βάθος είναι 69 m ενώ το μέγιστο βάθος το οποίο παρατηρείται στο ανατολικό μέρος του κόλπου είναι 108 m χαρακτηρίζοντας τον κόλπο ως σχετικά αβαθή με μεγαλύτερες κλίσεις στα ανατολικά και μικρότερες στα δυτικά. Η συνολική επιφάνεια του κόλπου είναι 520 km² και ο συνολικός όγκος περίπου 36 km³. Ο Παγασητικός επικοινωνεί με το Αιγαίο μέσω του διαύλου Τρίκερι, πλάτους 5,5 km και βάθους περίπου 80 m. Ο διάυλος Τρίκερι συνδέεται, επίσης, με το διάυλο Ορέων και το Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο (Petihakis et al., 2002).



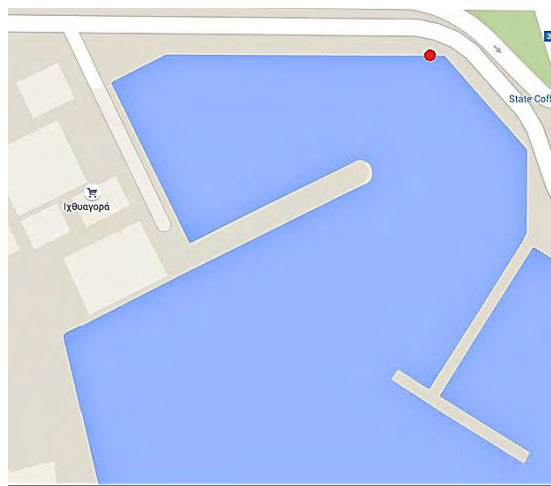
Εικόνα 7. Παγασητικός Κόλπος

Το οικοσύστημα του κόλπου επηρεάζεται σημαντικά από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες κυρίως γύρω από τη βιομηχανική πόλη του Βόλου η οποία έχει πληθυσμό 120.000 κατοίκους. Η ανάπτυξη της περιοχής του Βόλου κατά τη δεκαετία του 60 με κύρια χαρακτηριστικά την πληθυσμιακή αύξηση, τη βιομηχανοποίηση καθώς και την εντατικοποίηση της γεωργίας είχε ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση του οικοσυστήματος του Παγασητικού ο οποίος υπήρξε και ο κύριος αποδέκτης μεγάλων ποσοτήτων αστικών, βιομηχανικών και γεωργικών λυμάτων (Petihakis et. al, 2004). Παρόλο που στην περιοχή δεν υπάρχουν ποταμοί είναι πολύ πιθανόν σημαντική ποσότητα ρύπων να εισέρχονται στον Παγασητικό μέσω ενός συστήματος καναλιών

και μικρών χειμάρρων (Karegeorgis et al., 2002; Petihakis et al., 2000,2002, 2003; Triantafyllou et al., 2001). Το εσωτερικό τμήμα του Παγασητικού χαρακτηρίζεται ως μεσότροφο, ενώ το εξωτερικό τμήμα του χαρακτηρίζεται ως ολιγότροφο παρουσιάζει δε ελάχιστα αυξημένες συγκεντρώσεις θρεπτικών σε σχέση με το Αιγαίο Πέλαγος με μικρές εποχιακές διακυμάνσεις (Petihakis et al, 2002, 2005).

2.2. Πειραματική διαδικασία στην περιοχή δειγματοληψίας

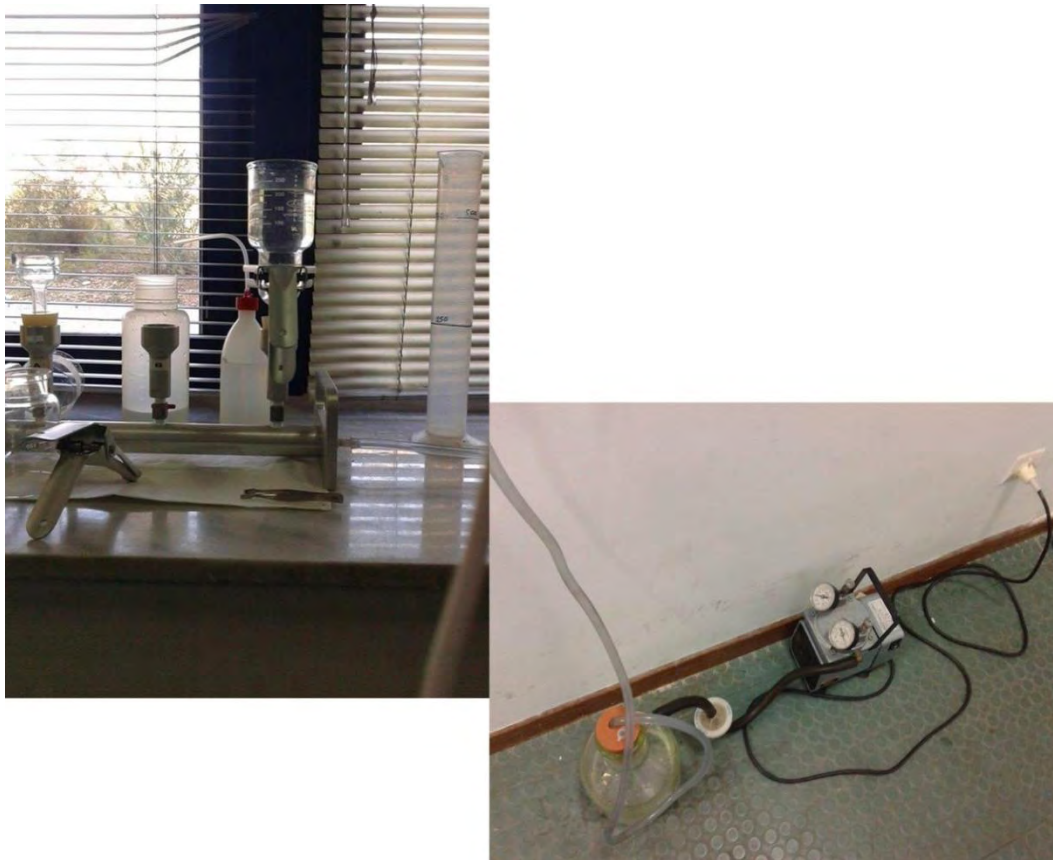
Η συλλογή των δειγμάτων ξεκίνησε στις 13 Οκτωβρίου 2015 και ολοκληρώθηκε 30 ημέρες μετά. Η περιοχή συλλογής των δειγμάτων ήταν το λιμάνι του Βόλου, ενώ το σημείο δειγματοληψίας έχει συντεταγμένες X39.361898, Y22.941554 (Εικόνα 8) όπου προσαράζουν αλιευτικά σκάφη. Η επανάληψη των δειγματοληψιών ήταν ανά 24 ώρες. Τα δείγματα συλλέχθηκαν με τη χρήση δοχείου πολυαιθυλενίου, όγκου δύο (2) λίτρων σκούρου χρώματος (καφέ). Το σκούρο χρώμα εξασφάλιζε ότι το δείγμα δεν θα συνέχιζε τη φωτοσύνθεση μέχρι τη διήθησή του. Παράλληλα με τη συλλογή του νερού λαμβάνονταν η θερμοκρασία του νερού, με θερμόμετρο στήλης, και καταγράφονταν η ώρα δειγματοληψίας, η διαύγεια του νερού, οι καιρικές συνθήκες και άλλες μακροσκοπικές παρατηρήσεις (π.χ. ύπαρξη μεγάλων θρυμμάτων, σκουπιδιών κλπ). Οι καιρικές συνθήκες, ως επί το πλείστον, ήταν καλές (ηλιοφάνεια) ενώ υπήρξαν επτά (7) ημέρες βροχοπτώσεων.



Εικόνα 8. Σημείο δειγματοληψιών (κόκκινο σημείο)

2.3. Διαδικασία διήθησης και αποθήκευσης των φίλτρων

Μετά τη συλλογή του νερού πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και διήθηση στο εργαστήριο. Οι μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο ήταν η μέτρηση του pH, με πεχαμετρικό χαρτί, της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας του νερού, με συσκευή μέτρησης αγωγιμότητας. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε διήθηση δύο (2) λίτρων νερού με τη χρήση αντλίας κενού (Εικόνα 9). Το νερό διηθούνταν με τη χρήση φίλτρου μικροϊνών υάλου διαμέτρου 47 mm και κατακρατούνταν τα στερεά υλικά μέχρι του μεγέθους περίπου 0,7 μm. Στο τέλος της διήθησης ξεπλένονταν ο πύργος της διήθησης και το φίλτρο με απιονισμένο νερό, ώστε να απομακρυνθούν τυχόν εναπομείναντα άλατα. Τα φίλτρα μετά τη διήθηση είχαν χρώμα στο φάσμα του πράσινου (από ελαφρύ πράσινο/μπεζ σε καφεπράσινο) λόγω του σωματιδιακού υλικού. Κατόπιν, το φίλτρο διπλώνονταν στη μέση προσεκτικά με λαβίδα, τοποθετούνταν σε αλουμινόχαρτο όπου αναγράφονταν με ανεξίτηλο μαρκαδόρο ο κωδικός και ο όγκος του δείγματος και αποθηκευόταν στην κατάψυξη, στο σκοτάδι, στους -20 °C για τη διατήρηση των φυτοχρωστικών.



Εικόνα 9. Συσκευή διήθησης

2.4. Εκχύλιση φωτοσυνθετικών χρωστικών και ποσοτικός προσδιορισμός της συγκέντρωσής τους

Με το πέρας των τριάντα δειγματοληψιών πραγματοποιήθηκε η προετοιμασία των δειγμάτων για φωτομετρική ανάλυση. Αρχικά, τοποθετήθηκε το φίλτρο σε σωλήνα φυγοκέντρωσης των 10 ml και προστέθηκαν 6 ml ακετόνης [(CH₃)₂CO ή C₃H₆O] συγκέντρωσης 90%, το δείγμα ομογενοποιήθηκε μηχανικά με γυάλινη ράβδο, που δεν αντιδρά με την ακετόνη, μέχρι να διαρρηχθεί καλά το φίλτρο και σκεπάζονταν με parafilm. Στη συνέχεια, το δείγμα αφήνεται σε ηρεμία μία νύχτα σε συνθήκες σκοταδιού στο ψυγείο σε θερμοκρασία 4°C. Την επόμενη μέρα, το δείγμα βγαίνει από το ψυγείο, αφήνεται να πάρει θερμοκρασία δωματίου για τριάντα (30) λεπτά και τοποθετούνται σε φυγόκεντρο, ώστε να φυγοκεντρηθούν στις 4000 στροφές/λεπτό για είκοσι (20) λεπτά. Μετά το πέρας της φυγοκέντρωσης, απομακρύνονται με ήρεμες κινήσεις οι σωλήνες, ώστε να μην υπάρξει επανάμιξη του υπερκείμενου υγρού με το φίλτρο που έχει κατακαθίσει στον πάτο. Απομακρύνεται το parafilm και το υπερκείμενο υγρό αφαιρείται προσεκτικά με πιπέτα Pasteur και μεταφέρεται σε κυψελίδα χαλαζία με ακμή ενός (1) εκατοστού (cm). Παράλληλα, ενεργοποιείται το μηχάνημα της φωτομέτρησης και καλιμπράρεται έναντι καθαρής ακετόνης 90%. Το δείγμα φωτομετρείται στα εξής μήκη κύματος: 750, 664, 647, 630, 510, 480 nm. Μετά από κάθε αλλαγή μήκους κύματος καλιμπράρουμε με το διάλυμα καθαρής ακετόνης 90%. Η τιμή στα 750 nm δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 0,005, αν την ξεπερνά τότε το δείγμα χρειάζεται εκ νέου φυγοκέντρωση και φωτομέτρηση. Στη συνέχεια για τον υπολογισμό των φαιοφυτινών στην κυψελίδα με το δείγμα προστίθενται δύο (2) σταγόνες υδροχλωρίου (HCl) 10% και ανακινείται φράζοντας την με ένα κομμάτι parafilm. Η φωτομέτρηση γίνεται στα 750 nm και 664 nm. Στο τέλος της φωτομέτρησης και των τριάντα (30) δειγμάτων υπολογίζονται με τη χρήση προγράμματος υπολογιστικών φύλλων (Excel) οι συγκεντρώσεις των χρωστικών σύμφωνα με τους τύπους που παρατίθενται στον Πίνακα I.

