

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

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Χρονική κατανομή των φυτοχρωστικών στη θαλάσσια περιοχή κοντά
στην έξοδο του ρέματος Μπουρμπουλήθρα, Βόλος**

**Temporal variation of phytoplankton pigments in the coastal area of
the Mpourmpoulithra stream outflow, Magnisia, Greece**

Καλαϊτζάκη Ουρανία, Μάρκου Μαρία

ΒΟΛΟΣ 2017

Εξεταστική Επιτροπή:

Κωνσταντίνος Κορμάς, Καθηγητής, Οικολογία Υδρόβιων Μικροοργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.

Άρης Ψιλοβίκος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρουμε σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε 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 τον Άρη Ψιλοβίκο για τις χρήσιμες συμβουλές του και την καθοδήγησή του καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας. Ακόμη, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την κα Ελένη Νικούλη για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά της, για την συμπαράστασή της κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας σε όλους τους συμφοιτητές μας με τους οποίους συνεργαστήκαμε στο εργαστήριο, καθώς επίσης στην οικογένειά μας και τους φίλους μας για την αμέριστη συμπαράσταση και κατανόηση που έδειξαν.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να εκτιμηθεί η τροφική κατάσταση της περιοχής έναντι του βιολογικού καθαρισμού του Βόλου μέσω του προσδιορισμού της εβδομαδιαίας διακύμανσης των κύριων φυτοπλαγκτικών φωτοσυνθετικών χρωστικών της παράκτιας αυτής περιοχής του Παγασητικού Κόλπου. Οι παράκτιες ελληνικές περιοχές έχουν ιδιαίτερη σημασία λόγω συγκέντρωσης μεγάλου ποσοστού πληθυσμού και λόγω του ότι διαθέτουν βιολογικό, γεωφυσικό, αισθητικό, πολιτισμικό, και οικονομικό πλούτο. Το παράκτιο περιβάλλον αποτελεί χώρο που υφίσταται ραγδαίες μεταβολές στη μορφολογία του. Οι φυσικοί παράγοντες που υποβοηθούν τις διαδικασίες μεταβολής του παράκτιου περιβάλλοντος είναι ο άνεμος, οι βροχοπτώσεις, οι θερμοκρασιακές μεταβολές, η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, αλλά κυρίως η δράση των κυμάτων. Τις τελευταίες δεκαετίες η φυσική ποιότητα των υδάτινων συστημάτων έχει μεταβληθεί από την επίδραση των ποικίλων κυρίως ανθρώπινων δραστηριοτήτων και χρήσεων του νερού. Ρύπανση υδάτων ονομάζεται η μεταβολή των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων του νερού, λόγω της παρουσίας σε αυτό ουσιών σε ποσότητα που υπερβαίνει τα φυσιολογικά όρια. Ο βιολογικός καθαρισμός αποτελεί μια σημειακή πηγή ρύπανσης. Για την κατανόηση της δομής και της δυναμικής των θαλάσσιων οικοσυστημάτων είναι απαραίτητη η εκτίμηση της σύνθεσης της φυτοπλαγκτονικής κοινότητας. Μελετήθηκε η επίδραση των φυσικοχημικών παραμέτρων του θαλασσινού νερού στη διακύμανση των φυτοπλαγκτικών φωτοσυνθετικών χρωστικών (χλωροφύλλη α, χλωροφύλλη β, χλωροφύλλη γ και καρροτενοειδή) τους μήνες Μάρτιο με Ιούνιο του έτους 2016. Ακολουθήθηκε η μέθοδος της ακετόνης 90%. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης-α, στην περιοχή έναντι του βιολογικού καθαρισμού του Βόλου επικρατούν υψηλές μεσοτροφικές συνθήκες και σημαντική διακύμανση όλων των χρωστικών. Η χλωροφύλλη α και τα καρροτενοειδή παρουσίασαν έντονη αύξηση των τιμών τους τον μήνα Ιούνιο ενώ οι χλωροφύλλες β και γ τον μήνα Μάρτιο. Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α είχε σημαντικά υψηλότερες τιμές από τις υπόλοιπες φυτοχρωστικές. Ο λόγος της χλωροφύλλης-α προς το σύνολο των χρωστικών είχαν τις υψηλότερες τιμές καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης κάτι το οποίο υποδηλώνει ανθίσεις νέου φυτοπλαγκτού. Στην παρούσα μελέτη αποδείχθηκε ότι οι αλλαγές στη συγκέντρωση των φυτοχρωστικών επηρεάζονται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία και ο άνεμος.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| 1.Εισαγωγή..... | 1 |
| 1.1 Θαλάσσιο περιβάλλον και Παράκτια γεωμορφολογία | 1 |
| 1.2 Υποβάθμιση της ποιότητας – ρύπανση των νερών | 2 |
| 1.3 Φυσικά χαρακτηριστικά σε ένα υδατικό οικοσύστημα | 3 |
| 1.3.1 Θερμοκρασία | 3 |
| 1.3.2 Θαλάσσιοι κυματισμοί..... | 4 |
| 1.3.3 Φώς θαλάσσιων υδάτων | 4 |
| 1.3.4 pH..... | 5 |
| 1.3.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα..... | 5 |
| 1.4 Το πλαγκτόν | 5 |
| 1.5 Φωτοσύνθεση και Φωτοσυνθετικές χρωστικές | 6 |
| 1.6 Σκοπός..... | 8 |
| 2.Υλικά και μέθοδοι..... | 9 |
| 2.1 Περιοχή μελέτης..... | 9 |
| 2.2 Πειραματική διαδικασία στην περιοχή δειγματοληψίας | 10 |
| 2.3 Διαδικασία διήθησης και αποθήκευσης των φίλτρων | 11 |
| 2.4 Εκχύλιση φωτοσυνθετικών χρωστικών και ποσοτικός προσδιορισμός της συγκέντρωσης τους..... | 12 |
| 3. Αποτελέσματα..... | 15 |
| 4. Συζήτηση | 23 |
| 5. Βιβλιογραφία..... | 27 |

1.Εισαγωγή

1.1 Θαλάσσιο περιβάλλον και Παράκτια γεωμορφολογία

Το θαλάσσιο περιβάλλον και ειδικότερα οι κλειστές θαλάσσιες λεκάνες (Μεσόγειος, Βαλτική, κ.ά.) αποτελούν χώρους που έχουν δεχτεί και συνεχίζουν να δέχονται τεράστιες περιβαλλοντικές πιέσεις, αφενός λόγω των φυσικών διεργασιών και αφετέρου λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ειδικότερα, οι παράκτιες ελληνικές περιοχές έχουν ιδιαίτερη σημασία (Ελένη Κόκκινου Περιβαλλοντική Γεωλογία και Γεωτεχνολογία). Η ιδιαιτερότητα του ελληνικού παράκτιου χώρου συνίσταται στη συγκέντρωση των περισσότερων μεγάλων αστικών κέντρων (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο, Βόλος, Καβάλα, κ.α.), καθώς και στη συγκέντρωση ενός μεγάλου ποσοστού του πληθυσμού της χώρας. Επίσης, στον παράκτιο χώρο συγκεντρώνεται και το μεγαλύτερο μέρος των υποδομών τουρισμού και αναψυχής, καθώς και σημαντικό μέρος υποδομών και εγκαταστάσεων μεταφορών και επικοινωνιών (λιμάνια, αεροδρόμια, οδικό δίκτυο κ.α.) (Κοκκώσης και Μέξα, 2002: 75). Σε γενικές γραμμές, η παράκτια ζώνη «φιλοξενεί» το 85% του πληθυσμού, το 80% της βιομηχανίας, το 90% του τουρισμού, μεγάλο μέρος της γεωργίας και το σύνολο σχεδόν της αλιείας και των ιχθυοκαλλιεργειών (Δίκτυο Μεσόγειος SOS). Όλα τα παραπάνω αποτελούν φυσική εξέλιξη του γεγονότος ότι η Ελλάδα και συνεπακόλουθα οι 12 στις 13 περιφέρειες της χώρας διαθέτουν παράκτιες περιοχές. Μόνο η περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας δεν έχει άμεση γειτνίαση με την θάλασσα (Κιουσόπουλος Γ., 2001: 281). Ο ελληνικός παράκτιος χώρος έχει μεγάλο ενδιαφέρον και από την άποψη των φυσικών οικοσυστημάτων. ποικιλομορφία είναι σημαντική, τόσο ως προς τα χερσαία, όσο και ως προς τα θαλάσσια οικοσυστήματα: δέλτα και εκβολές ποταμών, αλμυρά και υφάλμυρα έλη και τέλματα, λιμνοθάλασσες και λιβάδια ποσειδωνίας, υγρότοποι, περιοχές που αποτελούν το ενδιαίτημα πολλών ειδών χλωρίδας και πανίδας, η επιβίωση των οποίων είναι πολύτιμη για την διατήρηση της βιολογικής ποικιλότητας. Οι υγρότοποι θεωρούνται από τα πλουσιότερα και παραγωγικότερα οικοσυστήματα (Κοκκώσης και Μέξα, 2002: 75 - 76). Συμπερασματικά, ο ελληνικός παράκτιος χώρος διαθέτει βιολογικό, γεωφυσικό, αισθητικό, πολιτισμικό, και οικονομικό πλούτο, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί έναν φυσικό πόρο και μια κοινή κληρονομιά, η οποία πρέπει να διασφαλιστεί στα πλαίσια των αρχών της αειφορίας.

