



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών**

**Τομέας Υδραυλικής και Περιβαλλοντικής Μηχανικής**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΙΤΛΟΣ : Μελέτη εποχικότητας και  
φυσικοχημικών παραμέτρων σε ημίκλειστο  
κόλπο**

**Εκπόνηση : Λιάκου Ελισάβετ  
Λιβανίδης Χρήστος**

**Επιβλέπουσα : Κατσαρδή Βασιλική, Επίκουρος Καθηγήτρια Π.Θ.**

**Βόλος, Ιούνιος 2021**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Ευχαριστούμε θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια κυρία Βασιλική Κατσαρδή για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και την επιστημονική της καθοδήγηση στη μελέτη του θέματος που επιλέξαμε. Επίσης, ευχαριστούμε θερμά τα μέλη της τριμελούς επιτροπής Δρ. Δημήτριο Κοφινά και Δρ. Νικόλαο Μέλλιο για την εποικοδομητική κριτική και την συμβολή τους στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε στην εξωτερική συνεργάτη του τμήματος Δρ. Αλεξάνδρα- Ελένη Σπυροπούλου που στάθηκε δίπλα μας καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης μας παρέχοντάς μας τόσο πληροφορίες και υλικό όσο και επιστημονική υποστήριξη και βοήθεια.

Επιπλέον, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά και την καθηγήτρια κυρία Χρυσή Λασπίδου που αποτέλεσε το αρχικό έναυσμα για την ενασχόληση με το συγκεκριμένο αντικείμενο.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε την αμέριστη ευγνωμοσύνη μας στις οικογένειες και στους φίλους μας που στάθηκαν δίπλα μας καθ' όλη την διάρκεια της ακαδημαϊκής μας πορείας.

## Περίληψη

Τα παράκτια οικοσυστήματα εμφανίζουν μεγάλη ευαισθησία στις φυσικές μεταβολές και στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η ανάδραση ενός ημίκλειστου και ρηχού συστήματος όπως ο κόλπος Καλλονής στην Λέσβο, ΒΔ Αιγαίο τόσο στις φυσικές μεταβολές όσο και στις ανθρωπογενείς πιέσεις. Η μελέτη επικεντρώνεται στην ανάλυση φυσικών και χημικών παραμέτρων που σχετίζονται με την εποχικότητα και το φαινόμενο του ευτροφισμού με έμφαση στην θερμοκρασία του αέρα και στις βροχοπτώσεις. Πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση ανάμεσα σε δύο περιόδους δειγματοληψίας ( Ιούνιος 2004 - Αύγουστος 2005 και Ιούνιος 2009 - Αύγουστος 2010). Οι μετρήσεις για τις δύο περιόδους μελέτης, πραγματοποιήθηκαν σε μηνιαία βάση, σε δύο πανομοιότυπα δίκτυα σταθμών. Οι σταθμοί βρίσκονται εντός του κόλπου που χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη παραγωγικότητα αλλά και στην ανοιχτή θάλασσα. Από την μελέτη των φυσικοχημικών παραμέτρων αναδείχθηκε η ευαισθησία του κόλπου στις μεταβολές των φυσικοχημικών παραμέτρων καθώς και η έντονη εποχικότητα που επικρατεί στην περιοχή. Ο κόλπος κατηγοριοποιήθηκε με βάση τον δείκτη τροφικής κατάστασης κατά Carlson (TSI) για τις δύο περιόδους μελέτης σε ολιγότροφο έως μεσότροφο. Τέλος αναδείχθηκε η ευαισθησία του κόλπου σε πιθανά ευτροφικά επεισόδια.

**Λέξεις κλειδιά :** ευτροφισμός, φυτοπλαγκτόν, εποχικότητα, θαλάσσιο οικοσύστημα, οικολογική ισορροπία, κόλπος Καλλονής, Αιγαίο

## **Abstract**

Coastal ecosystems are likely to be affected from natural changes and human interventions. This paper examines the effects that may occur in the semi enclosed gulf of Kalloni in Lesvos, NE Aegean. The study focuses on the analysis of physical and chemical parameters related to the phenomenon of eutrophication and emphasizes at air temperature and rainfall. A comparative analysis is performed between two sampling periods (June 2004 to August 2005 and June 2009 to August 2010). Field data for the two study periods, were collected on a monthly basis by two similar networks of stations located, both in the open sea and within the gulf, which is characterized by higher productivity. The results of the study show the sensitivity of the bay to the changes of the physical and chemical parameters as well as the intense seasonality that prevails in the area emerged. The bay was categorized based on the Carlson Trophic State Index (TSI) for the two study periods as an oligotrophic to mesotrophic system. Finally, the sensitivity of the bay to possible eutrophic episodes was pointed out.

**Keywords:** eutrophication, phytoplankton, seasonality, marine ecosystem, ecological balance, Kalloni gulf, Aegean

## Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη .....	2
Abstract .....	3
Πίνακας περιεχομένων .....	4
1. Εισαγωγή .....	5
1.1 Οικοσυστήματα .....	5
1.2 Μικροοργανισμοί .....	6
1.3 Ευτροφισμός .....	8
1.4 Η εξέλιξη στο χρόνο .....	10
1.5 Περιπτώσεις μελέτης ευτροφικών επεισοδίων σε παγκόσμια κλίμακα (case studies) .....	11
1.6 Αιτίες εμφάνισης του φαινομένου του ευτροφισμού .....	14
1.7 Συνέπειες .....	22
2. Υλικά και μέθοδοι .....	26
2.1 Περιοχή μελέτης .....	26
2.2 Δίκτυα δειγματοληψιών .....	29
2.3 Δείκτης TSI .....	32
3. Αποτελέσματα και συζήτηση .....	35
3.1 Μετεωρολογικά στοιχεία (2009-2010) .....	35
3.2 Φυσικές και Χημικές παράμετροι ανά εποχή (2009-2010) .....	40
3.3 Μετεωρολογικά στοιχεία (2004-2005) .....	58
3.4 Χημικές παράμετροι ανά εποχή (2004-2005) .....	59
3.5 Τροφικό επίπεδο κόλπου (2009-2010) .....	69
3.6 Τροφικό επίπεδο κόλπου (2004-2005) .....	72
4. Συμπεράσματα .....	76
Βιβλιογραφία .....	80

# 1.Εισαγωγή

## 1.1 Οικοσυστήματα

Τα παράκτια οικοσυστήματα αποτελούν ένα μεγάλο μέρος της Ελλάδας. Η εκτεταμένη ακτογραμμή που ξεπερνά τα 13.000 χιλιόμετρα, διαθέτει το μεγαλύτερο μήκος στην Ευρώπη και αποτελεί μια σύνθεση ενδιατημάτων πλούσια σε βιοποικιλότητα.

Ως οικοσύστημα ορίζεται η θεμελιώδης οικολογική μονάδα που συντίθεται από το φυσικό περιβάλλον και το σύνολο των οργανισμών που ζουν και αναπαράγονται σε αυτό. Περιλαμβάνει βιοτικά στοιχεία δηλαδή το σύνολο των οργανισμών ή αλλιώς τη βιοκοινότητα, αβιοτικά στοιχεία, όπως είναι ο αέρας, το νερό, το χώμα ο ήλιος κ.ά., καθώς και τις μεταξύ τους σχέσεις.

Ως θαλάσσιο οικοσύστημα ορίζεται το οικοσύστημα που έχει ως βασικό τμήμα του το θαλάσσιο στοιχείο είτε εξ'ολοκλήρου, είτε ως μέρος αυτού (παράκτιες περιοχές).

Τα παράκτια οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποικιλομορφία ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης με την θάλασσα για πολλά εκατομμύρια χρόνια. Απότομες ή σχετικά πιο ήπιες βραχώδεις ακτές, μεγάλες ή μικρές, αμμώδεις ή κατάφυτες, παραλίες με βότσαλα, μικρές ή μεγαλύτερες αμμοθίνες (αμμόλοφοι), παράκτιοι υγρότοποι (αλυκές, εκβολές χειμάρρων και ποταμών, έλη, λιμνοθάλασσες) συνθέτουν την εικόνα των παράκτιων οικοσυστημάτων στην ξηρά. Το θαλάσσιο μέρος συνδυάζει εκτεταμένες αμμώδεις ή βραχώδεις περιοχές, υφάλους, ζώνες μακροφυκών κ.α.

Το παράκτιο περιβάλλον είναι ένα εξαιρετικά σύνθετο και ευμετάβλητο από οικολογική άποψη οικοσύστημα που περιλαμβάνει ξηρά και θάλασσα. Το πλάτος της ξηράς ποικίλει από μερικές δεκάδες μέτρα έως και μερικά χιλιόμετρα ενώ το κομμάτι της θάλασσας εκτείνεται έως το βάθος των 50 μέτρων.

Ολόκληρη η λειτουργία της φύσης είναι βασισμένη στην αρχή της ισορροπίας. Όταν αυτή διαταράσσεται είναι εύκολα αντιληπτό ότι θα υπάρξουν επιπτώσεις. Κάθε διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας είτε αυτή έχει προκληθεί αβίαστα ως φυσική διεργασία σε βάθος χρόνου, είτε τεχνητά από την παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα, προκαλεί μια αλυσιδωτή αντίδραση στο περιβάλλον που αποσκοπεί στην αποκατάσταση της αρχικής του ισορροπίας. Ένα συχνό φαινόμενο διατάραξης ισορροπίας ενός παράκτιου οικοσυστήματος, πέραν όλων των άλλων, είναι και αυτό του ευτροφισμού.

## 1.2 Μικροοργανισμοί

Στους βιοτικούς παράγοντες ενός θαλάσσιου οικοσυστήματος ανήκουν τόσο ψάρια και φυτά όσο και μικροοργανισμοί όπως φύκη και κυανοβακτήρια. Τα κυανοβακτήρια ανήκουν στην ευρύτερη οικογένεια του φυτοπλαγκτού. Ως φυτοπλαγκτόν, ορίζονται οι μονοκύτταροι οργανισμοί οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να φωτοσυνθέτουν. Φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί υπάρχουν από φυσικού σε όλα τα υδάτινα σώματα και αποτελούν αναπόσπαστο και θεμελιώδες στοιχείο των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Η πληθυσμιακή αύξηση φυτοπλαγκτού, κυρίως δινομαστιγωτών και κυανοβακτηρίων, ονομάζεται άνθιση (harmful algal blooms, HABs).

Μια κατηγορία φυτοπλαγκτού είναι και τα κυανοβακτήρια. Τα κυανοβακτήρια είναι προκαρυωτικοί φωτοσυνθετικοί οργανισμοί. Αν και είναι αυτότροφοι οργανισμοί, διαθέτουν δομή και μεταβολικό σύστημα πιο πολύ όμοιο με αυτό των βακτηρίων (R.H. Reed, S.R.C. Warr et al., 1985).

Οι θαλάσσιοι οργανισμοί ταξινομούνται ανάλογα με την ικανότητά τους να κινηθούν αυτόνομα μέσα στο νερό και έτσι χωρίζονται σε:

- Πλαγκτόν (plankton): Στην κατηγορία του πλαγκτόν ανήκουν μικροοργανισμοί, βακτήρια (βακτηριοπλαγκτόν) και ιοί που δεν μπορούν να κινηθούν αυτόνομα.
- Νηκτόν (nekton): Στην κατηγορία του νηκτόν ανήκουν μαλάκια, μαλακόστρακα, ψάρια και θαλάσσια θηλαστικά που έχουν την δυνατότητα αυτόνομης κίνησης.

Το σύνολο των μικροοργανισμών που ζουν και αναπαράγονται στην ανώτατη στοιβάδα νερού, περίπου 4-5mm από την επιφάνεια, ονομάζεται Νευστόν. (Κρεστενίτης et al., 2015).

### **ΑΝΘΙΣΕΙΣ ΦΥΚΩΝ**

Ως άνθιση χαρακτηρίζεται ένα σύνολο κυττάρων του οποίου ο πληθυσμός ξεπερνά τα 10<sup>6</sup> κύτταρα ανά λίτρο (Livingston, 2001). Η άνθιση είναι μια φυσική κατάσταση που περιγράφει την υπέρμετρη αύξηση του πληθυσμού των διατόμων. Τέτοιου είδους εξάρσεις εντοπίζονται εύκολα από τον χαρακτηριστικό χρωματισμό του νερού στα εκάστοτε σημεία. Το χρώμα συνήθως ποικίλλει ανάλογα με το είδος του φυτοπλαγκτού και μπορεί να είναι πράσινο, κόκκινο, καφέ. Σε ορισμένες περιπτώσεις κόκκινης παλίρροιας πραγματοποιείται και έκλυση ορατού φωτός από τους μικροοργανισμούς (κυρίως στα δινομαστιγωτά) που εντοπίζεται στους κυματισμούς των νερών, δίνοντας έτσι ένα χαρακτηριστικό γαλάζιο χρώμα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται βιοφωτισμός ή αλλιώς βιοφωταύγεια.

Οι ανθίσεις του φυτοπλαγκτού είναι φυσική διεργασία και σε ακραίες περιπτώσεις είναι πιθανό να είναι επιβλαβείς για το θαλάσσιο οικοσύστημα. Ως Επιβλαβείς ανθίσεις φυκών ή όπως αυτές συναντώνται στην ξενόγλωσση βιβλιογραφία Harmful algal blooms (HABs) ορίζονται οι μαζικές αθροίσεις των κυανοβακτηρίων που εμφανίζονται στα υδάτινα οικοσυστήματα (Livingston, 2001). Χαρακτηριστικό αυτών είναι η παραγωγή τοξινών ως αποτέλεσμα μεταβολικών χημικών διεργασιών. Στην περίπτωση των HABs αναφερόμαστε σε βιοτοξίνες που είναι βλαβερές στην υγεία του ανθρώπου αλλά και των υπολοίπων οργανισμών του οικοσυστήματος. Οι ανθίσεις είναι ένα βιολογικό επεισόδιο που όμως τις περισσότερες φορές έχει αρχή, μέση, τέλος και εμφανίζεται εποχικά (Anderson et al., 2002). Παρόλα αυτά, μετά το πέρας ενός επεισοδίου, οι τοξίνες μπορεί να συνεχίσουν να επηρεάζουν το οικοσύστημα, γιατί βιοσυσσωρεύονται στους ιστούς των ψαριών και άλλων οργανισμών περνώντας έτσι στις ανώτερες βαθμίδες του τροφικού πλέγματος και τελικά στον άνθρωπο.

Αν και οι επιβλαβείς ανθίσεις φυκών έχουν μελετηθεί στην επιστημονική βιβλιογραφία εδώ και πολλά έτη, τις τελευταίες δεκαετίες οι επιπτώσεις αλλά και η ένταση του φαινομένου έχουν γίνει εντονότερες τόσο από οικολογική όσο και από οικονομική σκοπιά. Οι ανθίσεις έχουν συνδεθεί με τις ανθρωπογενείς και τις φυσικές διεργασίες. Στα πλαίσια ενός οικοσυστήματος, εμφανίζονται στις παράκτιες περιοχές κυρίως κατά τους φθινοπωρινούς μήνες και την άνοιξη και έχουν αποσπάσει πολλές φορές το ενδιαφέρον των επιστημόνων σε ό,τι έχει να κάνει με τις συνέπειες που επιφέρουν.

Τα θρεπτικά συστατικά που σχετίζονται με την ανθρώπινη δραστηριότητα αδιαμφισβήτητα συμβάλλουν στην εμφάνιση και ανάπτυξη των HABs, παρόλα αυτά δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητή η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών και των μηχανισμών εξισορρόπησης του οικοσυστήματος (Spatharis et al., 2009).

Ένα επεισόδιο άνθισης, μπορεί να προκληθεί από φυσικούς παράγοντες. Τέτοιοι είναι η αύξηση της αλατότητας, η μεταβολή του Ph, οι θερμοκρασιακές μεταβολές, οι κυματισμοί, η θαλάσσια κυκλοφορία, αλλαγές στη συχνότητα και την ποιότητα υετοπτώσεων (Nixon, 1995).

Πολλά είδη κυανοβακτηρίων είναι γνωστά για την παραγωγή τοξινών και άλλων βιοενεργών ενώσεων που αποτελούν υποπροϊόντα της μεταβολικής διαδικασίας (μεταβολίτες). Πρόκειται για ενώσεις δευτερευούσης σημασίας μη απαραίτητες για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Ως τοξίνες αναφέρονται οι ενώσεις που εν δυνάμει μπορούν να προκαλέσουν δηλητηρίαση σε ανθρώπους και ζώα.

Αξίζει να σημειωθεί ωστόσο, πως μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό της τάξης του 0.8% του συνολικού αριθμού ειδών φυτοπλαγκτού, μπορεί να παράξει τοξίνες επικίνδυνες για τον άνθρωπο (Κρεστενίτης et al., 2015).



## 1.3 Ευτροφισμός

### 1.3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ως ευτροφισμός ορίζεται η υπέρμετρη αύξηση των θρεπτικών σε ένα υδάτινο οικοσύστημα που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του πληθυσμού των κυανοβακτηρίων και των κατώτερων μορφών χλωρίδας (Tsirtsis et al., 2008). Αποτέλεσμα αυτού είναι η ποιότητα των υδάτων να υποβιβάζεται και να μειώνεται η βιοποικιλότητα λόγω έλλειψης οξυγόνου.

Εσφαλμένα υπάρχει η πεποίθηση πως ο ευτροφισμός σαν έννοια είναι κάτι κάτι επικίνδυνο για τα οικοσυστήματα. Παρ' όλα αυτά είναι μια φυσική διεργασία, που σε μεγάλο βαθμό μόνο μπορεί να προκαλέσει επιπλοκές (Nixon, 1995).

Τα οικοσυστήματα κατατάσσονται σε τρία τροφικά επίπεδα:

- **Ολιγότροφα:** Μικρή παραγωγικότητα εξαιτίας χαμηλής συγκέντρωσης θρεπτικών. Τέτοιες περιοχές έχουν συγκεντρώσεις Chl-a μικρότερη των 0.05 μg/l στην επιφάνεια, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη της τάξης των 100-150 μέτρων, οι τιμές μπορούν να κυμανθούν από 0.1 μg/l έως 0.5 μg/l.
- **Μεσότροφα:** Μέση παραγωγικότητα με συγκεντρώσεις Chl-a εύρους 0.5-1 μg/l
- **Ευτροφικά:** Μεγάλη παραγωγικότητα εξαιτίας της περίσσειας θρεπτικών. Οι συγκεντρώσεις Chl-a κυμαίνονται περίπου στα 1-10 μg/l στην επιφάνεια.

Τα ευτροφικά ύδατα χαρακτηρίζονται από ταχεία ανάπτυξη πολλών νέων οργανισμών, δηλαδή μαζική αναπαραγωγή, με σύντομη διάρκεια ζωής. Αντίθετα σε ολιγότροφα ύδατα συναντάται ελεγχόμενη αναπαραγωγή, με μικρότερους και πιο ανθεκτικούς πληθυσμούς (Κρεστενίτης et al., 2015).

Η κατηγοριοποίηση αυτή εξαρτάται από την συγκέντρωση των θρεπτικών. Ένα οικοσύστημα μπορεί να μετατραπεί από ολιγότροφο, σε μεσότροφο ή ακόμα και ευτροφικό και με φυσικό τρόπο. Η μεταβολή αυτή μπορεί να γίνει είτε με την παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα όπως αυτό θα αναλυθεί παρακάτω είτε με την πάροδο χρόνων. Σε φυσικά οικοσυστήματα που δεν έχουν δεχθεί ανθρωπογενείς επιδράσεις, η εξέλιξη της ευτροφικής διαδικασίας είναι αργή, με ρυθμούς που εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως η γεωμορφολογία της υδρολογικής λεκάνης και το πώς αυτή επηρεάζει τις ποσότητες θρεπτικών, βαρέων μετάλλων και λοιπών στοιχείων που καταλήγουν κυρίως μέσω των ποταμών στο παρακείμενο υδάτινο οικοσύστημα.

Όπως συμβαίνει σε πολλές καταστάσεις της σύγχρονης εποχής, ο μεγαλύτερος «εχθρός» και η σημαντικότερη απειλή, αναφορικά με τον ευτροφισμό στα πλαίσια του οικοσυστήματος είναι ο ίδιος ο άνθρωπος και ειδικότερα οι παρεμβάσεις του. Πιο αναλυτικά, η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και άλλων αντίστοιχων πρακτικών εξαιτίας

της γεωργικής δραστηριότητας, έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων από ουσίες που έχουν βλαβερές επιπτώσεις στους οργανισμούς του οικοσυστήματος. Οι αζωτούχες ενώσεις που συναντώνται στα λιπάσματα συμβάλλουν στην αύξηση των κυανοβακτηρίων. Η υπέρμετρη αύξησή τους είναι δυνατόν να προκαλέσει ευτροφικό επεισόδιο με αποτέλεσμα την μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο υδάτινο οικοσύστημα.

### 1.3.2 ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΠΟΧΙΚΟΤΗΤΑ

Το φαινόμενο του ευτροφισμού έχει άμεση σχέση με την διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Αυτό γιατί η φωτοσύνθεση, ορίζεται από την παραγωγή οξυγόνου ή την πρόσληψη διοξειδίου του άνθρακα (Darrell L. King, 2013). Αναδιατυπώνοντας, οι δύο πιο κοινές ενδείξεις του ευτροφισμού είναι οι ανθίσεις φυκών και η χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στον πυθμένα. Υπογραμμίζεται πως οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων αυξομειώνονται στα διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη, με τα περισσότερα ευτροφικά θαλάσσια οικοσυστήματα να συναντώνται κοντά στον Ισημερινό (Κρεστενίτης et al., 2015).

Παρόλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί πως και οι πόλοι είναι σημεία ενδιαφέροντος, καθώς εκεί έχουμε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις θρεπτικών. Η περιορισμένη ηλιοφάνεια είναι ο λόγος που η παραγωγικότητα αυτών των οικοσυστημάτων που βρίσκονται στους πόλους παραμένει χαμηλή κατά μέσο όρο, με κάποια ευτροφικά επεισόδια κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που υπάρχει επαρκής ηλιοφάνεια. Προσεγγίζοντας τον Ισημερινό, αυξάνεται η ηλιοφάνεια και μειώνεται η διαθεσιμότητα φωσφορικών και νιτρικών αλάτων. Πιο συγκεκριμένα, στις εύκρατες ζώνες τα ευτροφικά επεισόδια περιορίζονται στις περιόδους της άνοιξης και του καλοκαιριού. Αυτές οι εποχές προσφέρουν τον κατάλληλο συνδυασμό επάρκειας θρεπτικών αλάτων και την ιδανική θερμοκρασία. Στην περιοχή του Ισημερινού υπάρχει έντονη ηλιοφάνεια μικρότερη όμως διαθεσιμότητα θρεπτικών, η οποία και μεταβάλλεται χωρικά από τις εκάστοτε ανθρωπογενείς δραστηριότητες, τα θαλάσσια ρεύματα κλπ. (Κρεστενίτης et al., 2015).

Βασικός παράγοντας για την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού αποτελεί και η εποχικότητα. Την περίοδο του χειμώνα υπάρχει μικρή παραγωγικότητα στην στήλη νερού και ομοιογενής κατανομή του φυτοπλαγκτού στην άνω στοιβάδα των υδάτων. Με την διαδοχή της άνοιξης, η θερμοκρασία αυξάνεται και έτσι εντείνεται η παραγωγικότητα. Η επιφάνεια χάνει μεγάλο μέρος των θρεπτικών λόγω της ραγδαίας αύξησης του φυτοπλαγκτού (Κρεστενίτης et al., 2015). Η μεγαλύτερη έξαρση του φαινομένου παρατηρείται το καλοκαίρι λόγω υψηλών θερμοκρασιών και εντονότερης ηλιοφάνειας, γίνεται όμως αισθητή το φθινόπωρο.

## 1.4 Η εξέλιξη στο χρόνο

Οι αιτίες, η εξέλιξη και οι συνέπειες του ευτροφισμού είναι θέματα τα οποία έχουν απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα σε μεγάλο βαθμό ήδη από την δεκαετία του 1950. Αυτό συνέβη εξαιτίας της παρατήρησης έντονης άνθισης φυκών και μείωσης των οστρακοκαλλιεργειών στον Κόλπο του Moriches, μια ρηχή παράκτια λιμνοθάλασσα στη νότια ακτή του Long Island της Νέας Υόρκης (Nixon, 1995). Η πρώτη επιστημονική ομάδα που ασχολήθηκε οργανωμένα με το φαινόμενο ήταν από το Ωκεανογραφικό Ίδρυμα Woods Hole και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι κύρια αιτία του γεγονότος αυτού ήταν ο εμπλουτισμός των υδάτων με θρεπτικά συστατικά από τα όλο και αυξανόμενα, εκείνη την εποχή, εκτροφεία πάπιας που αναπτύσσονταν στις ακτές της λιμνοθάλασσας.

Τις δεκαετίες που ακολούθησαν, οι παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα στα οποία κατέληξε η ομάδα των επιστημόνων από το Ίδρυμα Woods Hole φάνηκαν ιδιαιτέρως χρήσιμα στην κατανόηση και στην προσπάθεια αντιμετώπισης του ευτροφισμού. Αρχικά, οι επιστήμονες John H. Ryther και William M. Dunstan το 1971 συνδύασαν τα ήδη υπάρχοντα συμπεράσματα με την ανάλυση που οι ίδιοι πραγματοποίησαν στα βαθιά νερά της υφαλοκρηπίδας στο Bight της Νέας Υόρκης και κατέληξαν στη θεωρία ότι ο θρεπτικός παράγοντας που περιορίζει την ανάπτυξη της άλγης στα περισσότερα θαλάσσια οικοσυστήματα είναι το άζωτο. Το παραπάνω πόρισμα ερχόταν σε αντίθεση με την πεποίθηση που είχε επικρατήσει εκείνη την εποχή, εξαιτίας της πρώιμης φάσης στην οποία βρισκόταν η έρευνα γύρω από τον ευτροφισμό, που ήθελε ως βασικό θρεπτικό παράγοντα τον φώσφορο. Ημερομηνία που έπαιξε σημαντικό ρόλο στο πώς αντιμετώπιζε η επιστημονική κοινότητα το φαινόμενο του ευτροφισμού αποτέλεσε το 1979, όταν έλαβε χώρα το πρώτο Παγκόσμιο Συνέδριο για τις επιπτώσεις του θρεπτικού εμπλουτισμού των εκβολών που καταλήγουν στην θάλασσα υπό την αιγίδα του Οργανισμού Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US Environmental Protection Agency, EPA).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, σημείο σταθμός για την εξέλιξη της έρευνας γύρω από τον ευτροφισμό αποτέλεσε η δημοσίευση, το 1985, από τον καθηγητή θαλάσσιας οικολογίας του Πανεπιστημίου του Γκέτεμποργκ Rutger Rosenberg, ενός άρθρου με τίτλο "Ευτροφισμός - η μελλοντική θαλάσσια όχληση στην ακτή". Το άρθρο προκάλεσε ασυνήθιστη ανησυχία σε παγκόσμια κλίμακα και υπήρξε η αφορμή το 1990 το σουηδικό περιοδικό AMBIO να δημοσιεύσει ένα ειδικό τεύχος με στοιχεία που βασίζονταν σε 20 χρόνια έρευνας για τον ευτροφισμό στην περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας. Την ίδια χρονιά μια ομάδα από ανεξάρτητους επιστημονικούς εμπειρογνώμονες (GESAMP) που συνεργάστηκαν με τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών πάνω σε θέματα μόλυνσης των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, δημοσίευσαν μία έκθεση στην οποία χαρακτήρισαν τον ευτροφισμό ως την κύρια αιτία ανησυχίας για το θαλάσσιο περιβάλλον (Nixon, 1995). Το τρίτο σημαντικό γεγονός που σχετίζεται με τον ευτροφισμό και πραγματοποιήθηκε το 1990, ήταν το Διεθνές Συνέδριο για τον θαλάσσιο παράκτιο ευ-

τροφισμό, το οποίο πραγματοποιήθηκε στην Ιταλία. Η συνεχής ενασχόληση με το συγκεκριμένο θέμα εντοπίζεται σ' ολόκληρη εκείνη τη χρονική περίοδο, αφού τότε άρχισαν να φαίνονται με τον πλέον ξεκάθαρο τρόπο οι συνέπειες του ευτροφισμού σε παράκτιες περιοχές σ' όλο τον κόσμο. Το βάρος των αποφάσεων και η σημασία που είχε το συνέδριο αντικατοπτρίζεται στις 1300 σελίδες διαδικασιών και πρακτικών στις οποίες κατέληξε. Οι παραπάνω αποφάσεις ήταν κύριο αντικείμενο ενασχόλησης του 25ου Ευρωπαϊκού Συνεδρίου Βιολογίας, το οποίο είχε ως κεντρικό θέμα τον θαλάσσιο ευτροφισμό. Όλες αυτές οι ενέργειες είχαν ως αποτέλεσμα, η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (Commission of the European Communities), να δημοσιεύσει τα αποτελέσματα των ερευνών πάνω στις συνέπειες του ευτροφισμού στις ακτές της Βαλτικής θάλασσας, της Βόρειας θάλασσας αλλά και στα παράλια της Μεσογείου και της Αδριατικής (Nixon, 1995).