Πίνακας I. Εξισώσεις υπολογισμού φυτοχρωστικών

Χρωστική	Τύπος
Χλωροφύλλη α (C_a)	$\{[11,85*(E_{664})-1,54*(E_{647})-0,08*(E_{630})]*v\}/V*I$
Χλωροφύλλη β (C_b)	$\{[21,03*(E_{647})-5,43*(E_{664})-2,66*(E_{630})]*v\}/V*I$
Χλωροφύλλη γ (C_γ)	$\{[24,52*(E_{630})-1,67*(E_{664})-7,60*(E_{647})]*v\}/V*I$
Ολικά καροτενοειδή (C_{ok})	$\{[7,6*(E_{480})-(1,49*_{510})]*v\}/V*I$
Φαιοφυτίνες (C_ϕ)	$\{26,7*[1,7*(E_{664,HCl})-(E_{664})]*v\}/V*I$

Όπου:

E_{750} → απορρόφηση στα 750 nm

$E_{664,647,630}$ → απορρόφηση στα αντίστοιχα μήκη κύματος

E_{510} → απορρόφηση στα 510 nm – το διπλάσιο της απορρόφησης στα 750 nm

E_{480} → απορρόφηση στα 480 nm – το τριπλάσιο της απορρόφησης στα 750 nm

$E_{664,HCl}$ → απορρόφηση στα 664 nm μετά την προσθήκη του οξέως

v → όγκος της ακετόνης που χρησιμοποιήθηκε (ml)

V → όγκος του θαλασσινού νερού που διηθήθηκε (l)

I → το μήκος της κυψελίδας που χρησιμοποιήθηκε (cm)

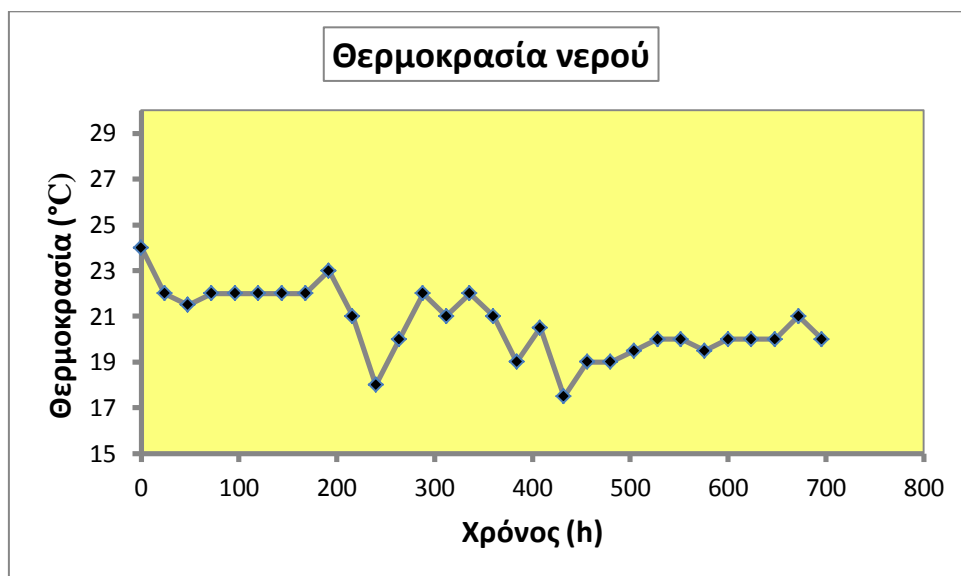
2.5. Στατιστική επεξεργασία

Τέλος, κατασκευάστηκαν διαγράμματα της ημερήσιας διακύμανσης των χρωστικών, 100% ραβδόγραμμα συνιστωσών (% stacked bar chart) και ερευνήθηκε η συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης α (C_a), της χλωροφύλλης β (C_b), της χλωροφύλλης γ (C_γ), των ολικών καροτενοειδών (C_{ok}), και του λόγου της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α προς το άθροισμα της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης α με την συγκέντρωση των φαιοφυτινών (εξαρτημένη μεταβλητή) με την αγωγιμότητα, την θερμοκρασία *in situ*, το pH, την ταχύτητα του αέρα και τα χιλιοστά της βροχόπτωσης αντίστοιχα (ανεξάρτητη μεταβλητή), με τη χρήση της στατιστικής γραμμικής παλινδρόμησης στο στατιστικό πρόγραμμα SPSS 23 του 2015.

3. Αποτελέσματα

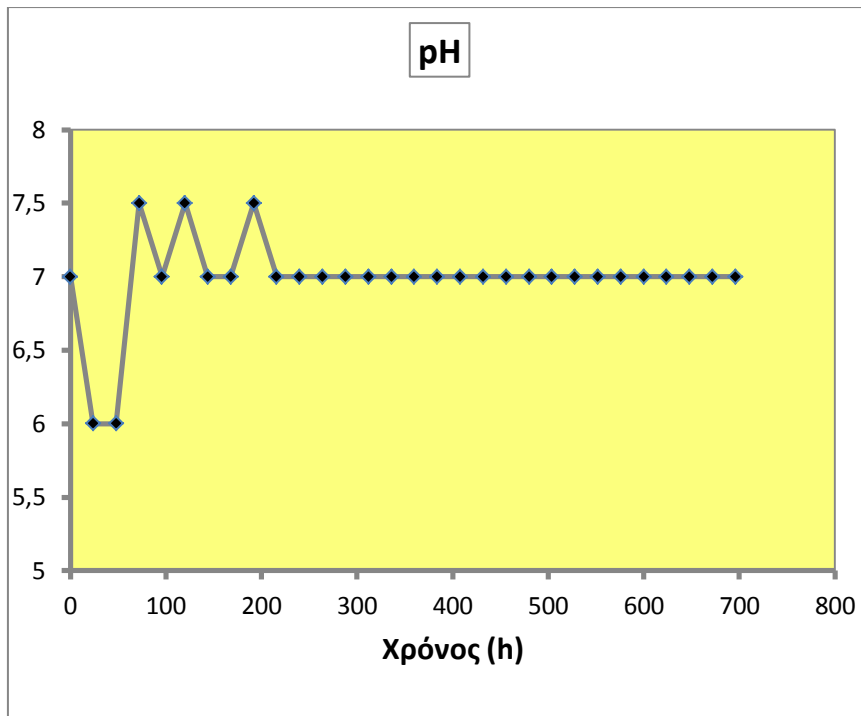
3.1. Διακύμανση περιβαλλοντικών παραμέτρων

Στο Σχήμα 1 αποτυπώνεται η ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού για την περίοδο μελέτης. Οι τιμές της θερμοκρασίας κυμάνθηκαν από 17.5° C έως 24°C. Η ελάχιστη τιμή σημειώθηκε στις 31/10/2015, ενώ η υψηλότερη σημειώθηκε την πρώτη ημέρα της δειγματοληψίας (13/10/2015).



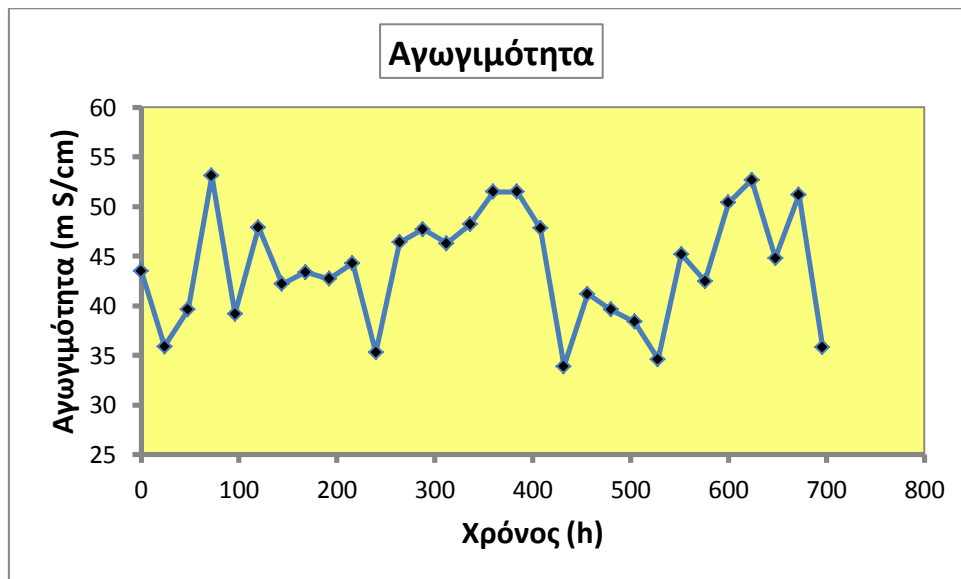
Σχήμα 1. Χρονική διακύμανση θερμοκρασίας νερού στο Λιμάνι του Βόλου.

Κατά την περίοδο μελέτης, το pH του νερού στο λιμάνι του Βόλου κυμάνθηκε από 6 έως 7.5, ενώ για το μεγαλύτερο διάστημα της μελέτης το pH ήταν ουδέτερο ($pH=7$) (Σχήμα 2).



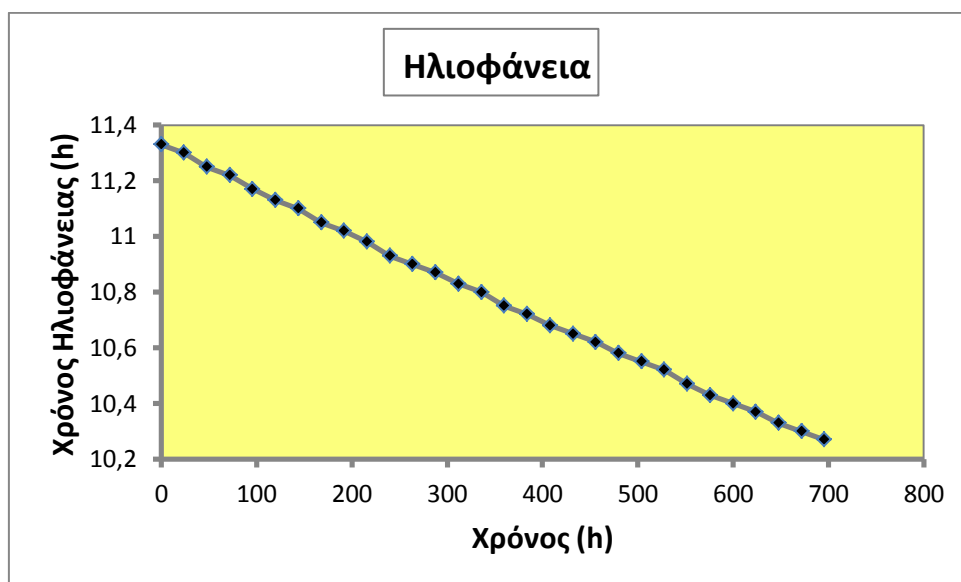
Σχήμα 2. Χρονική διακύμανση pH στο Λιμάνι του Βόλου.