Οι γεωμορφολογικές δομές που κυρίως χαρακτηρίζουν το παράκτιο τμήμα των ηπείρων είναι οι ακτές και τα δέλτα των ποταμών. Συγκεκριμένα ο όρος ακτή περιγράφει το όριο ανάμεσα στη θάλασσα και το ηπειρωτικό τμήμα. Είναι ουσιαστικά μια γραμμή η οποία μεταβάλλεται συνεχώς εξαιτίας της δράσης του κυματισμού και της παλίρροιας. Η ακτογραμμή μπορεί να θεωρηθεί και ως η ζώνη το πλάτος της οποίας βρίσκεται υπό την επίδραση του κυματισμού και της παλίρροιας και προφανώς της κλίσης της παράκτιας περιοχής. Επιπλέον, το παράκτιο περιβάλλον αποτελεί χώρο που υφίσταται ραγδαίες μεταβολές στη μορφολογία του. Οι φυσικοί παράγοντες που υποβοηθούν τις μεταβολές αυτές

είναι ο άνεμος, οι βροχοπτώσεις, οι θερμοκρασιακές μεταβολές, η αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, αλλά κυρίως η δράση των κυμάτων, η οποία αυξάνεται όταν τα πετρώματα έχουν ρωγμές. Οι παράγοντες αυτοί ευθύνονται για την παρουσία όλων των μορφολογικών δομών (παραλίες, βραχώδεις ακτές, δέλτα ποταμών, θίνες, υγράτοποι, λιμνοθάλασσες κ.λπ.).(Αλεξανδρή και Αλεξίου ,2006).

1.2 Υποβάθμιση της ποιότητας – ρύπανση των νερών

Με το πέρασμα των χρόνων και την ανάπτυξη της τεχνολογίας οι ανάγκες του ανθρώπου πολλαπλασιάστηκαν. Τις τελευταίες δεκαετίες η φυσική ποιότητα των υδάτινων συστημάτων έχει μεταβληθεί από την επίδραση των ποικίλων κυρίως ανθρώπινων δραστηριοτήτων και χρήσεων του νερού. Η παράκτια ζώνη λόγω της θέσης της, προσφέρει ένα ευρύ φάσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως λιμάνια, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, χώρους αναψυχής, ξενοδοχεία και άλλες εμπορικές και τουριστικές εγκαταστάσεις (Karydis and Coccossis , 1988). Δυστυχώς όμως αυτή η ανάπτυξη έχει επιφέρει και πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα. Ένα από αυτά είναι η υποβάθμιση των υδάτινων οικοσυστημάτων. Ως υποβάθμιση των υδάτινων οικοσυστημάτων θεωρείται κάθε διαταραχή της ισορροπίας και της αναπαραγωγικής ικανότητας των οικοσυστημάτων που εξαρτώνται από το νερό. Στον πίνακα 1. καταγράφεται με χρονολογική σειρά η εμφάνιση των σοβαρότερων προβλημάτων ποιότητας νερού στην Ευρώπη και μπορούμε να διαπιστώσουμε πως με το πέρασμα των δεκαετιών τα προβλήματα διαφοροποιούνται ανάλογα με τις ανάγκες του ανθρώπου αλλά και με τις καταχρήσεις που κάνουν.

Πίνακας 1. : Προβλήματα ποιότητας νερού που παρουσιάστηκαν στην

Ευρώπη, με χρονολογική σειρά.

| Δεκαετίες | Προβλήματα Ρύπανσης |
|-----------|---|
| 1950 | Ισοζύγιο οξυγόνου |
| 1960 | Ευτροφισμός |
| 1970 | Βαρέα μέταλλα |
| 1980 | Οξίνιση, νιτρικά, οργανικοί μικρορυπαντές |
| 1990 | Ρύπανση υπογείων νερών |

Η διαδικασία με την οποία η μάζα του νερού των λιμνών και των υδατορευμάτων εμπλουτίζεται με θρεπτικά στοιχεία έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητάς τους, λέγεται ευτροφισμός (Sutcliffe D. and Jones J., 1992). Τα θρεπτικά συστατικά όπως η αμμωνία, το φωσφορικό άλας, ο οργανικός άνθρακας και το νιτρικό άλας έχουν σοβαρές συνέπειες στη βασική και δευτερεύουσα παραγωγικότητα των υδρόβιων οικοσυστημάτων (Mann K.H., 1991). Το φαινόμενο του ευτροφισμού είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που έχει δημιουργηθεί από την ρύπανση των υδάτων.

Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι κάθε ουσία που εμποδίζει την κανονική χρήση του ύδατος θεωρείται ότι το ρυπαίνει. Ρύπανση είναι η άμεση ή έμμεση διοχέτευση από τον άνθρωπο στο υδάτινο περιβάλλον ύλης ή ενέργειας με επιβλαβή αποτελέσματα για τους οργανισμούς” (ο ορισμός της ρύπανσης από τον ΟΗΕ) Ο βιολογικός καθαρισμός αποτελεί μια σημειακή πηγή ρύπανσης. Έτσι χαρακτηρίζονται όλες οι πηγές που εκβάλλουν ρύπους σε εντοπισμένα σημεία. Τέτοια σημεία είναι τα άκρα αγωγών, τάφρων ή αποχετευτικών δικτύων που καταλήγουν σε υδάτινους αποδέκτες.

1.3 Φυσικά χαρακτηριστικά σε ένα υδατικό οικοσύστημα

1.3.1 Θερμοκρασία

Στη θάλασσα η θερμοκρασία σπανίως διαφέρει, από τόπο σε τόπο, περισσότερο από 30 βαθμούς Κελσίου. Οι διακυμάνσεις της εντοπίζονται στο επιφανειακό στρώμα , ενώ σε βάθη μεγαλύτερα από 200 μέτρα εμφανίζεται θερμοκρασιακή ομοιομορφία, χαρακτηριστική για κάθε θαλάσσια λεκάνη (π.χ. στο βυθό της Μεσογείου η θερμοκρασία είναι παντού μεταξύ 13 και 14 βαθμών Κελσίου). Η μέτρηση της θερμοκρασίας δείγματος νερού επιτυγχάνεται με χρήση θερμομέτρου , το οποίο τοποθετείται λίγο κάτω από την επιφάνεια του νερού που έχουμε συλλέξει ή διαφορετικά στο εργαστήριο με χρήση οποιουδήποτε καλού θερμομέτρου. Η ακρίβεια των θερμομέτρων πρέπει να συγκρίνεται με πρότυπα θερμομέτρα του Διεθνούς Γραφείου Προτύπων και να χρησιμοποιούνται πάντοτε θερμομέτρα εφοδιασμένα με το σχετικό πιστοποιητικό και διάγραμμα διορθώσεων.

1.3.2 Θαλάσσιοι κυματισμοί

Όταν τα μόρια του θαλασσινού νερού τίθενται σε κίνηση (κυκλική τροχιά γύρω από την αρχική τους θέση), υπό την επίδραση δύναμης, τότε προκαλείται παραμόρφωση τόσο της ελεύθερης επιφάνειας του νερού όσο και της θαλάσσιας στήλης σε βάθος, με αποτέλεσμα να δημιουργείται το κύμα. Αιτίες κυματισμού αποτελούν τα μετεωρολογικά φαινόμενα (άνεμος, κ.λ.π.) και οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις και εκρήξεις. Η βασικότερη αιτία του κυματισμού όμως είναι ο άνεμος, ο οποίος δημιουργείται όταν αέριες μάζες κινηθούν από την περιοχή υψηλών ατμοσφαιρικών πιέσεων προς την περιοχή χαμηλών ατμοσφαιρικών πιέσεων, μέχρι να επέλθει εξίσωση των πιέσεων στις δύο περιοχές. Ο μηχανισμός μεταφοράς ενέργειας (Μέμος, 2007) από τον άνεμο στα κύματα γίνεται με άμεση ώθηση (ταχύτητα ανέμου ανώτερη των κυματισμών), λόγω τριβής στη επιφάνεια (για κάθε ταχύτητα) και λόγω μεταβολών ατμοσφαιρικής πίεσης.

1.3.3 Φώς θαλάσσιων υδάτων

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που διεισδύει στο θαλασσινό νερό εξαρτάται από την ηλιοφάνεια, την ποσότητα σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, και τη γωνία προσπτώσεως στην επιφάνεια της θάλασσας που με τη σειρά της εξαρτάται από το ύψος του ήλιου, τον κυματιστό και την ποσότητα αιωρούμενης ύλης και ζωντανών μικρο-οργανισμών (κυρίως φυτοπλαγκτικών και ζωοπλαγκτικών) μέσα στο νερό. 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. Από την περιοχή αυτή τα διάφορα μήκη κύματος απορροφούνται διαφορετικά από το θαλασσινό νερό. Οι ακτινοβολίες που βρίσκονται στα άκρα του φάσματος απορροφώνται γρηγορότερα. Έτσι το 50% περίπου της υπεριώδους ακτινοβολίας κατακρατείται στα 10 πρώτα εκατοστά του θαλασσινού νερού ενώ μετά το πρώτο μέτρο βάθους η ποσότητα υπεριώδους ακτινοβολίας είναι σχεδόν αμελητέα. Από τις υπόλοιπες ακτινοβολίες, οι κυανές και οι ερυθρές είναι οι περισσότερο και οι λιγότερο διεισδυτικές αντίστοιχα ενώ οι πράσινες παρουσιάζουν μια ενδιάμεση τιμή διεισδυτικότητας. Από μετρήσεις που έγιναν σε καθαρά ωκεάνια νερά βρέθηκε ότι: το 1/100 της κυανής ακτινοβολίας φθάνει μέχρι το βάθος των 130 m, το 1/100 της πράσινης μέχρι τα 80 m και το 1/100 της ερυθράς μέχρι τα 15 m. Επιπροσθέτως είναι σημαντική η οικολογική σημασία του φωτός καθώς συνδέεται με πολλά φαινόμενα και λειτουργίες που καθορίζουν

την ύπαρξη της ζωής όπως είναι: η φωτοσύνθεση, η όραση, η θέρμανση και η ακτινοβολία.

1.3.4 pH

Το pH είναι ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου στο διάλυμα. Το Ph αποτελεί μέτρο οξύτητας ή αλκαλικότητας μιας χημικής ουσίας, για το λόγο αυτό αναφέρεται και ως ενεργός οξύτητα. Η κλίμακα του pH που κυμαίνεται από 0 έως 14, χρησιμοποιείται ευρέως για τον προσδιορισμό της οξύτητας ενός διαλύματος. Διαλύματα για τα οποία η τιμή του pH είναι μικρότερη του 7 χαρακτηρίζονται ως όξινα, ενώ διαλύματα με pH μεγαλύτερο από 7 χαρακτηρίζονται ως αλκαλικά. Τέλος, τα διαλύματα με pH = 7 ονομάζονται ουδέτερα. Στο νερό το pH κυμαίνεται από 6,5 έως 8,5.