### **1.5 Περιπτώσεις μελέτης ευτροφικών επεισοδίων σε παγκόσμια κλίμακα (case studies)**

Ευτροφικά επεισόδια έχουν παρατηρηθεί σε αρκετούς κόλπους και παραθαλάσσια οικοσυστήματα παγκοσμίως. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο Κόλπος του Μεξικού, ο οποίος τις τελευταίες δεκαετίες έχει υποστεί ανυπολόγιστη οικολογική καταστροφή. Τα θαλάσσια οικοσυστήματα που έχουν αναπτυχθεί στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον αφού χαρακτηρίζονται από μεγάλη βιοποικιλότητα. Η εκδήλωση του φαινομένου του ευτροφισμού είναι στενά συνδεδεμένη τόσο με φυσικά αίτια όσο και με ανθρωπογενή. Οι παράγοντες που παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο είναι οι αποθέσεις μεγάλων φορτίων θρεπτικών συστατικών από το σύστημα ποταμών Μισσισιπιπή-Ατσαφαλάγια καθώς και διάφορα γεγονότα που σχετίζονται με την εξόρυξη πετρελαίου στον κόλπο (Ulloa et al., 2016). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της συγκέντρωσης της Chl-a, την αύξηση της βιομάζας των μακρο και μικροφυκών αλλά και την αύξηση της βιομάζας του βένθους. Οπότε τελικά με την αύξηση του πληθυσμού των επιβλαβών ανθίσεων φυκών (HABs) παρατηρείται σημαντική αλλαγή στον τρόπο λειτουργίας των θαλάσσιων οικοσυστημάτων αλλά και σοβαρές επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές (πχ θάνατος ψαριών και πουλιών και πλήθος προβλημάτων στον τομέα της δημόσιας υγείας εξαιτίας των μολυσμένων οργανισμών που αλιεύονται). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η δημιουργία μια νεκρής ζώνης που διογκώνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Ως νεκρή ζώνη (dead zone) ορίζεται μία περιοχή στην οποία παρατηρούνται πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου (hypoxic conditions) με αποτέλεσμα αυτός ο υδάτινος όγκος να μην μπορεί να φιλοξενήσει καμία μορφή ζωής. Μάλιστα το 2019 παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη έκταση νεκρής ζώνης, τα τελευταία 30 χρόνια και η δεύτερη μεγαλύτερη συνολικά από το 1985 που άρχισε η μελέτη του παραπάνω φαινομένου, η οποία έφτασε περίπου τα 3.360 km<sup>2</sup>. Συνεπώς γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η συνεχής παρακολούθηση και η δημιουργία ενός συντονισμένου και ολοκληρωμένου προγράμματος παρέμ-

βασης, με κύριο γνώμονα τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας και την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του ευρύτερου θαλάσσιου οικοσυστήματος, είναι ζωτικής σημασίας.

Δύο νησιά της Καραϊβικής που έχουν επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από το φαινόμενο του ευτροφισμού είναι το Κουρασάο και το Μποναίρ, όπου τα θαλάσσια φανερόγαμα (seagrass beds), που ανήκουν στα θαλάσσια μακρόφυτα, είναι η βασική πηγή θρεπτικών συστατικών για πολλά είδη ψαριών με μεγάλη εμπορική σημασία (Govers et al., 2014). Ωστόσο η ισορροπία του οικοσυστήματος που έχει αναπτυχθεί επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις ανθρώπινες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή και τελικά έχουν ως αποτέλεσμα την εκδήλωση του ευτροφισμού. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το Ολλανδικό Εθνικό Ωκεανογραφικό Ινστιτούτο (Royal Netherlands Institute of Sea Research, γνωστό και ως NIOZ), βρέθηκε ότι η αυξημένη διαθεσιμότητα και η απόθεση θρεπτικών συστατικών στον κόλπο κοντά σε κατοικημένες περιοχές έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητας των μακροφυκών και τελικά την εξαφάνιση σε πολύ μεγάλο ποσοστό των θαλάσσιων φανερόγαμων. Η παραπάνω κατάσταση έχει οδηγήσει τα τοπικά παράκτια οικοσυστήματα σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης και την οικονομία των δύο νησιών σε κρίση (Govers et al., 2014).

Ξεχωριστή θέση στα φαινόμενα του ευτροφισμού κατέχει η Κίτρινη Θάλασσα η οποία βρίσκεται στο βορειοδυτικό Ειρηνικό Ωκεανό. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη βιοποικιλότητα και διαθέτει πολλούς υδροβιότοπους εξαιτίας των εκβολών των ποταμών της. Αποτέλεσε πηγή ανησυχίας και αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας για μεγάλο αριθμό επιστημόνων αφού για 11 συνεχή έτη στη συγκεκριμένη περιοχή παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη άνθιση μακροφυκών στον κόσμο που καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα φύκη *Ulva prolifera* (είδος φυκών στην οικογένεια Ulvaceae) και *Sargassum* (γένος καφέ μακροφυκών στην οικογένεια Sargassaceae). Αρχικά το φαινόμενο της έντονης άνθισης των μακροφυκών και τελικά η εκδήλωση πράσινων παλιρροιών (green tides), παρατηρήθηκε το 2007 με κύριο γνώρισμα την μεγάλη συσσώρευση βιομάζας και την ικανότητα να μεταφέρονται σε αρκετά μεγάλη έκταση στην επιφάνεια της θάλασσας. Αναλυτικότερα, υπολογίστηκε ότι η έκταση που καλύφθηκε από τα μακροφύκη ήταν περίπου 500 km<sup>2</sup> στη μεγαλύτερη διάρκεια της μελέτης του φαινομένου ενώ το 2017, οπότε υπήρξε και (η ανεξήγητη) εξασθένιση, αυτή η έκταση ήταν 312 km<sup>2</sup>. Απόρροια της κατάστασης που είχε δημιουργηθεί ήταν η διατάραξη της ισορροπίας του τοπικού οικοσυστήματος αλλά και των λειτουργιών που αυτό επιτελεί (Shen, et al., 2019).



*Εικόνα 1: Ευτροφικό επεισόδιο στην Κίτρινη θάλασσα*

Στον ευρωπαϊκό χώρο το πρόβλημα του ευτροφισμού έχει κάνει αισθητή την παρουσία του σε αρκετές παράκτιες περιοχές και ποικίλλει σε έκταση και σοβαρότητα. Η περίπτωση που έχει συγκεντρώσει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον εξαιτίας της ανάγκης άμεσης επέμβασης, εντοπίζεται στη Βαλτική Θάλασσα. Είναι μία μεγάλη ημίκλειστη και ρηχή θαλάσσια έκταση, η οποία εξαιτίας των ιδιαίτερων υδρογραφικών της χαρακτηριστικών είναι ευάλωτη στις φυσικές και στις ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως επίσης και στην εισροή θρεπτικών συστατικών. Όπως και στην περίπτωση του Κόλπου του Μεξικού, έτσι και στη Βαλτική δημιουργήθηκε μία νεκρή ζώνη, η έκταση της οποίας είναι ανησυχητική. Η περιορισμένη επικοινωνία που έχει με την ανοιχτή θάλασσα και ο μικρός ρυθμός ανταλλαγής των υδάτων, σε συνδυασμό με τον εμπλουτισμό με θρεπτικά στοιχεία, έχουν δημιουργήσει τις κατάλληλες συνθήκες έτσι ώστε η νεκρή ζώνη να επεκτείνεται με ταχείς ρυθμούς. Εξαιτίας όλων όσων προαναφέρθηκαν γίνεται κατανοητό ότι η διαδικασία αντιμετώπισης-καταπολέμησης των συνεπειών του ευτροφισμού, γίνεται με αργούς ρυθμούς κι αυτό συμβαίνει διότι ο φώσφορος που κυριαρχεί στο συγκεκριμένο επεισόδιο ευτροφισμού, υπάρχει σε σημαντικές συγκεντρώσεις γι' αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα στα θαλάσσια οικοσυστήματα της Βαλτικής (Zandersen et al., 2020).

Έχει βρεθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό (περίπου τα δύο τρίτα) της συνολικής φόρτισης της Βαλτικής με θρεπτικά συστατικά οφείλεται σε εκπομπές αζώτου και φωσφόρου που σχετίζονται με τη διαδικασία παραγωγής, κατανάλωσης και επεξεργασίας των υπολειμμάτων της τροφής. Σημαντικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι οι σημαντικές πηγές εμπλουτισμού και οι εναποθέσεις αζώτου είναι δυνατόν να περιοριστούν με την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών επεξεργασίας των αστικών λυμάτων αλλά και με την έγκαιρη ενημέρωση των άμεσα ενδιαφερόμενων. Μεγάλο ρόλο σ' αυτή την πρόκληση καταπολέμησης του ευτροφισμού καλούνται να διαδραματίσουν και οι εγχώριες νομοθετικές διατάξεις που αφορούν τον τομέα της γεωργίας κάθε χώρας που εμπλέκεται σε μικρό ή και μεγάλο βαθμό με τη Βαλτική Θάλασσα. Δύο προτάσεις που

ήδη έχουν αρχίσει να εφαρμόζονται σε πειραματικό στάδιο είναι η αποτελεσματικότερη διαχείριση των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται αλλά και η καλύτερη επεξεργασία των ανθρώπινων αποβλήτων. Η εξέλιξη του φαινομένου και οι διαφορές συνέπειες που αυτό έχει, υπήρξε το αντικείμενο μελέτης πληθώρας επιστημόνων. Ειδικότερα, οι Schernewski και Neumann του Ινστιτούτου Έρευνας της Βαλτικής Θάλασσας στην Λειψία (2005) , καθώς και οι Gustafsson (2012) και McCrackin (2018) του Πανεπιστημίου της Στοκχόλμης, μελέτησαν την ιστορική εξέλιξη των φορτίων των θρεπτικών συστατικών που καταλήγουν στη Βαλτική και τα συνέδεσαν με την συσσώρευση του φωσφόρου, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι τα μέτρα ελέγχου και εξάλειψης του φαινομένου άργησαν να εφαρμοστούν.



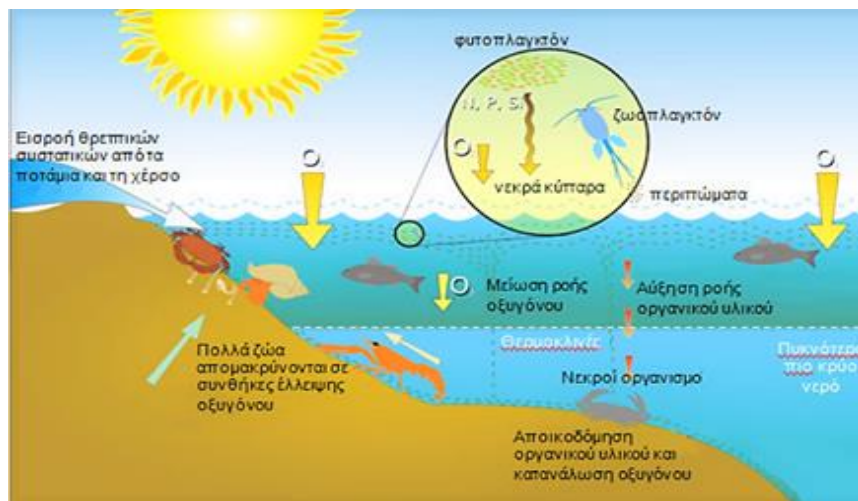
*Εικόνα 2: Νεκρή ζώνη στην Βαλτική θάλασσα*

## **1.6 Αιτίες εμφάνισης του φαινομένου του ευτροφισμού**

Τα θρεπτικά στοιχεία που επηρεάζουν το φαινόμενο του ευτροφισμού μπορεί να είναι νιτρικά και φωσφορικά ιόντα από λιπάσματα και απορρυπαντικά, κάλιο και οργανικά απόβλητα. Τα υποπροϊόντα της αποικοδόμησης αυτών αποτελούν την βασική τροφή για το φυτοπλαγκτόν, τα βακτήρια και τα φύκη που αναπτύσσονται ραγδαία δημιουργώντας ένα στρώμα στη επιφάνεια των νερών που αποτρέπει τις ακτίνες του ηλίου να φτάσουν στα κατώτερα επίπεδα. Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί του οικοσυστήματος δεν μπορούν να τραφούν και οδηγούνται σε θάνατο. Αυτό με την σειρά του προσφέρει ακόμα περισσότερη τροφή στα βακτήρια που επωφελούνται από την αποικοδόμηση των παραπάνω. Έτσι, τελικά αυξάνεται, η κατανάλωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου ενώ έχει ήδη μειωθεί η παραγωγή του από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Η έλλειψη οξυγόνου στον πυθμένα έχει ως αποτέλεσμα πληθυσμοί όπως

ψάρια και άλλοι ανώτεροι καταναλωτές, να μειώνονται ή και ακόμα να οδηγούνται στον αφανισμό.

Σε παγκόσμια κλίμακα, έχει υπολογιστεί ότι οι ποσότητες νιτρικών και φωσφορικών αλάτων που καταλήγουν στους ωκεανούς και προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες, έχει τριπλασιαστεί από το 1970 έως το 1990. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η αυξημένη εισροή αλάτων και ενώσεων αζώτου και φωσφόρου στα θαλάσσια ύδατα, οφείλεται κυρίως σε λύματα βιομηχανιών, σε ροές ποταμών που παρασέρνουν μαζί τους κατάλοιπα προϊόντων που χρησιμοποιούνται στη γεωργία (πχ λιπάσματα) αλλά και σε λύματα αποχέτευσης (επεξεργασμένα και μη) από αστικές περιοχές. Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι με την συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας και ταυτόχρονα των αναγκών του σύγχρονου ανθρώπου οι ποσότητες των παραπάνω ενώσεων και επομένως η ρίψη τους στους υδάτινους αποδέκτες γίνεται όλο και μεγαλύτερη με την πάροδο του χρόνου, εντείνοντας έτσι ευτροφικά επεισόδια σε όλο τον κόσμο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική διατάραξη των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και των λειτουργιών που αυτά επιτελούν καθώς και τη γενικότερη υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων (Ulloa et al., 2016).



Εικόνα 3: Οικοσύστημα μετά από μαζική εισροή θρεπτικών συστατικών



### 1.6.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Τις τελευταίες δεκαετίες το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής είναι εμφανές επηρεάζοντας πολλές από τις φυσικές παραμέτρους των οικοσυστημάτων. Στις κλιματικές μεταβολές ανήκουν και η αλλαγή στη διάρκεια και στην ένταση των βροχοπτώσεων και γενικά των λοιπών κατακρημνίσεων (O'Neil et al., 2012). Μεγάλος όγκος νερού λόγω ξαφνικής βροχόπτωσης, σημαίνει άφθονα θρεπτικά συστατικά από την χέρσο που καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες.

Από πληροφορίες που μας δίνονται από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΛΣΤΑΤ) γνωρίζουμε ότι «από το 1880 μέχρι το 2012, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0.85 βαθμούς Κελσίου». Η θερμοκρασία των υδάτων φαίνεται να παίζει καθοριστικό ρολό στις ανθίσεις καθώς όσο προσεγγίζει τους 20°C οι ρυθμοί αύξησης των κυανοβακτηρίων αυξάνονται (Anderson et al., 2018). Πιο συγκεκριμένα οι ανθίσεις φαίνεται να ευδοκιμούν από 23 έως 28°C. Πέρα όμως από τις άμεσες συνέπειες που έχουν στους πληθυσμούς, η αυξημένη θερμοκρασία επηρεάζει πολλά από τα φυσικά χαρακτηριστικά των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Για παράδειγμα, μικραίνει το ιζώδες του νερού (στην επιφάνεια) και ταυτόχρονα συμβάλλει στην εντονότερη διάχυση των θρεπτικών στο υδάτινο σώμα. Η μείωση του ιζώδους προκαλεί τη βύθιση οργανισμών με μικρή κινητικότητα όπως τα διάτομα δίνοντας έτσι πλεονέκτημα στα κυανοβακτήρια. (O'Neil et al., 2012).

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει και την αλατότητα στις εκβολές ποταμών και χειμάρρων λόγω αύξησης της στάθμης της θάλασσας, καθώς και να εντείνει τα καιρικά φαινόμενα (βροχοπτώσεις, περίοδοι ξηρασίας). Ως συνέπεια, αλλάζουν τόσο η σύνθεση του φυτοπλαγκτού όσο και οι πληθυσμοί των κυανοβακτηρίων, καθώς ορισμένα είδη δεν μπορούν να ανεχθούν μεγάλες μεταβολές αλατότητας στο περιβάλλον στο οποίο ζουν και αναπτύσσονται. Ιδανικές συνθήκες αλατότητας είναι από 23% έως 28% (Yang et al., 2008).

Η διακύμανση της θερμοκρασίας και της αλατότητας είναι δύο παράγοντες που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην άνθιση και στην ανάπτυξη των φυκών. Πιο συγκεκριμένα, ιδανικές συνθήκες είναι αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση της αλατότητας. Στατιστικές αναλύσεις έχουν δείξει ότι την μεγαλύτερη επιρροή στις ανθίσεις φυκών έχει η θερμοκρασία, ενώ ακολουθεί η αλατότητα και η μεταξύ τους δυναμική (Yang et al., 2008).

Τα κυανοβακτήρια αντιδρούν επίσης καλά σε συνθήκες χαμηλού διοξειδίου του άνθρακα και υψηλής οξύτητας (O'Neil et al., 2012). Ο συνδυασμός αυτός τα κάνει να παραμένουν στην ανώτερη στοιβάδα νερού που διαθέτει αφθονία θρεπτικών με την παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως έχει προαναφερθεί ορισμένα είδη φυτοπλαγκτού συσπειρώνονται και σχηματίζουν παχιά στρώματα. Η ευρεία ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού περιορίζει τόσο την ανάπτυξη διαφορετικών ειδών κυανοβακτηρίων, όσο και την κίνηση του ζωοπλαγκτού στο νερό. Όλα τα παραπάνω σε συνδυασμό κάνουν τα κυανοβακτήρια να κυριαρχούν σε βάρος άλλων (ακόμα και ζωικών) οργανισμών. Η

διακύμανση του ελεύθερου διοξειδίου του άνθρακα συνδέεται άμεσα με την αυξομείωση του φυτοπλαγκτού. Όσο αυτό αυξάνεται σε πληθυσμό τόσο μειώνεται το διαθέσιμο για φωτοσύνθεση διοξείδιο του άνθρακα (Yang et al., 2008). Η οξύτητα στο εκάστοτε οικοσύστημα εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις του διαλυμένου ανόργανου άνθρακα που συναντάται ως διοξείδιο του άνθρακα, ανθρακικό οξύ και διττανθρακικά. Στην πλειοψηφία των οικοσυστημάτων το Ph κυμαίνεται από 7.5 έως 8.1 (O'Neil et al., 2012).

Ένας ακόμα παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη του φαινομένου του ευτροφισμού και ιδιαίτερα των ανθίσεων, είναι η κινητικότητα των υδάτων (Anderson et al., 2002). Όπως αναφέρεται από τον Yang (2008), η κινητικότητα σίγουρα επηρεάζει την άνθιση στα δινοφύκη, μια συγκεκριμένη κατηγορία δινομαστιγωτών. Αυτό συμβαίνει γιατί οι πληθυσμοί των δινοφυκών ευδοκιμούν σε νερά με σταθερές συνθήκες. Όταν υπάρχει δυνατότητα αραίωσης στο νερό, όπως για παράδειγμα σε κλειστούς κόλπους και παραθαλάσσιες περιοχές, η κίνηση του νερού καθαυτή μπορεί να επηρεάσει την ευτροφική διαδικασία και την οικολογική διαδοχή, επενεργώντας στη δυναμική των εμπλεκόμενων πληθυσμών. Κάτι τέτοιο δεν προκαλείται άμεσα, αλλά έμμεσα, από την ανάμιξη των θρεπτικών και την αναδιανομή του φωτός στον υδάτινο όγκο (Yang et al., 2008).

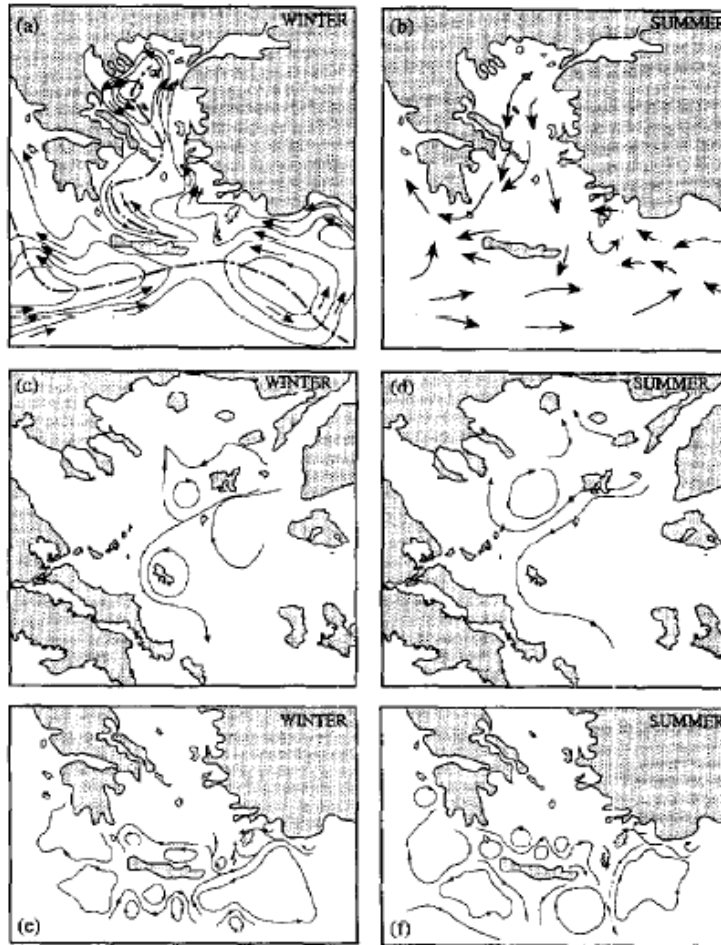
Σε ρηχά νερά η αυξημένη κινητικότητα των υδάτων, προκαλεί ανάδευση και κίνηση του φωσφόρου που βρίσκεται στον πυθμένα (Anderson et al., 2002). Η αυξημένη θερμοκρασία μπορεί να εντείνει το γεγονός αποτελώντας κομβικό σημείο στη διατήρηση των ωφέλιμων φυκών. Αυτό οφείλεται στο ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού, μειώνεται το επιφανειακό ιξώδες και διευκολύνεται η διάχυση των θρεπτικών ουσιών στον υδάτινο όγκο. Η παλίρροια με την κίνηση του νερού επίσης συμβάλει στο φαινόμενο (O'Neil et al., 2012).

Παράδειγμα αποτελεί ο κόλπος της Βρέστης, ένας ημίκλειστος κόλπος που η πρωτογενής παραγωγικότητα περιορίζεται από τα θρεπτικά. Παρά το γεγονός ότι μεγάλες ποσότητες θρεπτικών καταλήγουν στον κόλπο μέσω των παραποτάμων, η ημερήσια παλίρροια συμβάλει στην αυξημένη ανταλλαγή νερού με την ανοιχτή θάλασσα. Κάτι τέτοιο έχει ως αποτέλεσμα να διατηρείται μια σταθερότητα στην πρωτογενή παραγωγικότητα του κόλπου, παρόλη την συνεχώς αυξανόμενη εισροή θρεπτικών αλάτων (Yang et al., 2008).

## ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

Η κίνηση του νερού στους ωκεανούς και τις θάλασσες (ocean circulation) είναι ένα φαινόμενο παγκόσμιας κλίμακας το οποίο δημιουργείται από τα ρεύματα που αποτελούν μεγάλο επιστημονικό πεδίο έρευνας, αφού οι επιπτώσεις τους εντοπίζονται σε πολλούς τομείς. Οι τρεις παράγοντες που οδηγούν στη δημιουργία των ρευμάτων είναι οι παλίρροιες, ο άνεμος καθώς και η διαφορά πυκνότητας στο νερό που είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού της δράσης της επιφανειακής θερμότητας και της αλατότητας (ρεύματα πυκνότητας). Στα τελευταία ανήκει το Ρεύμα του Κόλπου του Μεξικού, το οποίο μεταφέρει θερμά νερά από την περιοχή του Ισημερινού στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη του Βόρειου Ατλαντικού και επηρεάζει το κλίμα και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες της δυτικής Ευρώπης. Αυτό το πυκνό νερό στη συνέχεια ρέει στις λεκάνες των ωκεανών στις οποίες εξαιτίας της εκτεταμένης ανάμιξης που παρατηρείται, μειώνονται οι διαφορές που διακρίνουν τις λεκάνες μεταξύ τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε ορισμένες περιπτώσεις οι ειδικοί να θεωρούν τους ωκεανούς της Γης ένα παγκόσμιο και σχεδόν ενιαίο σύστημα. Με την κίνηση του νερού όπως είναι φυσικό μεταφέρεται ενέργεια, λόγω θερμότητας, αλλά και μάζα με τα διαλυμένα αέρια και τις στερεές ουσίες. Συνεπώς η διαδικασία παρακολούθησης, κατανόησης και μερικού ελέγχου της θαλάσσιας υδροδυναμικής κυκλοφορίας είναι ένα σοβαρό ζήτημα που έχει προεκτάσεις και στο φαινόμενο του ευτροφισμού. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον εντοπίζεται στην εμφάνιση κυκλικών ρευμάτων νερού (eddies), τα οποία εξαιτίας της στροβιλώδους κίνησης που προκαλούν, είναι δυνατόν να μεταφέρουν θρεπτικά στοιχεία από τα βαθύτερα κρύα ύδατα στην επιφάνεια

Το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της θαλάσσιας κυκλοφορίας στο Βόρειο Αιγαίο είναι η ανάμιξη και τελικά η δημιουργία ενός ισχυρού υδρολογικού μετώπου από υφάλμυρα νερά που προέρχονται από την Μαύρη Θάλασσα και από θερμότερα νερά της Θάλασσας του Λεβάντε (Poulos et al., 1997). Έχουν καταγραφεί διάφορα ρεύματα που οφείλονται στην τοπογραφία των περιοχών μελέτης, σε eddies ενδιάμεσου μεγέθους και στη βαροκλικότητα που χαρακτηρίζει το νερό και γενικότερα τα ρευστά. Όλα τα παραπάνω ρεύματα έχουν μεγάλες επιπτώσεις στη δυναμική των αναπτυσσόμενων οικοσυστημάτων του πλαγκτού. Ωστόσο πρωταγωνιστικό ρόλο παίζει και η συχνή εκδήλωση αναμίξεων (upwelling), όπου η ένταση και η κατεύθυνση του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή έχει ως αποτέλεσμα το θερμό και σχετικά χαμηλό σε συγκεντρώσεις θρεπτικών επιφανειακό νερό, να αντικατασταθεί από πυκνότερο, ψυχρότερο και υψηλότερης περιεκτικότητας σε θρεπτικά, νερό από τα βαθύτερα στρώματα του υδάτινου σώματος. Με αυτό τον τρόπο το ‘‘φρέσκο’’ νερό εντείνει τον ρυθμό ανάπτυξης και αναπαραγωγής των πρωτογενών παραγωγών όπως το φυτοπλαγκτόν, παρά το γεγονός ότι το Βόρειο Αιγαίο θεωρείται oligοτροφικό περιβάλλον. Εξαιτίας της συσσώρευσης της βιομάζας του φυτοπλαγκτού και της ύπαρξης των ψυχρότερων υδάτων της επιφάνειας, οι ζώνες στις οποίες πραγματοποιείται το φαινόμενο της ανάμιξης των υδάτων είναι εύκολο να εντοπιστούν μέσω της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (Sea Surface Temperature, SST) αλλά και από τις υψηλές συγκεντρώσεις της Chl-a (Skliris et al., 2010).



Εικόνα 4: Θαλάσσια κυκλοφορία, Αιγαίο Πέλαγος

## ΘΕΡΜΟΚΛΙΝΕΣ

Χαρακτηριστικό γνώρισμα της θάλασσας είναι η δυναμικότητά της. Οι συνθήκες φυσικών και χημικών παραμέτρων συνεχώς αλλάζουν με την πάροδο των εποχών προσδίδοντας έτσι μια εποχικότητα στα σχετικά στοιχεία. Η ανώτερη στοιβάδα νερού επηρεάζεται περισσότερο από την αλλαγή των περιβαλλοντικών συνθηκών κυρίως λόγω της άμεση επαφής με την ατμόσφαιρα και την ηλιακή ακτινοβολία. Ο άνεμος προκαλεί μίξη του νερού δημιουργώντας ένα ομοιογενές στρώμα. Αυτό ονομάζεται επιφανειακό στρώμα ανάμιξης και το πάχος του εξαρτάται από την περιοχή μελέτης. Σε ρηχή θάλασσα όπως για παράδειγμα στον κόλπο Καλλονής καλύπτει μερικά μέτρα ενώ στην ανοιχτή θάλασσα μπορεί να προσεγγίσει τα 200m βάθους. Η εποχικότητα εντοπίζεται στην αλλαγή θερμοκρασίας και άρα στη μεταβολή της πυκνότητας του νερού, αλλά και στην τύρβη που αναπτύσσεται και μεταφέρει το θερμό νερό. Το στρώμα κάτω από το επιφανειακό στρώμα νερού ονομάζεται στρώμα θερμοκλινούς. Είναι κατά κύριο λόγο μεγαλύτερο σε πάχος και η χαρακτηριστική του ιδιότητα είναι η απότομη μεταβολή των φυσικοχημικών παραμέτρων μετά το πέρας αυτού. Το πάχος του θερμοκλινούς επηρεάζεται επίσης από την εναλλαγή των εποχών. Προϋπόθεση για τη δημιουργία του είναι η ύπαρξη στρωμάτωσης. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η θερμο-

κρασία πέφτει και το κρύο νερό της επιφάνειας βυθίζεται λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας. Η στήλη νερού είναι ασταθής, το κρύο νερό αντικαθιστά το γλυκό νερό που έχει προέλθει από τις κατακρημνίσεις και την επιφανειακή απορροή. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται ανατροπή και καταστρέφει το θερμοκλινές προσωρινά μέχρι την άνοιξη που αναπτύσσεται και πάλι στρωμάτωση του νερού. Το φαινόμενο που περιγράφηκε ονομάζεται εποχιακό θερμοκλινές και συναντάται σε μικρότερα βάθη σε σχέση με το μόνιμο θερμοκλινές που είναι μεγαλύτερης κλίμακας και εκτείνεται σε βάθη μέχρι και 2 km. Το στρώμα κάτω από το στρώμα θερμοκλινούς έχει κατά κύριο λόγο ίδια χαρακτηριστικά και χαμηλότερη θερμοκρασία και εκτείνεται μέχρι και τον πυθμένα.