Στο Σχήμα 3 καταγράφεται η χρονική διακύμανση της αγωγιμότητας του νερού στο Λιμάνι του Βόλου. Οι τιμές της αγωγιμότητας κυμάνθηκαν από 33.9 mS/cm έως 53.1 mS/cm. Η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε στις 31/10/2015 ενώ η υψηλότερη στις 16/10/2015.



Σχήμα 3. Χρονική διακύμανση Αγωγιμότητας νερού στο Λιμάνι του Βόλου.

Στην παρούσα μελέτη καταγράφηκαν και οι ώρες ηλιοφάνειας για κάθε ημέρα της δειγματοληψίας (Σχήμα 4). Οι ώρες ηλιοφάνειας κυμάνθηκαν από 10.27 h έως 11.33 h. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε την πρώτη ημέρα της δειγματοληψίας (13/10/2015), ενώ η χαμηλότερη την τελευταία ημέρα της δειγματοληψίας (11/11/2015).



Σχήμα 4. Διακύμανση διάρκειας ηλιοφάνειας (h) την περίοδο μελέτης.

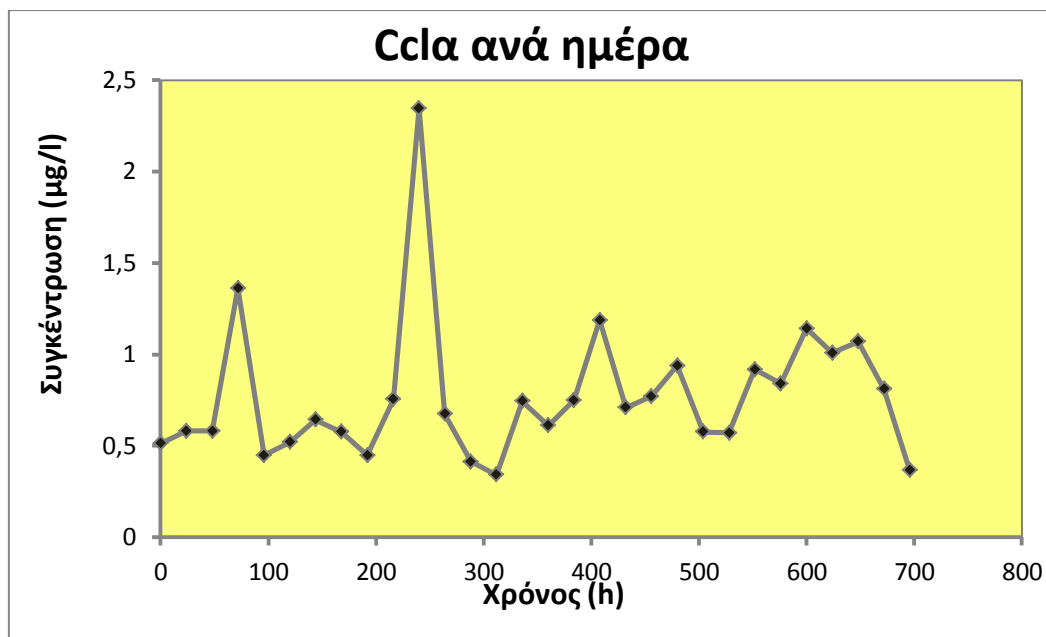
Κατά τη διάρκεια της μελέτης, καταγράφηκαν οι καιρικές συνθήκες, ο αέρας, η διαύγεια του νερού, ο κυματισμός του νερού και η ύπαρξη λυμάτων. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα II, τις περισσότερες ημέρες της δειγματοληψίας επικρατούσε ηλιοφάνεια, ενώ 5 μέρες καταγράφηκε βροχή. Ο άνεμος κυμάνθηκε από μηδενικός (άπνοια), μέχρι μέτριος. Η διαύγεια του νερού ήταν μέτρια για τις περισσότερες μέρες της δειγματοληψίας, ενώ ελαφρύς κυματισμός υπήρξε 3 μέρες δειγματοληψίας. Τα λύματα ήταν παρόντα αρκετές μέρες της δειγματοληψίας.

Πίνακας II. Καταγραφή καιρικών συνθηκών, αέρα, διαύγεια νερού, κυματισμού και λυμάτων κατά τη διάρκεια μελέτης στο Λιμάνι του Βόλου.

Ημερομηνία	Καιρικές συνθήκες	Αέρας	Διαύγεια	Κυματισμός	Λύματα
10/13/2015	Ηλιοφάνεια	άπνοια	καλή	όχι	όχι
10/14/2015	Συννεφιά	άπνοια	καλή	όχι	όχι
10/15/2015	Συννεφιά	άπνοια	Μέτρια	όχι	γόπες
10/16/2015	Συννεφιά (έβρεξε 10' πριν)	άπνοια	Μέτρια προς καλή	όχι	όχι
10/17/2015	μερική ηλιοφάνεια	άπνοια	καλή	όχι	επιπλέοντα σωματίδια καφέ χρώματος
10/18/2015	συννεφιά	άπνοια	Μέτρια προς καλή	όχι	κάποια τσιγάρα
10/19/2015	μερική ηλιοφάνεια	λίγος αέρας	Μέτρια	όχι	κουτί από μπισκότα, πετρέλαιο
10/20/2015	Ηλιοφάνεια	μέτριος άνεμος	καλή	όχι	καθαρή
10/21/2015	Ηλιοφάνεια	λίγος αέρας	καλή	όχι	καφέδες, περιτυλίγματα από τσιγάρα
10/22/2015	Συννεφιά (έβρεξε λίγο πριν)	μέτριος άνεμος	μέτρια	ελαφρύς	καθαρή
10/23/2015	βροχή	μέτριος άνεμος	μέτρια προς κακή	ελαφρύς	καθαρή
10/24/2015	Συννεφιά (έβρεξε συνεχόμενα πριν)	λίγος αέρας	καλή	όχι	καθαρή
10/25/2015	Ηλιοφάνεια	μέτριος άνεμος	μέτρια προς καλή	όχι	φύλλα, τσιγάρα, χαρτιά
10/26/2015	Ηλιοφάνεια	άπνοια	καλή	όχι	καθαρή
10/27/2015	μερική ηλιοφάνεια	άπνοια	μέτρια προς καλή	όχι	φύλλα, φελιζόλ, επιπλέοντες αχινοί
10/28/2015	Συννεφιά	άπνοια	μέτρια	όχι	τσιγάρα
10/29/2015	Συννεφιά	άπνοια	καλή	όχι	καθαρή
10/30/2015	Συννεφιά	μέτριος άνεμος	καλή	όχι	καθαρή
10/31/2015	Συννεφιά	άπνοια	καλή	όχι	καθαρή
11/1/2015	Συννεφιά	λίγος αέρας	καλή	όχι	καθαρή
11/2/2015	Ηλιοφάνεια	λίγος αέρας	μέτρια	όχι	φύλλο
11/3/2015	Ηλιοφάνεια	μέτριος άνεμος	καλή	όχι	καθαρή
11/4/2015	Ηλιοφάνεια	λίγος αέρας	μέτρια	όχι	χαρτί τυρόπιτας
11/5/2015	Ηλιοφάνεια	λίγος αέρας	μέτρια	όχι	σακούλα πλαστική, κουτί από τσιγάρα, ποτήρι καφέ
11/6/2015	Ηλιοφάνεια	άπνοια	καλή	όχι	ελάχιστα φύκια
11/7/2015	Ηλιοφάνεια	άπνοια	μέτρια προς καλή	όχι	"σάλιο", πετρέλαιο, κίνηση από καΐκια
11/8/2015	Ηλιοφάνεια	μέτριος άνεμος	μέτρια προς καλή	ελαφρύς	φύλλα, επιπλέοντα σωματίδια
11/9/2015	Ηλιοφάνεια	άπνοια	μέτρια προς κακή	όχι	καθαρή
11/10/2015	μερική ηλιοφάνεια	λίγος αέρας	μέτρια	όχι	καθαρή σχετικά, κάποια επιπλέοντα σωματίδια
11/11/2015	μερική ηλιοφάνεια	λίγος αέρας	καλή	όχι	καθαρή

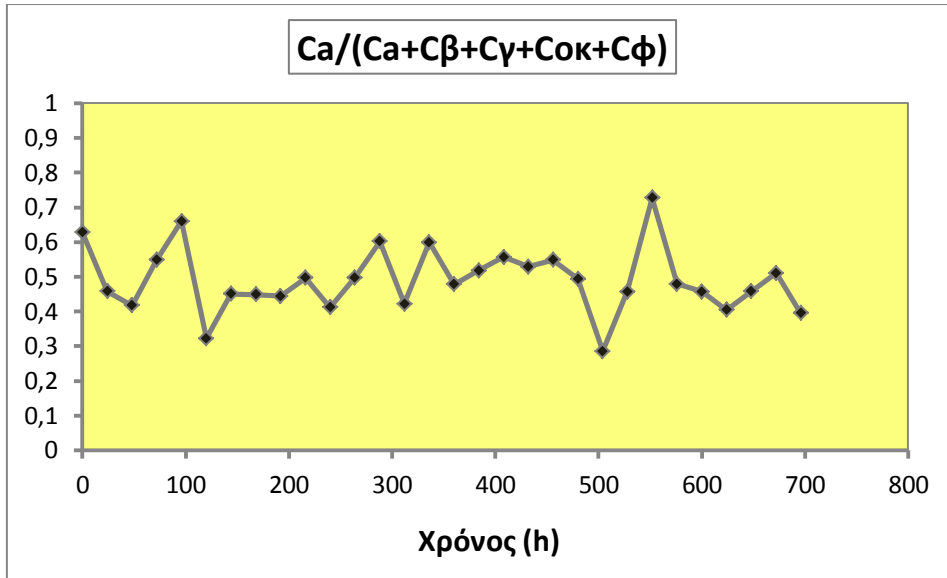
3.2. Διακύμανση φυτοχρωστικών

Στο σχήμα 5 φαίνεται η διακύμανση της χλωροφύλλης-α (Ca) για κάθε μια ημέρα δειγματοληψίας. Οι τιμές της χλωροφύλλης-α κυμάνθηκαν από 0.34 $\mu\text{g/l}$ έως 2.34 $\mu\text{g/l}$. Η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 26/10/2015, ενώ η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 23/10/2015.