Οι βασικοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να μετρηθεί το pH ενός διαλύματος είναι με τη χρήση δεικτών, με τη χρήση παραμέτρου

1.3.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αναφέρεται στην ικανότητα του να μεταφέρει ηλεκτρικά φορτία και είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ηλεκτρολυτών, των διαλυμένων δηλαδή στο νερό αλάτων. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται κυρίως από τη συγκέντρωση ιόντων στο νερό, το σθένος, την ευκινησία τους και τη θερμοκρασία στην οποία έγινε η μέτρηση. Οι αυξημένες τιμές της αντιστοιχούν σε μεγάλες συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών (ευτροφικές καταστάσεις), σε αύξηση συνεπώς της παραγωγικότητας του οικοσυστήματος και υποδηλώνουν την παλαίωση της υδάτινης μάζας. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που φέρει ένα υδατικό διάλυμα. Επίσης στα νερά αυξάνει με την θερμοκρασία. Η πιο κοινή μονάδα μέτρησης της είναι τα (ms) και η μέτρησης της γίνεται με ειδικά όργανα γνωστά ως αγωγιμόμετρα.

1.4 Το πλαγκτόν

Ο ορισμός πλαγκτόν αναφέρεται σε οργανισμούς που αιωρούνται στο νερό, χωρίς κινητικότητα ή με πολύ περιορισμένη κινητικότητα, οι οποίοι δεν μπορούν ή

δεν διατηρούν την κατανομή τους ενάντια στις επιδράσεις από τις τοπικές μετακινήσεις του νερού. Οι όροι φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν χρησιμοποιούνται για τις φυτικές και τις ζωικές υποδιαιρέσεις αυτών των οργανισμών. Οι σπουδαιότεροι φυτοπλαγκτικοί οργανισμοί ανήκουν σε 3 ταξινομικές ομάδες: Διάτομα, Δινομαστιγωτά και Μικρομαστιγωτά. Τα Διάτομα κυριαρχούν στις ψυχρές και εύκρατες θάλασσες. Είναι μονοκύτταροι οργανισμοί. Περιβάλλονται από διπλή πυριτική κάψα. Σχηματίζουν αλυσίδες και χαρακτηρίζονται από μια μεγάλη ποικιλία μορφών. Αναπαράγονται μονογονικά με διαίρεση του κυττάρου τους. Υπό ευνοϊκές συνθήκες μπορούν να διαιρεθούν μέχρι 3 – 4 φορές την ημέρα. Τα Δινομαστιγωτά και τα Μικρομαστιγωτά απαντούν σε όλες τις θάλασσες και χαρακτηρίζονται από μια εξαιρετικά μεγάλη ποικιλία ειδών. Οι σημαντικότερες ζωοπλαγκτονικές ομάδες των θαλάσσιων οικοσυστημάτων είναι οι ακόλουθες έξι (6): Πρωτόζωα, Κοιλεντερόζωα, Καρκινοειδή, μερικοί πλαγκτικοί Πολύχαιτοι, Χαιτόγναθα και Πρωτοχορδωτά. Κάθε μία από τις ομάδες αυτές διαιρείται σε αρκετές υπο-ομάδες (Λυκάκης 1992). Η γενική αυτή ταξινόμηση έχει γίνει καθολικά αποδεκτή, αλλά συχνά συνδυάζεται με έναν άλλο τρόπο ταξινόμησης ο οποίος βασίζεται στο μέγεθος των πλαγκτικών οργανισμών.

Οι κατηγορίες μεγέθους που έχουν συγκρατηθεί διεθνώς είναι οι ακόλουθες πέντε (Κεντούρη -1998):

- α) Το μακροπλαγκτόν (5 mm -5cm)
- β) Το μεσοπλαγκτόν (1-5 mm ή 0,5-1 mm)
- γ) Το μικροπλαγκτόν(50 μm - 1mm ή 50 μm-0,5 mm)
- δ) Το νανοπλαγκτόν(5 -50 μm)
- ε) Το ούλτραπλαγκτόν (<5 μm)

Η γνώση της αφθονίας του φυτοπλαγκτού είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό της άνθισης του φυτοπλαγκτού (Reynolds, 2006), η οποία αποτελεί βασική παράμετρο για την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας ενός υδάτινου σώματος. Οι πληθυσμιακές εξάρσεις του φυτοπλαγκτού είναι φυσικό φαινόμενο και η εαρινή άνθιση των διατόμων στις θάλασσες είναι η πιο χαρακτηριστική περίπτωση στη φυτοπλαγκτική κοινωνία. Το φυτοπλαγκτόν αναπαράγεται πολύ εύκολα με υψηλές θερμοκρασίες και ηλιοφάνεια γι αυτό το λόγο ο ευτροφισμός εμφανίζεται ιδίως τους ζεστούς μήνες του έτους. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει αυξηθεί η συχνότητα, η ένταση και η έκταση των φαινομένων άνθισης φυτοπλαγκτού και τα φαινόμενα αυτά συνδέονται με τον ανθρωπογενή ευτροφισμό ιδιαίτερα στα παράκτια συστήματα. Ο όρος ευτροφισμός έχει υποστεί μια σειρά μεταμορφώσεων από τότε που πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τον Naumann (1919, από Tamminen 1990) στη

λιμνολογία. Παρόλο τους διάφορους προσδιορισμούς του ευτροφισμού, σήμερα, είναι γενικά αποδεκτό ότι ο όρος είναι συνώνυμος με αυξημένους ρυθμούς αύξησης των υδρόβιων οργανισμών λόγω ανθρωπογενών διαταραχών στο σύστημα (Tamminen 1990). Στην πράξη εκτιμάται από μετρήσεις πρωτογενούς παραγωγικότητας και φυτοπλαγκτικής βιομάζας.

Συγκεκριμένα η Μεσόγειος είναι μια εξαιρετικά πτωχή θάλασσα σε θρεπτικά συστατικά, γεγονός που επηρεάζει τη σύνθεση των πλαγκτικών βιοκοινωνιών που ζουν εκεί τόσο από την άποψη του αριθμού των ειδών όσο και από την άποψη του μεγέθους των πληθυσμών κάθε είδους. Από ποσοτική άποψη το πλαγκτόν της Μεσογείου είναι πτωχό αλλά παρουσιάζει μια εξαιρετικά μεγάλη ποικιλία μορφών η οποία οφείλεται στην ανάμιξη πανίδων διαφόρου προελεύσεως. Συγκεκριμένα τα καθαρά Μεσογειακά είδη είναι πολύ λίγα. Τα περισσότερα από τα είδη που έχουν μελετηθεί μέχρι σήμερα θεωρούνται ότι προέρχονται από τον Ατλαντικό ωκεανό και ότι έφθασαν μέχρι τη Μεσόγειο χάρις στη συνεχή ανταλλαγή υδάτων που λαμβάνει χώρα από το στενό του Γιβραλτάρ. Άλλα είδη προέρχονται από τον Ινδο-Ειρηνικό ... βιόχωρ και φαίνεται ότι μερικά από αυτά εγκαταστάθηκαν στη Μεσόγειο πριν από την κατασκευή του φράγματος του Ασουάν που διευκόλυνε την επικοινωνία μεταξύ των δύο θαλάσσιων χώρων.

1.5 Φωτοσύνθεση και Φωτοσυνθετικές χρωστικές

Ως φωτοσύνθεση ορίζεται η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε χημική ενέργεια των μορίων των οργανισμών. Η φωτοσύνθεση παρέχει τη δυνατότητα στους οργανισμούς που την επιτελούν να χρησιμοποιούν το CO και το H₂O, και να βιοσυνθέτουν με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας, υδατάνθρακες, εκλύοντας ταυτόχρονα O₂ προς την ατμόσφαιρα. Οι βοηθητικές φωτοσυνθετικές χρωστικές απορροφούν φωτόνια, διεγείρονται και μεταφέρουν τη διέγερση προς το κέντρο αντίδρασης. Η μετάδοση της διέγερσης γίνεται μεταξύ γειτονικών μορίων χρωστικών και οδεύει από τις χρωστικές που απορροφούν σε μικρότερα μήκη κύματος προς εκείνες τις οποίες απορροφούν σε μεγαλύτερα μήκη κύματος.

Χλωροφύλλη α και χλωροφύλλη β

Αν και οι δυο χλωροφύλλες απορροφούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή του κυανού (425-490 nm) και στην περιοχή του ερυθρού (650-700 nm), τα φάσματα απορρόφησης τους είναι αρκετά διαφορετικά. Η χλωροφύλλη α δεν δεσμεύει ακτινοβολία μήκους κύματος 460 nm, ενώ η χλωροφύλλη β απορροφά το μέγιστο δυνατό αριθμό φωτονίων αυτού του μήκους κύματος. Η συμπεριφορά αυτή αποδίδεται στο ότι η μεθυλομάδα ενός πυρολικού δακτυλίου της χλωροφύλλης α

αντικαθίσταται από μια αλδευδομάδα στη χλωροφύλλη β. Τα φωτοσυνθετικά τμήματα των φυτών είναι πράσινα γιατί οι χλωροφύλλες δεν απορροφούν ακτινοβολία στο πράσινο χρώμα (500-600 nm). Οι χλωροφύλλες είναι συστατικά των φωτοσυνθετικών μεμβρανών και υπάρχουν σε αναλογία α:β περίπου 3:1.