### 1.6.2 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗ ΑΙΤΙΑ

Πολλές είναι οι αιτίες του φαινομένου που σχετίζονται με την ανθρώπινη παρέμβαση. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται τα οικιακά απόβλητα, η ατμοσφαιρική μόλυνση, οι αγροτικές δραστηριότητες κ.α.

Όσον αφορά τις άμεσες πηγές θρεπτικών μπορεί να γίνει διαχωρισμός σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο διάθεσης τους στο περιβάλλον. Η πρώτη κατηγορία αφορά τις σημειακές πηγές. Αναφορικά, οι σημειακές πηγές είναι σημεία διάθεσης θρεπτικών, συνήθως αστικών λυμάτων από οικισμούς στα παρακείμενα ύδατα. Η ύπαρξή τους επηρεάζει σημαντικά τα ποσοστά των θρεπτικών σε μια λίμνη ή κόλπο και επομένως αποτελούν σημείο προσοχής (O'Neil et al., 2012). Έχει εκτιμηθεί ότι ένα ποσοστό της τάξης του 67% του συνολικού αζώτου στον πορθμό του Λόνγκ Άιλαντ οφείλεται στην εναπόθεση των αστικών λυμάτων της Νέας Υόρκης στην περιοχή (Anderson et al., 2002). Σε πιο σπάνιες περιπτώσεις οι σημειακές πηγές μπορεί να διαταράξουν την ισορροπία και μεγαλύτερων υδάτινων οικοσυστημάτων. Η μεγαλύτερη καταγεγραμμένη σημειακή πηγή φωσφόρου εντοπίζεται στον ποταμό του Ταρ Παλμικό με το 50% του συνολικού φωσφόρου, να οφείλεται σε αυτή (Anderson et al., 2002).

Η δεύτερη κατηγορία αφορά τις μη σημειακές πηγές. Αφορούν εκτεταμένης επιφάνειας διάθεση και χρήζουν μεγαλύτερης προσοχής λόγω του απροσδιόριστου χαρακτήρα τους. Τέτοιες πηγές αποτελούν οι αγροτικές δραστηριότητες, η καύση ορυκτών καυσίμων και η κτηνοτροφία. Σύμφωνα με τον Anderson (2002), στον κόλπο του Τσέσαπικ (Chesapeake bay) μόνο ένα 25% από τα φωσφορικά και τα νιτρικά άλατα προέρχονται από σημειακές πηγές.

Τα νιτρικά και τα φωσφορικά άλατα που εμπεριέχονται στα λιπάσματα καταλήγουν στα υδάτινα οικοσυστήματα εντείνοντας έτσι το πρόβλημα του ευτροφισμού. Αυξημένη προσθήκη φώσφορου στις ζωικές τροφές έχει παρατηρηθεί με την παρέλευση των ετών. Ένας βασικός λόγος που ο φώσφορος ελέγχει τον πολλαπλασιασμό των κυανοβακτηρίων στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι ότι πολλά είδη αυτών συμβάλλουν στη διαδικασία της αμμωνιοποίησης (O'Neil et al., 2012). Έρευνες έχουν δείξει πως τα κυανοβακτήρια τρέφονται σε μεγάλο βαθμό από τα φωσφορικά και τα νιτρικά

άλατα και αυτά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ταξινόμηση των οικοσυστημάτων.

Μια διαφορετική πηγή θρεπτικών που μπορεί να εντείνει το φαινόμενο του ευτροφισμού είναι και η επιφανειακή απορροή. Η ποιότητα του επιφανειακού νερού καθορίζεται τόσο από το έδαφος και τις ουσίες που βρίσκονται σε αυτό, όσο και από την βροχόπτωση. Πολλά από τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται, περιέχουν ουρία. Πλέον η ουσία αυτή έχει φτάσει να καταλαμβάνει το 40% της συνολικής παραγωγής λιπάσματος παγκοσμίως, επηρεάζοντας έτσι την ανάπτυξη των διαφορετικών ειδών επιβλαβών φυκών (Anderson et al., 2002).

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η ροή του επιφανειακού νερού είναι μειωμένη επιτρέποντας έτσι σε σημειακές πηγές να επηρεάσουν την ισορροπία ακόμα και μεγάλων υδάτινων οικοσυστημάτων. Σε τέτοιες περιόδους το ποσοστό των επεξεργασμένων λυμάτων, μπορεί να αγγίξει έως και το 50% του συνολικού όγκου νερού σε ένα παράκτιο οικοσύστημα. Το καλοκαίρι όπως έχει ήδη ειπωθεί, λόγω θερμοκρασίας, οι πληθυσμοί των κυανοβακτηρίων έχουν μεγαλύτερη παραγωγικότητα (O'Neil et al., 2012). Όπως γίνεται αντιληπτό, αυτό εντείνει ακόμα περισσότερο τις ευτροφικές διεργασίες.

Η χρήση λιπασμάτων αποτελεί βασικό πρόβλημα κυρίως λόγω της συνεχούς αυξανόμενης χρήσης τους κυρίως σε ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Η υπερβολική χρήση λιπασμάτων όμως δε σημαίνει και μεγαλύτερη απορρόφηση από τα φυτά. Οι εκάστοτε καλλιέργειες είναι ικανές να απορροφήσουν ένα συγκεκριμένο ποσοστό λιπάσματος με το υπόλοιπο να διαφεύγει μέσω του εδάφους ή των επιφανειακών ροών, καταλήγοντας έτσι είτε στον υδροφόρο ορίζοντα είτε στα παρακείμενα ύδατα. Αναλογική είναι η σχέση μεταξύ αύξησης του πληθυσμού και των συγκεντρώσεων νιτρικών και φωσφορικών στα υδάτινα οικοσυστήματα (Anderson et al., 2002).

Τα υπόγεια ύδατα επίσης αποτελούν αγωγούς θρεπτικών προς την θάλασσα. Όλες οι ουσίες που καταλήγουν στο περιβάλλον λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, μεταβάλλουν κατά πολύ την ποιότητα και την ποσότητα των υπόγειων νερών (O'Neil et al., 2012). Κάτι τέτοιο έχει ως συνέπεια τη μεταβολή της τροφικής βαθμίδας σε γειτονικές λίμνες, ποτάμια αλλά και κόλπους.

Πέραν των παραπάνω παραμέτρων όμως, αξίζει να υπογραμμιστεί και ο καθοριστικός ρόλος που διαδραματίζει η ατμόσφαιρα. Η άμεση επαφή με το νερό, επιτρέπει στις αζωτούχες ενώσεις να απορροφηθούν από τα σωματίδια της επιφάνειας (Anderson et al., 2002). Το άζωτο που προέρχεται από τα σωματίδια ή από οξείδωση ιόντων αζώτου καταλήγει επίσης στην επιφάνεια του νερού.

Υδατοκαλλιέργειες και ιχθυοτροφεία είναι ακόμα δύο παράγοντες που μπορούν να αυξήσουν ιδιαίτερα τα θρεπτικά σε ένα υδάτινο περιβάλλον. Τα καλλιεργούμενα είδη, είτε ψάρια είτε θαλάσσια χλωρίδα, μπορούν να δεσμεύσουν μόνο ένα μέρος της τροφής ή των λιπασμάτων που δέχονται. Το υπόλοιπο, διαχέεται στον υδάτινο όγκο ή κατακάθεται στον πυθμένα και αποικοδομείται. Τα προϊόντα της αποικοδόμησης μπο-

ρούν να διεγείρουν την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού. Σε περιοχές υγροτόπων με υδατοκαλλιέργειες είναι πολύ πιθανό να προκληθούν ευτροφικά επεισόδια. Έχει αναφερθεί, πως υδατοκαλλιέργειες κατασκευασμένες σε υγροτόπους και συγκεκριμένα ιχθυοκαλλιέργειες είναι δυνατόν να αυξήσουν έως και 8 φορές την ποσότητα των θρεπτικών σε ένα οικοσύστημα (Anderson et al., 2002). Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως σε ένα κλειστό σύστημα αυτή η διαρκής προμήθεια θρεπτικών αυξάνει την παραγωγικότητα αλλά μπορεί εύκολα να οδηγήσει σε αφανισμό των ανώτερων μορφών ζωής στο οικοσύστημα.(Anderson et al., 2002). Πολλές μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας σε αναπτυσσόμενες περιοχές συναντώνται σε ρηχούς εύκολα προσβάσιμους κόλπους όπου τα θρεπτικά μπορούν εύκολα να συσσωρευτούν λόγω της μικρής κυκλοφορίας και να διεγείρουν την εμφάνιση HABs. Τα υποπροϊόντα, οι εκκρίσεις αλλά και η τυχόν αποσύνθεση των ψαριών σταθερά τροφοδοτούν το οικοσύστημα με θρεπτικό υλικό.

Η υπεραλίευση ακολούθως έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση πληθυσμών ορισμένων οστρακοειδών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο κόλπος Τσέσαπικ (Chesapeake Bay) λόγω της μεγάλης καλλιέργειας και συλλογής στρειδιών. Τέτοιες ενέργειες διαταράσσουν τη βιοποικιλότητα του οικοσυστήματος και στη συγκεκριμένη περίπτωση η μεγάλη και απότομη συλλογή στρειδιών οδήγησε σε υπερπληθυσμό του φυτοπλαγκτού (Anderson et al., 2002).

## **1.7 Συνέπειες**

### **1.7.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Σαν πρώτο και κύριο στοιχείο που επηρεάζεται από ένα ευτροφικό επεισόδιο είναι φυσικά το ίδιο το οικοσύστημα. Η διατάραξη της εγγενούς ισορροπίας του και η πρόκληση βλάβης και εκφυλισμού των λειτουργιών του οδηγούν σε υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων με την αύξηση της θολερότητας (Yang et al., 2008). Με λιγότερο φως να διεισδύει στο υδάτινο σώμα ελαττώνονται και οι διεργασίες της φωτοσύνθεσης και το σύστημα καταλήγει σε μια κατάσταση ανεπαρκούς φωτοσύνθεσης άρα και ανεπαρκούς οξυγόνου. Υδρόβια φυτά και ζωντανοί οργανισμοί δεν είναι δυνατόν να επιζήσουν σε ανοξικές συνθήκες.

### **1.7.2 ΥΓΕΙΑ**

Ο χαρακτηριστικός σχηματισμός του πράσινου αφρού στην επιφάνεια του νερού οφείλεται σε μάζες φυκών, κυρίως κυανοφυτών και πράσινων άλγερων. Τέτοιες συνθέσεις είναι δυνητικά τοξικές και μπορούν να απελευθερώσουν τοξίνες βλαβερές για την θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα.

Σε πολλές περιοχές έχει προκληθεί έλλειψη πόσιμου νερού λόγω του φαινομένου, εξαιτίας της υποβάθμισης της ποιότητάς του. Με την αποσύνθεση των ανθίσεων

και αφού έχουν κάνει τον κύκλο ζωής τους, εκλύονται τοξίνες επιβλαβείς για τη δημόσια υγεία. Οι τοξίνες των κυανοβακτηρίων ή αλλιώς κυανοτοξίνες είναι υπεύθυνες για χρόνιες δηλητηριάσεις ζώων και ανθρώπων αλλά ακόμα και για θάνατο. (Carmichael, 2001).

Το ευτροφικό νερό είναι επίσης πλούσιο σε νιτρώδη άλατα. Τα νιτρώδη άλατα με τη διαδικασία της νιτροποίησης δίνουν σαν προϊόντα ισχυρά καρκινογόνα (Yang et al., 2008). Γίνεται αντιληπτός λοιπόν ο λόγος που το φαινόμενο του ευτροφισμού έχει προσελκύσει ενδιαφέρον παγκοσμίως. Ορισμένες τοξίνες είναι εξαιρετικά ισχυρές ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις προκαλώντας δηλητηριάσεις ακόμα και με μερικές εκατοντάδες κύτταρα. Ορισμένες μη τοξικές ανθίσεις μπορούν να γίνουν επικίνδυνες λόγω της μεγάλης βιομάζας τους προκαλώντας αφρούς ακαθαρσιών (Anderson, 2002).

Άλλα είδη παράγουν βιοενεργές ενώσεις εκ των οποίων υπατοτοξίνες και νευροτοξίνες θανατηφόρες για τα ζώα. Τέτοια είδη συναντώνται σε διάφορες περιοχές ανά τον κόσμο και μπορούν να προκαλέσουν και θάνατο ακόμα και στο ανθρώπινο είδος (Anderson, 2002).

Σε πολλές περιπτώσεις είναι επίσης σύνηθες οι κολυμβητές να εμφανίζουν συμπτώματα χρόνιας δερματίτιδας γνωστής και ως «φαγούρα των κολυμβητών». Συχνά είναι και τα αναπνευστικά προβλήματα ή ο ερεθισμός των ματιών. Η πόση του νερού μπορεί να προκαλέσει γαστρεντερίτιδες, διάρροια, εμετό, κράμπες και πόνους στις αρθρώσεις.

Οι επιβλαβείς ανθίσεις φυκών έχουν δύο βασικούς τρόπους που μπορούν να επηρεάσουν το περιβάλλον και τους γύρω οργανισμούς τους, είτε με τις τοξίνες είτε με συσσωρευμένη βιομάζα. Αυτό γίνεται επηρεάζοντας την φυσική δομή των κυττάρων ή αντίστοιχα μεταβάλλοντας τη δυναμική του ιστού των τροφίμων (Anderson, 2002). Κρίσιμο αποτέλεσμα του φαινομένου είναι η μαζική θνησιμότητα των εκτρεφόμενων πληθυσμών ψαριών και οστρακοειδών. Στον άνθρωπο μπορεί να προκληθεί ασθένεια μέχρι και θάνατος με τις τοξίνες να διαδραματίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο. Αυτό συμβαίνει μέσω της διαδικασίας της βιομεγέθυνσης, η οποία είναι η συσσώρευση ουσιών στους ιστούς και στο σώμα ανώτερων καταναλωτών μέσω της τροφικής αλυσίδας. Τοξίνες μπορούν να περάσουν στον ανθρώπινο οργανισμό και μέσω της εισπνοής (Anderson, 2002).

Διάφορα είδη φυκών παράγουν τοξίνες που με τη σειρά τους επηρεάζουν τους οργανισμούς (ανθρώπους και τα ζώα) που ζουν ή εξαρτώνται αυτό. Τα φύκη αυξάνουν την θολερότητα του νερού και δίνουν σ' αυτό μια σκουροπράσινη όψη. Η γεύση και το χρώμα που δίνουν στο νερό διατηρούνται μέσα στο δίκτυο μέχρι τη χρήση του. Τα νεκρά υλικά της βιομάζας καθιζάνουν δημιουργώντας ανοξικές συνθήκες στον πυθμένα.



### 1.7.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Ο οικονομικός αντίκτυπος ενός φαινομένου σαν αυτό του ευτροφισμού δεν μπορεί παρά να είναι αξιοσημείωτος. Αυτό συμβαίνει γιατί όπως αναλύθηκε και παραπάνω τόσο οι αιτίες όσο και οι συνέπειες συνδέονται με ένα ευρύ φάσμα παραγόντων. Ένας σεβαστός όγκος χρημάτων δαπανάται για την ιατρική περίθαλψη και την έρευνα. Πέραν όμως των άμεσων ζημιών αξιοσημείωτες είναι και οι έμμεσες, με κύριες τις απώλειες εργασιμων ημερών αλλά και η εξασθένιση του εργατικού δυναμικού. Οι δηλητηριάσεις από τοξίνες οστρακοειδών είναι από τα πιο συνήθη περιστατικά όπως αυτά καταγράφονται από τις υπηρεσίες δημόσιας υγείας των εκάστοτε χωρών (Anderson et al., 2000).

Συγκεκριμένα, η δηλητηρίαση ciguatera είναι ένα τοξικό σύνδρομο που προκαλείται από τις τοξίνες των δινοφυκών όταν αυτές συσσωρεύονται στους οργανισμούς ανώτερων επιπέδων μέσω της τροφικής αλυσίδας. Αν και δεν αποτελεί άμεση συνέπεια των ανθίσεων, οι επιπτώσεις του έχουν άμεσο οικονομικό αντίκτυπο. Αξίζει να σημειωθεί ότι μέσω της βιοσυσσώρευσης, οι τοξίνες εξαπλώνονται όχι μόνο στην τροφική αλυσίδα αλλά και στον χώρο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εμπορία μολυσμένων ζωικών ή φυτικών προϊόντων και η εξάπλωση τους σε διαφορετικές επικράτειες. Συγκεκριμένα, ορισμένες εταιρείες θαλασσινών, είναι γνωστό πως ‘‘ασφαλίζουν’’ τα προϊόντα τους για τυχόν δηλητηριάσεις πελατών από ciguatera. Σε τέτοιες περιπτώσεις εμπίπτουν και οι δικαστικές δαπάνες. Πέραν όμως των μεγάλων βιομηχανιών εμπορίας θαλασσινών, η αλιεία σε πολλές περιπτώσεις αποτελεί κύρια πηγή εισοδήματος και θεμέλιο λίθο στις οικονομίες των παράκτιων περιοχών. Νοικοκυριά που συντηρούνται από την αλιεία είναι παντελώς εκτεθειμένα σε περίπτωση ευτροφικού επεισοδίου, είτε λόγω αφανισμού των ψαριών είτε λόγω τοξικότητάς τους.

Παρά τη σπουδαιότητα του ανθρώπινου παράγοντα, σημαντική είναι και επίπτωση στους πληθυσμούς των θαλάσσιων οργανισμών από οικονομική σκοπιά. Οι μαζικές απώλειες ψαριών λόγω των δινοφυκών *Pfiesteria* στην περιοχή της Βόρειας Καρολίνας σε διάστημα 6 χρόνων συγκέντρωσαν μεγάλο ενδιαφέρον καθώς δεν ήταν σαφές αν αυτές προκλήθηκαν όντως από τα δινοφύκη ή απλά από ανοξικές συνθήκες (Anderson et al., 2000).

Ένα ακόμα θέμα είναι οι ανεκμετάλλευτες περιοχές λόγω HABs. Η εμφάνιση τέτοιων περιστατικών καθιστούν μεγάλα μέρη παραθαλάσσιων περιοχών μη διαθέσιμα προς χρήση, κάτι που αποτελεί πλήγμα για την τοπική κοινωνία των παρακείμενων περιοχών. Τέτοια περίπτωση αποτελούν και οι καλλιέργειες οστρακοειδών στις ακτές της Αλάσκα που πλέον έχουν αποκλειστεί εξαιτίας της επίμονης τοξικότητας και των αποτελεσμάτων των δειγματοληψιών (Anderson et al., 2000). Η αισθητική υποβάθμιση αποτελεί επίσης πληγή στην οικονομία των εκάστοτε παράκτιων περιοχών ειδικότερα στον τουρισμό που αυτές προσελκύνουν. Η γενική αισθητική αποδοχή του νερού συνδέεται κυρίως οπτικά με την τα αιωρούμενα σωματίδια, το χρώμα και την θολερότητα του. Οργανικές ουσίες όπως οι τανίνες, η λιγνίνη και τα χουμικά οξέα από την αποσυντιθέμενη βλάστηση προκαλούν χρωματισμό του νερού (WHO, 2003). Η παρουσία κυανοβακτηρίων μπορεί να δώσει πράσινη απόχρωση, τα διάτομα δίνουν κίτρινο-καφέ ενώ τα ζωοπλαγκτόν και κυρίως οι μικροκυστίνες δίνουν περιστασιακά κόκκινη όψη

στα εν λόγω ύδατα. Η αντίληψη του κοινού συχνά δεν συνάδει με την πραγματική ποιότητα των υδάτων αναψυχής. Έρευνες έχουν δείξει πως ποτάμια με καλή μικροβιολογική και χημική ποιότητα συχνά αντιμετωπίζονται με καχυποψία από το κοινό λόγω κακής αισθητικής.

Παράδειγμα αποτελεί τον ευτροφικό επεισόδιο στην άνω ακτογραμμή της Αδριατικής κατά το καλοκαίρι του 1989. Η αυξημένη ανάπτυξη μικροάλγεων στον πυθμένα οδήγησε στη δημιουργία μιας κολλώδους άμορφης μάζας κατά μήκος της Ιταλικής ακτογραμμής. Ως συνέπεια αυτού, ο τουρισμός για την προαναφερθείσα χρονιά μειώθηκε κατά 40% (WHO, 2003). Ένα ευτροφικό επεισόδιο ή ακόμα και η γενικότερη αισθητική μεταβολή του νερού μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες τουριστικών ημερών, ζημιές στις τοπικές τουριστικές επιχειρήσεις (ξενοδοχεία, εστιατόρια, συγκροτήματα κ.α.) ακόμα και μόνιμη πληγή στην εικόνα της περιοχής, ειδικότερα αν αυτή είναι ευρέως αναγνωρισμένη.

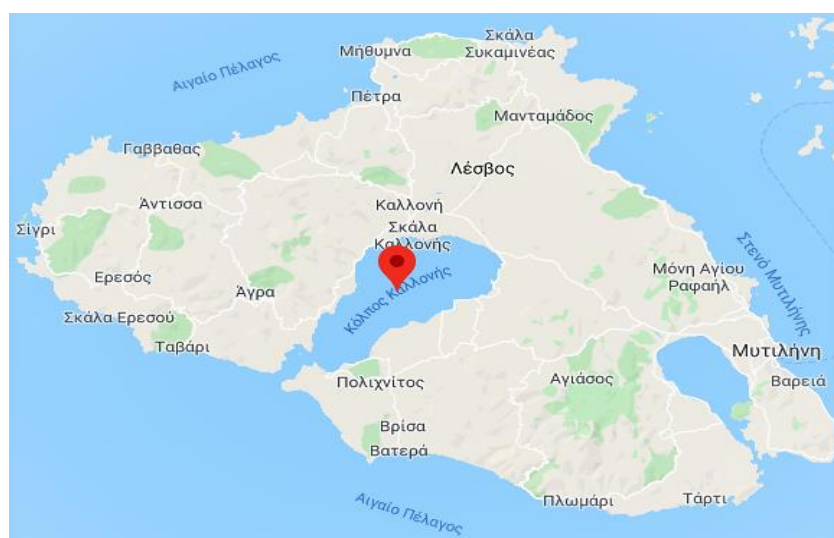
## 2. Υλικά και μέθοδοι

### 2.1 Περιοχή μελέτης

Η Λέσβος είναι ένα ελληνικό νησί με έκταση 1.630 km<sup>2</sup>. Είναι ένα από τα μεγαλύτερα νησιά της Μεσογείου και πρόκειται για το τρίτο σε έκταση και το πέμπτο σε πληθυσμό νησί στην Ελλάδα. Βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του Αιγαίου Πελάγους και διαθέτει δύο μεγάλους ημίκλειστους και επιμήκεις κόλπους (κόλπος Γέρας και κόλπος Καλλονής) που φαίνονται στην εικόνα 5.

Ο κόλπος της Καλλονής είναι ο μεγαλύτερος, με έκταση στα 110 km<sup>2</sup> (Spatharis et al., 2009). Πρόκειται για σχετικά ρηχό κόλπο, με μέσο βάθος περίπου 11m. Η σύνδεση με την ανοιχτή θάλασσα, γίνεται μέσω μιας στενής διόδου πλάτους 2 m. Η διόδος έχει μήκος 4 km και το βάθος κυμαίνεται στα 25 m. Η λεκάνη απορροής της οποίας τα ύδατα απορρέουν στον κόλπο καλύπτει έκταση 413 km<sup>2</sup> (Spatharis et al., 2007).

Το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή μπορεί να θεωρηθεί ως τυπικό μεσογειακό με χαρακτηριστικά του γνωρίσματα τους ήπιους βροχερούς χειμώνες και τα ζεστά ξηρά καλοκαίρια (Spatharis et al., 2007) . Σύμφωνα, με την κλιματική ταξινόμηση Thornthwaite, ανήκει στο μεσογειακό με τύπο. Είναι υγρό, με μέτριες ποσότητες πλεονάζοντος νερού κατά την χειμερινή περίοδο (Γαμπιεράκη, 2020). Ο κόλπος με την εναλλαγή των εποχών συμπεριφέρεται με διαφορετικό τρόπο, λειτουργώντας ως σταθεροποιητικός παράγοντας για το κλίμα της περιοχής. Κατά την υγρή περίοδο του χρόνου, λειτουργεί ως λεκάνη αραίωσης ,ενώ την ξηρή περίοδο, ως λεκάνη συγκέντρωσης. Σε ετήσια βάση, ο κόλπος συμπεριφέρεται ως λεκάνη αραίωσης με την ανταλλαγή υδάτων με την ανοιχτή θάλασσα να προκαλεί πτώση της επιφάνειας περίπου 0.6 m. Ο χρόνος παραμονής του κόλπου είναι 22 ημέρες αλλά εκτιμάται μια αύξηση 13 ημερών αν υπάρχει απουσία παλίρροιας πράγμα που επιβεβαιώνει την σημαντικότητα της παλίρροιακής κίνησης τόσο στο κόλπο όσο και γενικά στη Μεσόγειο (Mamoutos et al., 2018).

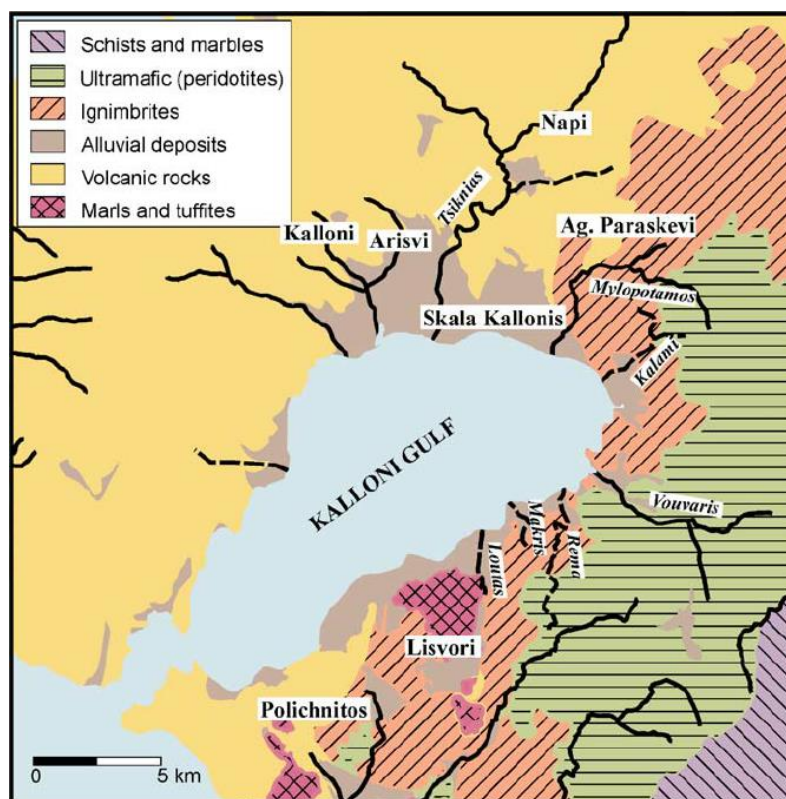


Εικόνα 5: Κόλπος Καλλονής και ευρύτερη περιοχή μελέτης

### 2.1.1 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ο κόλπος Καλλονής χαρακτηρίζεται ολιγότροφη έως μεσότροφη περιοχή. Εξαιτίας του φυσικού ευτροφισμού παρουσιάζει αυξημένη παραγωγικότητα σε σχέση με άλλα συστήματα που εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά αλλά και ιδιαίτερη οικολογική ευαισθησία. Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής εξαιτίας του ιδιαίτερου ανάγλυφου που παρατηρείται, έχει μεγάλη επίδραση στον κόλπο λόγω των φερτών υλικών που μεταφέρουν. Πιο συγκεκριμένα, βαρύνουσα σημασία έχουν οι απορροές των ποταμών Τσικνιά, Βούβαρη και Μυλοπόταμος, οι οποίες παρατηρούνται κυρίως κατά την χειμερινή περίοδο, ενώ κατά τους θερινούς μήνες οι απορροές των συγκεκριμένων ποταμών είναι μηδαμινές. Από το σημείο που εκβάλλουν οι ποταμοί αλλά και οι χείμαρροι της περιοχής έως το σημείο επικοινωνίας του κόλπου με το Αιγαίο Πέλαγος (ολιγότροφικό σύστημα), παρατηρείται μια σταδιακή μείωση στην συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών (Panayotidis et al., 1999).

Όσον αφορά, τα εδαφολογικά στοιχεία, η περιοχή από την οποία περικλείεται ο κόλπος Καλλονής, συντίθεται από υπερβασικά πετρώματα, τα οποία αποτελούν τα υπολείμματα ενός έντονα διαβρωμένου τεκτονικού στρώματος, που είναι επωθημένο στο μεγαλύτερο μέρος του πάνω στην ηφαιστειοϊζηματογενή. Πιο συγκεκριμένα, ο κόλπος της Καλλονής περιβάλλεται κυρίως από ηφαιστειακά πετρώματα (ρυόλιθους, λατίτες, δακίτες και ανδেসίτες) της Πλειόκαινου εποχής που μαζί με έναν σχηματισμό οφιολιθικών πετρωμάτων καταλαμβάνουν περισσότερο από το 75% της συνολικής έκτασης του βορειοδυτικού τμήματος του νησιού. Στα δυτικά του νησιού εντοπίζεται και ηφαιστειακή τέφρα, πυροκλαστικά και ανδесιτικά πετρώματα. Η εικόνα 6 αποτυπώνει την εδαφική εικόνα της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 6: Μορφολογία εδάφους κόλπου Καλλονής

Το πυρίτιο αποτελεί απαραίτητο συστατικό για την ανάπτυξη διάφορων σημαντικών κατηγοριών πλαγκτονικών οργανισμών, όπως για παράδειγμα τα διάτομα. Συναντάται φυσικά στη θαλάσσια μάζα σε δύο κυρίως μορφές, ενώ έχει παρατηρηθεί ότι ο εμπλουτισμός των υδάτων με ενώσεις του πυριτίου είναι συνεχής. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη μορφή (διαλυτή) συνδέεται με τη διάλυση των πυριτικών πετρωμάτων που υπάρχουν σε μεγάλες ποσότητες στην περιοχή μελέτης. Η δεύτερη (σωματιδιακή) αφορά την αποσάθρωση χερσαίων πετρωμάτων και την μεταφορά τους με τη βοήθεια των επιφανειακών υδάτων.