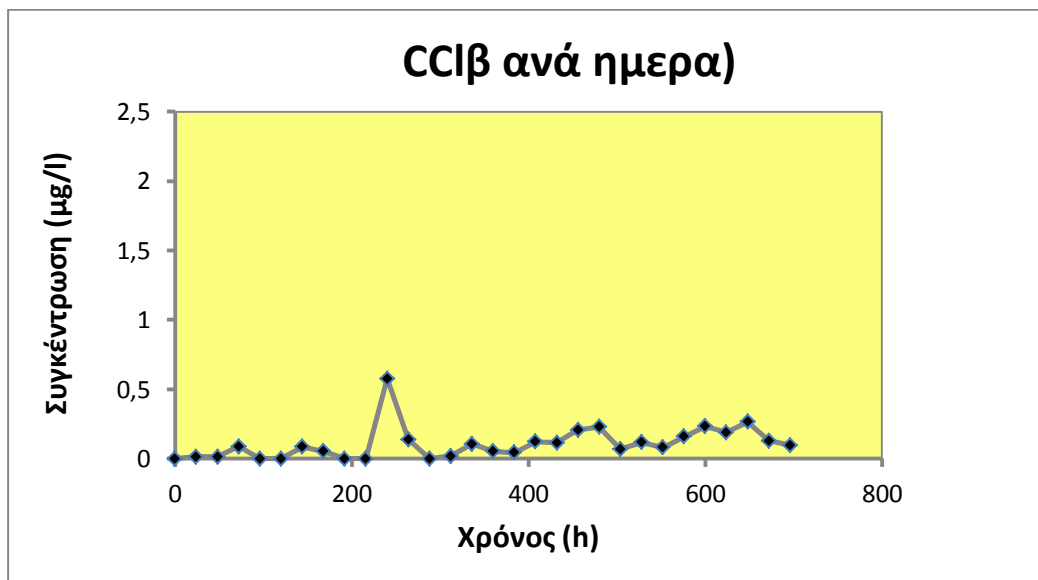
Σχήμα 5. Χρονική διακύμανση της χλωροφύλλης-α (Ca) στο Λιμάνι του Βόλου

Ο λόγος της χλωροφύλλης-α προς το σύνολο των φυτοχρωστικών ($\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{C}\beta+\text{C}\gamma+\text{C}\alpha\kappa+\text{C}\phi)$) κυμάνθηκε από 0.32 έως 0.72 (σχήμα 6). Η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 18/10/2015, ενώ η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 5/11/2015.



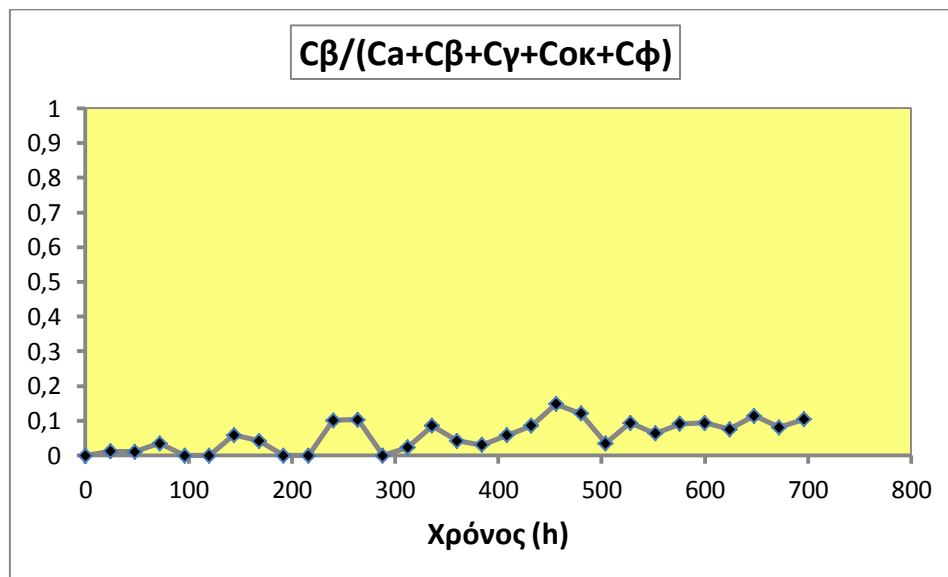
Σχήμα 6. Χρονική διακύμανση του λόγου της χλωροφύλλης-α (Ca) προς το σύνολο των χρωστικών ($Ca/(Ca+C\beta+C\gamma+C\omicron\kappa+C\phi)$) στο Λιμάνι του Βόλου.

Στο σχήμα 7 φαίνεται η διακύμανση της χλωροφύλλης-β (Cβ) για κάθε μια ημέρα δειγματοληψίας. Οι τιμές της χλωροφύλλης-β κυμάνθηκαν από 0 $\mu\text{g/l}$ έως 0.14 $\mu\text{g/l}$. Η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 23/10/2015.



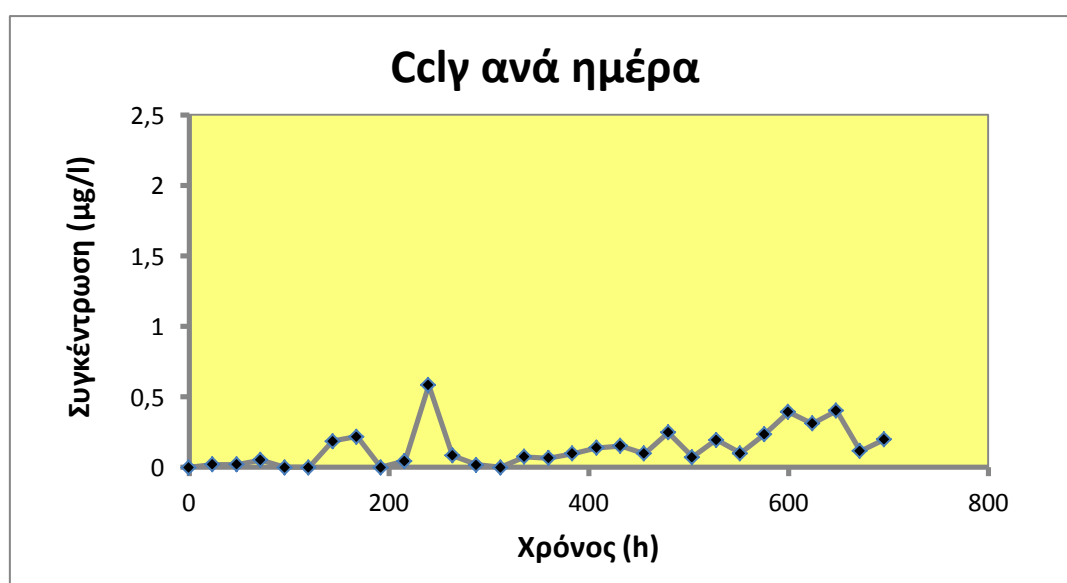
Σχήμα 7. Χρονική διακύμανση της χλωροφύλλης-β (Cβ) στο Λιμάνι του Βόλου

Ο λόγος της χλωροφύλλης-β προς το σύνολο των φυτοχρωστικών ($C\beta/(Ca+C\beta+C\gamma+Cok+C\phi)$) κυμάνθηκε από 0 έως 0.15 (Σχήμα 8). Η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 1/11/2015.



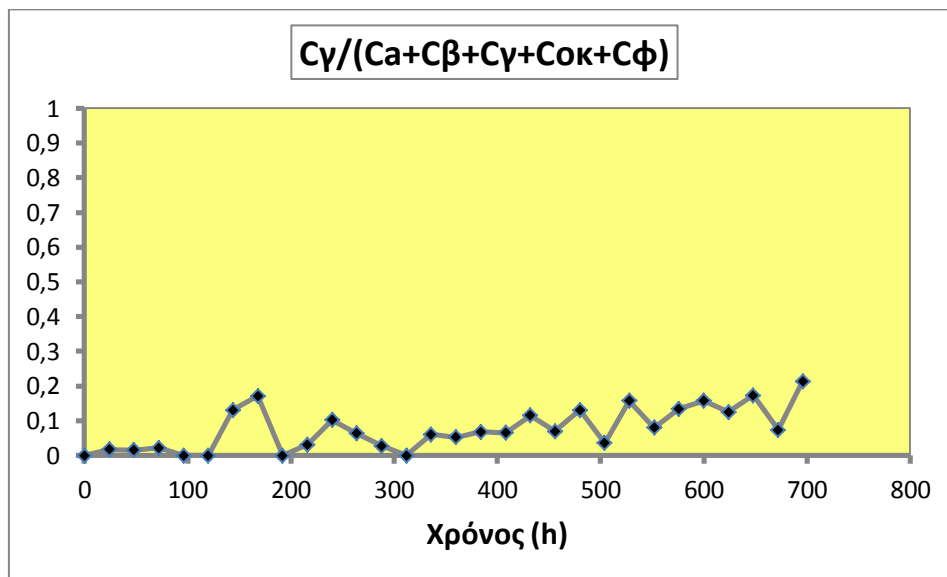
Σχήμα 8. Χρονική διακύμανση του λόγου της χλωροφύλλης-β (Cβ) προς το σύνολο των χρωστικών ($C\beta/(Ca+C\beta+C\gamma+Cok+C\phi)$) στο Λιμάνι του Βόλου

Στο σχήμα 9 φαίνεται η διακύμανση της χλωροφύλλης-γ (Cγ) για κάθε μια ημέρα δειγματοληψίας. Οι τιμές της χλωροφύλλης-γ κυμάνθηκαν από 0μg/l έως 0.21μg/l. Η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 23/10/2015.



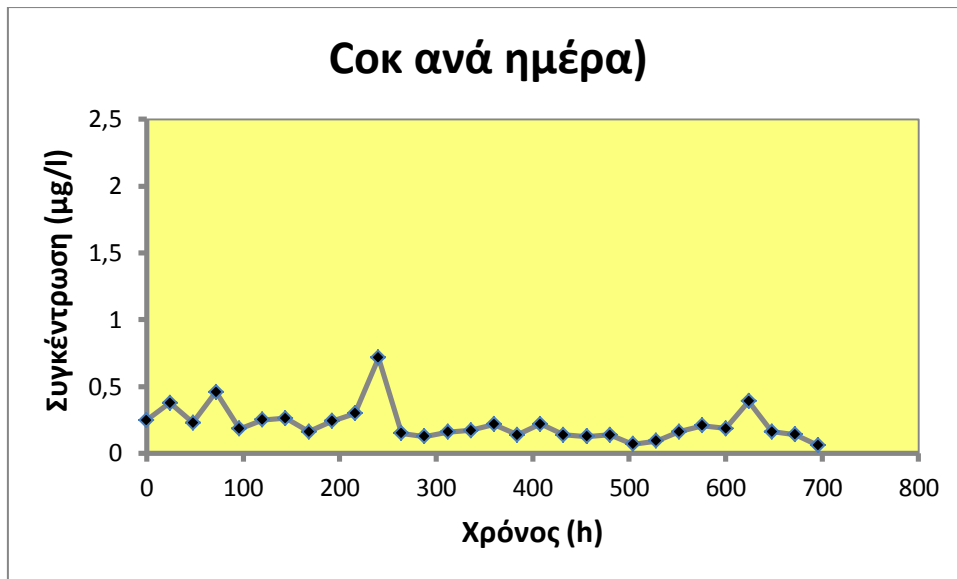
Σχήμα 9. Χρονική διακύμανση της χλωροφύλλης-γ (Cγ) στο Λιμάνι του Βόλου

Ο λόγος της χλωροφύλλης-γ προς το σύνολο των φυτοχρωστικών ($C\gamma/(Ca+C\beta+C\gamma+Cok+C\phi)$) κυμάνθηκε από 0 έως 0.21 (Σχήμα 10). Η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 11/11/2015.