Καροτενοειδή

Τα καροτενοειδή είναι υδρόφοβες, λιποδιαλυτές βοηθητικές φωτοσυνθετικές χρωστικές, που απαντώνται σε όλους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Αφθονούν στους χλωροπλάστες, λόγω του λιπόφιλου χαρακτήρα τους, βυθίζονται στις μεμβράνες των θυλακοειδών. Απορροφούν ακτινοβολία στην περιοχή του κυανού (400-500 nm) και δεν απορροφούν καθόλου στο ερυθρό, γι αυτό άλλωστε εμφανίζουν χρώματα όπως κίτρινο, πορτοκαλί, κόκκινο, το καθένα ανάλογα με τη μοριακή του δομή.

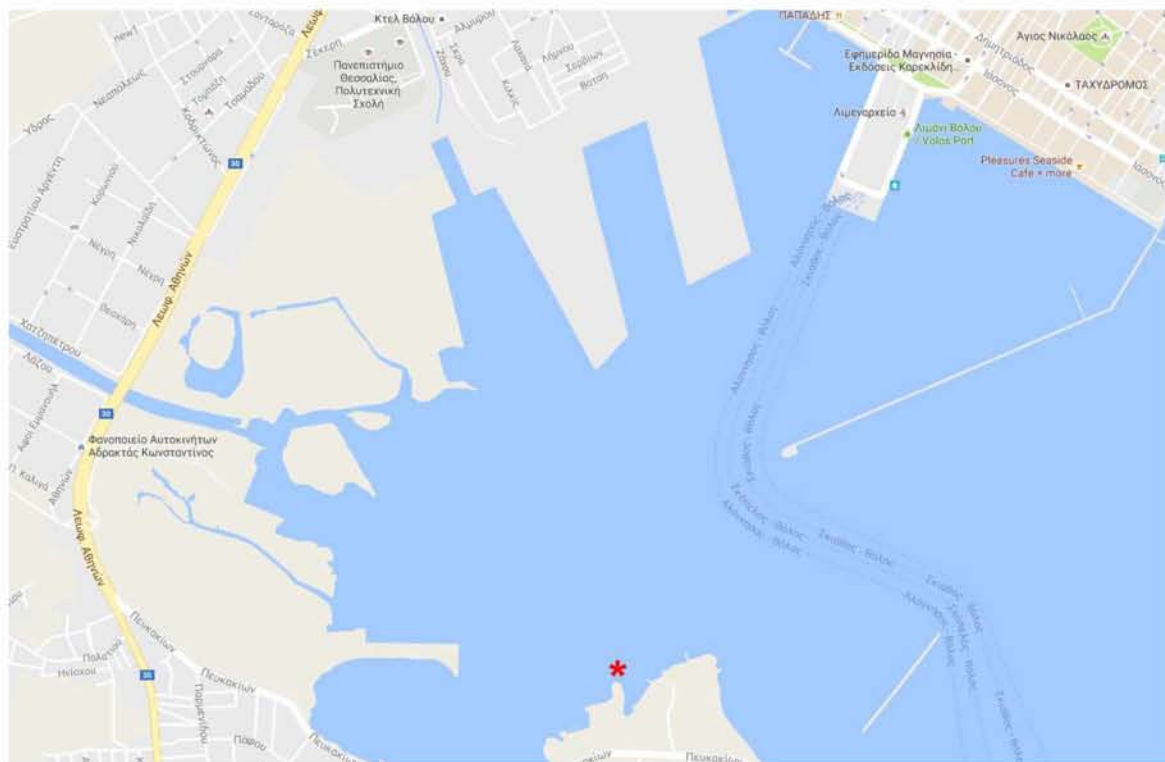
1.6 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να εκτιμηθεί η τροφική κατάσταση της περιοχής έναντι του βιολογικού καθαρισμού του Βόλου μέσω του προσδιορισμού της εβδομαδιαίας διακύμανσης των κύριων φυτοπλαγκτικών φωτοσυνθετικών χρωστικών της παράκτιας αυτής περιοχής του Παγασητικού Κόλπου.

2.Υλικά και μέθοδοι

2.1 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης ήταν έναντι του βιολογικού καθαρισμού στον Παγασητικό κόλπο. (Εικόνα 1). Ο Παγασητικός κόλπος βρίσκεται στο δυτικό Αιγαίο Πέλαγος και περιβάλλεται από το Χαλκοδόνιο όρος (βόρεια), τα βουνά Γούρας (δυτικά), το όρος Όθρυς (νοτιοδυτικά) και τον εκτεταμένο όγκο του όρους Πήλιο (ανατολικά-νοτιοανατολικά). Στον κόλπο εκβάλλουν μόνο μικροί ποταμοί και χείμαρροι. Ο Παγασητικός είναι ένας σχετικά αβαθής ημίκλειστος κόλπος ,με μέσο βάθος 69 m και μέγιστο 102m.Το μέγιστο βάθος παρατηρείται στον ανατολικό κόλπο. Επίσης η επιφάνεια του είναι 520km και ο μέσος όγκος του 36km³ περίπου. Η ακτογραμμή του παρουσιάζει πολλές εγκοιλώσεις, οι μεγαλύτερες από τις οποίες σχηματίζουν τους όρμους του Βόλου και του Αλμυρού. Επικοινωνεί με το Αιγαίο Πέλαγος μέσω του διαύλου του Τρίκερι, που βρίσκεται βόρεια της Εύβοιας .(Gabrielides & Friligos 1977,Gabrielides & Theocharis 1978, Bogdanos & Satsmadjis 1983, Friligos 1987, Friligos & Gotsis-Skretas 1989, ΕΚΘΕ 2000α,β,γ, Triantafyllou et al. 2001, Karageorgis et al. 2002, Petihakis et al. 2000, 2002, 2003, Smith & Papadopoulou 2003, Τσίτσικα 2004 ,Ψόχιου 2003).



Εικόνα 1. Περιοχή δειγματοληψιών (κόκκινος αστερίσκος)

Οι εποχιακές κατακόρυφες κατανομές της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της πυκνότητας καθιστούν εμφανή την παρουσία ισχυρής στρωμάτωσης, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες. Ο Παγασητικός συγκεντρώνει ένα σύνολο αστικών, βιομηχανικών, αγροτικών και τουριστικών δραστηριοτήτων. Στο βόρειο τμήμα βρίσκεται το λιμάνι και η βιομηχανική πόλη του Βόλου με πληθυσμό 120.000 κατοίκους περίπου. Ο Παγασητικός αποτελεί τον αποδέκτη αστικών λυμάτων, βιομηχανικών και γεωργικών αποβλήτων 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. Ο προγραμματισμένος από το 1964 βιολογικός καθαρισμός λυμάτων, του οποίου η κατασκευή άρχισε το 1979, τέθηκε τελικά σε λειτουργία το 1987 και μέχρι το 1998 ολοκληρώθηκε η σύνδεση των δύο βιομηχανικών περιοχών, έτσι ώστε σήμερα όλα τα λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα της μείζονος περιοχής του Βόλου να υφίστανται βιολογική επεξεργασία με ταυτόχρονη αφαίρεση αζώτου πριν καταλήξουν στον κόλπο.

2.2 Πειραματική διαδικασία στην περιοχή δειγματοληψίας

Η δειγματοληψία διήρκησε 4 μήνες. Άρχισε στις 09 Μαρτίου 2016 και ολοκληρώθηκε στις 29 Ιουνίου 2016. Μέσα στο διάστημα αυτό συλλέχτηκαν 13 δείγματα. Συγκεκριμένα κάθε Τρίτη στις ώρες μεταξύ 12:00 και 13:30 γίνονταν η συλλογή των δειγμάτων. Η περιοχή συλλογής των δειγμάτων ήταν έναντι του βιολογικού καθαρισμού του Βόλου, με συντεταγμένες $39^{\circ}20'53.3''N$ $22^{\circ}56'14.2''E$. Για τη συλλογή των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε δοχείο πολυαιθυλενίου, όγκου 2 λίτρων σκούρου χρώματος (καφέ) όπως φαίνεται στην Εικόνα 2. Το σκούρο χρώμα ήταν απαραίτητο καθώς εξασφάλιζε την παύση της φωτοσυνθετικής διαδικασίας του δείγματος ως τη στιγμή της διήθησης του. Παράλληλα γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου, με χρήση θερμομέτρου στήλης, αμέσως μετά τη λήψη του δείγματος. Επίσης καταγράφονταν οι καιρικές συνθήκες και η ακριβής ώρα της δειγματοληψίας. Τη διαδικασία αυτή επαναλαμβάνουμε κατά κανόνα 1 φορά τη βδομάδα. Οι καιρικές συνθήκες σε γενικές γραμμές ήταν καλές με αρκετές μέρες ηλιοφάνεια και ήπιας έντασης ανέμους. Καμία μέρα των δειγματοληψιών δεν παρατηρήθηκε βροχόπτωση.



Εικόνα 2

2.3 Διαδικασία διήθησης και αποθήκευσης των φίλτρων

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, το θαλασσινό δείγμα μεταφερόταν κατευθείαν στο εργαστήριο για διήθηση και πραγματοποιούνταν υπολογισμός του ρ_H , με πεχαμετρικό χαρτί, της αγωγιμότητας (S) και της θερμοκρασίας (T) του νερού με συσκευή μέτρησης αγωγιμότητας (Εικόνα 3.α). Ακριβώς μετά ακολουθούσε διήθηση 2 λίτρων νερού με τη βοήθεια αντλίας κενού. Το νερό διηθούνταν με τη χρήση φίλτρου μικροϊών υάλου διαμέτρου 47 mm και κατακρατούνταν τα στερεά υλικά μέχρι του μεγέθους περίπου 0,7 μm (Εικόνα 3.β). Με το πέρας της διήθησης γινόταν πλύση του δοχείου με απιονισμένο νερό, ώστε να απομακρυνθούν τυχόν εναπομείναντα άλατα. Το χρώμα που αποκτούσαν τα φίλτρα μετά τη διήθηση κυμείονταν από ανοιχτή έως σκούρα ώχρα (Εικόνα 3.γ). Όσο πιο σκουρόχρωμο το φίλτρο τόσο μεγαλύτερη η συγκέντρωση του σωματιδιακού φορτίου. Τέλος με χρήση λαβίδας το φίλτρο διπλωνόταν στη μέση, τοποθετούνταν σε αλουμινοχαρτο που έφερε το κωδικό όνομα του δείγματος, (Εικόνα 3.δ) και αποθηκεύονταν στην κατάψυξη στους $-20\text{ }^\circ\text{C}$, στο σκοτάδι, για τη διατήρηση των φυκοχρωστικών. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν ίδια για όλα τα δείγματα.