Οι θαλάσσιοι οργανισμοί που αναφέρθηκαν παραπάνω, προσλαμβάνουν το πυριτικό οξύ ( $H_4 SiO_4$ ) και το μετατρέπουν σε διοξείδιο του πυριτίου ( $SiO_2$ ). Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται στο επίπεδο της ευφωτικής ζώνης. Στη συνέχεια με τη βοήθεια διάφορων θαλάσσιων ρευμάτων (πχ ανάβλυση), γίνεται κατακόρυφη μεταφορά των θρεπτικών συστατικών που καταλήγουν στον πυθμένα. Εκεί δημιουργείται ίζημα και τελικά υπάρχουν ποσότητες διαλυμένου πυριτίου. Επομένως συντελείται μία συνεχής εναλλαγή των στρωμάτων της θαλάσσιας μάζας κατά την οποία, τα επιφανειακά ύδατα απομακρύνονται και την θέση τους παίρνουν βαθύτερα ύδατα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά. Σ' αυτό τον κύκλο σημαντικό ρόλο παίζουν και οι ενώσεις του πυριτίου. Στα ύδατα που συμβαίνει αυτή η εναλλαγή έχει παρατηρηθεί μεγάλη παραγωγικότητα.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό των διαλυτών πυριτικών, που φαίνεται σε πολύ έντονο βαθμό και στον κόλπο που μελετήθηκε, είναι το γεγονός ότι οι τιμές της συγκέντρωσης τους είναι πολύ μεγάλες στις παράκτιες περιοχές εξαιτίας των προσθηκών από την ξηρά. Ενώ έχει διαπιστωθεί και ότι η σχέση των πυριτικών με την αλατότητα των θαλάσσιων υδάτων είναι αντιστρόφως ανάλογη.

### 2.1.2 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

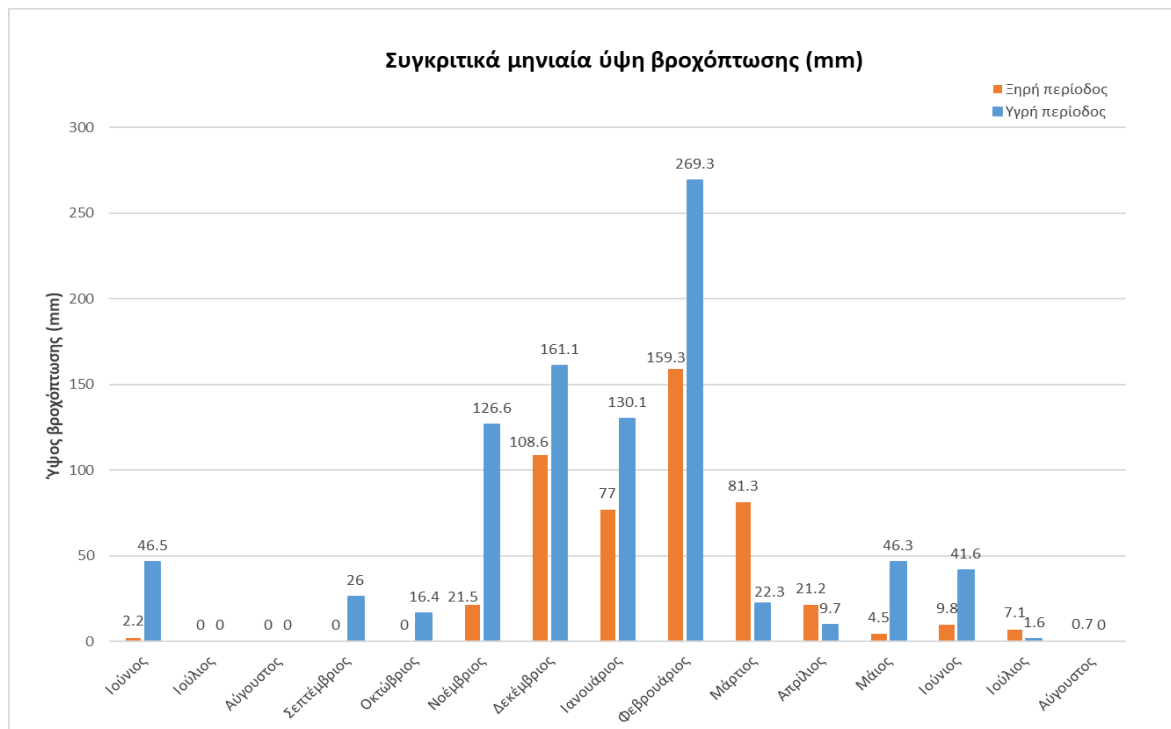
Στη συγκεκριμένη περιοχή λαμβάνουν χώρα διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες συνθέτουν την πολυδιάστατη εκμετάλλευση τόσο του ίδιου του κόλπου, όσο και της γειτονικής λεκάνης απορροής. Η τοπική οικονομία βασίζεται κυρίως στην αλιεία, τη γεωργία και την κτηνοτροφία. Ανεπεξέργαστα υποπροϊόντα και παραγωγή αυτών των δραστηριοτήτων, καταλήγουν στον κόλπο με αποτέλεσμα την πρόκληση φαινομένων ευτροφισμού και τη διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας, με την κατάσταση να επιδεινώνεται κατά τον Φεβρουάριο (Spatharis et al., 2009). Η χρήση φωσφορικών και αζωτούχων λιπασμάτων πραγματοποιείται συνήθως από Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο, ενώ συμπίπτει με την υγρή περίοδο του χρόνου στην οποία σημειώνονται οι περισσότερες βροχοπτώσεις. Μέσω της επιφανειακής απορροής ένα μεγάλο μέρος αυτών των θρεπτικών καταλήγει στον κόλπο. Έχει υπολογιστεί πως ένα ποσοστό της τάξης του 59% του συνολικού αζώτου στον κόλπο οφείλεται στην έκπλυση λιπασμάτων, ενώ ένα 37.5% οφείλεται σε παροχέτευση ανεπεξέργαστων λυμάτων. Οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών αλάτων επηρεάζονται περισσότερο από τα οικιακά λύματα και λιγότερο από τα λιπάσματα, ενώ σχεδόν το 20% οφείλεται στα υποπροϊόντα των ελαιοτριβείων της περιοχής (Spatharis et al., 2007).

Κύριοι αποδέκτες των αποβλήτων, τα οποία παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες που συντελούνται στην περιοχή μελέτης είναι οι υδατικοί πόροι που αναφέρθηκαν προηγουμένως (ποτάμια και χείμαρροι). Χαρακτηριστικό στοιχείο της κατάστασης που επικρατεί είναι ότι κανένας από τους οικισμούς εντός της λεκάνης απορροής του κόλπου δε διαθέτει μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τόσο τα βιομηχανικά (πχ ελαιοτριβεία , τυροκομεία , σφαγεία και κτηνοτροφικές μονάδες), όσο και τα αστικά λύματα να καταλήγουν στον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής με τελικό αποδέκτη τον ίδιο τον κόλπο και την κοντινή θαλάσσια περιοχή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο ότι εντός της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Βούβαρη, συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μέρος των λυμάτων ολόκληρου του νησιού, διαταράσσοντας σε μεγάλο βαθμό την ήδη εύθραυστη οικολογική ισορροπία του κόλπου. Αποτέλεσμα της παραπάνω κατάστασης είναι τα μολυσμένα ύδατα που καταλήγουν στον κόλπο, να έχουν δυσμενείς/αρνητικές συνέπειες όσον αφορά τους οργανισμούς που ζουν στο συγκεκριμένο οικοσύστημα και τελικά να ενισχύουν το φαινόμενο του ευτροφισμού (Γαμπιεράκη, 2020).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο κόλπος της Καλλονής επικοινωνεί με το Αιγαίο Πέλαγος μέσω ενός στομίου, το οποίο είναι σχετικά στενό, με αποτέλεσμα, το νερό του κόλπου να ανανεώνεται με αργούς ρυθμούς. Αργοί ρυθμοί μίξης επιτρέπουν τη συσσώρευση υψηλών συγκεντρώσεων φωσφορικών και αζωτούχων ενώσεων, με αποτέλεσμα να ευνοείται η εκδήλωση ευτροφικών επεισοδίων (Panayotidis et al., 1999).

## 2.2 Δίκτυα δειγματοληψιών

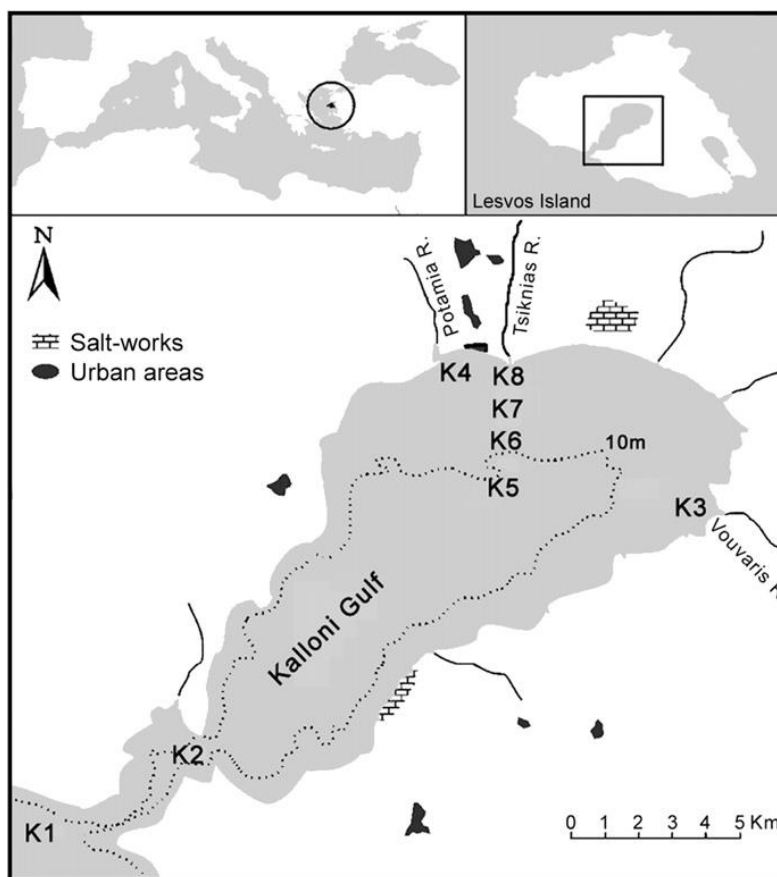
Η μελέτη της οικολογικής ευαισθησίας του κόλπου της Καλλονής και των μεταβολών που την επηρεάζουν, μελετήθηκαν σε δύο διαφορετικούς χρόνους. Η πρώτη περίοδος μελέτης είναι από τον Ιούνιο του 2004 έως τον Αύγουστο του 2005, ενώ η δεύτερη είναι από τον Ιούνιο του 2009 έως τον Αύγουστο του 2010 (εικόνα 7). Η επιλογή των συγκεκριμένων χρονικών διαστημάτων πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα διαφορετικά τους χαρακτηριστικά καθώς και τα διαθέσιμα δεδομένα.



*Εικόνα 7: Μηνιαία ύψη βροχόπτωσης ξηρής (2004-2005) και υγρής περιόδου (2009-2010)*

Κατά την πρώτη περίοδο μελέτης (Ιούνιος 2004-Αύγουστος 2005), το δίκτυο των σταθμών φαίνεται στην εικόνα 8. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, στόχος της συγκεκριμένης επιλογής των σταθμών ήταν να καλυφθεί ολόκληρη η περιοχή μελέτης, αλλά και ορισμένα σημεία ενδιαφέροντος. Πιο συγκεκριμένα, οι σταθμοί στους οποίους πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία ήταν συνολικά οχτώ. Οι πρώτοι τέσσερις (K1-K2-K3-K4) εντοπίζονται στην ανοιχτή θάλασσα, στο διάλυο επικοινωνίας, αλλά και στις εκβολές των ποταμών Βούβαρη και Ποταμιάς αντίστοιχα. Η δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στους συγκεκριμένους σταθμούς ήταν μηνιαία. Οι υπόλοιποι σταθμοί (K5-K6-K7-K8) βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα του κόλπου και στις εκβολές του ποταμού Τσικνιά, που αποτελεί την κύρια πηγή θρεπτικών για τον κόλπο. Η δειγματοληψία σ' αυτούς τους σταθμούς ήταν κατά κύριο λόγο μηνιαία, ωστόσο κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων συλλέγονταν μετρήσεις ανά δύο μήνες .

Δείγματα νερού συλλέχθηκαν από βάθος 1m και 5m. Η επιλογή των βαθών αυτών έγινε με κριτήριο τα βάθη που επικρατούν στο εσωτερικό του κόλπου. Οι σταθμοί K1 και K2 που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο βάθος, επιλέχθηκαν ως σταθμοί αναφοράς για το Αιγαίο. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάλυση των δειγμάτων για τον εντοπισμό της χλωροφύλλης (Chl-a) και των θρεπτικών συστατικών σύμφωνα με τους Parsons et al. (1984) και Spatharis (2007).



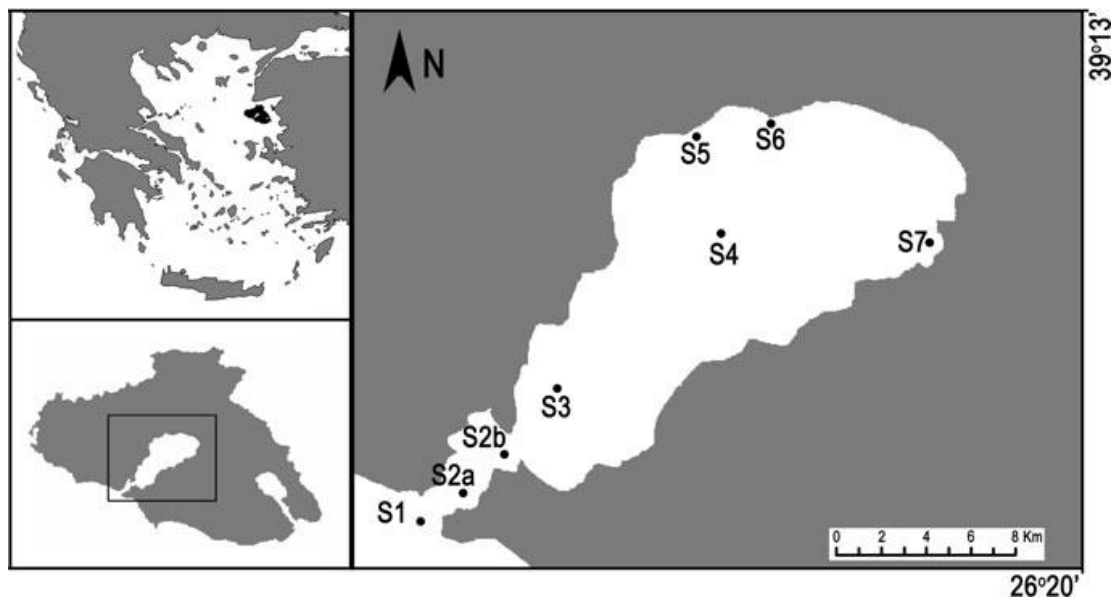
Εικόνα 8: Δίκτυο σταθμών κατά την πρώτη περίοδο μελέτης (2004-2005)

Κατά τη δεύτερη περίοδο μελέτης (Ιούνιος 2009-Αύγουστος 2010) επιλέχθηκε ένα σύστημα οχτώ σταθμών από την ανοιχτή θάλασσα προς το εσωτερικό του κόλπου, όπως φαίνεται στην εικόνα 9. Ο σταθμός ΚΑ1 εντοπίζεται στο Αιγαίο και αποτελεί τον σταθμό αναφοράς για την ανοιχτή θάλασσα και ο σταθμός ΚΑ2 βρίσκεται στον διάυλο επικοινωνίας. Οι υπόλοιποι (ΚΑ3-ΚΑ4-ΚΑ5-ΚΑ6-ΚΑ7) είναι στο εσωτερικό του κόλπου. Πιο συγκεκριμένα ο ΚΑ4 είναι στο κεντρικό κομμάτι του κόλπου και ο ΚΑ3 λίγο μετά το διάυλο στο εσωτερικό. Οι σταθμοί ΚΑ5, ΚΑ6 και ΚΑ7 βρίσκονται στις εκβολές των ποταμών της περιοχής και επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την επιφανειακή απορροή των υδάτων της χέρσου. Ειδικότερα ο ΚΑ6 που είναι στις εκβολές του ποταμού Τσικνιά, που όπως τονίστηκε και στο δίκτυο των σταθμών της ξηρής περιόδου μελέτης, είναι ο ποταμός που φέρνει το μεγαλύτερο ποσό θρεπτικών στον κόλπο της Καλλονής. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε μηνιαία βάση γι' όλους τους σταθμούς της περιοχής μελέτης (Spyropoulou et al., 2013)

Από κάθε σταθμό συλλέχτηκαν 5L επιφανειακού θαλασσινού νερού, με τη βοήθεια δειγματολήπτη Van Dorn. Για τους σταθμούς με το μεγαλύτερο βάθος, δείγματα συλλέχτηκαν τόσο από βάθος 5m, όσο κι από το βάθος των 15m. Ενώ για τους ρηχούς μόνο από τα 5m. Για κάθε βάθος συλλέχτηκαν διπλά δείγματα. Τα δείγματα διηθήθηκαν αμέσως για τον εντοπισμό της χλωροφύλλης (Chl-a). Στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν στον καταψύκτη (-20°) για περαιτέρω ανάλυση θρεπτικών συστατικών, η οποία πραγματοποιήθηκε σε σύντομο χρονικό διάστημα (<1 μήνας). Τα νιτρώδη, τα νιτρικά, τα φωσφορικά και τα πυριτικά προσδιορίστηκαν φασματοφωτομετρικά. Η χρονική και



χωρική μεταβλητότητα των θρεπτικών ουσιών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό Ocean Data View-ODV (Schlitzer 2006).



Εικόνα 9: Δίκτυο σταθμών κατά τη δεύτερη περίοδο μελέτης (2009-2010)

Στη συνέχεια πραγματοποιείται ανάλυση των αποτελεσμάτων των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν για την υγρή (Ιούνιος 2009-Αύγουστος 2010) και την ξηρή περίοδο (Ιούνιος 2004-Αύγουστος 2005). Τα αποτελέσματα αφορούν τόσο φυσικά χαρακτηριστικά του νερού του κόλπου (θερμοκρασία, αλατότητα, πυκνότητα), όσο και χημικά (συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών). Ο σχολιασμός κι η ανάλυση έγινε με τη βοήθεια κατακόρυφων κατανομών που προέκυψαν από την εφαρμογή του λογισμικού Ocean Data View (ODV) στα δεδομένα πεδίου.

Το ODV είναι ένα διαδραστικό λογισμικό που χρησιμοποιείται για την μελέτη και την οπτικοποίηση των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών ενός θαλάσσιου οικοσυστήματος. Με την χρήση των χρονοσειρών είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ανάλυση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών μιας περιοχής και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα. Το μεγάλο πλεονέκτημα που παρέχει είναι η γρήγορη πρόσβαση σε μεγάλο όγκο δεδομένων που μπορεί να προέρχονται από πολλούς σταθμούς. Τα διαγράμματα που τελικά προκύπτουν από την χρήση του, παρέχουν ικανή ποσότητα πληροφορίας για την ευαισθησία του συστήματος του κόλπου της Καλλονής, στις διάφορες μεταβολές που υφίσταται.

### 2.3 Δείκτης TSI

Ο αντίκτυπος των μεταβολών αυτών μπορεί να εντοπιστεί και στο τροφικό επίπεδο του κόλπου. Για να σχηματιστεί μία πιο εμπειριστατωμένη εικόνα για το τροφικό επίπεδο του κόλπου στα δύο διαστήματα μελέτης, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης τροφικής κατάστασης του Carlson (Trophic State Index, TSI). Ο συγκεκριμένος δείκτης βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στην μελέτη του ευτροφισμού για τις λίμνες, ωστόσο μπορεί να γίνει χρήση του και στις περιπτώσεις των κόλπων (Kountoura and Zacharias, 2013).

Οι ανεξάρτητες φυσικοχημικές μεταβλητές που αξιοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της βιομάζας της άλγης, που αποτελεί το θεμέλιο του δείκτη, είναι τρεις. Η πρώτη αφορά την χλωροφύλλη (μg/L), η δεύτερη τη συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου (μg/L) και η τρίτη τις μετρήσεις που καταγράφηκαν με τη βοήθεια ενός δίσκου Secchi για τη διαύγεια των υδάτων (m). Πρόκειται για έναν ασπρόμαυρο δίσκο περίπου 20 εκατοστών που βυθίζεται στην θάλασσα. Η τιμή που δίνεται είναι σε μέτρα και εκφράζει το βάθος στο οποίο ο δίσκος δεν είναι πλέον ορατός. Οι τύποι που εφαρμόστηκαν στη διαδικασία υπολογισμού είναι :

$$\text{TSI of chlorophyll} = 30.6 + 9.81 \ln(\text{CHL})$$

$$\text{TSI of phosphorus} = 4.15 + 14.42 \ln(\text{TP})$$

$$\text{TSI of transparency} = 60 - 14.41 \ln(\text{SD})$$

$$\overline{\text{TSI}} = \frac{\text{TSI}_{\text{Chl-a}} + \text{TSI}_{\text{TP}} + \text{TSI}_{\text{SD}}}{3}$$

*Εικόνα 10: Τύποι υπολογισμού του TSI*

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των TSI προκύπτουν ως μέσοι οροί των μετρήσεων στους σταθμούς που βρίσκονται από το ανοιχτό Αιγαίο μέχρι και το λιμάνι. Αυτό σημαίνει πως οι τιμές που υπολογίστηκαν μετριάζονται αρκετά από του σταθμούς που βρίσκονται στο εξωτερικό του κόλπου.

Τα επίπεδα που θέτει ο δείκτης δεν είναι σαφώς ορισμένα. Με άλλα λόγια δεν υπάρχουν άνω και κάτω όρια στις τιμές που μπορεί να λάβει. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι ποικίλλει σε συνάρτηση με το υπό μελέτη σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι τα όρια που καθορίζει για την περίπτωση μίας λίμνης είναι διαφορετικά συγκριτικά με αυτά που υιοθετούνται στα πλαίσια ενός κόλπου. Στην πλειοψηφία των συστημάτων οι τιμές που συναντάμε είναι από 0 έως 100. Στην εικόνα 11 φαίνονται τα τροφικά επίπεδα που ορίζει ο δείκτης TSI.

SDD (m)	Chl- <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	TSI	Traditional denomination of trophic state
>8-4	0 - 2.6	<30 - 40	Oligotrophic
4-2	2.6 - 7.3	40 - 50	Mesotrophic
2-0.5	7.3 - 56.0	50 - 70	Eutrophic
0.5-<0.25	>56 + 155.0	70 - + 100	Hyper-eutrophic

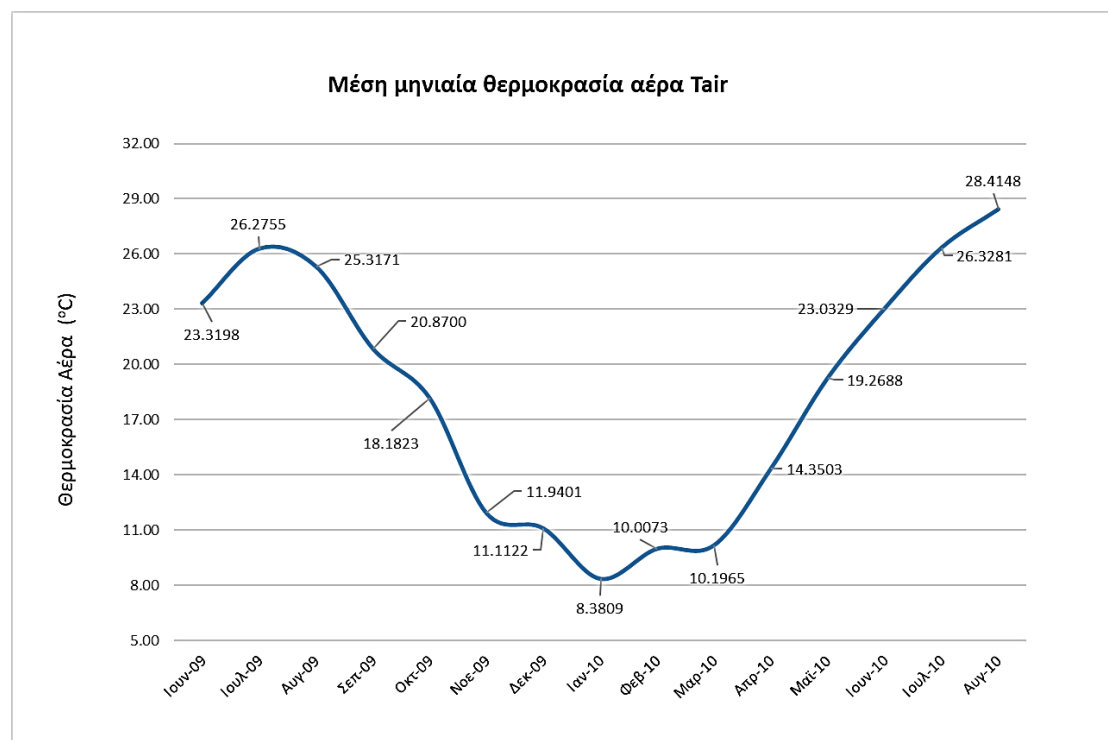
*Εικόνα 11 : Τροφικά επίπεδα σύμφωνα με τον TSI*

Στην περίπτωση των κόλπων για τιμές του δείκτη μικρότερες από το 40, το σύστημα θεωρείται ολιγότροφο, ενώ για τιμές που κυμαίνονται από 40 έως 50, μεσότροφο. Ο κόλπος της Καλλονής, όπως τονίστηκε και παραπάνω, χαρακτηρίζεται ένα ολιγότροφο έως μεσότροφο σύστημα, οπότε αναμένουμε οι τιμές του δείκτη να εντοπίζονται κατά κύριο λόγο σ' αυτό το εύρος. Όταν οι τιμές είναι μεγαλύτερες του 50 έχουμε ευτροφικό σύστημα και τελικά αν υπολογιστεί τιμή μεγαλύτερη του 70 μεταφερόμαστε σ' ένα υπερευτροφικό σύστημα, όπου συναντάμε εκτεταμένη αύξηση της παραγωγικότητας. Αν προκύψουν μεγαλύτερες τιμές, είναι αυξημένες οι πιθανότητες υπέρμετρης αύξησης των μακρόφυτων και τελικά διατάραξης της οικολογικής ισορροπίας (Kountoura and Zacharias, 2013).

### 3. Αποτελέσματα και συζήτηση

#### 3.1 Μετεωρολογικά στοιχεία (2009-2010)

Σύμφωνα με στοιχεία που αντλήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, το μέσο ετήσιο ύψος της βροχόπτωσης υπολογίζεται στα 670mm και η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα στους 17 °C. Ο Ιανουάριος είναι ο ψυχρότερος μήνας με μέση θερμοκρασία 9.6 °C, ενώ θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος με μέση θερμοκρασία να κυμαίνεται στους 26.5 °C. Οι άνεμοι που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του κόλπου είναι κυρίως βόρειοι.

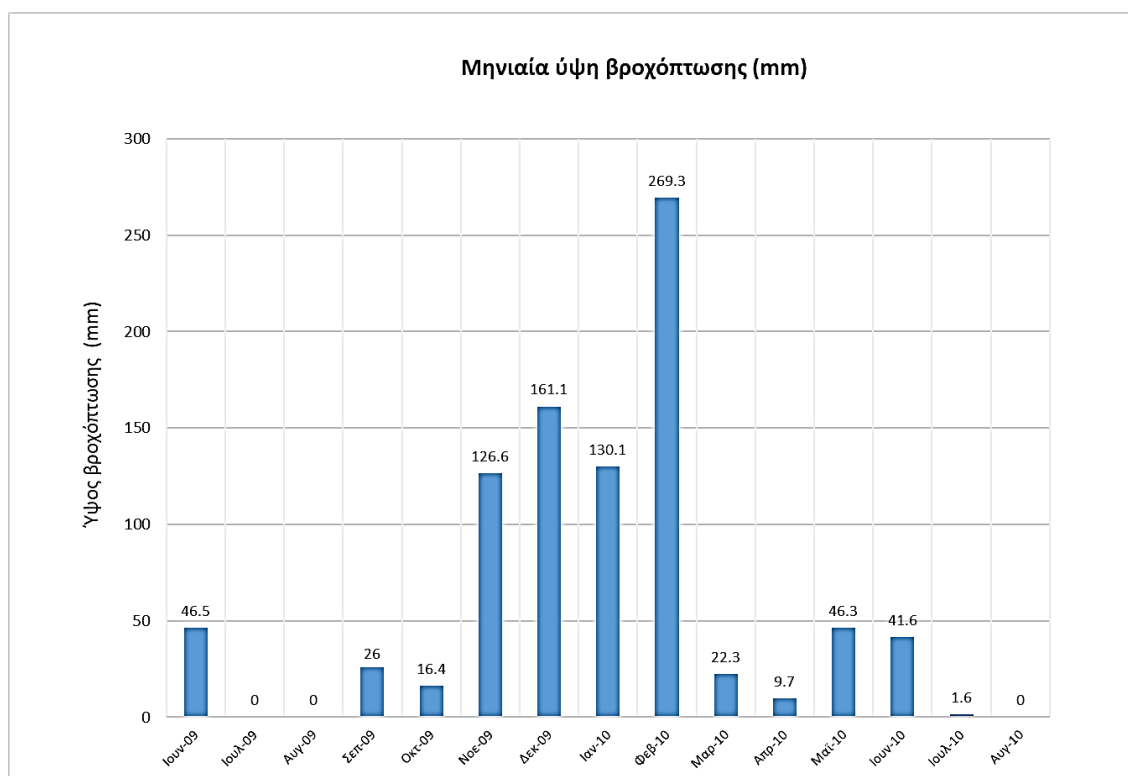


Εικόνα 12: Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα για διάστημα μελέτης (2009-2010)

Το διάστημα μελέτης κατά το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μηνιαίες δειγματοληψίες είναι από τον Ιούνιο του 2009 έως και τον Αύγουστο του 2010. Τα δεδομένα προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό της Αγίας Παρασκευής, όντας ο κοντινότερος στην περιοχή μελέτης. Οι διαθέσιμες παράμετροι αφορούν τη μέση θερμοκρασία αέρα, βροχόπτωση και άνεμο. Η μέγιστη θερμοκρασία σημειώθηκε κατά τον μήνα Αύγουστο του 2010 στους 28.4 °C, ενώ η χαμηλότερη τον Ιανουάριο του 2010 στους 8.4 °C. Η διακύμανση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα για την υγρή περίοδο μελέτης (2009-2010), αντικατοπτρίζεται στην εικόνα 12.