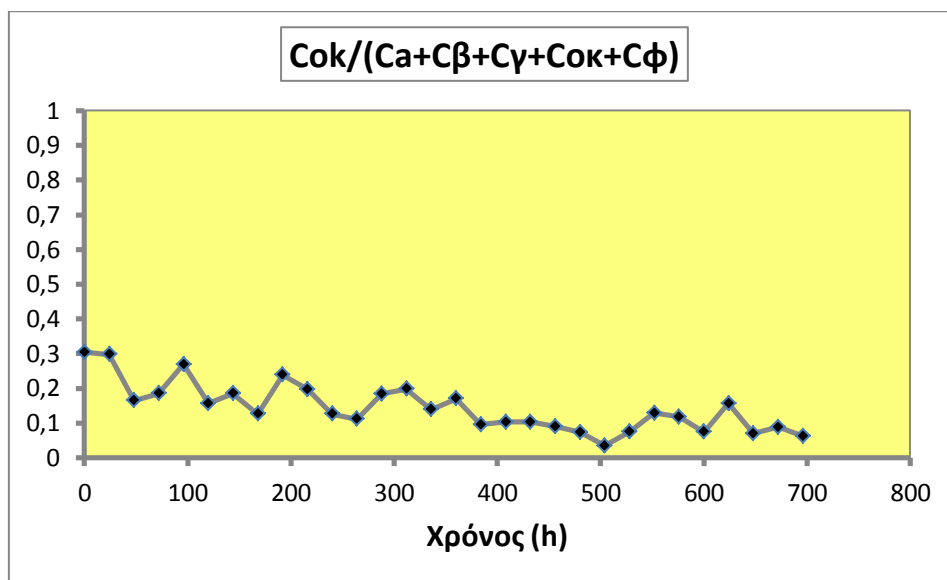
Σχήμα 10. Χρονική διακύμανση του λόγου της χλωροφύλλης-γ ($C\gamma$) προς το σύνολο των χρωστικών ($C\gamma/(Ca+C\beta+C\gamma+Cok+C\phi)$) στο Λιμάνι του Βόλου

Στο Σχήμα 11 φαίνεται η διακύμανση των ολικών καροτενοειδών (Cok) για κάθε μια ημέρα δειγματοληψίας. Οι τιμές των ολικών καροτενοειδών κυμάνθηκαν από 0.05 $\mu\text{g/l}$ έως 0.71 $\mu\text{g/l}$. Η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 11/11/2015 ενώ η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 23/10/2015.



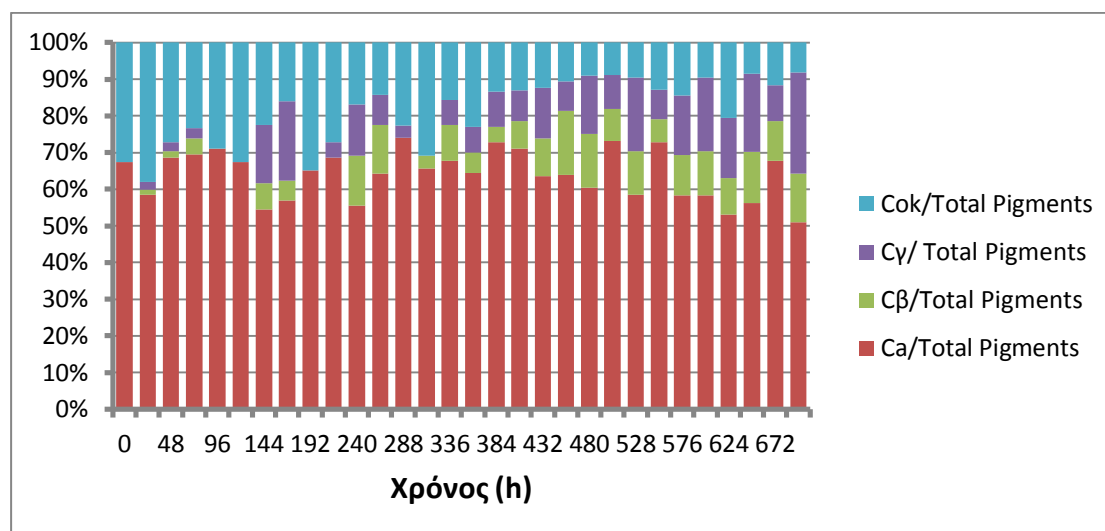
Σχήμα 11. Χρονική διακύμανση των ολικών καροτενοειδών (Cοκ) στο Λιμάνι του Βόλου

Ο λόγος των ολικών καροτενοειδών προς το σύνολο των φυτοχρωστικών ($Cοκ/(Ca+Cβ+Cγ+Cοκ+Cφ)$) κυμάνθηκε από 0.03 έως 0.3 (Σχήμα 12). Η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 3/11/2015 υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 13/10/2015.



Σχήμα 12. Χρονική διακύμανση του λόγου των ολικών καροτενοειδών (Cοκ) προς το σύνολο των χρωστικών ($Cοκ/(Ca+Cβ+Cγ+Cοκ+Cφ)$) στο Λιμάνι του Βόλου

Στο Σχήμα 13 φαίνεται η χρονική διακύμανση του ποσοστού των λόγων κάθε μια χρωστικής προς το σύνολο των χρωστικών. Το μεγαλύτερο ποσοστό καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης είναι αυτό του λόγου της χλωροφύλλης-α προς το σύνολο των χρωστικών, ενώ το χαμηλότερο ποσοστό για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της μελέτης είναι αυτό του λόγου της χλωροφύλλης-β προς το σύνολο των χρωστικών.



Σχήμα 13. Χρονική διακύμανση των ποσοστών των λόγων κάθε χρωστικής προς το σύνολο των χρωστικών στο Λιμάνι του Βόλου

3.3. Επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων στη διακύμανση της συγκέντρωσης των φυτοχρωστικών

Στον Πίνακα III καταγράφονται οι συσχετίσεις κατά Spearman, ανάμεσα στις φυτοχρωστικές και στους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η χλωροφύλλη-α εμφάνισε σημαντικές στατιστικά συσχετίσεις με τις ώρες ηλιοφάνειας, τη θερμοκρασία του νερού (αρνητικές συσχετίσεις) και τη βροχή (θετική συσχέτιση). Η χλωροφύλλη-β εμφάνισε αρνητικές συσχετίσεις με τις ώρες ηλιοφάνειας και τη θερμοκρασία του νερού. Η χλωροφύλλη-γ εμφάνισε αρνητικές συσχετίσεις με τις ώρες ηλιοφάνειας και τη θερμοκρασία του νερού, ενώ εμφάνισε θετική συσχέτιση με τον άνεμο. Τα ολικά καροτενοειδή εμφάνισαν θετικές συσχετίσεις με τις ώρες ηλιοφάνειας, τη θερμοκρασία του νερού και τη βροχή, ενώ εμφάνισαν αρνητική συσχέτιση με τον άνεμο.

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

	P (Sig.1-tailed)	R
Ca-Άνεμος	0.293	0.104
Ca-Ωρες Ηλιοφάνειας	0.034	-0.339
Ca-Ωρες Ηλιοφάνειας προηγούμενης ημέρας	0.168	0.182
Ca-Ωρες Ηλιοφάνειας δύο προηγούμενων ημερών	0.071	0.284
Ca-pH	0.466	0.016
Ca-Θερμοκρασία νερού	0.006	-0.456
Ca-Αγωγιμότητα	0.057	0.294
Ca-Βροχή	0.028	0.351
Cβ-Άνεμος	0.109	0.232
Cβ-Ωρες Ηλιοφάνειας	0.000	-0.656
Cβ-Ωρες Ηλιοφάνειας προηγούμενης ημέρας	0.000	-0.605
Cβ-Ωρες Ηλιοφάνειας δύο προηγούμενων ημερών	0.000	-0.604
Cβ- pH	0.341	0.078
Cβ-Θερμοκρασία	0.000	-0.641
Cβ-Αγωγιμότητα	0.450	0.020
Cβ-Βροχή	0.265	0.119
Cγ-Άνεμος	0.012	0.409
Cγ-Ωρες Ηλιοφάνειας	0.000	-0.659
Cγ-Ωρες Ηλιοφάνειας προηγούμενης ημέρας	0.000	-0.633
Cγ-Ωρες Ηλιοφάνειας δύο προηγούμενων ημερών	0.000	-0.608
Cγ-pH	0.222	0.145
Cγ-Θερμοκρασία	0.001	-0.548
Cγ-Αγωγιμότητα	0.268	0.118
Cγ-Βροχή	0.476	0.011
Cok-Άνεμος	0.025	-0.361
Cok-Ωρες Ηλιοφάνειας	0.001	0.532
Cok-Ωρες Ηλιοφάνειας προηγούμενης ημέρας	0.001	0.559
Cok-Ωρες Ηλιοφάνειας δύο προηγούμενων ημερών	0.001	0.559
Cok-pH	0.270	0.116
Cok-Θερμοκρασία	0.003	0.484
Cok-Αγωγιμότητα	0.103	0.237
Cok-Βροχή	0.021	0.374
Ca/Ca+Cf-Άνεμος	0.256	0.124
Ca/Ca+Cf-Ωρες Ηλιοφάνειας	0.431	0.033
Ca/Ca+Cf-Ωρες Ηλιοφάνειας προηγούμενης ημέρας	0.478	0.012
Ca/Ca+Cf-Ωρες Ηλιοφάνειας δύο προηγούμενων ημερών	0.353	0.075
Ca/Ca+Cf-pH	0.363	0.067
Ca/Ca+Cf-Θερμοκρασία	0.427	0.035
Ca/Ca+Cf-Αγωγιμότητα	0.442	0.028
Ca/Ca+Cf-Βροχή	0.317	0.091

4. Συζήτηση – Συμπέρασμα

Η εκτίμηση της σύνθεσης της φυτοπλαγκτονικής κοινότητας είναι απαραίτητη γνώση για την κατανόηση της δομής και της δυναμικής των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Επίσης, συνεισφέρει στον εμπλουτισμό των γνώσεων σχετικά με το πώς οι φυσικές και χημικές διαδικασίες επηρεάζουν τη βιολογική δραστηριότητα του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Αρκετές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στο μεσογειακό χώρο, κυρίως στο δυτικό κομμάτι, για τη συσχέτιση της κατανομής των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών με την υδρογραφική δυναμική και τους εποχικούς κύκλους, κυρίως με τις κλασσικές τεχνικές που περιλαμβάνουν την μικροσκοπική καταμέτρηση των οργανισμών (Estrada et al., 1985, 1999; Gomez and Gorsky, 2003; Gomez et al., 2004). Εντούτοις, φάνηκε ότι η μικροσκοπική καταμέτρηση των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών είναι μια διαδικασία δύσκολη, χρονοβόρα και απαιτεί άτομα με μεγάλη εξειδίκευση.