Εικόνα 3

2.4 Εκχύλιση φωτοσυνθετικών χρωστικών και ποσοτικός προσδιορισμός της συγκέντρωσής τους

Μετά τη διαδικασία της διήθησης πραγματοποιήθηκε εκχύλιση της χλωροφύλλης. Για τον συγκεκριμένο σκοπό τοποθετήθηκε το φίλτρο σε σωλήνα φυγοκέντρησης των 10 ml και προστέθηκαν 5 ml ακετόνης [$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ ή $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$] συγκέντρωσης 90%, το δείγμα αναδεύονταν με γυάλινη ράβδο, που δεν αντιδρά με την ακετόνη, μέχρι να ομογενοποιηθεί και έπειτα καλύφθηκε αεροστεγώς με parafilm για να μην εξατμιστεί η ακετόνη. Στη συνέχεια, το δείγμα τοποθετούνταν στο ψυγείο στους 4°C , σε σκοτάδι για μια νύχτα. Έπειτα από 24 ώρες, όταν το δείγμα βγαίνει από το ψυγείο, αφήνεται να πάρει θερμοκρασία δωματίου για 30 λεπτά και τοποθετείται σε φυγόκεντρο. Η φυγοκέντρηση γίνεται στις 4000 στροφές/λεπτό για 20 λεπτά. Μόλις τελειώσει η διαδικασία αυτή με πολύ προσοχή και απαλές κινήσεις απομακρύνονται οι σωλήνες έτσι ώστε να μην υπάρξει επανάμιξη του υπερκείμενου υγρού με το φίλτρο που έχει καθιζάνει στον πάτο. Αφαιρούνταν το parafilm και το υπερκείμενο υγρό λαμβάνονταν προσεκτικά με πιπέτα Pasteur και μεταφέρονταν σε κυψελίδα χαλαζία με ακμή 1 εκατοστού (cm).

Στη συνέχεια στο φασματοφωτόμετρο με τη βοήθεια μάρτυρα (καθαρή ακετόνη 90%) μηδενίζονταν πριν την μέτρηση σε κάθε φάσμα. Τα δείγματα φωτομετρούνταν στα παρακάτω μήκη κύματος: 750, 664, 647, 630, 510, 480 nm, όπου τα 750 είναι για την θολερότητα, τα 664 για την χλωροφύλλη-α (Ca), τα 647 για την χλωροφύλλη-β (Cb), τα 630 για την χλωροφύλλη-γ (Cγ), τα 510 και τα 480 για τα καροτενοειδή (Cok). Έπειτα, στις δεύτερες μετρήσεις στα 750nm και 664 nm για τις φαιοφυτίνες προστίθονταν στο δείγμα και όχι στο μάρτυρα 2 σταγόνες HCl 10% και ανακινούνταν ελαφρώς με ένα κομμάτι parafilm. Ελεγχόταν ανά τακτά διαστήματα η ποσότητα της ακετόνης του μάρτυρα έτσι ώστε να συμπληρωθεί η ποσότητα που τυχών χάθηκε λόγω εξάτμισης. Μόλις ολοκληρωθεί και η διαδικασία της φωτομέτρησης με την βοήθεια ορισμένων εξισώσεων υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης.

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

Χλωροφύλλη α (Ca) είναι: $11,85*(E664)-1,54*(E647)-0,08*(E630)$

Χλωροφύλλη β (Cb) είναι: $21,03*(E647)-5,43*(E664)-2,66*(E630)$

Χλωροφύλλη γ (Cc) είναι : $24,52*(E630)-1,67*(E664)-7,60*(E647)$

Ολικά Καροτενοειδή (Cok) είναι: $7,6*(E480-(1,49*E510))$

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης κάθε χρωστικής έγινε με την εξίσωση:
 $\mu\text{g} \cdot l^{-1} = Cx \cdot v / V \cdot l$

όπου E664,647,630 = απορρόφηση στα αντίστοιχα μήκη κύματος-απορρόφηση στα 750nm (E750)

E510= απορρόφηση στα 510 nm – το διπλάσιο της απορρόφησης στα 750nm (E750)
10

E480 = απορρόφηση στα 480nm – το τριπλάσιο της απορρόφησης στα 750nm
(E750)

Cx= αποτέλεσμα από τον παραπάνω πίνακα για την κάθε χρωστική

v = ο όγκος της ακετόνης που χρησιμοποιήθηκε (ml)

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

l = το μήκος της κυψελίδας (cm)

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

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

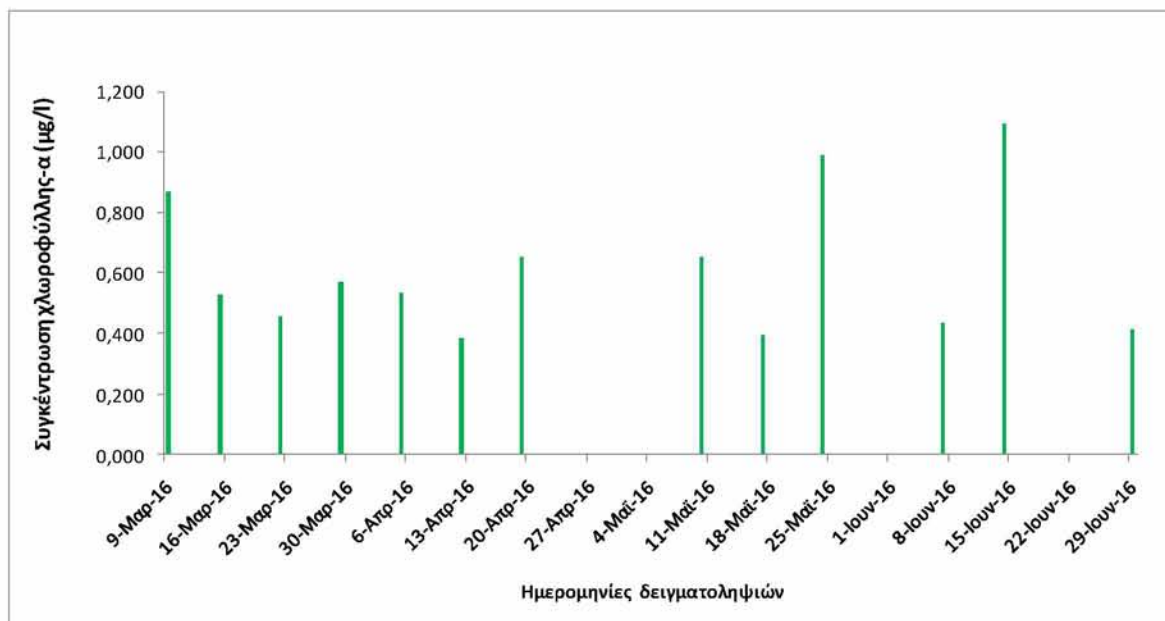
όπου $E_{664,\pi}$ = όπως E_{664} (π =πριν την προσθήκη του οξέος)

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

l = το μήκος της κυψελίδας (cm)

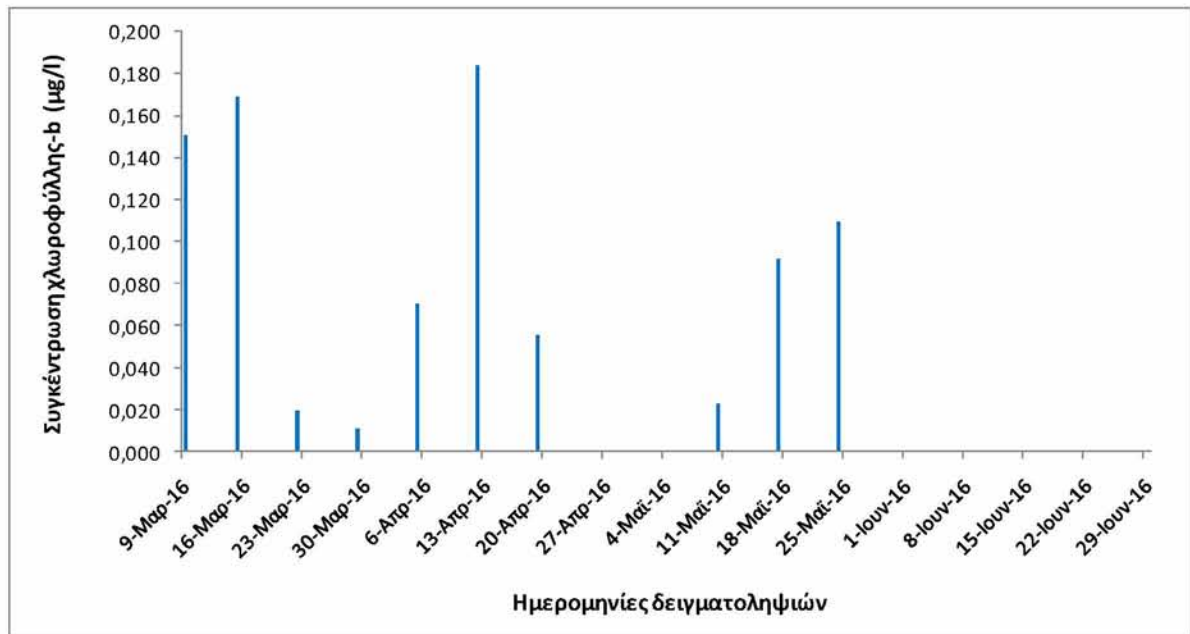
3. Αποτελέσματα

Στο Σχήμα 1 αποτυπώνεται η εβδομαδιαία διακύμανση της χλωροφύλλης-α του νερού για την περίοδο μελέτης. Οι τιμές της κυμάνθηκαν από 0,383 $\mu\text{g/l}$ έως 1,094 $\mu\text{g/l}$. Η υψηλότερη τιμή σημειώθηκε στις 14/06/16, ενώ η ελάχιστη στις 12/4/2016.