Μια γενικευμένη εικόνα της θερμοκρασίας είναι η εξής: ξεκινώντας από το καλοκαίρι του 2009 και περνώντας στο φθινόπωρο η θερμοκρασία πέφτει ομαλά. Με μια πιο ομαλή πορεία η θερμοκρασία αυξάνεται και πάλι καθώς γίνεται η εναλλαγή προς την άνοιξη. Η ένταση των ανέμων μειώνεται και λόγω αυτού η μίξη του νερού στον

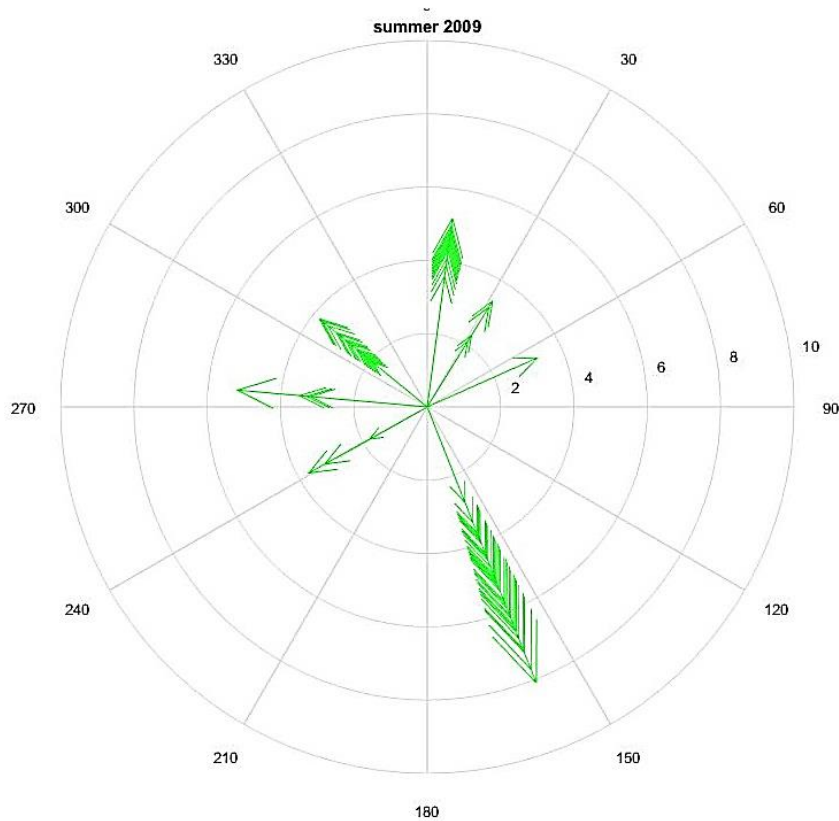
κόλπο είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τον χειμώνα. Το συγκεκριμένο μοτίβο ακολουθείται επακριβώς και από την θερμοκρασία του νερού λόγω του ότι οι δύο θερμοκρασίες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες και η σχέση τους δυναμική.



*Εικόνα 13 : Μηνιαία ύψη βροχόπτωσης 2009-2010*

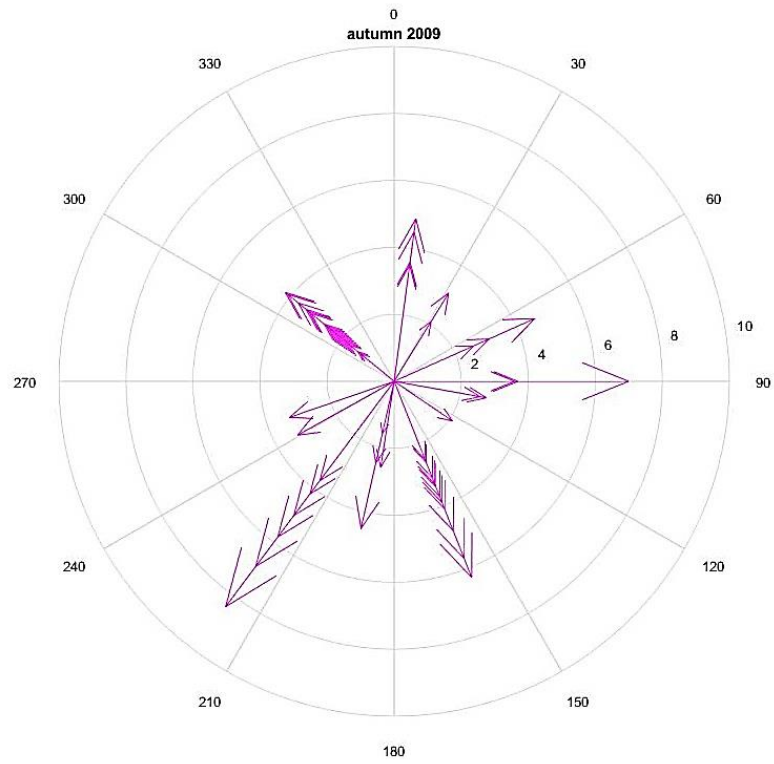
Το αντίθετο προφίλ διακύμανσης, σε σχέση με την θερμοκρασία του αέρα, φαίνεται να έχει η βροχόπτωση για την περίοδο 2009-2010 (εικόνα 13), με τις χαμηλότερες τιμές (ή και απουσία αυτών) να παρατηρούνται τους καλοκαιρινούς μήνες και τις μέγιστες να καταγράφονται τον χειμώνα. Η υψηλότερη τιμή στο διάστημα μελέτης καταγράφηκε τον Φεβρουάριο του 2010 με 269.3 mm βροχής. Η βροχόπτωση αποτελεί θεμέλιο παράγοντα στην μελέτη ενός θαλάσσιου οικοσυστήματος γιατί είναι το κύριο μέσο με το οποίο τα θρεπτικά συστατικά μεταφέρονται από την χέρσο μέσω της επιφανειακής απορροής του νερού. Η αυξημένη νετόπτωση του χειμώνα μεταφέρει όλα τα θρεπτικά συστατικά από την λεκάνη απορροής που εκβάλλει στο εκάστοτε υδάτινο οικοσύστημα.

Από τον σταθμό της Αγίας Παρασκευής συγκεντρώθηκαν και τα δεδομένα που αφορούν τον άνεμο. Σ' αυτά μελετάται ο άνεμος ημερησίως ως συνάρτηση του μέτρου και των κάθετων συνιστωσών του. Η επεξεργασία αυτού έγινε μέσω του προγράμματος MATLAB και τα δεδομένα παρουσιάζονται σε κλίμακα εποχής.

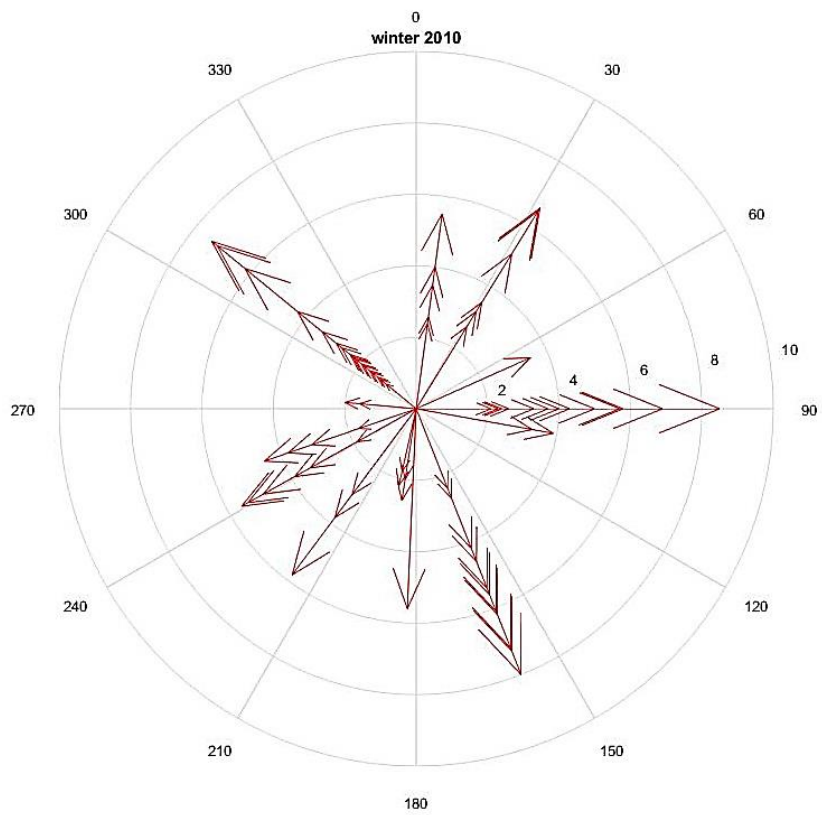


*Εικόνα 14 : Άνεμος Καλοκαίρι 2009*

Όσον αφορά το καλοκαίρι του 2009 φαίνεται οι περισσότεροι και πιο δυνατοί άνεμοι να είναι νοτιοανατολικοί με μέγιστη ταχύτητα περίπου 8 m/sec. Πληθώρα ανέμων έχουν επίσης κατεύθυνση βορειοανατολική. Βορειοανατολικοί άνεμοι μικρής ταχύτητας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες υποδεικνύουν την ύπαρξη μελτεμιών. Τα μελτέμια είναι καλοκαιρινό φαινόμενο κατά κύριο λόγο και χαρακτηρίζονται σαν βόρειοι άνεμοι με ανάλογες διαφορές στις εκάστοτε τοποθεσίες. Στο Βόρειο Αιγαίο, στο οποίο ανήκει η Λέσβος και ο κόλπος Καλλονής, το μελτέμι έχει βορειοανατολική διεύθυνση, στο Κεντρικό Αιγαίο είναι βόρειο, στο Κρητικό είναι βόρειο και βορειοανατολικό, στο Καρπάθιο γίνεται βόρειο βορειοδυτικό και στα δυτικά της Ρόδου εντοπίζεται ως δυτικό βορειοδυτικό. Τα μελτέμια δημιουργούνται λόγω διαφοράς πίεσης ανάμεσα σε αέριες μάζες. Αυτές οι διαφορές προκαλούν έναν συνδυασμό, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ισχυρού βόρειου ανέμου πάνω από το Αιγαίο.

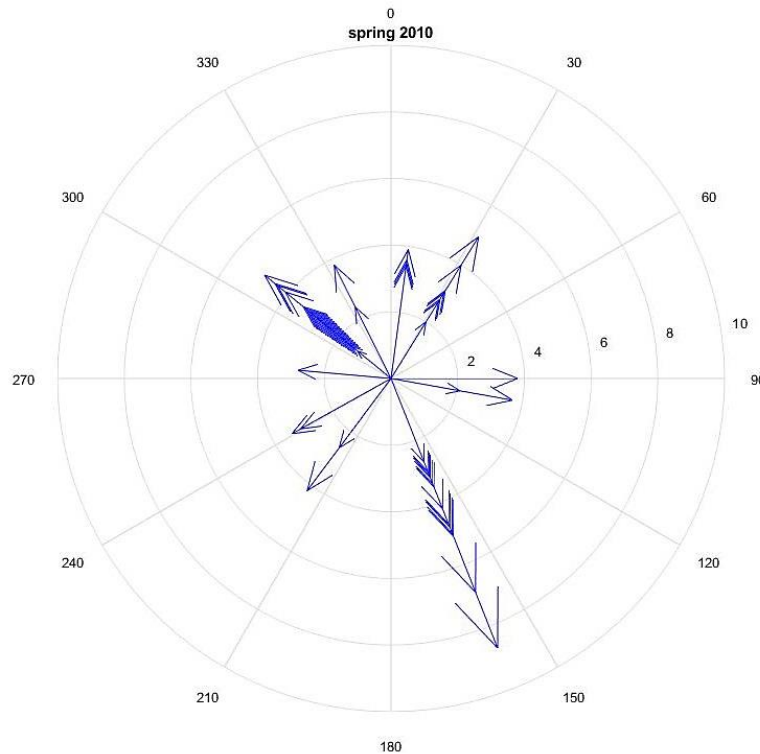


*Εικόνα 15 : Άνεμος Φθινόπωρο 2009*



*Εικόνα 16 : Άνεμος Χειμώνας 2009-2010*

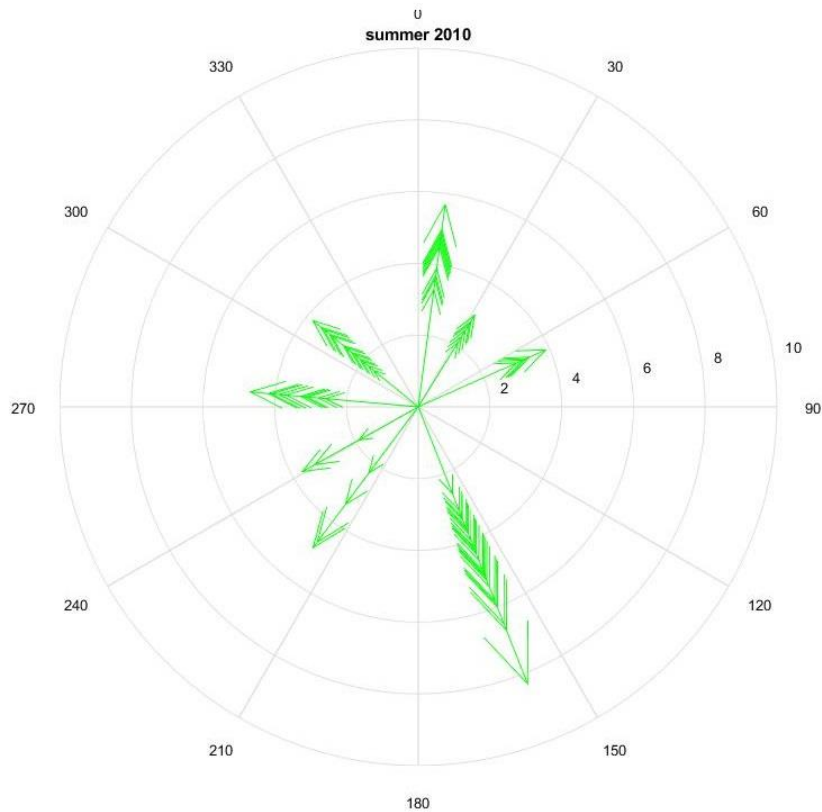
Το φθινόπωρο και τον χειμώνα οι άνεμοι φαίνεται να έχουν κατά κύριο λόγο Νότια κατεύθυνση. Παρόλα αυτά βλέπουμε ότι η πλειοψηφία των ανέμων έχουν μεγαλύτερο μέτρο χωρίς όμως οι πιο δυνατοί άνεμοι να ξεπερνούν κατά πολύ τα 8 m/sec. Σε σύγκριση με το καλοκαίρι επίσης, φαίνεται ότι υπάρχουν άνεμοι οι οποίοι είναι μεταβαλλόμενοι.



*Εικόνα 17 : Άνεμος Άνοιξη 2010*

Την άνοιξη το προφίλ των ανέμων μοιάζει αρκετά με αυτό του καλοκαιριού με περισσότερες κατευθύνσεις όμως λόγω της επήρειας του χειμώνα. Οι δυνατότεροι άνεμοι είναι και πάλι οι νοτιοανατολικοί με μέγιστο μέτρο τα 8.7 m/sec, το μεγαλύτερο στο διάστημα μελέτης. Οι βορειοανατολικοί άνεμοι όπως φαίνονται ενδέχεται να είναι μελτέμια καθώς το φαινόμενο μπορεί να ξεκινήσει και από αρχές Μαΐου, τα επονομαζόμενα πρώιμα μελτέμια. Όπως προαναφέρθηκε, την άνοιξη η θάλασσα εμπλουτίζεται με θρεπτικά άλατα λόγω της έκπλυσης της χέρσου από τα υετήματα του χειμώνα. Οι άνεμοι της άνοιξης δημιουργούν ρεύματα και εξαπλώνουν ή κατευθύνουν τα θρεπτικά σε περιοχές. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα είτε την ομοιόμορφη κατανομή αυτών, είτε την συγκέντρωσή τους σε ένα μέρος συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην εμφάνιση ευτροφικού επεισοδίου.





*Εικόνα 18: Άνεμος Καλοκαίρι 2010*

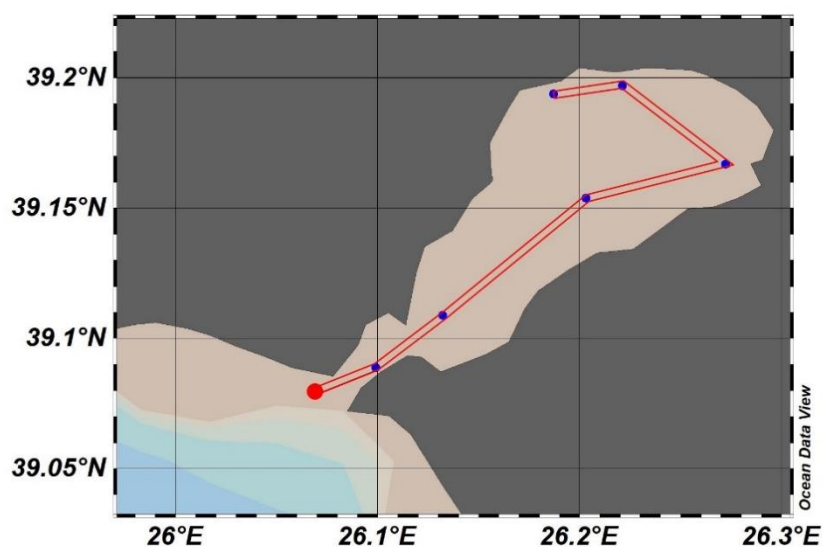
Το καλοκαίρι του 2010 είναι αρκετά πανομοιότυπο με το καλοκαίρι του 2009 στις κατευθύνσεις των ανέμων αναδεικνύοντας την έντονη εποχικότητα που επικρατεί στην περιοχή. Η πλειοψηφία αυτών έχουν νοτιοανατολική κατεύθυνση και η παρουσία μελτεμιών είναι σημαντική. Το μέτρο των ανέμων είναι κατά μέσο όρο μικρότερο από αυτό των ανέμων του φθινοπώρου και του χειμώνα.

### **3.2 Φυσικές και Χημικές παράμετροι ανά εποχή (2009-2010)**

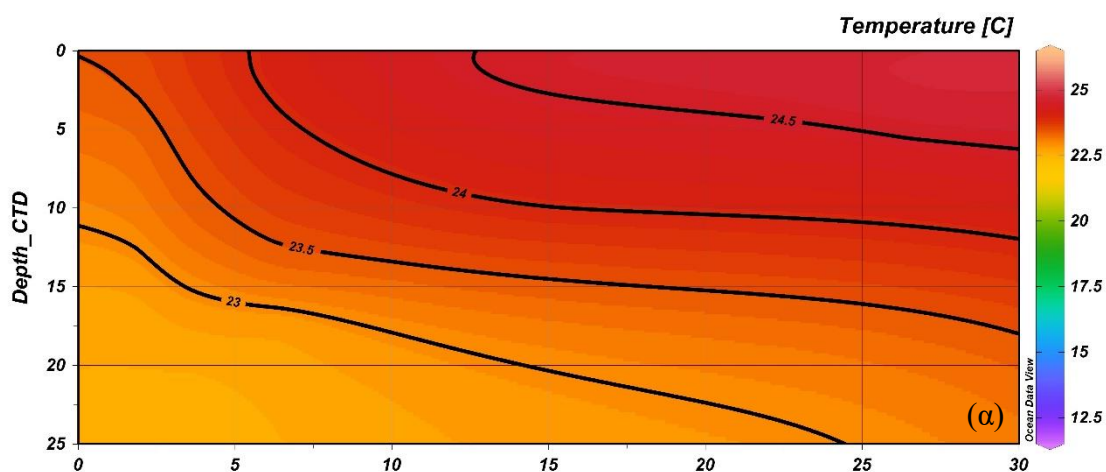
Η ανάλυση των φυσικών και των χημικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το σύστημα μελέτης για τη χρονική διάρκεια από τον Ιούνιο του 2009 έως τον Αύγουστο του 2010, γίνεται εποχικά, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των μεταβολών που προκύπτουν. Η μεγάλη ευαισθησία του κόλπου της Καλλονής στις μεταβολές παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στα αποτελέσματα που τελικά προκύπτουν.

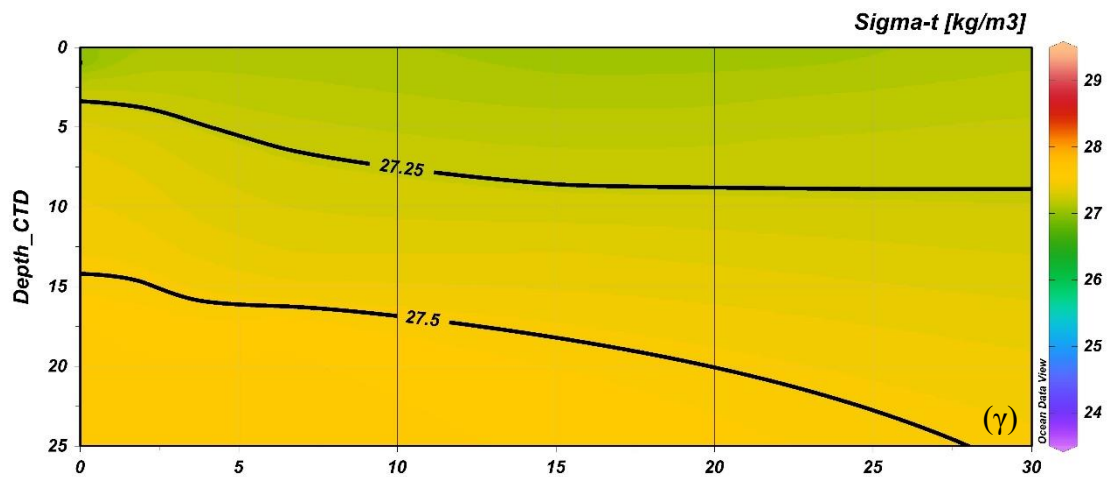
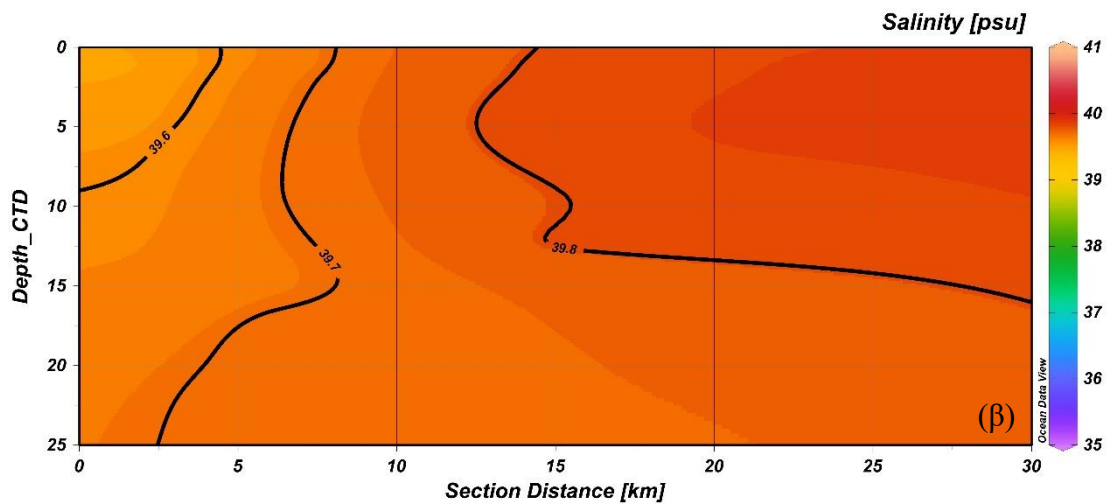
## ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 2009

Η μελέτη των θαλάσσιων δεδομένων που προήλθαν από τις δειγματοληψίες πεδίου έγινε εποχιακά για την μελέτη της ευαισθησίας του συστήματος στις εποχιακές μεταβολές. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα του ODV που αφορούν τα θαλάσσια-φυσικά δεδομένα (θερμοκρασία, αλατότητα, πυκνότητα). Τα διαγράμματα δείχνουν με χρωματική διαβάθμιση τη διακύμανση των τιμών του κάθε μεγέθους, ανάλογα με τις τιμές που φαίνονται στο υπόμνημα δεξιά. Στον κάθετο άξονα αντιστοιχεί το βάθος σε μέτρα. Ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά την απόσταση σε χιλιόμετρα και ουσιαστικά ξεκινάει από τον εξωτερικό (πρώτο) σταθμό ΚΑ1 και συνεχίζει στους επόμενους μέχρι τον τελευταίο που βρίσκεται στο εσωτερικό του κόλπου(ΚΑ7). Οι σταθμοί δειγματοληψίας για την υγρή περίοδο μελέτης 2009-2010, όπως αυτοί αποτυπώθηκαν στο ODV, φαίνονται στην εικόνα 19 με μπλε και κόκκινο χρώμα



Εικόνα 19 : Σταθμοί δειγματοληψίας στον κόλπο για την περίοδο 2009-2010



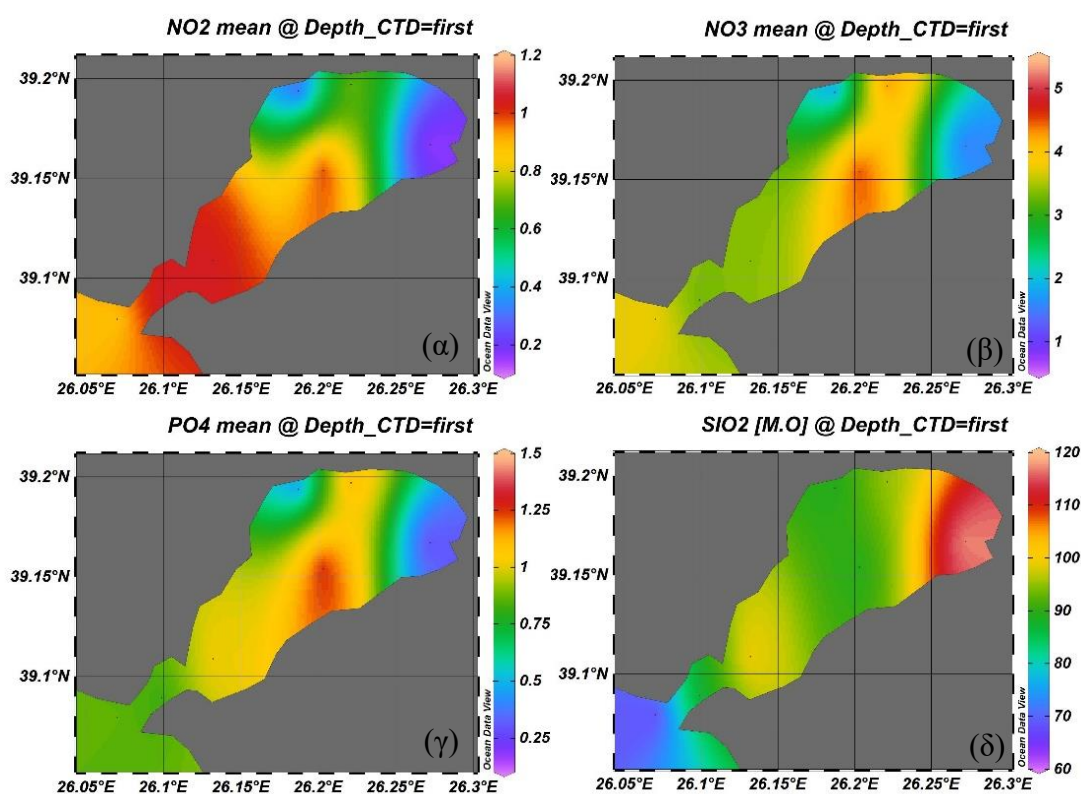


Εικόνα 20 : (α) Θερμοκρασία νερού, (β) Αλατότητα, (γ) Πυκνότητα- Καλοκαίρι 2009

Και τα τρία μεγέθη, τείνουν να έχουν τις μεγαλύτερες τιμές στο εσωτερικό του κόλπου και προς την επιφάνεια. Η θερμοκρασία [°C] του νερού στον κόλπο(εικόνα 20α) έχει μια διαφορά της τάξης των 3.5 °C σε σχέση με το πρώτο σημείο δειγματοληψίας το οποίο βρίσκεται προς το ανοιχτό Αιγαίο. Μειωμένη βροχόπτωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σημαίνει και σημαντικά μειωμένες επιφανειακές απορροές άρα και μικρότερη κινητικότητα των υδάτων. Η υψηλή θερμοκρασία προκαλεί αυξημένη εξάτμιση στις ανώτερες στρώσεις νερού και αυτό εντοπίζεται ως μεγαλύτερες τιμές αλατότητας [psu] (εικόνα 20β). Η μέγιστη τιμή αλατότητας είναι τα 39.8 psu στα ενδιάμεσα βάθη της υδάτινης στήλης. Με παρόμοιο τρόπο επηρεάζεται η πυκνότητα [Kg/m<sup>3</sup>] (εικόνα 20γ). Το θερμό νερό που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια, σε όλο το μήκος του κόλπου είναι λιγότερο πυκνό. Η πυκνότητα παρόλα αυτά δεν αλληλοεπιδρά μόνο με την θερμοκρασία αλλά και με την αλατότητα με αντίστροφο τρόπο.