Η χρήση τεχνικών που στηρίζονται στις συγκεντρώσεις των φυτοχρωστικών για την ανάλυση της φυτοπλαγκτονικής δυναμικής, εφαρμόστηκαν από τους Claustre et al., (1994) ως εναλλακτικές τεχνικές για τη συσχέτιση της πρωτογενούς παραγωγικότητας με την αύξηση των διατόμων σε ένα μεσογειακό θαλάσσιο οικοσύστημα. Μελέτες των Barlow et al. (1997), που στηρίχθηκαν στη μέτρηση των φυτοχρωστικών ανέδειξαν διαφορετικά χωρικά πρότυπα τροφικής κατάστασης στη δυτική μεσόγειο. Επιπλέον, οι φυτοχρωστικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιοδείκτες της δυναμικής των φυτοπλαγκτονικών πληθυσμών (Claustre et al., 1994). Ορισμένες φυτοπλαγκτονικές κλάσεις χαρακτηρίζονται από φυτοχρωστικές που δεν υπάρχουν σε άλλες κλάσεις, όπως η περιδίνη στα δινομαστιγωτά και η αλλοξανθίνη στα κρυπτόφυτα. Όμως, πολύ σημαντικοί δείκτες υπάρχουν σε πάνω από μια κλάσεις, όπως η φουκοξανθίνη η οποία είναι παρούσα στα διάτομα, στα πρυμνεσιόφυτα και στα πελαγόφυτα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τη συγκέντρωση της χρωστικής-δείκτη για την εκτίμηση της συμμετοχής διαφόρων φυτοπλαγκτονικών τάξεων όταν είναι γνωστή μόνο η ολική χλωροφύλλη (Gieskes et al., 1988; Letelier et al., 1993). Οι Tamm et al., (2015) προκειμένου να εκτιμήσουν τη συμμετοχή διαφορετικών φυτοπλαγκτονικών τάξεων σε ένα εύτροφο οικοσύστημα χρησιμοποίησαν το υπολογιστικό πρόγραμμα CHEMTAX το οποίο βασίστηκε σε διαφορετικούς λόγους των χρωστικών ως προς τη χλωροφύλλη-α (Εικόνα 10).

Class/pigment	Diatoxanthin	Fucoxanthin	Alloxanthin	Lutein	Zeaxanthin	Diadinoxanthin	Chlorophyll-b	Peridinin	Chlorophyll-a
(a) Initial ratio matrix									
Chrysophytes	0.025	0.283							1
Dinoflagellates						0.063		0.21	1
Cryptophytes			0.532						1
Chlorophytes				0.148			0.356		1
Cyanobacteria					0.117				1
Diatoms		0.343							1

Εικόνα 10. Λόγοι χρωστικών ως προς τη χλωροφύλλη-α για διαφορετικές φυτοπλαγκτονικές τάξεις κατά την εφαρμογή του υπολογιστικού προγράμματος CHEMTAX (Tamm et al., 2015)

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, δεν έγινε χρήση του υπολογιστικού προγράμματος CHEMTAX, αλλά χρησιμοποιήθηκε η χλωροφύλλη-β ως δείκτης των χλωροφυκών και η χλωροφύλλη-γ ως δείκτης των διατόμων (Shoaf and Lium, 1976; Jeffrey and Humphrey, 1975).

Στην παρούσα μελέτη η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α κυμάνθηκε από 0.34 µg/l έως 2.34 µg/l με μέση τιμή 0.77 µg/l. Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α αποτελεί δείκτη ρύπανσης ενός θαλάσσιου οικοσυστήματος από ευτροφισμό (Jorgensen & Richardson, 1996). Τα υδάτινα οικοσυστήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως ολιγότροφα, μεσότροφα και εύτροφα ανάλογα με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α σε αυτά. Διάφορες κλίμακες ευτροφισμού υπάρχουν για την κατηγοριοποίηση των οικοσυστημάτων ως προς τον ευτροφισμό. Μια από αυτές, ενδεικτική για την Ευρωπαϊκή Ένωση δίνεται στον Πίνακα IV.

Πίνακας IV. Κατηγοριοποίηση των οικοσυστημάτων ως προς τον ευτροφισμό σε σχέση με την χλωροφύλλη-α.

Επίπεδα Ευτροφισμού	Χλωροφύλλη-α µg/L
Ολιγοτροφικό	<0,1
Χαμηλό Μεσοτροφικό	0,1 – 0,6
Υψηλό Μεσοτροφικό	0,6 – 2,21
Ευτροφικό	>2,21

Από τον παραπάνω πίνακα και σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, στο Λιμάνι του Βόλου επικρατούν υψηλές μεσοτροφικές συνθήκες. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και ο Βρυώνης (2013) με μελέτες σχετικά με τον ευτροφικό επίπεδο του Παγασητικού Κόλπου. Στις ίδιες μελέτες, αποδείχθηκε το υψηλό μεσοτροφικό επίπεδο του Κόλπου της Ελευσίνας και του Κόλπου της Θεσσαλονίκης. Ο Παγασητικός αποτελεί τον αποδέκτη αστικών λυμάτων, βιομηχανικών και γεωργικών αποβλήτων (ελαιοτριβεία, φυτοφάρμακα, λιπάσματα και ζωικά απόβλητα) από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην ευρύτερη περιοχή (Κολιού-Μήτσιου, 1991). Από τις αρχές της δεκαετίας του '60, με την εξάπλωση του αστικού συγκροτήματος του Βόλου, την επέκταση της βιομηχανοποίησης της περιοχής και την εντατικοποίηση της γεωργίας στον Θεσσαλικό κάμπο, ο κόλπος άρχισε να δέχεται σημαντικές ποσότητες των παραπάνω ρυπαντών. Το 1982 φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε στον Κόλπο του Παγασητικού το φαινόμενο του ζελατινώδους αφρού, δημιουργώντας προβλήματα στον τουρισμό και την αλιεία. Μειώθηκε σημαντικά τα επόμενα χρόνια μέχρι το 1987. Στην συνέχεια το τελευταίο έντονο γεγονός συσσώρευσης « ζελατινώδους αφρού» παρατηρήθηκε την περίοδο Άνοιξη - Καλοκαίρι του 1997 περιμετρικά του κόλπου (Ψόχιου, 2002). Ένας μεγάλος αριθμός παραγόντων επηρεάζει την εμφάνιση του φαινομένου συσσώρευσης «ζελατινώδους αφρού», πιστεύεται ότι η εισροή θρεπτικών σε συνδυασμό με το μικρό βάθος του εσωτερικού κόλπου και τις υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού είναι οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν στη δημιουργία «ζελατινώδους αφρού» στον Παγασητικό (Frigilos, 1987).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, υπήρξε σημαντική διακύμανση όλων των χρωστικών σε κάθε μια από τις ημέρες δειγματοληψίας. Εντούτοις, η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α καθώς και ο λόγος της χλωροφύλλης-α προς το σύνολο των χρωστικών είχαν τις υψηλότερες τιμές καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης. Η συγκέντρωση των ολικών καροτενοειδών ήταν μικρότερη της χλωροφύλλης-α αλλά ήταν υψηλότερη από τις άλλες χρωστικές σχεδόν όλες τις ημέρες της δειγματοληψίας. Ακολούθησε η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-γ, η οποία κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα σχεδόν όλες τις ημέρες. Η χλωροφύλλη-β είχε την μικρότερη συγκέντρωση στο Λιμάνι του Βόλου σχεδόν σε όλες τις ημέρες δειγματοληψίας και σε 6 από αυτές ήταν απύσα. Η χλωροφύλλη-α και τα ολικά καροτενοειδή είναι οι χρωστικές που είναι παρούσες σχεδόν σε όλες τις φυτοπλακτονικές τάξεις. Εντούτοις, η

συγκέντρωση των χλωροφυλλών-α, β, γ σε διαφορετικά φυτοπλαγκτονικά είδη δεν είναι ενδεικτική, οπότε συνήθως χρησιμοποιείται ο λόγος των παραπάνω χλωροφυλλών για την εκτίμηση της δομής του φυτοπλαγκτού στα υδάτινα οικοσυστήματα. Σύμφωνα με τον Cirenko (1988), όταν η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α είναι αισθητά υψηλότερη από το σύνολο των συγκεντρώσεων των χλωροφυλλών β και γ, τότε επικρατούν τα κυανοβακτήρια. Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης και σύμφωνα με την παραπάνω παραδοχή όλες τις ημέρες δειγματοληψίας, στο Λιμάνι του Βόλου επικρατούσαν τα κυανοβακτήρια. Το γεγονός ότι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-γ είναι υψηλότερη από τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-β, δείχνει ότι τα διάτομα υπερτερούν των χλωροφυκών στο Λιμάνι του Βόλου.

Η εποχική και η ετήσια διακύμανση της συγκέντρωσης των φυτοχρωστικών σε θαλάσσια οικοσυστήματα έχει μελετηθεί αρκετά. Οι Κορμάς et al., (1998) μετρώντας τη μηνιαία διακύμανση της χλωροφύλλης-α στον Κόλπο του Μαλλιακού, απέδειξε ότι τη χειμερινή περίοδο το εσωτερικό του Κόλπου χαρακτηρίζονταν από υψηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α (2.65μg/l). Οι Hassen et al., (2008), μελέτησαν την κατανομή των φυτοχρωστικών την καλοκαιρινή περίοδο σε ένα Κόλπο της Τυνησίας (Gulf of Gabes) και συμπέραναν ότι καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης, η χλωροφύλλη-α ήταν σε χαμηλά επίπεδα (>0.2μg/l), ενώ σε υψηλότερα επίπεδα βρίσκονταν η χλωροφύλλη-β (0.3 μg/l).

Αντιθέτως, η ημερήσια διακύμανση της συγκέντρωσης των φυτοχρωστικών, έχει ελάχιστα μελετηθεί. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης σχετικά με την ημερήσια διακύμανση των φυτοχρωστικών στο Λιμάνι του Βόλου, είναι τα πρώτα αποτελέσματα στον ελληνικό και μεσογειακό χώρο. Οι An and Du (1999) μελέτησαν την ημερήσια διακύμανση των φυτοχρωστικών στα νερά του Βιετνάμ και βρήκαν ότι καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης επικρατούσε η χλωροφύλλη-α (0.18 μg/l), ενώ ακολουθούσαν τα ολικά καροτενοειδή (0.052 μg/l) και η χλωροφύλλη-β (0.05 μg/l).

Η διακύμανση των φυτοχρωστικών και η κατανομή των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών επηρεάζονται από πολλούς περιβαλλοντικούς παράγοντες. Από αυτούς, οι κυριότεροι φυσικοχημικοί παράγοντες στα θαλάσσια οικοσυστήματα είναι η ηλιακή ακτινοβολία και η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στο νερό (Harris, 1986; Kennish, 2001). Ο χρόνος αναπαραγωγής των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών

κυμαίνεται από λίγες ώρες έως λίγες μέρες. Σε αυτό το διάστημα, οι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί μπορούν να αντικατοπτρίσουν τις περιβαλλοντικές αλλαγές (Cebrian and Valiela 1999). Για αυτό το λόγο στην παρούσα μελέτη έγινε προσπάθεια συσχέτισης της διακύμανσης ορισμένων περιβαλλοντικών παραγόντων με τη διακύμανση των φυτοχρωστικών στο Λιμάνι του Βόλου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης και οι τρεις χλωροφύλλες (α,β,γ) εμφάνισαν αρνητικές συσχετίσεις με τις ώρες ηλιοφάνειας και τη θερμοκρασία του νερού. Πολλές μελέτες έχουν εκτιμήσει τη συσχέτιση της χλωροφύλλης-α με την επιφανειακή θερμοκρασία του νερού (Kitsiou and Topouzelis, 2014; Volpe et al., 2012; Kormas et al., 2002) καθώς αυτή επηρεάζει την αφθονία και την κατανομή των υδρόβιων οργανισμών. Από αυτές τις μελέτες οι περισσότερες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι οι υψηλή συγκέντρωση των χλωροφυλλών ευνοείται από τις χαμηλές επιφανειακές θερμοκρασίες του νερού (Valavanis et al., 2004). Στην περιοχή του Νότιου Αιγαίου έχει, επίσης, παρατηρηθεί αρνητική συσχέτιση μεταξύ της χλωροφύλλης-α και της θερμοκρασίας, γεγονός το οποίο αποδίδεται στη μεγαλύτερη μεταφορά και διαλυτότητα των θρεπτικών στην επιφάνεια του νερού, κάτω από συνθήκες χαμηλότερης θερμοκρασίας (Krom et al., 2005; Skliris et al., 2010). Η αρνητική συσχέτιση των χλωροφυλλών με τις ώρες ηλιοφάνειας μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι όσο αυξάνονται οι ώρες ηλιοφάνειας, τόσο πιο πολύ αυξάνεται και η θερμοκρασία του νερού η οποία όπως αναφέρθηκε παραπάνω συσχετίζεται αρνητικά με τη συγκέντρωση της χλωροφυλλών. Μελέτες των Hobson et al., (1979), έδειξαν ότι όταν το είδος *Isochrysis galbans* Parke, εκτίθονταν σε λιγότερες ώρες ηλιοφάνειας, εμφάνιζε υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης λόγω του ότι μπορούσε να ενσωματώσει τον άνθρακα με γρηγορότερο ρυθμό. Επιπλέον, η αρνητική συσχέτιση της χλωροφύλλης-α με τις ώρες ηλιοφάνειας καταδεικνύουν το γεγονός ότι οι χλωροφύλλες μπορούν να προσαρμοστούν καλύτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες (Valanne, 1977).