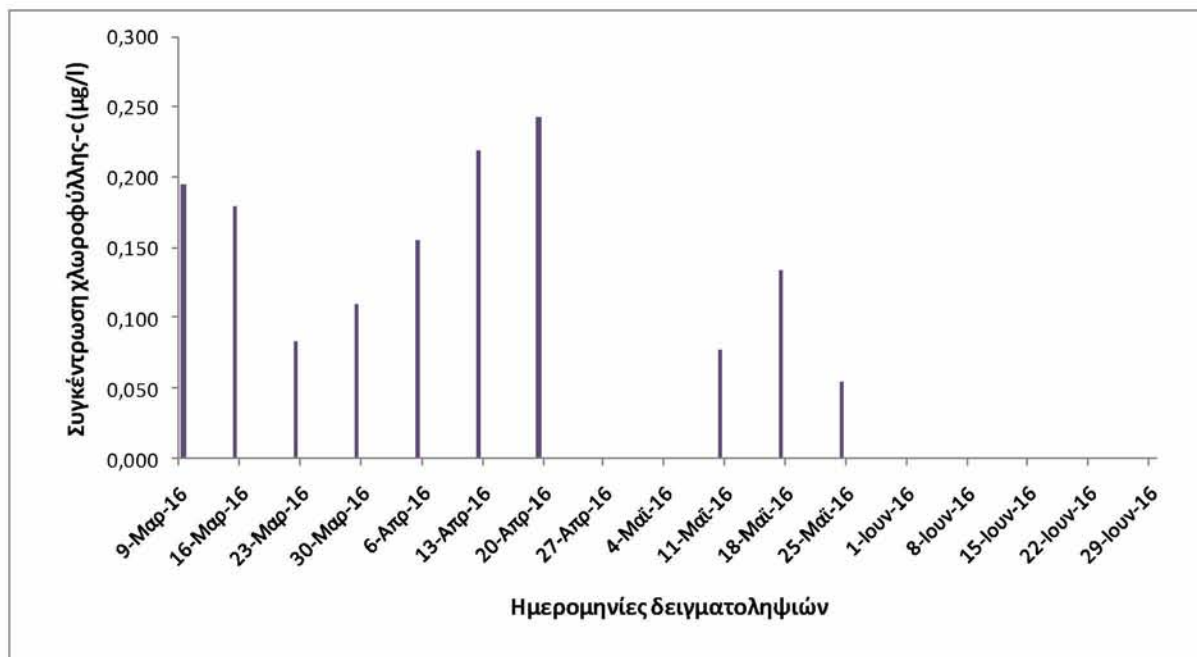
Σχήμα 1. εβδομαδιαία διακύμανση της χλωροφύλλης-α

Κατά την περίοδο μελέτης, η χλωροφύλλη-b του νερού κυμάνθηκε από 0 $\mu\text{g/l}$ έως 0,184 $\mu\text{g/l}$. Η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε στις 12/4/16 και η ελάχιστη στις 7/06/16, στις 14/06/16 και στις 29/06/16. (Σχήμα 2)



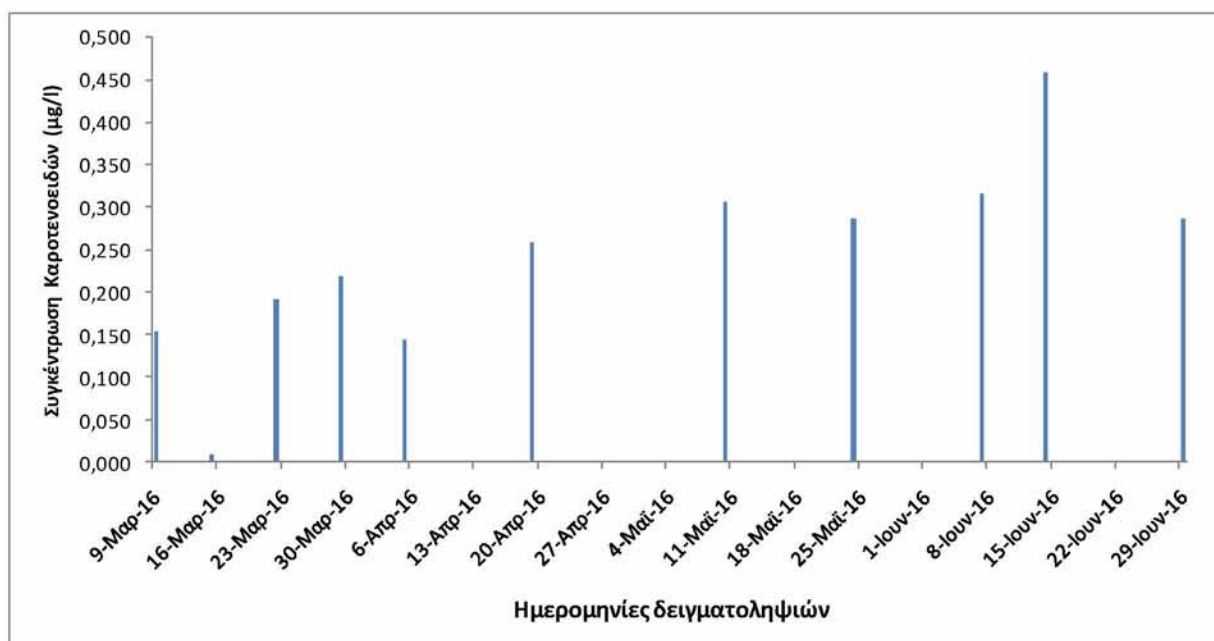
Σχήμα 2. εβδομαδιαία διακύμανση της χλωροφύλλης-b

Στο Σχήμα 3 καταγράφεται η εβδομαδιαία διακύμανση της χλωροφύλλης-c του νερού. Οι τιμές της χλωροφύλλης-c κυμάνθηκαν από 0 $\mu\text{g/l}$ έως 0,242 $\mu\text{g/l}$. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στις 19/04/16 ενώ η χαμηλότερη στις 7/06/16, στις 14/06/16 και στις 29/06/16.



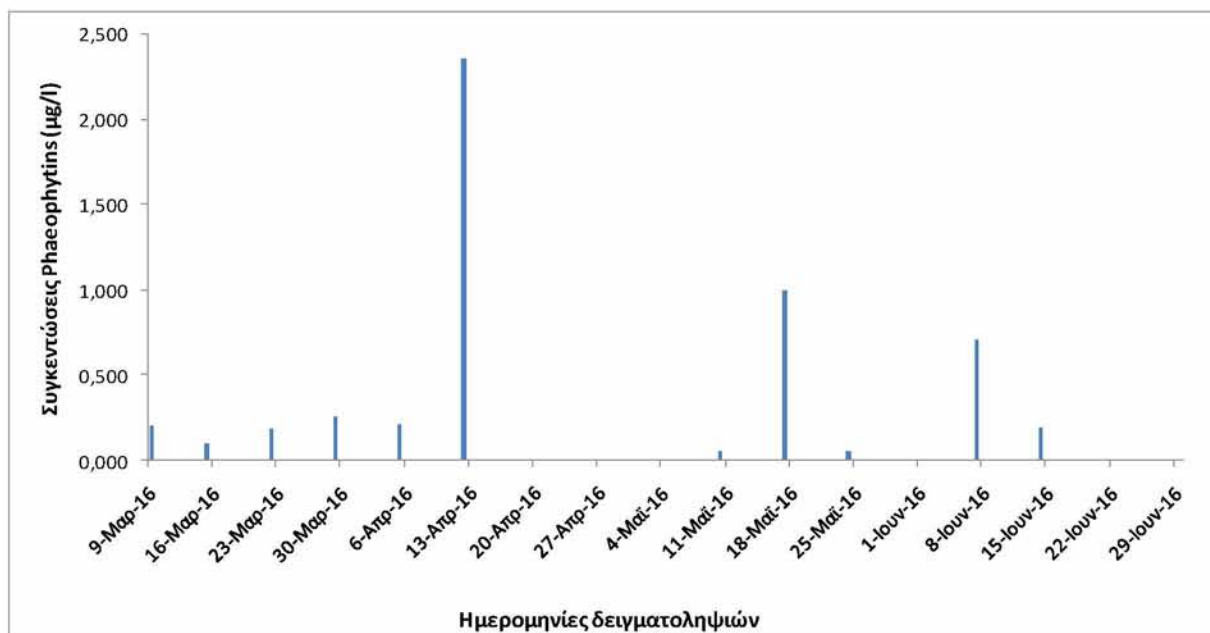
Σχήμα 3. Εβδομαδιαία διακύμανση της χλωροφύλλης-c

Επίσης καταγράφηκαν και οι τιμές των καροτενοειδών (Σχήμα 4). Το φάσμα στις τιμές ήταν από 0 $\mu\text{g/l}$ έως 0,458 $\mu\text{g/l}$. Η υψηλότερη τιμή σημειώθηκε στις 14/06/16, ενώ η χαμηλότερη στις 12/04/16. (Σχήμα 4)