Ακολουθούν τα διαγράμματα των θρεπτικών (εικόνα 21) όπως αυτά προέκυψαν από επεξεργασία στο ODV. Τα θρεπτικά ιόντα είναι ο κύριος παράγοντας αύξησης του φυτοπλαγκτού στα υδάτινα οικοσυστήματα και η υπέρμετρη αύξησή τους μπορεί να προκαλέσει ευτροφικά επεισόδια. Αυτό που παρατηρείται σαν γενική εικόνα και στα τέσσερα διαγράμματα είναι η διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών κοντά στις εκβολές των τοπικών ποταμών Τσικνιά και Βούβαρη.

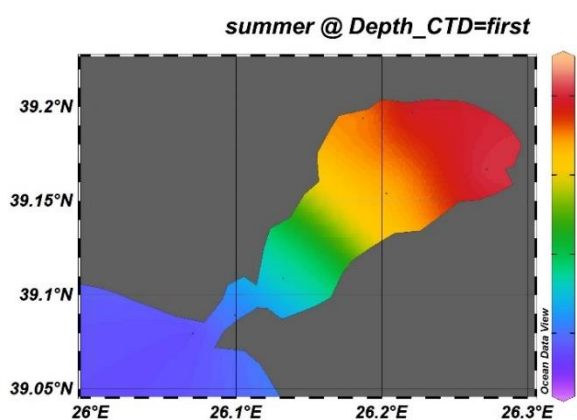
Οι ενώσεις του αζώτου που συμμετέχουν στις βιολογικές διεργασίες των υδάτινων οικοσυστημάτων είναι τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ), τα νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ), τα αμμωνιακά ( $\text{NH}_4^+$ ) ιόντα καθώς και το οργανικό άζωτο. Τα τελευταία μπορούν να αποκτήσουν έντονα τοξική επίδραση στους υδρόβιους οργανισμούς. Τα παραπάνω ιόντα του αζώτου προσλαμβάνονται έντονα από το φυτοπλαγκτόν. Τα φωσφορικά ιόντα παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο στις διαδικασίες του βιολογικού μεταβολισμού. Βασικές μορφές των διαλυτών ενώσεων του φωσφόρου αποτελούν τα διάφορα ανόργανα φωσφορικά άλατα, η πρόσληψη των οποίων γίνεται κυρίως κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης από το φυτοπλαγκτόν.



Εικόνα 21 : Επιφανειακή κατανομή μέσης συγκέντρωσης για (α) Νιτρώδη (β) Νιτρικά (γ) Φωσφορικά (δ) Πυριτικά -Καλοκαίρι 2009

Πιο συγκεκριμένα, τα νιτρώδη (εικόνα 21α), τα νιτρικά (εικόνα 21β) και φωσφορικά (εικόνα 21γ), φαίνεται να εντοπίζονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις κοντά στις εκβολές των ποταμών (ειδικά στις εκβολές του Βούβαρη). Αντίθετα τα πυριτικά (εικόνα 21δ), στα ίδια σημεία φαίνεται να έχουν τις μέγιστες συγκεντρώσεις τους (ανατολικά του κόλπου, στην περιοχή του Βούβαρη). Αυτό οφείλεται στο ότι η περιοχή αποτελείται σε μεγάλο μέρος από ηφαιστιογενή πετρώματα πλούσια σε πυριτικά, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί και το κύριο συστατικό της άμμου. Τα νιτρικά και φωσφορικά

εμφανίζουν παρόμοια κατανομή στον χώρο με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις να εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα του κόλπου. Τα νιτρόδη συσσωρεύονται κυρίως στο δίαυλο του κόλπου ενώ η συγκέντρωσή τους πέφτει στο ανοιχτό Αιγαίο.



Εικόνα 22 : Επιφανειακή κατανομή Chl-a - Καλοκαίρι 2009

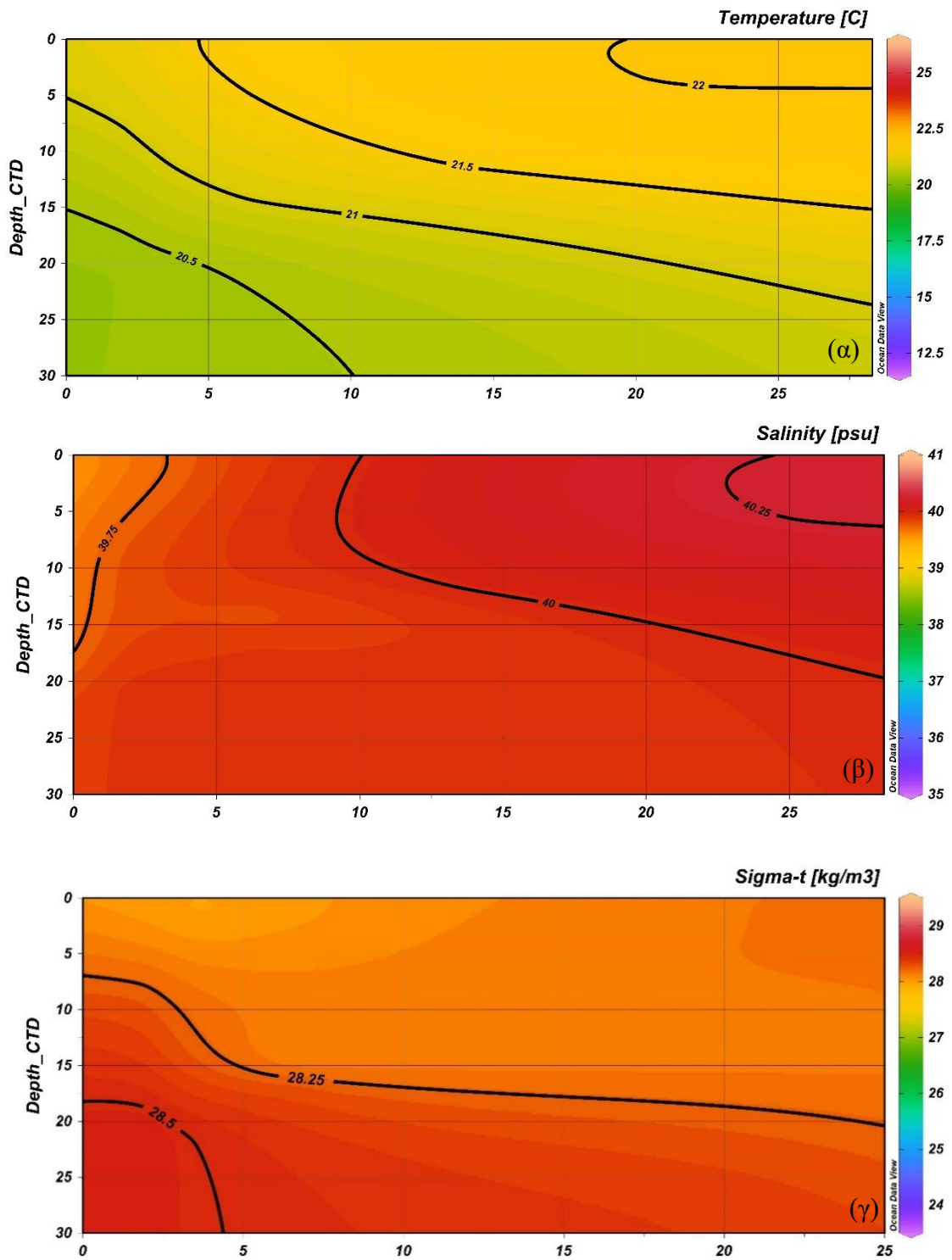
Στην εικόνα 22 αναπαρίσταται η κατανομή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης (Chl-a). Όπως φαίνεται, η μεγαλύτερη συγκέντρωση εντοπίζεται στο εσωτερικό του κόλπου και πέφτει καθώς προχωράμε προς το δίαυλο και το ανοιχτό Αιγαίο. Η χλωροφύλλη είναι προϊόν των άλγεων, των θαλάσσιων φυτών και του φυτοπλαγκτού. Η ελάχιστη βροχόπτωση σε σχέση με την μικρή κινητικότητα του νερού και την αφθονία ηλιακής ακτινοβολίας συμβάλλουν άμεσα στην πα-

ραγωγή χλωροφύλλης και άρα είναι αναμενόμενη η ύπαρξη υψηλών τιμών σε αυτό το σημείο του κόλπου και την συγκεκριμένη εποχή. Ακόμα ένας παράγοντας είναι η συσσώρευση θρεπτικών από την άνοιξη του 2009 σε συνάρτηση με τον μικρό χρόνο ανανέωσης που χαρακτηρίζει τον κόλπο.

## ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ 2009

Αναφορικά με το φθινόπωρο του 2009, ο μήνας με το μεγαλύτερο όγκο βροχής είναι ο Νοέμβριος με 126.6 mm (εικόνα 13), οπότε κατά το συγκεκριμένο μήνα αναμένουμε να υπάρξει αφθονία θρεπτικών συστατικών εξαιτίας του νερού που θα καταλήξει στον κόλπο, τόσο με την μορφή των κατακρημνίσεων, όσο και την επιφανειακή απορροή.

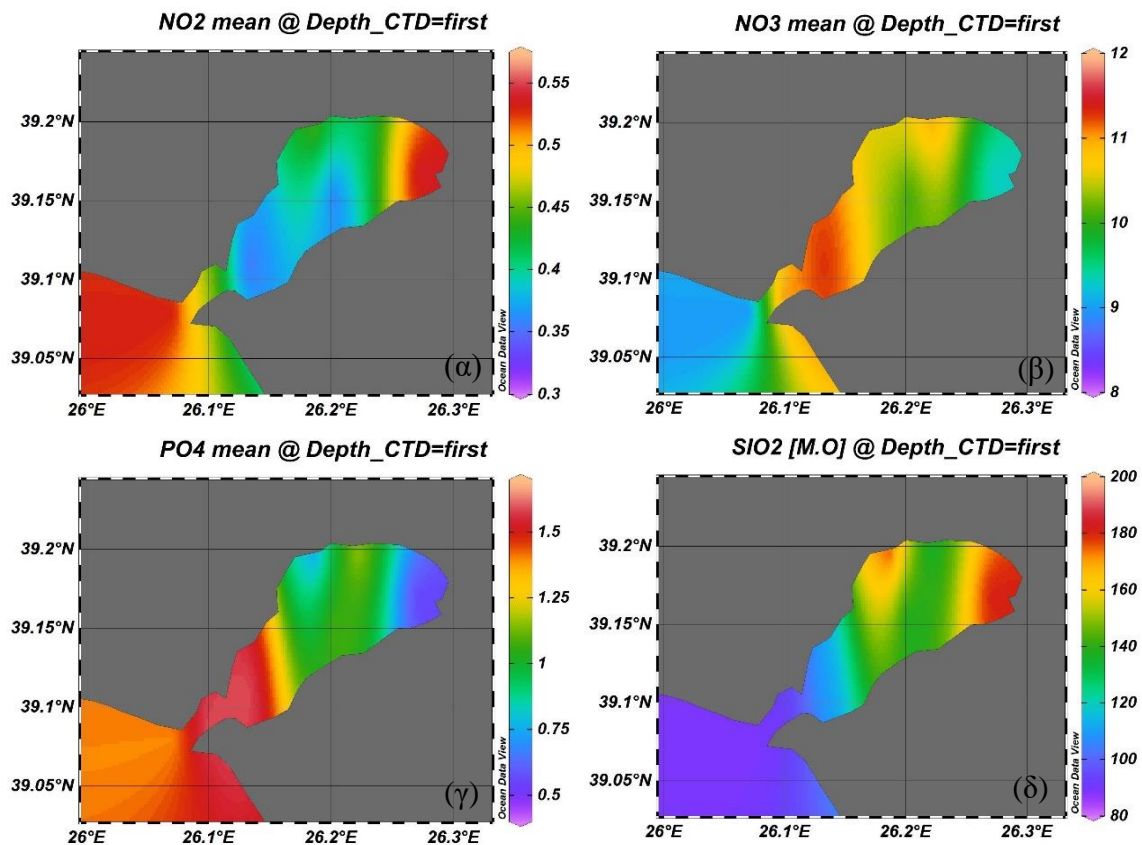
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα θερμοκρασίας, αλατότητας και πυκνότητας (εικόνα 23). Παρατηρούμε ότι οι τιμές της πυκνότητας [ $\text{Kg/m}^3$ ] (εικόνα 23γ), είναι αυξημένες. Αυτό εντοπίζεται κυρίως κατά το Σεπτέμβριο (26 mm) και τον Οκτώβριο (16.4 mm) που οι κατακρημνίσεις είναι σαφώς μικρότερες σε σχέση με αυτές του Νοεμβρίου του 2009. Η διαφορά πυκνότητας προκαλεί την στρωμάτωση του νερού, ενώ έχει ως συνέπεια τον εγκλωβισμό των θρεπτικών συστατικών στην ανώτερη στοιβάδα. Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου η στρωμάτωση αυτή χαλαρεί, λόγω της πτώσης της θερμοκρασίας και των πολλών βροχοπτώσεων.



Εικόνα 23 : (α) Θερμοκρασία νερού, (β) Αλατότητα, (γ) Πυκνότητα- Φθινόπωρο 2009

Παρατηρώντας το διάγραμμα της θερμοκρασίας [ $^{\circ}\text{C}$ ] για το φθινόπωρο του 2009 (εικόνα 23α), φαίνεται ότι αυτή μειώνεται με την αύξηση του βάθους. Οι συνθήκες και η θερμοκρασία που επικρατούν στον πυθμένα επηρεάζουν τον ρυθμό ανάπτυξης της Chl-a. Σε συνδυασμό με τη φωτοσύνθεση που πραγματοποιείται από μεγάλο αριθμό μικροοργανισμών καθορίζεται η ο βαθμός απορρόφησης και αφομοίωσης των θρεπτικών αλάτων.

Η αλατότητα [psu] (εικόνα 23β) έχει άμεση σχέση με τις ποσότητες του διαλυμένου οξυγόνου που υπάρχουν διαθέσιμες μέσα στο υδάτινο σώμα. Όσο αυξάνεται η αλατότητα, τόσο μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο και αυτό επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2009, λόγω της έντονης ηλιοφάνειας και των υψηλών θερμοκρασιών, η διαδικασία της φωτοσύνθεσης διευκολύνεται. Τα αποτελέσματα μιας γενικευμένης αύξησης της παραγωγικότητας γίνονται αισθητά κατά κύριο λόγο το φθινόπωρο. Από το διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι εξαιτίας των υψηλών τιμών αλατότητας που συναντάμε κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου του 2009, με μέγιστη τιμή 40.25 psu στα επιφανειακά στρώματα νερού και στο εσωτερικό του κόλπου, το νερό είναι πιο πυκνό επομένως η κίνηση των υδάτων είναι μειωμένη σε σχέση με το καλοκαίρι.



Εικόνα 24 : Επιφανειακή κατανομή συγκεντρώσεων για (α)νιτρώδη (β)νιτρικά (γ)φωσφορικά (δ)πυριτικά Φθινόπωρο 2009

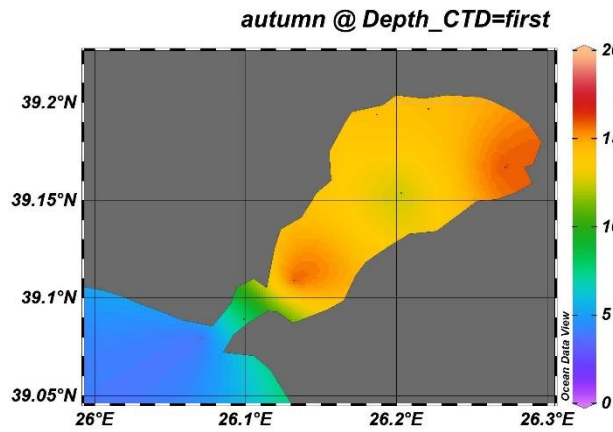
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται στις συγκεντρώσεις των διάφορων θρεπτικών (εικόνα 24). Μεγάλες ποσότητες από φωσφορικά και νιτρικά άλατα είναι ικανές να δημιουργήσουν ανισορροπία στο θαλάσσιο οικοσύστημα και να οδηγήσουν στην εκδήλωση ευτροφικών επεισοδίων. Ένα από τα θρεπτικά συστατικά που καταλήγουν στον κόλπο και εξετάστηκαν είναι τα νιτρώδη (εικόνα 24α). Παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις συναντώνται στα βορειοανατολικά παράλια του κόλπου, στις εκβολές του ποταμού Βούβαρη, αλλά και στην ανοιχτή θάλασσα. Στο κεντρικό τμήμα του κόλπου έχουμε χαμηλότερες τιμές. Αυτή η μεταβολή στη συγκέντρωση, οφείλεται κυρίως στις ανθρώπινες δραστηριότητες που συντελούνται στα παράλια του κόλπου και έχουν ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση στην θάλασσα μεγάλων ποσοτήτων από νιτρώδη ( πχ στα πλαίσια μιας κατοικίας).

Στην περίπτωση των νιτρικών (εικόνα 24β), γίνεται εμφανές ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται στο νότιο τμήμα του κόλπου, λίγο πριν το διάυλο επικοινωνίας, καθώς κινούμαστε από τα παράλια προς το Αιγαίο(όπως συμβαίνει και το καλοκαίρι). Μάλιστα είναι αισθητά μεγαλύτερες σε σχέση μ' αυτές που προέκυψαν για τα νιτρώδη. Αν συγκρίνουμε τις μέγιστες τιμές με τις αντίστοιχες των καλοκαιρινών μηνών, παρατηρούμε ότι είναι αυξημένες. Καθοριστικός παράγοντας και σ' αυτή την περίπτωση είναι ο άνθρωπος και οι δραστηριότητές του. Πιο συγκεκριμένα, η γεωργική και κτηνοτροφική παραγωγή που παρατηρείται στην περιοχή οδηγεί καθημερινά στη διάχυση μεγάλων ποσοτήτων των συγκεκριμένων θρεπτικών στον κόλπο κι αυτό έχει ως άμεση συνέπεια την υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων.

Τα φωσφορικά (εικόνα 24γ) εντοπίζονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις κυρίως στα νότια του κόλπου, στο στενό διάυλο επικοινωνίας με την ανοιχτή θάλασσα αλλά και γενικότερα στη ανοιχτή θάλασσα. Οι χαμηλότερες τιμές του παρατηρούνται στα παράλια του κόλπου και ειδικότερα στις εκβολές του Βούβαρη και του Τσικνιά. Τα φωσφορικά εισέρχονται διαρκώς στο θαλάσσιο περιβάλλον μέσω των ποταμών κι άλλων επιφανειακών υδάτων. Κατά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο και ιδίως μέσα στον Νοέμβριο του 2009 που παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη ποσότητα βροχόπτωσης περιμένουμε έντονο εμπλουτισμό των υδάτων με θρεπτικά άλατα εξαιτίας της έντονης επιφανειακής απορροής. Με αυτά τα δεδομένα είναι αναμενόμενη η αύξηση που υπάρχει στις τιμές των συγκεντρώσεων σε σχέση με το καλοκαίρι.

Το τελευταίο θρεπτικό που εξετάστηκε είναι τα πυριτικά (εικόνα 24δ). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υπάρχουν στα παράλια του κόλπου στις εκβολές των ποταμών (κυρίως στα βορειοανατολικά που εντοπίζεται ο ποταμός Βούβαρης), ενώ οι μικρότερες στην ανοιχτή θάλασσα. Συγκριτικά με τα υπόλοιπα θρεπτικά που εξετάστηκαν βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κι αυτό οφείλεται στο ότι χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας και σε πληθώρα βιομηχανιών(πχ ελαιοτριβείο). Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στον καθορισμό των συγκεντρώσεων των πυριτικών. Συγκριτικά με τις μέγιστες τιμές του καλοκαιριού εδώ παρατηρείται η μεγαλύτερη αύξηση ανάμεσα στα θρεπτικά συστατικά που εξετάστηκαν.





Εικόνα 25 : Επιφανειακή κατανομή Chl-a  
- Φθινόπωρο 2009

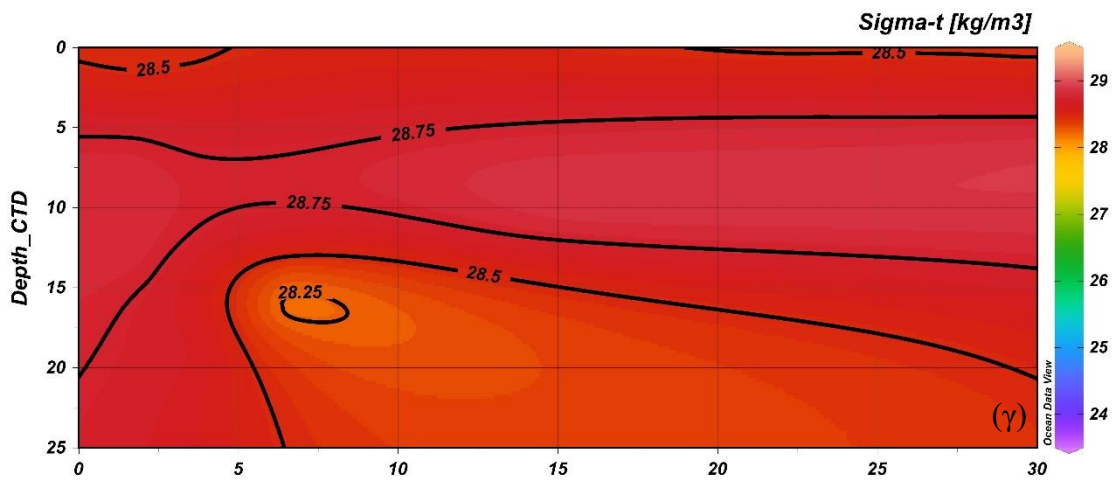
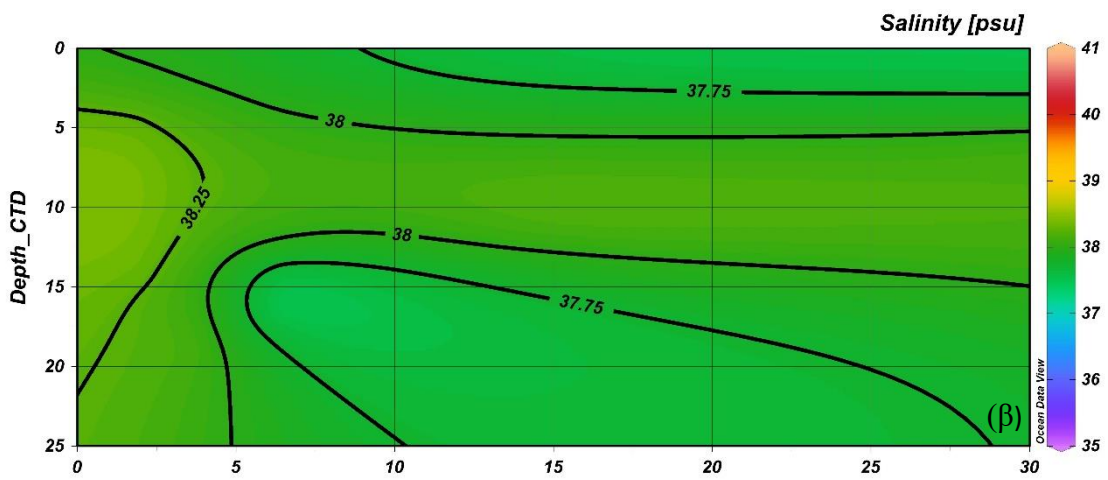
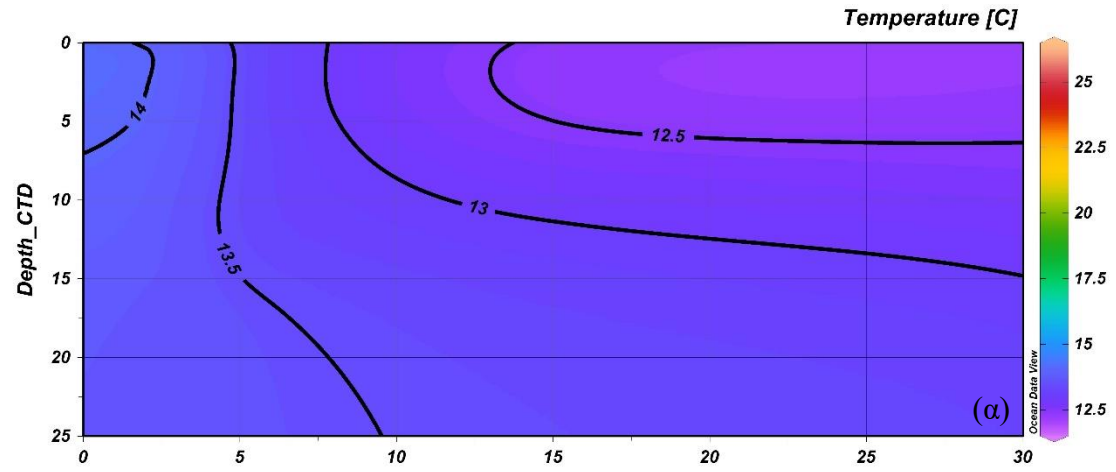
Όπως φαίνεται στην εικόνα 25, η κατανομή της χλωροφύλλης (Chl-a) στον κόλπο έχει επηρεαστεί από τις αλλαγές που υπάρχουν στις φυσικές και στις χημικές παραμέτρους σε σχέση με το καλοκαίρι. Πιο συγκεκριμένα, το προφίλ της κατανομής που παρατηρούμε είναι ένα ενδιαμέσο στάδιο ανάμεσα στο καλοκαίρι και στο χειμώνα, όπου περιμένουμε να εμφανιστούν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις για τη Chl-a. Υπάρχει μία ομοιόμορφη τιμή της συγκέντρωσης στο εσωτερικό του κόλπου που είναι σαφώς μεγαλύτερη αριθ-

μητικά σε σχέση με την ανοιχτή θάλασσα. Οι μεγαλύτερες τιμές φαίνεται να εντοπίζονται στα βορειοανατολικά παράλια του κόλπου, στην περιοχή του ποταμού Βούβαρη. Όπως σχολιάστηκε και προηγουμένως τόσο η αλατότητα, όσο και τα φωσφορικά άλατα είναι αυξημένα οπότε μ' αυτό τον τρόπο δικαιολογείται κι η αύξηση στην συγκέντρωση της Chl-a.

## ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2009-2010

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα του 2009-2010, η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 8.38 °C έως 11.11 °C όπως φαίνεται στις εικόνα 12, με τη μέγιστη θερμοκρασία να συναντάται τον μήνα Δεκέμβριο του 2009, ενώ τον Ιανουάριο του 2010, είχαμε την ελάχιστη τιμή. Μάλιστα η συγκεκριμένη θερμοκρασία είναι η χαμηλότερη που μετρήθηκε κατά τη διάρκεια της μελέτης του κόλπου. Επομένως γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η μετάβαση από το φθινόπωρο στον χειμώνα θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υδάτινη στήλη, στην ποσότητα των θρεπτικών που υπάρχουν μέσα σ' αυτή και τελικά στην μελέτη του φαινομένου του ευτροφισμού.

Ο μήνας με το μικρότερο ύψος βροχής είναι ο Ιανουάριος με 130.1 mm (εικόνα 13), ενώ αυτός με το μεγαλύτερο είναι ο Φεβρουάριος με 269.3 mm. Η μέτρηση της βροχόπτωσης για τον Φεβρουάριο είναι η μεγαλύτερη που βρέθηκε για την περίοδο μελέτης του κόλπου. Οι αυξημένες απορροές που περιμένουμε να καταλήξουν στον κόλπο μέσω των ποταμών αναμένεται να έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην ισορροπία του θαλάσσιου οικοσυστήματος της περιοχής. Στη συνέχεια (εικόνα 26) παρατίθενται τα διαγράμματα ODV για τις φυσικές παραμέτρους που χαρακτήρισαν τον κόλπο της Καλλονής για το χειμώνα 2009-2010.