Η χλωροφύλλη-α, καθώς και τα ολικά καροτενοειδή εμφάνισαν θετική συσχέτιση με τη βροχή. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι περισσότερα θρεπτικά μεταφέρονται από τη γύρω περιοχή στην επιφάνεια της θάλασσας με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Abdul-Hadi et al., (2013), οι οποίοι παρατήρησαν ότι στη θαλάσσια περιοχή της

Μαλαισίας, την περίοδο που υπήρχαν έντονες βροχοπτώσεις, η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α είχε την υψηλότερη τιμή.

Η χλωροφύλλη-γ εμφάνισε θετική συσχέτιση με την ένταση του ανέμου. Στο ίδιο αποτέλεσμα κατέληξαν και μελέτες των Demers et al, (1987). Ο άνεμος στα μικρά βάθη έχει δύο αποτελέσματα. Πρώτον, μεταφέρει τις θρεπτικές ενώσεις από το ίζημα στην επιφάνεια και δεύτερον, μεταφέρει τους βενθικούς οργανισμούς στην επιφάνεια (Gabrielson and Lukatelich, 1985). Και οι δυο δραστηριότητες έχουν ως συνέπεια την αύξηση της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών στο επιφανειακό νερό.

Τα ολικά καροτενοειδή εμφάνισαν θετικές συσχετίσεις με τη θερμοκρασία του νερού και τις ώρες ηλιοφάνειας, ενώ εμφάνισαν αρνητική συσχέτιση με την ένταση του ανέμου. Η παραγωγή των ολικών καροτενοειδών ευνοείται από τις υψηλές θερμοκρασίες (Borowitzka, 1988). Τα εργαστηριακά πειράματα των Liu and Lee, (2000), απέδειξαν ότι ο φυτοπλαγκτονικός οργανισμός *Chlorococum* sp. μπορούσε να συσσωρεύσει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καροτενοειδών σε θερμοκρασία 35° C, σε σχέση με την ποσότητα που συσσωρεύσε στους 20° C. Η θετική συσχέτιση των καροτενοειδών με τις ώρες ηλιοφάνειας, έχει να κάνει με το γεγονός ότι οι περισσότερες ώρες ηλιοφάνειας συσχετίζονται με τη μεγαλύτερη επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στα φυτοπλαγκτονικά κύτταρα. Τα καροτενοειδή παίζουν σημαντικό ρόλο στην προστασία του φωτοσυνθετικού μηχανισμού από την καταστροφική οξειδωτική επίδραση που έχει η αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία (Yamamoto and Bassi, 1996; Gilmore, 1997). Τα φυτοπλαγκτονικά κύτταρα παράγουν περισσότερα καροτενοειδή κάτω από συνθήκες υψηλής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας, προκειμένου να προστατευτούν (Pfundel and Bilger, 1994).

Η αρνητική συσχέτιση των ολικών καροτενοειδών με την ένταση του ανέμου έχει να κάνει με την αρνητική συσχέτιση του ανέμου με την επιφανειακή θερμοκρασία του νερού (Hurrell 1995; Bjercknes 1964; Shukla and Misra 1997; Huang and Qiao 2009). Ο άνεμος έχει ως συνέπεια την μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας του νερού, διότι σπάει την επιφανειακή στρωμάτωση του νερού και μεταφέρει τις κρύες υποεπιφανειακές μάζες του νερού στην επιφάνεια (Ng et al. 2010). Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, η επιφανειακή θερμοκρασία του νερού έχει θετική συσχέτιση με τη συγκέντρωση των ολικών καροτενοειδών.

Συμπερασματικά, από την παρούσα εργασία αποδείχθηκε ο μεσοτροφικός χαρακτήρας του Παγασητικού Κόλπου καθώς και η ημερήσια δυναμική των φυτοχρωστικών στο Λιμάνι του Βόλου. Αποδείχθηκε ότι οι αλλαγές στη συγκέντρωση των φυτοχρωστικών επηρεάζονται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, οι ώρες ηλιοφάνειας και ο άνεμος. Οι αλλαγές αυτές παρατηρήθηκαν σε ημερήσιο χρονικό διάστημα, αποδεικνύοντας τη σημαντικότητα της παρακολούθησης των φυτοχρωστικών των θαλάσσιων οικοσυστημάτων σε ημερησία βάση.

5. Βιβλιογραφία

5.1. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Abdul-Hadi Alaa, S. M., Biswajeet Pradhan, C. K. Tan (2013) Seasonal variability of chlorophyll-a and oceanographic conditions in Sabah waters in relation to Asian monsoon—a remote sensing study." *Environ Monit Assess* 185.
- An, N. T., & Du, H. T. (2000) Studies on phytoplankton pigments: chlorophyll, total carotenoids and degradation products in Vietnamese waters. *Proceeding of the SEAFDEC Seminar on Fishery Resources in the South China Sea Area IV: Vietnamese Water, Southeast Asian Fisheries Development Center, Thailand*, pp. 1–18.
- Barlow, R.G., Mantoura, R.F.C., Cummings, D.G., Fileman, T.W., (1997) Pigment chemotaxonomic distributions of phytoplankton during summer in the western Mediterranean. *Deep Sea Research Part II* 44, 833-850.
- Bates (1982) p H measurement in the marine environment. *Pure & Appl. Chem.*, Vol.54, No.1, pp.229—232.
- Bjerknes, J. (1964) Atlantic air-sea interaction. *Advances in Geophysics*, 10, 1-82.
- Blankenship, R., M.T. Madigan and C. Bauer (eds.) (1995) *Anoxygenic Photosynthetic Bacteria*. Kluwer Academic, Netherlands.
- Borowitzka MA (1988) Vitamins and fine chemicals from microalgae. In Borowitzka MA, Borowitzka LJ (eds), *Micro-algal Biotechnology*. Cambridge U.P., Cambridge, pp. 153–196.
- Cebrian, J. and I.Valiela. (1999) Seasonal pattern in phytoplankton biomass in coastal ecosystems. *J. Plankton Res.*, 21(3): 429-444.
- Chang, G. C., T. D. Dickey, O. M. Schofield, A. D. Weidemann, E. Boss, W. S. Pegau, M. A. Moline, and S. M. Glenn (2002) Nearshore physical processes and bio-optical properties in the New York Bight, *J. Geophys. Res.*, 107(C9), 3133.
- Cirenko L.A. (1980) The information value of Chlorophyll index. *Hydrobiological*, Vol 4 No 24 . pp. 49 –53.

- Claustre, H., Kerherve, P., Marty, J.-C., Prieur, L., Videau, C., Hecq, J.H., (1994) Phytoplankton dynamics associated with a geostrophic front: ecological and biogeochemical implications. *Journal of Marine Research* 52, 711-742.
- Demers S, Therriault JC, Bourget E, Bah A (1987) Resuspension in the shallow sublittoral zone of a macrotidal estuarine environment wind influence. *Limnol Oceanogr* 32, 327-339.
- Estrada, M., Vives, F., Alcaez, M. (1985) Life and productivity of the open sea. In: Margalef, R. (Ed.), *Western Mediterranean*. Pergamon Press, Oxford, pp. 148-197.
- Estrada, M., Varela, R.A., Salat, J., Curzado, A., Arias, E. (1999) Spatiotemporal variability of the winter phytoplankton distribution across the Catalan and north Balearic fronts (NW Mediterranean). *Journal of Plankton Research* 21, 1-20.
- Falkowski, P.G. & Raven, J.A. (2007) *Aquatic Photosynthesis*, 2nd ed., Princeton University Press, Princeton, NJ, 484pp.
- Friligos N., (1987) Eutrophication assessment in Greek coastal waters. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 15: 185-196.
- Gabrielson J.O., and R.J. Lukatelich (1985) Wind-related resuspension of sediments in the Peel-Harvey estuarine system. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 20: 135-145.
- Gieskes, W.W.C., Kraay, G.W., Nontji, A., Setiapermana, D., Sutomo, S., (1988) Monsoonal alternation of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): a mathematical analysis of algal pigment fingerprints. *Netherlands Journal of Sea Research* 22, 123-137.
- Gilmore AM. 1997. Mechanistic aspects of xanthophyll cycle- dependent photoprotection in higher plant chloroplasts and leaves. *Physiologia Plantarum* 99, 197–209.
- Gomez, F., Gorsky, G., (2003) Annual microphytoplankton cycles in the Villefranche Bay, Ligurian Sea, NW Mediterranean. *Journal of Plankton Research* 25, 323-339.