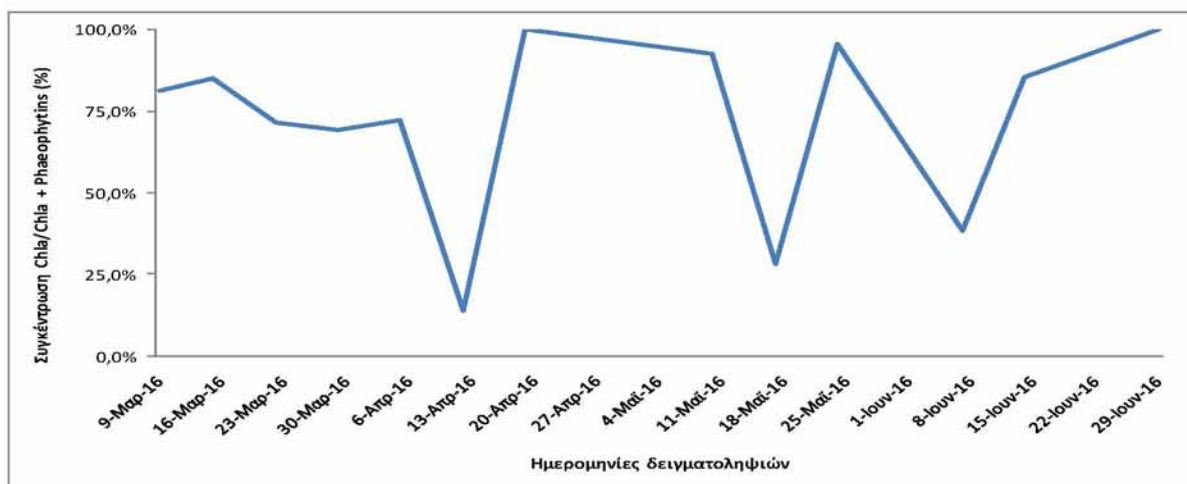
Σχήμα 4. Εβδομαδιαία διακύμανση των καροτενοειδών

Τέλος, σημειώθηκαν οι τιμές των φαιοφυτίνων (Σχήμα 5). Η διακύμανση στις τιμές των φαιοφυτίνων ήταν από 0 μg/l έως 2,356 μg/l . Η υψηλότερη τιμή σημειώθηκε στις 21/04/16, ενώ η χαμηλότερη στις 19/04/16 και στις 29/6/16



Σχήμα 5. Εβδομαδιαία διακύμανση των φαιοφυτίνων

Στο Σχήμα 6. φαίνονται οι νέες ανθίσεις του φυτοπλάγκτου και παρατηρούνται ανθίσεις στο μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων .



Σχήμα 6. Διακύμανση χλωροφύλλης-α

Συσχετίσεις με περιβαλλοντικούς παράγοντες :

Με κόκκινο απεικονίζονται οι στατιστικές σημαντικές διαφορές

| | p | R ² |
|----------------------|-------|----------------|
| Ca-Ταχύτητα ανέμου | 0,962 | 0,000 |
| Ca-Θερμοκρασία νερού | 0,551 | 0,033 |
| Ca-Αγωγιμότητα | 0,238 | 0,123 |
| Ca-ph | 0,781 | 0,007 |

| | p | R ² |
|----------------------|-------|----------------|
| Cβ-Ταχύτητα ανέμου | 0,410 | 0,062 |
| Cβ-Θερμοκρασία νερού | 0,049 | 0,306 |
| Cβ-Αγωγιμότητα | 0,073 | 0,261 |
| Cβ-ph | 0,572 | 0,0298 |

| | P | R ² |
|----------------------|--------|-----------------------|
| Cγ- Ταχύτητα ανέμου | 0,003 | 0,548 |
| Cγ-Θερμοκρασία νερού | 0,0155 | 0,426 |
| Cγ-Αγωγιμότητα | 0,974 | 9,90*10 ⁻⁵ |
| Cγ-ph | 0,579 | 0,0288 |

| | P | R ² |
|-----------------------|-------|----------------|
| Cοκ- Ταχύτητα ανέμου | 0,413 | 0,061 |
| Cοκ-Θερμοκρασία νερού | 0,010 | 0,461 |
| Cοκ-Αγωγιμότητα | 0,682 | 0,015 |
| Cοκ-ph | 0,372 | 0,073 |

| | P | R ² |
|----------------------------|-------|----------------|
| Ca/Ca+Cf- Ταχύτητα ανέμου | 0,952 | 0,000 |
| Ca/Ca+Cf-Θερμοκρασία νερού | 0,870 | 0,002 |
| Ca/Ca+Cf-Αγωγιμότητα | 0,387 | 0,068 |
| Ca/Ca+Cf-ph | 0,414 | 0,061 |

4. Συζήτηση

Όσον αφορά την Ch1a ,η μέγιστη τιμή της εμφανίζεται στις 14/06/2016 στα 1,094 $\mu\text{g/l}$,η δεύτερη χαμηλότερη τιμή σημειώθηκε στις 24/05/2016 στα 0,989 $\mu\text{g/l}$ ενώ η χαμηλότερη στις 12/04/2016 στα 0,383 $\mu\text{g/l}$.Τις συγκεκριμένες μέρες που πάρθηκαν οι παραπάνω μετρήσεις οι καιρικές συνθήκες ήταν καλές ,επικρατούσε ηλιοφάνεια με χαμηλό άνεμο .

Για την Ch1b , η μέγιστη τιμή της καταγράφηκε στις 12/04/2016 στα 0,383 $\mu\text{g/l}$ ενώ η χαμηλότερη στις 07,14 ,29/06/2016 στα όρια ανίχνευσης. Τα Cok εμφανίζουν την υψηλότερη τιμή τους στις 14/06/2016 όπως και η Ch1a στα 0,458 $\mu\text{g/l}$ και τις χαμηλότερες τιμές στις 12/04/2016 και 17/05/2016 στα όρια ανίχνευσης .Στα CF υψηλότερη τιμή σημειώθηκε στις 12/04/2016 στα 2,356 $\mu\text{g/l}$ ενώ οι χαμηλότερες στις 19/04/2016 και 29/06/2016 στα όρια ανίχνευσης .Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή των φαιοφυτινών είναι πολύ μεγαλύτερη από την μέγιστη τιμή της Ch1a.

Στους λόγους της φαιοφυτίνης προς την φαιοφυτίνη και την χλωροφύλλη α παρατηρούμε ότι έχουμε ανθίσεις στα περισσότερα δείγματα .

Μετά από συγκρίσεις που πραγματοποιήθηκαν ανάμεσα στους περιβαλλοντικούς παράγοντες και στις φυτοχρωστικές καταλήξαμε στα ακόλουθα συμπεράσματα :

- ✓ Χλωροφύλλη α : Μη στατιστικώς σημαντική διαφορά με την ταχύτητα ανέμου όπου $p=0,96276$,με την αγωγιμότητα όπου $p=0,2383$, το pH όπου $p=0,78182$ και με την θερμοκρασία νερού όπου $p=0,55145$.
- ✓ Χλωροφύλλη β : Μη στατιστικώς σημαντική διαφορά με την θερμοκρασία νερού όπου $p=0,83531$,την ταχύτητα ανέμου όπου $p=0,96276$,την αγωγιμότητα όπου $p= 0,2383$ και το pH όπου $p = 0,78182$.
- ✓ Χλωροφύλλη γ :Μη στατιστικώς σημαντική διαφορά με την αγωγιμότητα όπου $p= 0,97427$,με το pH όπου $p=0,57911$.Ενώ στατιστικώς σημαντική διαφορά παρουσιάστηκε με την θερμοκρασία νερού όπου $p= 0,036769$ και $R^2 = 0,3391$ και με την ταχύτητα ανέμου όπου $p=0,0037687$ και $R^2=0,5488$.
- ✓ Καροτενοειδή :Μη στατιστικώς σημαντική διαφορά παρατηρήθηκε με την θερμοκρασία νερού όπου $p=0,67905$,με το pH όπου $p= 0,37195$,με την αγωγιμότητα όπου $p=0,68282$ και με την ταχύτητα ανεμου όπου $p=0,41363$.
- ✓ Χλωροφύλλη α /χλωροφύλλα α +φαιοφυτίνες :μη στατιστικώς σημαντική διαφορά παρατηρήθηκε με την θερμοκρασία του νερού όπου $p=0,87$,με το pH όπου $p=0,41426$,με την αγωγιμότητα όπου $p=0,38766$ και με την ταχύτητα ανεμου όπου $p=0,952$.

Για να μελετηθεί και να χαρακτηριστεί ένα θαλάσσιο οικοσύστημα απαιτείται σωστός και προσεκτικός δειγματοληπτικός σχεδιασμός. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που μελετάται σε κάθε δειγματοληψία είναι η χλωροφύλλη-α. Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α χρησιμοποιείται ως εκτιμήτρια παράμετρος της βιομάζας του φυτοπλαγκτού και κατά συνέπεια της πρωτογενούς παραγωγής σε πελαγικά συστήματα. Εξαιτίας της ευκολίας προσδιορισμού της έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς ως δείκτης τροφικής κατάστασης (Boyer et al., 2009). Η γνώση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α σε ένα οικοσύστημα είναι σημαντική και η οικολογική της αξία μεγάλη. Πιο συγκεκριμένα, η χλωροφύλλη-α δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την εκτίμηση της βιομάζας του φυτοπλαγκτόν σε μια θαλάσσια περιοχή. Το σημαντικότερο όμως είναι, ότι διαδραματίζει καίριο ρόλο στη φωτοσύνθεση, αφού δεσμεύει την ηλιακή ενέργεια και εξαρτάται από το φως, την θερμοκρασία, την αλατότητα και τα θρεπτικά (Βρυώνης, 2013). Επιπλέον, η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α αποτελεί δείκτη ρύπανσης ενός θαλάσσιου οικοσυστήματος από ευτροφισμό (Jorgensen & Richardson, 1996).

Έγιναν συγκρίσεις με άλλες παράκτιες περιοχές

Η Δέσποινα Σωτήρχου στην διατριβή της αναφέρει πως σύμφωνα με τις μετρήσεις οι τιμές της χλωροφύλλης α κυμαίνονται από 21,4 -44,8 $\mu\text{g/l}$ στο δυτικό τμήμα του Αμβρακικού κόλπου την εποχή της άνοιξης. Οι τιμές αυτές οφείλονται στις προνύμφες των εχινόδερμων, κάτι που αποτελεί μοναδικό φαινόμενο στη Μεσόγειο. Τον χειμώνα οι τιμές της χλωροφύλλης πέφτουν στα 0,84-5,03 $\mu\text{g/l}$ στο νοτιοανατολικό άκρο. Παρατηρούμε πως οι μετρήσεις στον Αμβρακικό είναι μεγαλύτερες από τις μετρήσεις την εποχή της άνοιξης στην εκροή του βιολογικού καθαρισμού. Επίσης σύμφωνα με την μεταπτυχιακή διατριβή της Μποζατζίδου οι τιμές της χλωροφύλλης α στον θερμαικό κόλπο τους μήνες Νοέμβρη και Οκτώβρη είναι στα 0,111 $\mu\text{g/l}$ και 3,846 $\mu\text{g/l}$ αντίστοιχα.