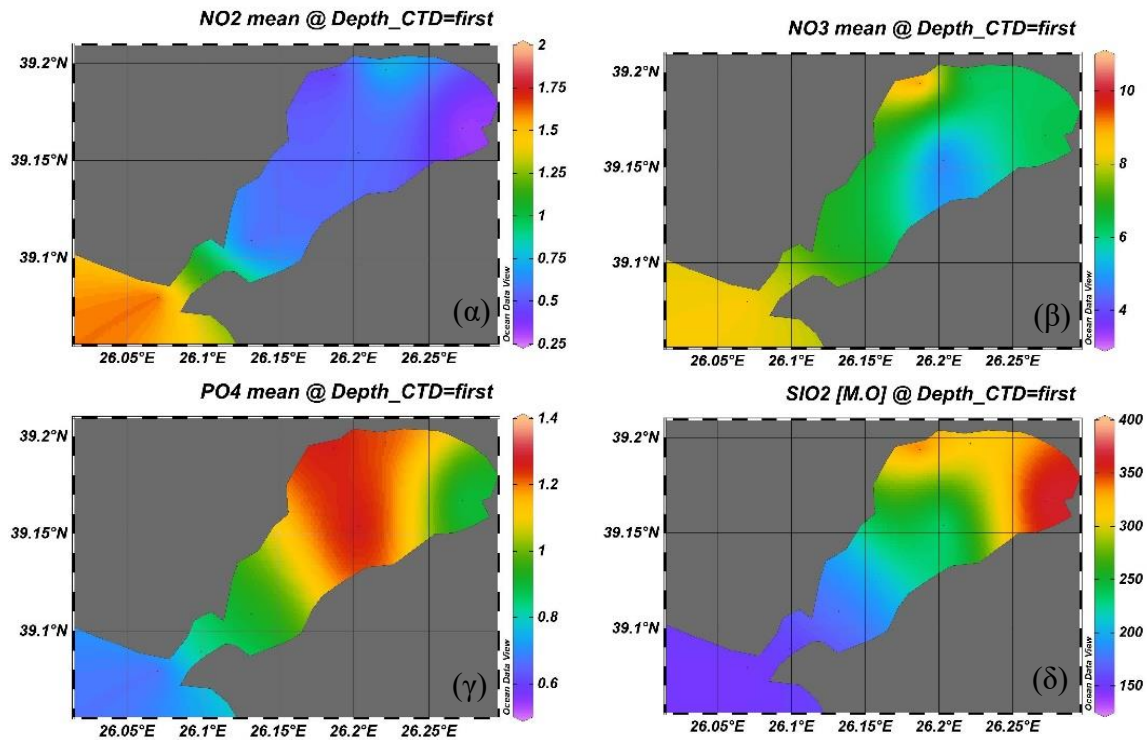


Εικόνα 26: (α) Θερμοκρασία νερού, (β) Αλατότητα, (γ) Πυκνότητα- Χειμώνας 2009-2010

Η πυκνότητα [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ], όπως προκύπτει από το αντίστοιχο διάγραμμα (εικόνα 26γ), φαίνεται να είναι εμφανώς αυξημένη σε σχέση με τις τιμές που είχαμε το φθινόπωρο του 2009. Ωστόσο άξιο αναφοράς είναι το προφίλ της διακύμανσης της πυκνότητας συναρτήσει του βάθους του νερού. Παρατηρούμε ότι ενώ το φθινόπωρο του 2009, η πυκνότητα αυξάνεται με το βάθος (εικόνα 23γ) και τελικά η μέγιστη τιμή της ( $27.50 \text{ Kg}/\text{m}^3$ ) εντοπίζεται στα βαθύτερα στρώματα, κατά το χειμώνα του 2009-2010, η μέγιστη τιμή της ( $28.75 \text{ Kg}/\text{m}^3$ ) βρίσκεται κατά κύριο λόγο στο ενδιάμεσο ή μεταβατικό στρώμα. Ακόμα ένα ενδιαφέρον στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι η ελάχιστη τιμή ( $28.25 \text{ Kg}/\text{m}^3$ ) ανήκει στα βαθύτερα ύδατα, αναδεικνύοντας μ' αυτό τον τρόπο την αστάθεια της στήλης του νερού τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο του χρόνου. Τα παραπάνω είναι αποτέλεσμα της καταστροφής του επιφανειακού στρώματος ανάμιξης αλλά και του εποχιακού θερμοκλινούς, που ήδη είχε αρχίσει κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου. Στα διαγράμματα των φυσικών παραμέτρων της υδάτινης στήλης γίνεται με τον πιο έντονο τρόπο φανερό η πλήρης ομογενοποίησή της το χειμώνα.

Στο κομμάτι της αλατότητας [psu] (εικόνα 26β), βλέπουμε ότι υπάρχει μια γενικότερη μείωση αλλά και σ' αυτή την περίπτωση εντοπίζεται διαφορά στη διακύμανση σε σχέση με το αντίστοιχο διάγραμμα του φθινοπώρου του 2009. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή κατά τους φθινοπωρινούς μήνες βρίσκεται στο επιφανειακό στρώμα ενώ το χειμώνα και υπό την επίδραση της ομογενοποίησης της στήλης του νερού, οι μέγιστες τιμές της αλατότητας είναι  $38.25 \text{ psu}$  στα ενδιάμεσα κυρίως βάθη. Η μεταβολή στο μέγεθος της αλατότητας είναι αναμενόμενη εξαιτίας της μειωμένης ηλιοφάνειας.

Όπως είναι λογικό, η θερμοκρασία του νερού στην περίοδο του χειμώνα 2009-2010 (εικόνα 26α) μειώνεται σε μεγάλο βαθμό και μάλιστα συναντάμε και την μικρότερη τιμή που είναι οι  $12.5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Η επίδραση της καταστροφής του εποχιακού θερμοκλινούς και του επιφανειακού στρώματος ανάμιξης είναι αισθητή και στην μελέτη της συγκεκριμένης φυσικής παραμέτρου. Με άλλα λόγια σε αντίθεση με την περίπτωση του καλοκαιριού του 2009 και του φθινοπώρου του ίδιου έτους, όπου η θερμοκρασία των υδάτων μειωνόταν με το βάθος, το χειμώνα του 2009-2010, βλέπουμε εν μέρει να πραγματοποιείται κάτι τέτοιο. Ενώ η μέγιστη θερμοκρασία των  $14 \text{ }^\circ\text{C}$  συναντάται στα μικρότερα βάθη, με τη βοήθεια των ισόθερμων και όσο προχωράμε προς το εσωτερικό του κόλπου βλέπουμε ότι η θερμοκρασία αυξάνεται με το βάθος.



Εικόνα 27 : Επιφανειακή κατανομή συγκεντρώσεων για (α)νιτρώδη (β)νιτρικά (γ)φωσφορικά (δ)πυριτικά Χειμώνας 2009-2010

Η μελέτη των θρεπτικών συστατικών κατά τη διάρκεια του χειμώνα 2009-2010, έδωσε τα διαγράμματα που φαίνονται στην εικόνα 27. Σημαντικό στοιχείο που είναι χρήσιμο να τονισθεί από την αρχή, είναι η μικρή παραγωγικότητα που χαρακτηρίζει τους φυτικούς οργανισμούς του θαλάσσιου περιβάλλοντος μελέτης, εξαιτίας της μειωμένης τόσο σε διάρκεια, όσο και σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό το γεγονός διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στις συγκεντρώσεις των περισσότερων θρεπτικών συστατικών που μελετήθηκαν αλλά και στις επιπτώσεις που έχουν τα τελευταία στις βιολογικές διεργασίες του οικοσυστήματος βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα.

Τα νιτρώδη (εικόνα 27α), όπως τονίστηκε και παραπάνω είναι στενά συνδεδεμένα με τις ανθρώπινες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στα όρια του κόλπου. Για τα συγκεκριμένα θρεπτικά συστατικά παρατηρήθηκε μια γενικότερη μείωση, σε σχέση με τις προηγούμενες εποχές. Αυτή η μείωση είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις τιμές των συγκεντρώσεων που βρέθηκαν για το καλοκαίρι του 2009 και μικρότερη συγκριτικά με το φθινόπωρο του 2009. Σ' όλη την έκταση του κλειστού κόλπου συναντάμε μικρές σχετικά τιμές, ενώ στο Αιγαίο μεγαλύτερες. Στα πλαίσια του στενού διαύλου επικοινωνίας του κόλπου με την ανοιχτή θάλασσα, επικρατεί μία ενδιάμεση κατάσταση αναφορικά με τις συγκεντρώσεις. Συμπερασματικά, οι τιμές των συγκεντρώσεων για τα νιτρώδη, μειώνονται καθώς προχωράμε από το Αιγαίο προς το εσωτερικό του κόλπου.

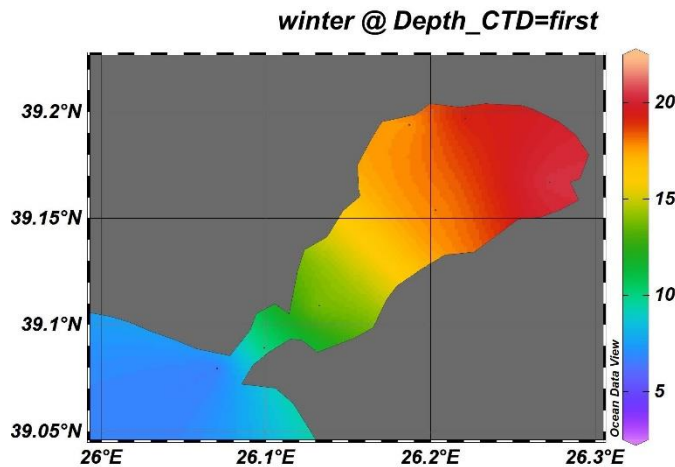
Η δεύτερη ένωση του αζώτου με βαρύνουσα σημασία για το φαινόμενο του ευτροφισμού που μελετήθηκε, είναι τα νιτρικά (εικόνα 27β). Η κατανομή των νιτρικών, εμφανίζει παρόμοια εικόνα μ' αυτή που σχημάτισαν τα νιτρώδη. Οι μεγαλύτερες τιμές υφίστανται στο βορειοδυτικό τμήμα του κόλπου στις εκβολές των ποταμών Ποταμιάς και Τσικνιά, όπως και στην ανοιχτή θάλασσα. Αντίθετα οι μικρότερες ποσότητες συγκεντρώνονται εντός του κόλπου και ιδίως στο κεντρικό του τμήμα. Αν επιχειρήσουμε να πραγματοποιήσουμε μία σύγκριση με τις προηγούμενες, θα δούμε ότι έχει υπάρξει δραστική μείωση σε σχέση με το καλοκαίρι του 2009 και μείωση μικρότερης κλίμακας με το φθινόπωρο του 2009.

Η μείωση που παρατηρήθηκε στις συγκεντρώσεις αυτών των δυο ιόντων του αζώτου είναι λογική, αφού οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις γεωργικές δραστηριότητες που πραγματοποιούνται στις περιοχές γύρω από τον κόλπο. Κατά τους χειμερινούς μήνες οι συγκεκριμένες δραστηριότητες δεν αναπτύσσονται με τους ανάλογους ρυθμούς του καλοκαιριού και του φθινοπώρου (Spatharis et al., 2009) Επομένως καταλήγουν στον κόλπο μικρότερες ποσότητες από λιπάσματα, κύρια προϊόντα των οποίων είναι ενώσεις του αζώτου που μπορεί να έχουν δυσμενή αποτελέσματα στην ισορροπία του υδάτινου οικοσυστήματος.

Το φωσφορικά (εικόνα 27γ) παρουσιάζουν μεγάλη μεταβολή στο προφίλ της συγκέντρωσης τους από εποχή σε εποχή. Πιο συγκεκριμένα, για το χειμώνα 2009-2010, οι μεγαλύτερες τιμές της συγκέντρωσής τους εντοπίζονται κυρίως στο κέντρο και στο βορειοδυτικό τμήμα του κόλπου, στις εκβολές του ποταμού Τσικνιά. Κατά μήκος του διαύλου αλλά και στο βορειοανατολικό κομμάτι του κόλπου παρατηρούμε ενδιάμεσες τιμές, ενώ στο Αιγαίο τις μικρότερες τιμές. Επομένως καθώς κινούμαστε από την ανοιχτή θάλασσα προς τον κόλπο αυξάνεται η συγκέντρωση. Αντίθετη εξέλιξη της συγκέντρωσης συγκριτικά με το φθινόπωρο του 2009. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα του 2009-2010 και εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας της βροχής αλλά και των επιφανειακών απορροών, οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών, παίρνουν πολύ μεγάλες τιμές και εντοπίζονται σε αρκετά μεγάλη έκταση. Υπάρχει δηλαδή συνεχής εμπλουτισμός των υδάτων. Τελικά, οι ενώσεις του φωσφόρου όπως και του αζώτου που επηρεάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την εξέλιξη και την ένταση του ευτροφισμού στα πλαίσια του κόλπου της Καλλονής, παρουσιάζουν μεγάλη χωρική και χρονική μεταβλητότητα.

Η κατανομή των συγκεντρώσεων των πυριτικών (εικόνα 27δ) παρουσιάζει, όπως και στην περίπτωση των άλλων εποχών που έχουν ήδη εξεταστεί, ανάλογη εικόνα. Ειδικότερα, στο Αιγαίο και στο διάυλο επικοινωνίας μ' αυτό, έχουμε τις χαμηλότερες τιμές. Ενδιάμεσες τιμές συγκέντρωσης συναντάμε στο κεντρικό τμήμα του κόλπου και μεγάλες στα βορειοανατολικά παράλια. Οι μέγιστες τιμές εντοπίζονται στα βορειοδυτικά του κόλπου όπως αντίστοιχα συμβαίνει το καλοκαίρι του 2009 και το φθινόπωρο του 2009. Επομένως παρατηρούμε μία αύξηση της ποσότητας καθώς κινούμαστε προς το εσωτερικό του κόλπου, η οποία γίνεται μέγιστη στα σημεία που καταλήγει η απορροή των επιφανειακών υδάτων. Με άλλα λόγια οι μεγαλύτερες τιμές βρίσκονται και πάλι κοντά στις εκβολές των ποταμών. Η μεγάλη διαφορά στις τιμές της συγκέντρωσης ανάμεσα στα πυριτικά και στα άλλα θρεπτικά στοιχεία που καταλήγουν στον υδάτινο αποδέκτη είναι φανερή σ' όλη τη διάρκεια του έτους, ανεξάρτητα από την εποχή που εξετάζουμε.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από τα παραπάνω κατά τη διάρκεια του χειμώνα παρατηρείται αφθονία θρεπτικών, ωστόσο η παραγωγικότητα κινείται σε χαμηλά επίπεδα. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο ότι η ένταση του ηλιακού φωτός είναι μικρή και το ευφωτικό στρώμα έχει μικρό πάχος. Μικρότερο από το πάχος του επιφανειακού μικτού στρώματος. Αυτή η πλήρης ομογενοποίηση που αναφέρθηκε και νωρίτερα επηρεάζει αισθητά όλες τις βιολογικές διεργασίες των οργανισμών του θαλάσσιου οικοσυστήματος και τελικά την ισορροπία.



*Εικόνα 28 : Επιφανειακή κατανομή Chl-a - Χειμώνας 2009-2010*

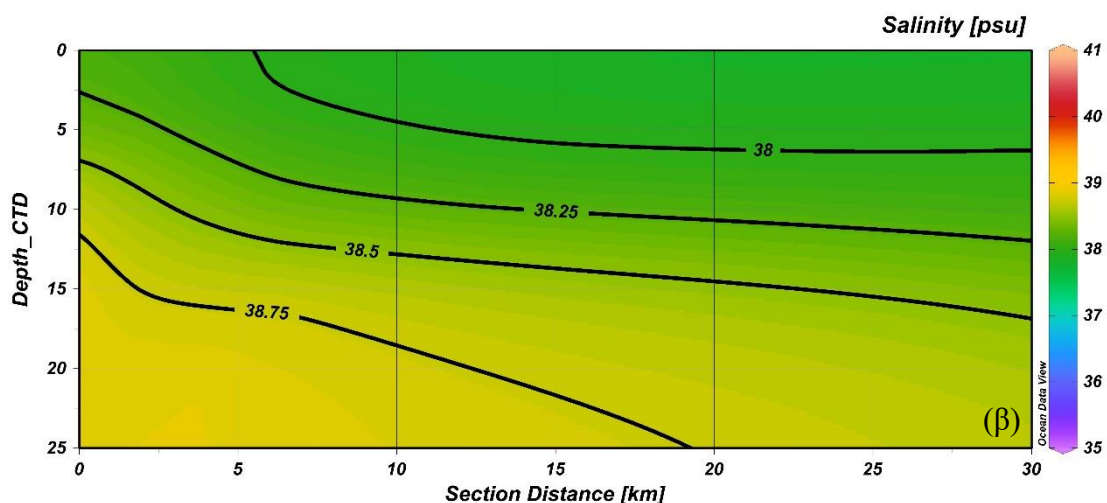
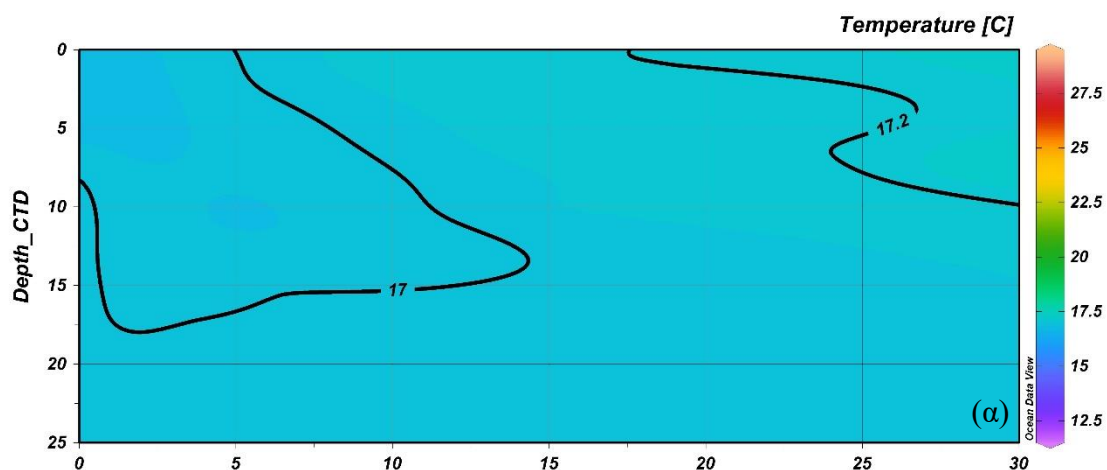
Στην εικόνα 28, φαίνεται η κατανομή της χλωροφύλλης (Chl-a) στον κόλπο της Καλλονής κατά τη διάρκεια του χειμώνα του 2009-2010. Τόσο οι φυσικές όσο και οι χημικές παράμετροι οδηγούν στην μέγιστη αύξηση της συγκέντρωσης της Chl-a. Όπως τονίστηκε και στο διάγραμμα της θερμοκρασίας τόσο του αέρα (εικόνα 12), όσο και του νερού (εικόνα 26α), αυτή την εποχή, συναντάμε στην περιοχή μελέτης τις ψυχρότερες ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα

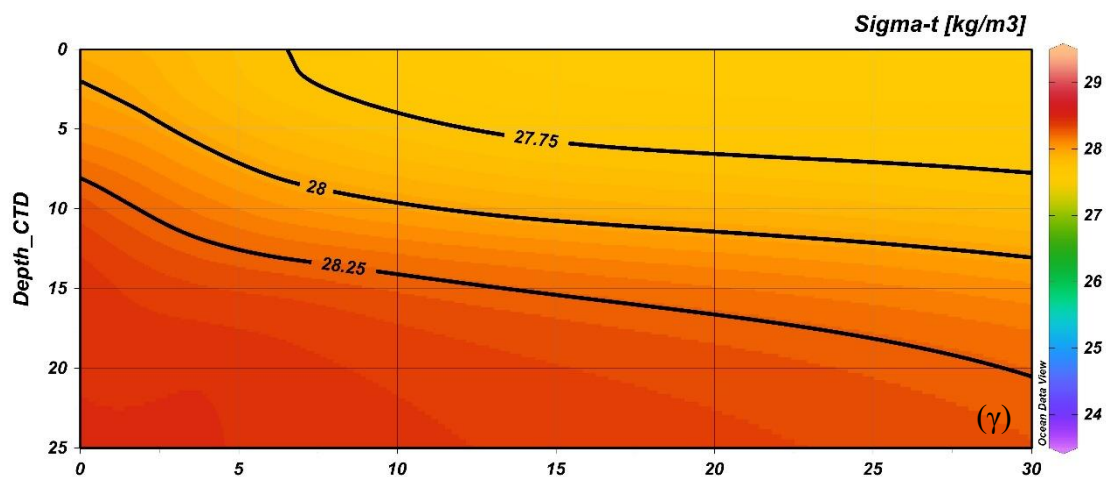
ψυχρότερα νερά. Οι δύο αυτοί παράγοντες είναι ευνοϊκοί για την υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης της Chl-a. Ακόμα μία συνιστώσα που οδηγεί στην αύξηση της Chl-a είναι τα αυξημένα φωσφορικά και νιτρικά άλατα που καταλήγουν στον κόλπο με τη βοήθεια της επιφανειακής απορροής. Οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται στο εσωτερικό του κόλπου και ιδίως στα παράλια, όπου ενισχύονται και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Όσο μετακινούμαστε προς το Αιγαίο οι τιμές μειώνονται. Οι συνθήκες που έχουν δημιουργηθεί με την εξέλιξη των εποχών, δηλαδή από το καλοκαίρι που ξεκίνησε η μελέτη της Chl-a, έως το χειμώνα, καταδεικνύουν με τον καλύτερο τρόπο την συνεχώς αυξανόμενη συγκέντρωση της. Τα αποτελέσματα που θα έχει αυτή η σταδιακή αύξηση και εξάπλωση στα πλαίσια του κόλπου της Καλλονής θα φανούν με την μελέτη που γίνεται παρακάτω για την άνοιξη του 2010.

## ΑΝΟΙΞΗ 2010

Η άνοιξη αποτελεί σημείο κλειδί για την εξέλιξη του φαινομένου του ευτροφισμού. Όπως προαναφέρθηκε, την άνοιξη η θάλασσα εμπλουτίζεται με θρεπτικά άλατα λόγω της έκπλυσης της χέρσου από τα υετήματα του χειμώνα. Οι άνεμοι της άνοιξης δημιουργούν ρεύματα και εξαπλώνουν ή κατευθύνουν τα θρεπτικά σε περιοχές. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα είτε την ομοιόμορφη κατανομή αυτών, είτε την συγκέντρωσή του σε ένα μέρος συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην εμφάνιση ευτροφικού επεισοδίου. Επομένως η μελέτη που πραγματοποιήθηκε για τις φυσικές αλλά και για τις χημικές παραμέτρους του κόλπου της Καλλονής είναι αρκετά σημαντική.

Όσον αφορά τις βροχοπτώσεις της περιοχής μελέτης για τη διάρκεια της άνοιξης του 2010 (εικόνα 13), παρατηρούμε πως ο μήνας με τις λιγότερες κατακρημνίσεις ήταν ο Απρίλιος του 2010 (9 mm), ενώ αυτός με τις περισσότερες ήταν ο Μάιος του 2010 (46.3 mm). Τα δεδομένα έχουν προκύψει ως άθροισμα των μετρήσεων από κάθε ώρα κάθε ημέρας του εκάστοτε μήνα. Με βάση το διάγραμμα της βροχόπτωσης (εικόνα 12) για την άνοιξη του 2010 αναμένουμε να καταλήξουν στον υδάτινο αποδέκτη αρκετά μεγάλες ποσότητες θρεπτικών συστατικών μέσω της επιφανειακής απορροής (πχ ποτάμια).





Εικόνα 29: (α) Θερμοκρασία νερού, (β) Αλατότητα, (γ) Πυκνότητα- Άνοιξη 2010

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα της πυκνότητας [ $\text{Kg/m}^3$ ] (εικόνα 29γ) για την άνοιξη του 2010, οι τιμές κυμαίνονται από  $27.75 \text{ Kg/m}^3$  έως  $28.25 \text{ Kg/m}^3$ . Η πυκνότητα αυξάνεται με το βάθος και οι τιμές είναι οριακά μικρότερες σε σχέση με αυτές που επικρατούσαν τον χειμώνα του 2009-2010. Το προφίλ της διακύμανσης της πυκνότητας έχει παρόμοια μορφή με τα αντίστοιχα του καλοκαιριού του 2009 και του φθινοπώρου του 2009. Το προηγούμενο συμπέρασμα προκύπτει τόσο από τις τιμές, όσο και από την μορφή των ισόπυκνων. Με αυτό τον τρόπο το σύστημα δίνει ένα πρώτο σημάδι μετακίνησης προς την ισορροπία μετά από την ασταθή εικόνα που παρουσίασε τον χειμώνα του 2009-2010 με την καταστροφή του εποχιακού θερμοκλινούς και την ομογενοποίηση της υδάτινης στήλης.

Στο διάγραμμα που προέκυψε για την κατανομή της αλατότητας [psu] (εικόνα 29β), κατά τη διάρκεια της άνοιξης του 2010, παρατηρούμε ότι υπάρχει αύξηση της τελευταίας με το βάθος. Με άλλα λόγια βλέπουμε όμοια εικόνα με αυτή του χειμώνα του 2009-2010. Οι τιμές παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες και αυτό έχει να κάνει κυρίως με το ποσό και την ένταση της ηλιοφάνειας στον κόλπο. Οι τιμές συνεχίζουν να βρίσκονται σε χαμηλότερο επίπεδο απ' αυτές που προέκυψαν για το καλοκαίρι του 2009 και το φθινόπωρο του 2009. Οι μεγαλύτερες τιμές συναντώνται κατά κύριο λόγο στο εξωτερικό τμήμα του κόλπου και σε μεγαλύτερα βάθη ( $38.75 \text{ psu}$ ), όπως τονίστηκε και προηγουμένως.

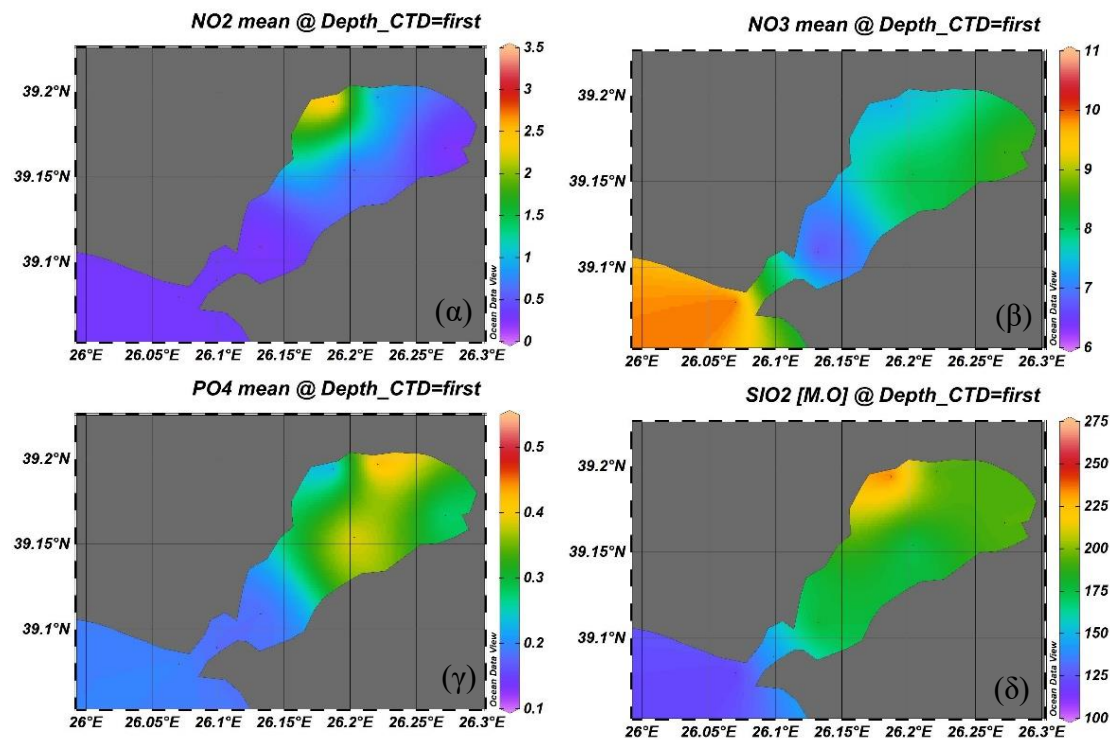
Μία ακόμα φυσική παράμετρος που μελετήθηκε είναι η θερμοκρασία [ $^{\circ}\text{C}$ ] (εικόνα 29α). Όπως συμβαίνει και με το χειμώνα του 2009-2010, η θερμοκρασία αυξάνεται όσο κινούμαστε προς το εσωτερικό του κλειστού κόλπου και η μεγαλύτερη τιμή που είναι οι  $17.2^{\circ}\text{C}$  εντοπίζονται στα μικρότερα βάθη. Σταδιακά το θαλάσσιο σύστημα προσπαθεί να επανέλθει σε μια κατάσταση ισορροπίας κι αυτό γίνεται εμφανές τόσο από τις φυσικές παραμέτρους που φαίνονται παραπάνω, όσο κι από τις χημικές που θα εξεταστούν στην συνέχεια.



Κατά την περίοδο της άνοιξης, μόλις αποκατασταθεί η ισορροπία, ανάμεσα στην ευφωτική ζώνη και στο στρώμα της ανεμογενούς ανάμιξης (φαινόμενο που πραγματοποιείται με την αύξηση της ευφωτικής ζώνης που καταστράφηκε τον χειμώνα), θα υπάρξει αύξηση της παραγωγικότητας. Ταυτόχρονα σχηματίζεται και το εποχιακό θερμοκλινές, το οποίο απομονώνει τα θρεπτικά άλατα στο επιφανειακό στρώμα. Παράλληλα, εμποδίζει την ανανέωση των τελευταίων από τα βαθύτερα στρώματα.

Η αφθονία των θρεπτικών που υπάρχουν στην υδάτινη στήλη, ήδη από την περίοδο του χειμώνα, μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας, καθορίζουν κατά κύριο λόγο τον ρυθμό της παραγωγικότητας του θαλάσσιου συστήματος. Όπως γίνεται φανερό κι από τα διαγράμματα που ακολουθούν την άνοιξη η εκδήλωση του φαινομένου του ευτροφισμού είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις ποσότητες των φωσφορικών και νιτρικών αλάτων που υπάρχουν διαθέσιμα αλλά και που συνεχώς ανανεώνονται. Ανάποσπαστο κομμάτι της παραπάνω κατάστασης πρέπει να θεωρούνται και οι ποσότητες της χλωροφύλλης (Chl-a), οι οποίες θα εξεταστούν λίγο παρακάτω.