- Gomez, F., Gorsky, G., Garcia-Gorriz, E., Picheral, M., (2004) Control of the phytoplankton distribution in the strait of Gibraltar by wind and fortnightly tides. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59, 485-497.
- Guerra-García, J.M., García-Gómez, J.C. (2005) Oxygen levels versus chemical pollutants: do they have similar influence on macrofaunal assemblages? A case study in a harbour with two opposing entrances. *Environmental Pollution* 135, 281-291.
- Harris, G.P. 1986. *Phytoplankton Ecology*, Chap. and Hill Ltd. New York, 384 p.
- Hassen M. Bel, Z. Drira , A. Hamza , H. Ayadi , F. Akrouf, H. Issaoui (2008) Summer phytoplankton pigments and community composition related to water mass properties in the Gulf of Gabes.
- Hobson Louis, F. A. Hartley and D. E. Ketcham (1979) Effects of Variations in Daylength and Temperature on Net Rates of Photosynthesis, Dark Respiration, and Excretion by *Isochrysis galbana* Parke. *Plant Physiol.* 63, 947-951.
- Huang, C., and Qiao, F. (2009) The relationship between sea surface temperature anomaly and wind energy input in the Pacific Ocean. *Progress in Natural Science*, 19(10), 1409-1412.
- Hurrell, J. W. (1995) Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269(5224), 676-679.
- Jeffrey SW, Humphrey G F (1975) New spectrophotometric equation for determining chlorophyll a, b, c1 and c2. *Biochem. Physiol Pflanz* 167: 194-204
- Jeffrey S.W. and Vesik M. (1997) Introduction to marine phytoplankton and their pigment signatures. In: Jeffrey S.W., Mantoura R.F.C and Wright S.W (eds) *Phytoplankton pigments in oceanography*. UNESCO Publishing, Paris. pp 74 – 75.
- Jiggells T.D. (1998) *Nutrient Biogeochemistry of the Coastal Zone*. *Science*, Vol 281.
- 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., (2002) Use of surface sediments in Pagassitikos Gulf, Greece, to detect anthropogenic influence. *Geo-Mar Lett* 21,200- 211.
- Katterer, T., Reichstein, M., Andren, O., and Lomander, A. (1998) Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models, *Biology and Fertility of Soils*, 27, 258–262.
- Kawai Y. and Wada A (2007) Diurnal Sea Surface Temperature Variation and Its Impact on the Atmosphere and Ocean: A Review. *Journal of Oceanography*, Vol. 63, pp. 721 to 744.
- Kennish, M.J. (2001) *Practical Handbook of Marine Sciences*, Third Edition, CRC Press, New York, 876 p.
- Kirchman D. L. (2012). Chapter 4. Microbial primary production and phototrophy. *Processes in Microbial Ecology*. Oxford University Press. p. 55-78
- Kitsiou D., and Topouzelis K., (2014) Correlation between chlorophyll-a concentration and sea surface temperature in the eastern Mediterranean sea using GIS and satellite data. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23, No11.
- Kletou D., Hall-Spencer, J.M. (2012) Threats to Ultraoligotrophic Marine Ecosystems, *Marine Ecosystems*, Cruzado A. (Ed.), ISBN: 978-953-51-0176-5.
- Kormas, K.A., Kapiris, K., Thessalou-Legaki, M. and Nicolaidou, A. (1998) Quantitative relationships between phytoplankton, bacteria and protists in an Aegean semi-enclosed embayment (Maliakos Gulf, Greece). *Aquatic Microbial Ecology*, 15: 255-264.
- Kormas KA, Garametsi V & Nicolaidou A (2002). Size-fractionated phytoplankton chlorophyll in an Eastern Mediterranean coastal system (Maliakos Gulf, Greece). *Helgol Marine Research* 56: 125–133.
- Krom, M.D., Woodward, E.M.S., Herut, B., Kress, N., Carboa, P., Mantourad, R.F.C., et al. (2005) Nutrient cycling in the south east Levantine basin of the eastern Mediterranean: results from a phosphorus starved system. *Deep-Sea Research PART II-Topical Studies in oceanography*, 52(22–23), 2879–2896.

- Letelier, R.M., Bidigare, R.R., Hebel, D.V., Ondrusek, M., Winn, C.D., Karl, D.M., (1993) Temporal variability of phytoplankton community structure based on pigment analysis. *Limnology and Oceanography* 38, 1420-1437.
- Liu BH, Lee YK (2000) Secondary carotenoids formation by the green alga *Chlorococum* sp. *J Appl Phycol* 12:301–307
- Lorenzen, C. J. (1972) Extinction of light in the ocean by phytoplankton. *J.Cons. Int. Explor. Mer* 34: 262-267.
- Marion G.M., F.J. Millero, M.F. Camões , P. Spitzer , R. Feistel , C.-T.A. Chen (2011) p H of sea water. *Marine Chemistry* 126, 89–96.
- Millero, F. J., Feistel, R., Wright, D. G., and McDougall, T. J (2008) The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale, *Deep-Sea Res. Pt. I*, 55, 50–72.
- Ng, H. G., MatJafri, M. Z., Abdulah, K., and Wong, C. J. (2009) The effect of wind speed on SST retrieval. *Proceedings of Aerospace Conference, 2009 IEEE*.
- Nur A, Ben-Avraham Z (1977) Lost Pacific continent. *Nature* 270:41–43.
- Petihakis G., Triantafyllou G., Theodorou A., (2000) Enrichment of Pagassitikos Gulf by run off fertilizers: a modeling study. *Period. Biol*, 102,130-136.
- Petihakis G., Triantafyllou G., Koliou A., Theodorou A., (2002) Exploring the Dynamics of a Marine Ecosystem (Pagasitikos Gulf, Western Aegean, Greece) through the analysis of Temporal and Spatial Variability of Nutrients. *Littoral*, 22-26,September, Porto, Portugal.
- Petihakis G., Triantafyllou G., Theodorou A., (2003) A time dependent ecosystem operational tool for Pagasitikos gulf. *Simulation of biogeochemical variables in space and time. Geophysical Research Abstracts* 5.
- Petihakis G., Triantafyllou G., Pollani A., Koliou A., Theodorou A., (2005) Field data analysis and application of a complex water column biogeochemical model in different areas of a semi-enclosed basin: towards the development of an ecosystem management tool, *Marine Environmental Research* 59 :493—518.
- Pfundel EE, Bilger W. (1994) Regulation and possible function of the violaxanthin cycle. *Photosynthesis Research* 42, 89–109.

- Ridgway, N. M. (1969) Temperature and salinity of sea water at the ocean floor in the New Zealand region: *New Zealand J. Mar. Fresh-Water Res.*, v. 3, p. 57-72.
- Shoaf W T and Lium B W (1976) Improved extraction of chlorophyll a and b from algae using dimethyl sulfoxide. *Limnol. Oceanogr.* 21: 926-928
- Shukla, J., and Misra, B. M. (1977) Relationships between sea surface temperature and wind speed over the central Arabian Sea, and monsoon rainfall over India. *Monthly Weather Review*, 105, 998-1002.
- Skliris, N., Mantziafou, A., Sofianos, S. and Gkanasos A. (2010) Satellite-derived variability of the Aegean Sea ecohydrodynamics. *Continental Shelf Research*, 30, 403–418.
- Tamm M, Freiberg R, Tönno I, Nõges P, Nõges T (2015) Pigment-Based Chemotaxonomy – A Quick Alternative to Determine Algal Assemblages in Large Shallow Eutrophic Lake?. *PLoS ONE* 10(3):e0122526.
- Tolosa I., Bayona, J.M. & Albaiges J. (1996) Aliphatic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Sulfur/Oxygen Derivatives in Northwestern Mediterranean Sediments: Spatial and Temporal Variability, Fluxes and Budgets. *Environmental Science and Technology*, 30: 2495-2503.
- Tomas C. R., (1997) Identifying marine phytoplankton. Academic press, Harcourt Brace and Company, Toronto. Pp. 858.
- Triantafyllou G., Petihakis G., Dounas C., Theodorou A., (2001). Assessing marine ecosystem response to nutrient inputs. *Marine Pollution Bulletin* 43: 175-186.
- Truesdale, G. A., A. L. Downing, and G. F. Lowden (1955) The solubility of oxygen in pure water and sea water. *J. Appl. Chem.*, 6 (2), 53-62.
- Underwood, M. R. (1990) Atoll island hydrogeology: Conceptual and numerical models, Ph.D. dissertation, 205 pp., Dep. of Geol. And Geophys., Univ. of Hawaii at Manoa, Honolulu.
- Valanne (1977) Effect of continuous light on CO₂ fixation, chlorophyll content, growth and chloroplast structure in *Ceratodon purpureus* Z *Pflanzenphysiol* 81: 347-357.

- Valavanis, V., Kapantagakis, A., Katara, A. and Palialexis, A. (2004) Critical regions: A GIS-based model of marine productivity hotspots. *Aquatic Sciences*, 66, 139–148.
- Valiela, I., J. M. Teal, and N.Y. Persson (1976) Production and dynamics of experimentally enriched salt marsh vegetation: below ground biomass. *Limnology and Oceanography* 21:245-252.
- Van Niel, C. B. (1941) The bacterial photosynthesis and their importance for general problem of photosynthesis. *Advances in Enzymology*, 1, 263-328.
- Volpe, G., Nardelli, B.B., Cipollini, P., Santoleri, R. and Robinson, I.S. (2012) Seasonal to interannual phytoplankton response to physical processes in the Mediterranean Sea from satellite observations. *Remote Sensing of Environment*, 117, 223–235.
- Wood, C. M., and Wang, Y. (1999) Lactate, H⁺, and ammonia transport and distribution in rainbow trout white muscle after exhaustive exercise. In “SEB Seminar Series: Regulation of Acid-Base Status in Animals and Plants” (S. Egginton, E. W. Taylor, and J. A. Raven. eds.), pp. 99-124 Cambridge University Press, Cambridge.
- Yamamoto H. Y., Bassi R. (1996) Carotenoids: localization and synthesis in maize genotypes with different thesis: the light reactions. *Advances in Photosynthesis*, Vol. 4.

5.2. Ελληνική Βιβλιογραφία

- Βρυώνης (2013) Μελέτη των πεδίων ανάμειξης γλυκού και αλμυρού νερού με βάση εποχιακές μεταβολές φυσικοχημικών παραμέτρων. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Κολιού-Μήτσιου Α., (1991) Αναγνώριση, εκτίμηση και αντιμετώπιση των πηγών ρύπανσης του Παγασητικού κόλπου. Πρακτικά 200 Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, 544-553.
- Ψόχιου Ε.Ν., (2002) Εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης του Παγασητικού κόλπου : συμβολή στην αειφορική διαχείριση του. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Σελ 1 -187.

- Wetzel R. G., (2006) Επιμέλεια Ελληνικής έκδοσης Οικονόμου-Αμίλλη Α., Λιμνολογία, Λιμναία και Ποτάμια Οικοσυστήματα. Κεφάλαιο 15^ο Πλαγκτικές Κοινωνίες: Φύκη και Κυανοβακτήρια. Εκδόσεις Κωσταράκη 2006. Σελ. 368-439.

5.3. Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- Πληροφορίες καιρού μηνός Οκτωβρίου.
penteli.meteo.gr/meteosearch/data/volos/201510.txt 9/2/2016
- Πληροφορίες καιρού μηνός Νοεμβρίου.
penteli.meteo.gr/meteosearch/data/volos/201511.txt 9/2/2016
- Υπολογισμός ωρών ηλιοφάνειας. <http://www.meteo.gr/meteorplus/tools.cfm>
18/5/2016
- TIME CONVERSION CHART (Minutes to Decimal Hours). 18/5/2016

Abstract

Diel variation of phytopigments in the fishing boats' harbor of Volos City, Greece

The ports are closed areas characterized by high levels of pollution in sediments and low oxygen concentrations in the water column. They show "poor" water quality due to stagnant areas within the port. The ports as 'closed' systems can support a variety of phytoplankton organisms; however, information about the structure of these organisms is limited. The assessment of the composition of the phytoplankton community is essential knowledge for understanding the structure and dynamics of marine ecosystems. Also contributes to the enrichment of knowledge about how the physical and chemical processes affect the biological activity of the marine ecosystem. The purpose of this study is to estimate the temporal variation of major photosynthetic pigments (chlorophyll-a, chlorophyll-b, chlorophyll -c, total carotenoids) as indicators of the presence of different phytoplankton groups in the port of Volos. In addition, we study the effect of physicochemical parameters of seawater to the variation of the above pigments. According to the results of the chlorophyll-a, concentrations in Volos Port are prevailing high mesotrophic conditions. The results of this study on the diurnal variation of phytopigments to Volos Port, are the first results of Greek and Mediterranean region. At Volos Port was considerable variation of all pigments in each of the sampling days. However, the concentration of chlorophyll-a as well as the ratio of chlorophyll-a to the total pigments had higher rates throughout the study. The concentration of total carotenoids were less than chlorophyll-a, but was higher than the other pigments almost every day of the sampling. Followed by the concentration of chlorophyll-c, which was low almost every day. Chlorophyll-b had the lowest concentration. This study demonstrated that the changes in the concentration of phytopigments influenced by environmental factors such as temperature, the hours of sunlight and wind. These changes were observed in daily basis, demonstrating the importance of monitoring phytopigments of marine ecosystems regularly day by day.