Μετά από συγκρίσεις που πραγματοποιήθηκαν με μετρήσεις της Τζιώρα Ιωάννας (προσωπική επικοινωνία) για το λιμάνι του Βόλου παρατηρήθηκε μη στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στο λιμάνι και έναντι του Βιολογικού Καθαρισμού με $p=0,3214$.

Επίσης, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων του Αγγελακόπουλου για το λιμάνι του Βόλου και προέκυψε μη στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στο λιμάνι και έναντι του Βιολογικού Καθαρισμού με $p=0,1799$.

Ακόμα, μετά από συγκρίσεις με τις μετρήσεις της Παπαδήμου Σωτηρίας (προσωπική επικοινωνία) για τα Κάτω Λεχώνια υπήρξε στατιστικώς σημαντική

διαφορά ανάμεσα στα Κάτω Λεχώνια και έναντι του Βιολογικού Καθαρισμού με $p=0,0003$.

Τροφική κατάσταση υδάτινων οικοσυστημάτων

Οι ελληνικές θάλασσες είναι από τα πιο ολιγοτροφικά συστήματα, σε σχέση με τα υπόλοιπα θαλάσσια οικοσυστήματα της Ευρώπης. 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 2:

Πίνακας 2. Κατηγοριοποίηση των οικοσυστημάτων ως προς τον ευτροφισμό σε σχέση με την χλωροφύλλη (Καρύδης, 2005).

Επίπεδα Ευτροφισμού Χλωροφύλλη-α $\mu\text{g/L}$

Ολιγοτροφικό $<0,1$

Χαμηλό Μεσοτροφικό $0,1 - 0,6$

Υψηλό Μεσοτροφικό $0,6 - 2,21$

Ευτροφικό $>2,21$

Από την μεταπτυχιακή διατριβή της Τζανέτου παρατίθενται οι παρακάτω πίνακες :

- Συγκριτικός πίνακας περιοχής Σαρωνικού

Πίνακας 3.1 : Μέσες ετήσιες τιμές (Μάϊος 2003 – Μάϊος 2004) των παραμέτρων των θρεπτικών και χλωροφύλλης της υδάτινης στήλης. Σύμβολα:

EU=Eutrophic, HM=Higher Mesotrophic, LM=Lower Mesotrophic,

OL=Oligotrophic. (Βρυώνης, 2013).

OL=Oligotrophic. (Βρυώνης, 2013).

| Περιοχή Σαρωνικού | Χλωροφύλλη ($\mu\text{g/L}$) |
|--|--------------------------------|
| Κόλπος Ελευσίνας | 0,84 HM |
| Κόλπος Κερατσινίου (παλαιά εκβολή) | 0,57 LM |
| Ψυτάλλεια (νέα εκβολή) | 0,35 LM |
| Εσωτερικά του κόλπου (8,5 χλμ ΝΑ της νέας εκβολής) | 0,31 LM |
| Εσωτερικά του κόλπου (15 χλμ ΝΔ από τη νέα εκβολή) | 0,18 LM |
| Νότια εσωτερικά του κόλπου (18 χλμ ΝΑ από τη νέα εκβολή) | 0,18 LM |

- Συγκριτικός πίνακας περιοχής Θερμαϊκού

Πίνακας 3.2: Μέσες ετήσιες τιμές (Μάϊος 2003 – Μάϊος 2004) των παραμέτρων των θρεπτικών και χλωροφύλλης της υδάτινης στήλης. Σύμβολα: EU=Eutrophic, HM=Higher Mesotrophic, LM=Lower Mesotrophic, OL=Oligotrophic. (Βρυώνης, 2013).

| Περιοχή Θερμαϊκού | Χλωροφύλλη (µg/L) |
|------------------------------|-------------------|
| Κόλπος Θεσσαλονίκης -λιμάνι | 3,79 EU |
| Κόλπος Θεσσαλονίκης – εκβολή | 2,37 EU |
| Στόμια 0.33 HM | |
| Εσωτερικά Θερμαϊκού κόλπου | 1,16 HM |

- Συγκριτικός πίνακας περιοχών Σαρωνικού – Ευβοϊκού – Παγασητικού – Θερμαϊκού

Πίνακας 3.3: Συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α και βιομάζας φυτοπλαγκτόν σε παράκτιες περιοχές της Ελλάδας (Βρυώνης, 2013).

| Περιοχή Σαρωνικός Κόλπος | Chlor a (µg/L)- Άνοιξη | Chlor a (µg/L)- Φθινόπωρο |
|--------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Κόλπος Ελευσίνας Βορειοδυτικός | 0,54 | 0,69 |
| Σαρωνικός κόλπος Ανατολικός | 0,41 | 0,31 |
| Σαρωνικός κόλπος | 0,14 | 0,13 |
| Νότιος Ευβοϊκός κόλπος | 0,5 | 0,31 |
| Παγασητικός κόλπος | 0,76 | 0,31 |
| Θερμαϊκός κόλπος | 5,5 | 1,18 |

Σύμφωνα με τον πίνακα 2 και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης σχετικά με τη συκέντρωση της χλωροφύλλης α στην περιοχή έναντι του βιολογικού κόλπου, προκύπτει ότι επικρατούν υψηλές μεσοτροφικές συνθήκες.

5. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Tomas C. R., (1997) Identifying marine phytoplankton. Academic press, Harcourt Brace and Company, Toronto. Pp. 858.
- 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
- 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.
- Tomas C. R., (1997) Identifying marine phytoplankton. Academic press, Harcourt Brace and Company, Toronto. Pp. 858.
- 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.
- Zhang DH, Lee YK, Ng ML, Phang SM (1997) Composition and accumulation of secondary carotenoids in *Chlorococcum* sp. J. appl. Phycol. 9: 147–155.
- Miki W (1991) Biological function and activity of animal carotenoids. Pure appl. Chem. 63: 141–146.
- Petihakis G., Triantafyllou G., Theodorou A., (2000) Enrichment of Pagassitikos Gulf by run off fertilizers: a modeling study. Period. Biol, 102,130-136.
- 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.
- 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.
- Theodorou A. (1995), Ecological monitoring studies for Volos sea outfall (Pagassitikos Gulf, Western Aegean Sea), Water Science and Technology, 32: 273-280.

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.
- Λυκάκης Ι.(1992) Υδροβιολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Πάτρα 1992, 210 σελ
- 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.
- Κυριακόπουλος Γ. Τσελεντής Γ. Γαζής Χ.(1996) .Πρωτογενής παραγωγικότητα , Πτυχιακή εργασία ,Τμήμα Ιχθυοκομίας –Αλιείας ,Σχολή Σ.Τ.Ε.Γ.,Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου .
- Αλεξανδρή Π. Αλεξίου Δ. , (2006)Αειφόρος τουριστική ανάπτυξη σε παράκτιες περιοχές .Διπλωματική εργασία ,Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης ,Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Σανιδάς Κ. Ι. , (2010)Φωτοσυνθετικές χρωστικές στη διάρκεια της ανάπτυξης των φύλλων στην άμπελο. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων , Γεωλογικό Πανεπιστήμιο Αθηνών .
- Τριανταφυλλίδης Τ. , (2013)Απόψεις καταναλωτών του Δήμου Πάρου για το νερό της ύδρευσης και τα εμφιαλωμένα νερά. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Διατροφής και Διαιτολογίας ,Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής ,Α.Τ.Ε .Ε.Ι Θεσσαλονίκης .
- Κόκκινου Ε., Περιβαλλοντική Γεωλογία και Γεωτεχνολογία. Θαλάσσιο Περιβάλλον
- Αγγελακόπουλος Ρ. (2016), Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωστικών στο λιμάνι αλιευτικών σκαφών του Βόλου, προπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Πάσχου Μ., (2016) .Ημερήσια διακύμανση φυτοχρωστικών στο λιμάνι του Βόλου, προπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Ιχθυολογίας και Υδατινίου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Μποζατζίδου Μ. (2013), Εκτίμηση της Οικολογικής Ποιότητας των Υδάτων στην Παράκτια Ζώνη του Δήμου Θερμαϊκού (με βάση το φυτοπλαγκτό), μεταπτυχιακή διατριβή, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών των Τμημάτων Βιολογίας, Γεωλογίας & Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

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

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

- www.meteo.gr

Abstract

The aim of the present study was to estimate the trophic state of the marine area adjacent to the biological waste treatment of Volos by investigating the weekly variation of the main phytoplankton photosynthetic pigments. Due to their dense population and the biological, geological, aesthetic, cultural and economic wealth, coastal Greek areas are of particular importance. In recent decades, the effect of various human activities and water uses have changed the natural quality of aquatic systems. To understand the structure and dynamics of marine ecosystems, it is essential to assess the composition of their phytoplankton communities. The biological waste treatment is a point source of pollution. The effect of physicochemical parameters of seawater on the variation of phytoplankton photosynthetic pigments (chlorophyll -a, chlorophyll -b, chlorophyll- c and carotenoids) was studied weekly between March and June 2016. The 90% acetone method was applied. In the studied area prevail marginally high mesotrophic conditions and significant variation of all photosynthetic pigments were found. Chlorophyll-a and carotenoids concentrations showed marked increase in June while chlorophylls -b and c in March. The concentration of chlorophyll-a was significantly higher than the other pigments. The ratio of chlorophyll-a to the total pigments had the highest values throughout the study, suggesting new phytoplankton blooms. The present study showed that changes in the concentration of pigments are influenced by environmental factors such as temperature and wind.