Στη συνέχεια (εικόνα 30) παρουσιάζονται, με τη βοήθεια των διαγραμμάτων του ODV, οι χημικές παράμετροι που εξετάστηκαν για τον κόλπο της Καλλονής κατά τη διάρκεια της άνοιξης του 2010. Μία πρώτη ανάγνωση των διαγραμμάτων κάνει φανερό πως τόσο τα νιτρικά και τα νιτρώδη, όσο και τα φωσφορικά, έχουν μειωθεί. Αυτό συμβαίνει εντός και εκτός του κλειστού κόλπου. Αντίστοιχη μείωση παρατηρείται και στα πυριτικά. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες που πραγματοποιούνται, έχουν κι αυτές σημαντικό αντίκτυπο στην μεταβολή των συγκεντρώσεων των διάφορων χημικών παραμέτρων που μελετήθηκαν και σχετίζονται με το φαινόμενο του ευτροφισμού.



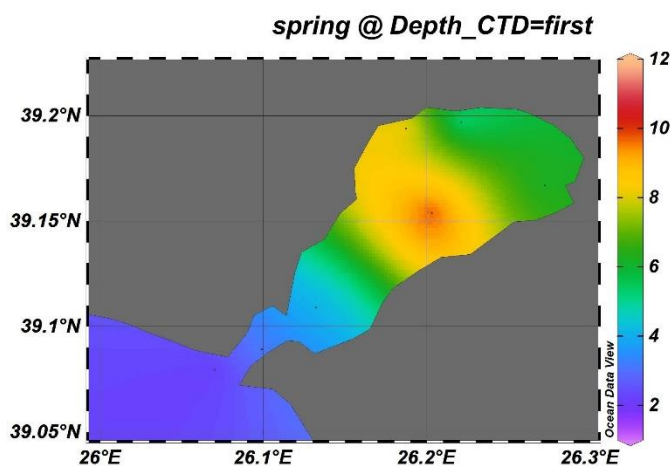
Εικόνα 30 : Επιφανειακή κατανομή συγκεντρώσεων (α)νιτρώδη (β)νιτρικά (γ)φωσφορικά (δ)πυριτικά Άνοιξη 2010

Το πρώτο θρεπτικό στοιχείο που εξετάστηκε κατά τη διάρκεια της άνοιξης του 2010 είναι τα νιτρώδη. Όπως φαίνεται κι από το αντίστοιχο διάγραμμα (εικόνα 30α), εντός του κόλπου καθώς και στο Αιγαίο επικρατούν οι μικρότερες συγκεντρώσεις. Επομένως βγάζουμε το συμπέρασμα ότι στα πλαίσια του κόλπου έχουμε παρόμοια κατανομή της συγκέντρωσης σε σχέση με το χειμώνα του 2009-2010, ενώ στο Αιγαίο παρατηρούμε ότι υπήρξε μείωση. Γενικότερα, υπάρχει μια μεταβολή της συγκέντρωσης στα βορειοδυτικά του κόλπου και πιο συγκεκριμένα στις εκβολές των ποταμού Τσικνιά, όπου και συναντάμε τις μεγαλύτερες τιμές γι' αυτή την εποχή του χρόνου. Τελικά μπορούμε να πούμε ότι ο χειμώνας του 2009-2010 και η άνοιξη του 2010, διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό μόνο ως προς τις συγκεντρώσεις που υπάρχουν στο Αιγαίο αναφορικά με τα νιτρώδη.

Στην περίπτωση των νιτρικών (εικόνα 30β), βλέπουμε ότι κατά την περίοδο της άνοιξης του 2010, οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται στο Αιγαίο και οι ενδιάμεσες στο βορειοανατολικό τμήμα του κόλπου και πιο συγκεκριμένα στις εκβολές των ποταμού Βούβαρη, που καταλήγουν στον υδάτινο αποδέκτη. Αντίθετα, στο κυρίως τμήμα του κόλπου συναντάμε μικρές συγκεντρώσεις. Αν επιχειρήσουμε να κάνουμε μία σύγκριση ανάμεσα στις κατανομές των συγκεντρώσεων ανάμεσα στο χειμώνα του 2009-2010 και την άνοιξη του 2010, θα παρατηρήσουμε ανάλογα προφίλ, με κύρια διαφορά την μεταφορά των μέγιστων συγκεντρώσεων από το βορειοδυτικό τμήμα του κόλπου στο βορειοανατολικό. Αυτή η μετατόπιση των μέγιστων τιμών οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις ανθρώπινες δραστηριότητες και την εποχικότητα που τις χαρακτηρίζει.

Τα φωσφορικά (εικόνα 30γ) που εντοπίστηκαν την άνοιξη του 2010 έχουν παρόμοια χωρική κατανομή με τ' αντίστοιχα του χειμώνα του 2009-2010. Πιο συγκεκριμένα, οι μικρότερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται στο Αιγαίο και κυρίως στο διάλυο επικοινωνίας του κόλπου μ' αυτό. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υπάρχουν στο κεντρικό τμήμα του κόλπου. Οπότε καθώς προχωράμε από το Αιγαίο προς το εσωτερικό της περιοχής μελέτης υπάρχει αύξηση της συγκέντρωσης των φωσφορικών. Ο εμπλουτισμός των υδάτων με φωσφορικά και νιτρικά άλατα είναι συνεχής. Οι μέγιστες τιμές της συγκέντρωσης είναι στενά συνδεδεμένες με τις κατακρημνίσεις που μέσω της επιφανειακής απορροής μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες αυτών των αλάτων στην θαλάσσια μάζα. Επομένως κατά την διάρκεια της άνοιξης του 2010 και κυρίως του χειμώνα του 2009-2010, είναι λογικό να έχουν αυξημένες τιμές των συγκεκριμένων θρεπτικών.

Τα πυριτικά (εικόνα 30δ), είναι το θρεπτικό συστατικό που κατά τη διάρκεια της μελέτης του ευτροφισμού στον κόλπο της Καλλονής, εμφάνισε τη μεγαλύτερη σταθερότητα αναφορικά με την χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων. Όπως σχολιάστηκε ήδη στις εποχές που προηγήθηκαν η συγκέντρωση αυξάνεται καθώς κινούμαστε από την ανοιχτή θάλασσα προς το εσωτερικό του κόλπου και οι μέγιστες τιμές εντοπίζονται στα βορειοδυτικά παράλια και πιο συγκεκριμένα στις εκβολές των ποταμού Τσικνιά. Επομένως έχει παρατηρηθεί μία συνεχής ανανέωση των υδάτων με ενώσεις του πυριτίου. Ωστόσο κατά τη διάρκεια των μηνών της άνοιξης του 2010 έχουμε μία πτώση στις μέγιστες συγκεντρώσεις. Αυτή η εικόνα έρχεται σε αντίθεση με την όλο και αυξανόμενη ποσότητα των πυριτικών που μετρήθηκαν στον κόλπο και πιο ειδικά στα παράλιά του.



Εικόνα 31 : Επιφανειακή κατανομή συγκέντρωσης Chl-a - Άνοιξη 2010

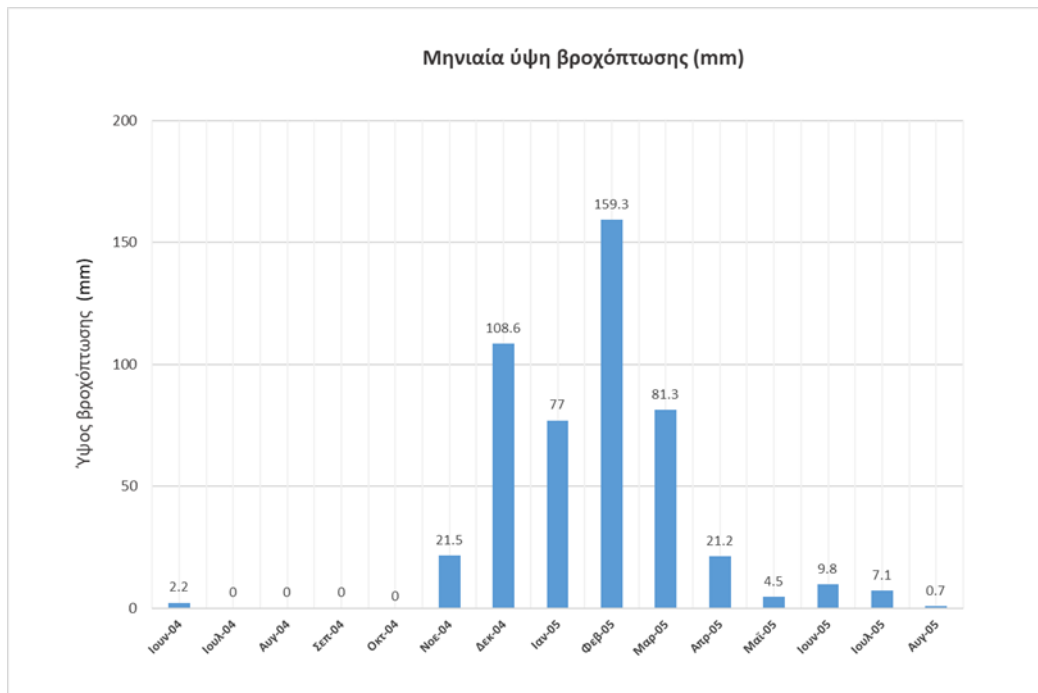
Όπως γίνεται εμφανές από το διάγραμμα της κατανομής των συγκεντρώσεων της Chl-a (εικόνα 31), υπάρχει μείωση σε σχέση με το χειμώνα του 2009-2010. Ειδικότερα, παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη στο κεντρικό και βορειοδυτικό κομμάτι του κόλπου. Ενδιάμεσες τιμές συγκέντρωσης υπάρχουν στο κεντρικό τμήμα, ενώ οι μικρότερες εντοπίζονται στο Αιγαίο και στο διάυλο επικοινωνίας μ' αυτό. Το χειμώνα του 2009-2010 (όπως αντίστοιχα

και τους καλοκαίρι του 2009), οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις είχαν εντοπιστεί στο βορειοδυτικό τμήμα του κόλπου. Η μικρή μείωση που παρατηρήθηκε τόσο στα νιτρικά, όσο και στα φωσφορικά είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο έχουμε μικρότερες συγκεντρώσεις Chl-a.

### 3.3 Μετεωρολογικά στοιχεία (2004-2005)

Προκειμένου να σχηματίσουμε μια πιο σφαιρική εικόνα για τα χαρακτηριστικά και την συμπεριφορά του κόλπου της Καλλονής, μελετήθηκε ένα δεύτερο σετ δεδομένων που αφορά την χρονική περίοδο από Ιούνιο του 2004 έως και Αύγουστο του 2005. Διατέθηκαν βροχομετρικά δεδομένα από τον σταθμό του αεροδρομίου της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και συγκεντρώσεις θρεπτικών από δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν την εν λόγω περίοδο, όπως αναφέρθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο.

Παρακάτω στην εικόνα 32, παρατίθενται οι μηνιαίες βροχοπτώσεις για το διάστημα μελέτης σε χιλιοστά. Στο διάστημα από Ιούνιο του 2004 έως και Οκτώβριο της ίδιας χρονιάς, η βροχόπτωση είναι ελάχιστη. Το ίδιο προφίλ εντοπίζεται και από τον Μάιο έως τον Αύγουστο του 2005 με ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές. Η πιο υγρή περίοδος φαίνεται να είναι από το Νοέμβριο έως και τον Απρίλιο του 2005. Περιλαμβάνει δηλαδή κατά κύριο λόγο τους χειμερινούς μήνες. Η μέση ποσότητα βροχόπτωσης για αυτό το διάστημα μελέτης ανέρχεται στα 33 mm, ενώ η μέγιστη τιμή προσεγγίζεται τον μήνα Φεβρουάριο στα 159.3 mm.



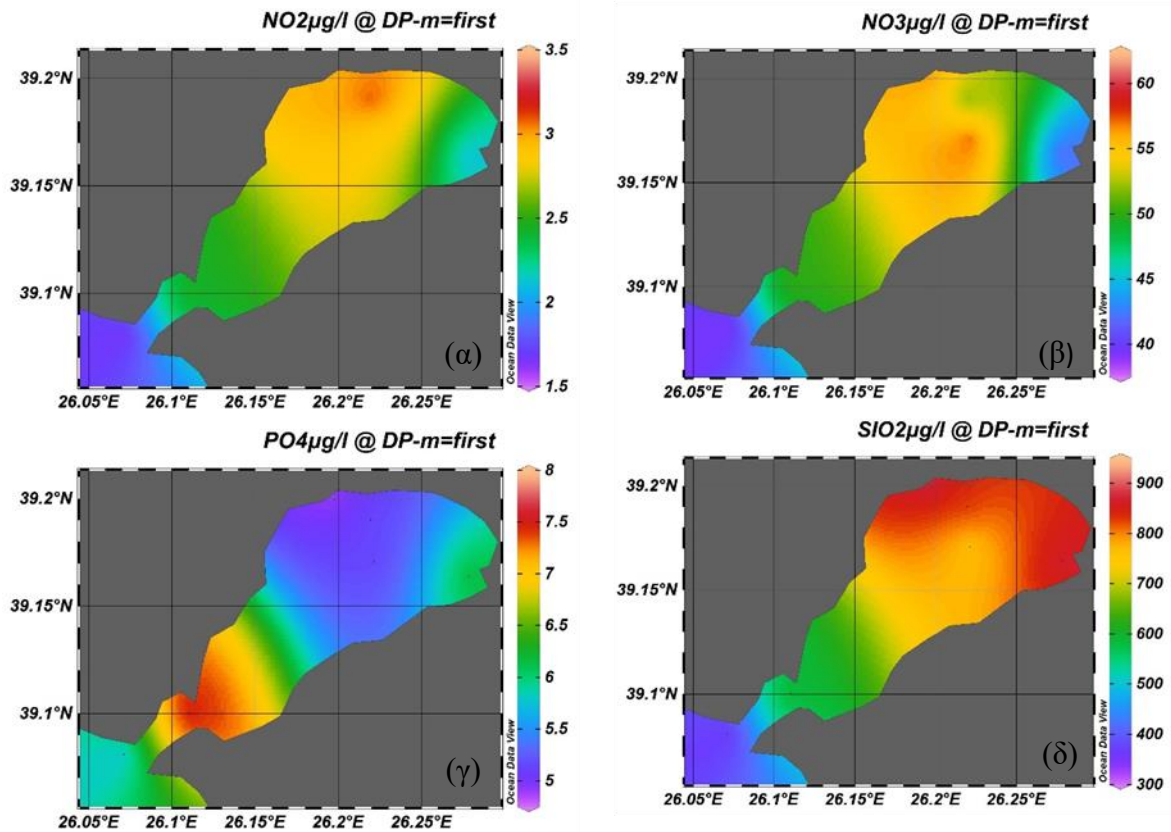
Εικόνα 32: Μηνιαία ύψη βροχόπτωσης 2004-2005

### 3.4 Χημικές παράμετροι ανά εποχή (2004-2005)

#### **ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 2004**

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2004 παρατηρήθηκε αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας του νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η στήλη νερού να χαρακτηρίζεται από μεγάλη σταθερότητα και τελικά να σχηματίζεται το εποχιακό θερμοκλινές στην ανώτερη ζώνη. Κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης εποχής του χρόνου, εντοπίζεται το ελάχιστο πάχος του επιφανειακού στρώματος ανάμιξης καθώς και εξάντληση θρεπτικών στο ευφωτικό στρώμα. Η παραπάνω κατάσταση οδηγεί στον τερματισμό της παραγωγικής αύξησης.

Η δημιουργία του εποχιακού θερμοκλινούς επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τόσο την κατανομή όσο και τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στα πλαίσια του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Στη συνέχεια φαίνονται τα διαγράμματα των θρεπτικών για την περιοχή μελέτης για το καλοκαίρι του 2004 (εικόνα 33), κάνοντας χρήση του ODV. Αν επιχειρήσουμε μία πρώτη σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές των διαγραμμάτων που προέκυψαν για το καλοκαίρι του 2009 (εικόνα 21), παρατηρούμε ότι υπάρχει μία σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων.



Εικόνα 33 : Επιφανειακή κατανομή μέσης συγκέντρωσης για (α) Νιτρώδη (β) Νιτρικά (γ) Φωσφορικά (δ) Πυριτικά Καλοκαίρι 2004

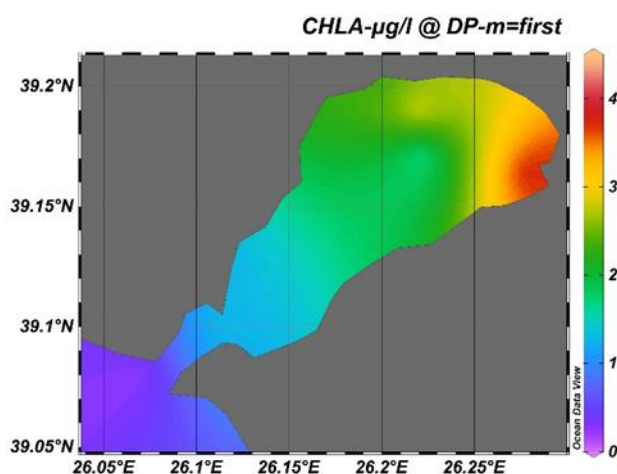
Για τα νιτρώδη (εικόνα 33α), οι μικρότερες συγκεντρώσεις συναντώνται στο Αιγαίο και στα βορειοανατολικά τμήματα του κόλπου, στις εκβολές του Βούβαρη. Καθώς κινούμαστε από την ανοιχτή θάλασσα στο εσωτερικό του κόλπου παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις αυξάνονται. Οι μέγιστες τιμές υπάρχουν στο βορειοδυτικό τμήμα του κόλπου και πιο συγκεκριμένα στις εκβολές του ποταμού Τσικνιά. Όπως τονίστηκε και προηγουμένως οι ενώσεις του αζώτου και οι τιμές των συγκεντρώσεων τους είναι πολύ στενά συνδεδεμένες με τις ανθρώπινες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στα πλαίσια του κόλπου. Παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις για τα νιτρώδη που αφορούν το καλοκαίρι του 2004 είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις αντίστοιχες του καλοκαιριού του 2009.

Η δεύτερη ένωση που μελετήθηκε είναι τα νιτρικά (εικόνα 33β). Όπως προκύπτει από το διάγραμμα που φαίνεται παραπάνω, οι μικρότερες τιμές εντοπίζονται στην ανοιχτή θάλασσα καθώς και στις εκβολές του ποταμού Βούβαρη, δηλαδή στο βορειοανατολικό κομμάτι της περιοχής μελέτης. Όπως συμβαίνει και με τα νιτρώδη, οι τιμές των συγκεντρώσεων αυξάνονται καθώς προχωράμε από το Αιγαίο στο εσωτερικό του κόλπου. Οι μεγαλύτερες τιμές συναντώνται στο κεντρικό τμήμα. Η αύξηση σε σχέση με τις τιμές που προέκυψαν για το καλοκαίρι του 2009 είναι ακόμα μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή για τα νιτρώδη. Ωστόσο παρατηρούμε μία αντίστοιχη εικόνα κατανομής των συγκεντρώσεων στα όρια της περιοχής μελέτης.

Τα φωσφορικά (εικόνα 33γ) ακολουθούν αντίθετη λογική στον τρόπο που κατανέμεται στον κόλπο, σε σχέση με τα νιτρικά και τα νιτρώδη που σχολιάστηκαν προηγουμένως. Πιο συγκεκριμένα, οι μικρότερες συγκεντρώσεις υπάρχουν εντός του κόλπου και στα παράλια. Όσο προχωράμε προς την ανοιχτή θάλασσα υπάρχει αύξηση των συγκεντρώσεων με τις μέγιστες τιμές να εντοπίζονται στο δίαυλο επικοινωνίας μεταξύ κόλπου και Αιγαίου. Ο κυριότερος τρόπος ανανέωσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος με ενώσεις του φωσφόρου είναι η επιφανειακή απορροή των υδάτων.

Όπως είναι λογικό κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, υπάρχουν ελάχιστες βροχοπτώσεις (τους καλοκαίρι του 2004 που εξετάζουμε μόλις 2.2 mm), οπότε είναι αναμενόμενο να έχουμε και μικρές συγκεντρώσεις φωσφορικών. Όπως συνέβη και με τα προηγούμενα θρεπτικά που μελετήσαμε, έτσι και στην περίπτωση του φωσφορικών οι τιμές του καλοκαιριού του 2004 είναι υψηλότερες απ' αυτές του 2009. Μία ακόμα διαφορά υπάρχει και στο πού εντοπίζουμε τις μέγιστες τιμές. Στην περίπτωση του καλοκαιριού του 2009 παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των φωσφορικών βρίσκονται στο κέντρο του κόλπου.

Στην περίπτωση των πυριτικών (εικόνα 33δ) που συνδέονται με πολυάριθμους τομείς της καθημερινότητας αλλά και με τα πετρώματα που συναντώνται στην περιοχή μελέτης, η αύξηση στις συγκεντρώσεις πραγματοποιείται καθώς κινούμαστε από το Αιγαίο προς τα παράλια του κόλπου. Κατά μήκος των τελευταίων η συγκέντρωση λαμβάνει τις μεγαλύτερες τιμές της. Η αύξηση που παρατηρήθηκε και στα προηγούμενα υπάρχει και στα πυριτικά. Αξιοσημείωτη είναι η σχεδόν τέλεια ομοιότητα που υπάρχει στην κατανομή των συγκεντρώσεων ανάμεσα στα καλοκαίρια του 2004 και του 2009.



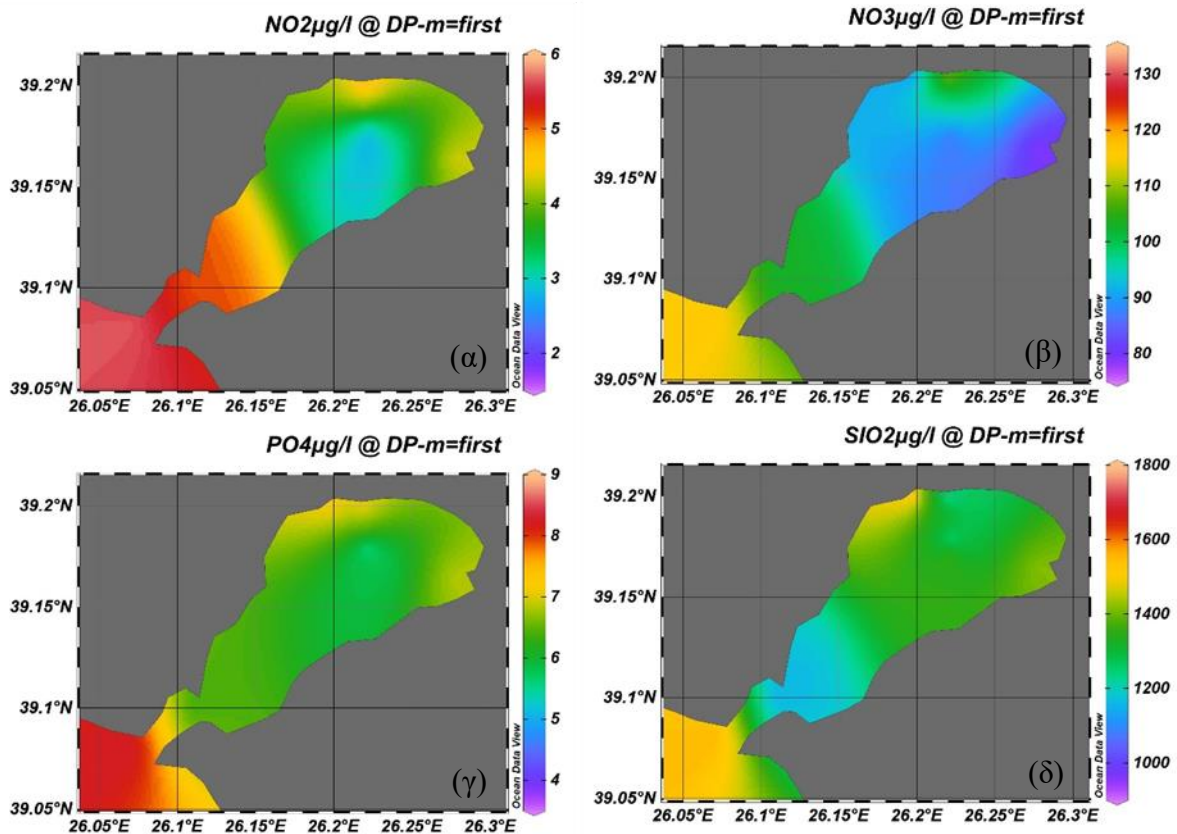
Εικόνα 34: Επιφανειακή κατανομή Chl-a - Καλοκαίρι 2004

Στην εικόνα 34 φαίνεται η κατανομή των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης (Chl-a). Όπως συμβαίνει με τα περισσότερα θρεπτικά που μελετήθηκαν, η συγκέντρωση αυξάνεται καθώς προχωράμε από το Αιγαίο στο εσωτερικό του κόλπου. Οι μέγιστες τιμές βρίσκονται στο βορειοανατολικό τμήμα του κόλπου, και ειδικότερα στις εκβολές του Βούβαρη. Η έντονη ακτινοβολία που υπάρχει κατά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο στα πλαίσια της περιοχής μελέτης, σε συνδυασμό με την ελάχιστη βροχόπτωση

και την μικρή κινητικότητα στην στήλη του νερού, οδηγούν στην αύξηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης. Κάνοντας μία πρώτη σύγκριση με τις τιμές που είχαμε για το καλοκαίρι του 2009, βλέπουμε ότι υπάρχει μείωση.

## ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ 2004

Κύριο χαρακτηριστικό του φθινοπώρου είναι η καταστροφή του εποχιακού θερμοκλινούς που είχε σχηματιστεί κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ευφωτικό στρώμα να ανανεώνεται συνεχώς με θρεπτικά άλατα που καταλήγουν στην υδάτινη στήλη. Επιπλέον παρατηρείται και αύξηση πάχους του επιφανειακού στρώματος ανάμιξης. Επομένως, η μελέτη των θρεπτικών κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον (εικόνα 35).



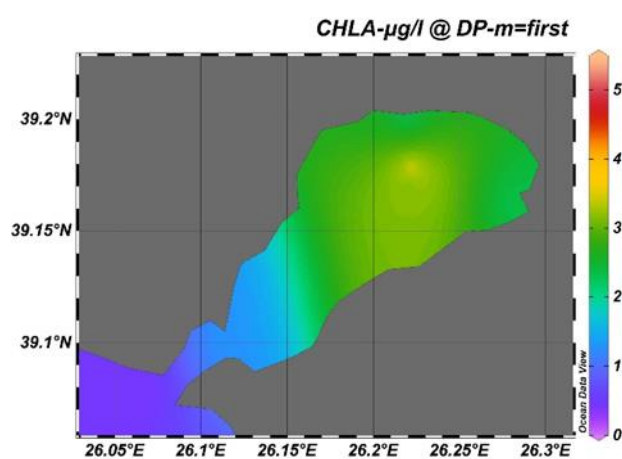
Εικόνα 35: Επιφανειακή κατανομή μέσης συγκέντρωσης για (α) Νιτρώδη (β) Νιτρικά (γ) Φωσφορικά (δ) Πυριτικά Φθινόπωρο 2004

Η ελάχιστη βροχόπτωση που μετρήθηκε κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου του 2004 είναι 21.5 mm συνολικά (εικόνα 32) και επηρεάζει σε αρκετά μεγάλο βαθμό, τόσο τη διαθεσιμότητα, όσο και τα ελάχιστα και τα μέγιστα των συγκεντρώσεων των θρεπτικών κατά μήκος της περιοχής μελέτης. Αυτή η διαφορά που εντοπίζεται στις βροχοπτώσεις είναι ένα καίριο σημείο σύγκρισης και μελέτης ανάμεσα στα δύο χρονικά διαστήματα που πραγματοποιήθηκε η έρευνα. Ειδικότερα, τα νιτρώδη (εικόνα 35α) διαθέτουν τις μικρότερες συγκεντρώσεις τους στο κεντρικό τμήμα του κόλπου ενώ οι μεγαλύτερες συναντώνται στο διάυλο επικοινωνίας με την ανοιχτή θάλασσα και στο Αιγαίο. Επομένως υπάρχει μία τάση μείωσης της συγκέντρωσης καθώς κινούμαστε από έξω προς τα μέσα στον κόλπο. Αν συγκρίνουμε τις τιμές με τις αντίστοιχες του καλοκαιριού του 2004 βλέπουμε ότι υπάρχει αύξηση. Σ' αυτό το συμπέρασμα καταλήγουμε αν κοιτάξουμε και τις τιμές για τα νιτρώδη που βρέθηκαν για το φθινόπωρο του 2009.

Στην περίπτωση των νιτρικών (εικόνα 35β), οι μικρότερες τιμές των συγκεντρώσεων υπάρχουν στο βορειοανατολικό τμήμα του κόλπου, στις εκβολές του Βούβαρη. Σε αντίθεση οι μεγαλύτερες βρίσκονται στο Αιγαίο, καθώς και στο διάυλο επικοινωνίας μ' αυτό. Αν επιχειρήσουμε μία σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές του καλοκαιριού του 2004, όπως και στα νιτρώδη, υπάρχει μία σχετική αύξηση. Αντίστοιχη αύξηση υπάρχει και σε σχέση με το φθινόπωρο του 2009, όπου επίσης συναντάμε και διαφορετική κατανομή των συγκεντρώσεων στον κόλπο.

Τα φωσφορικά (εικόνα 35γ), παρουσιάζουν μία σταθερή εικόνα συγκεντρώσεων, με τις μεγαλύτερες τιμές εντός του κόλπου να εντοπίζονται στα παράλια καθώς και στο διάυλο επικοινωνίας με το Αιγαίο. Οι μέγιστες τιμές συγκέντρωσης βρίσκονται στο Αιγαίο. Η αύξηση που υπάρχει σε σχέση με τις τιμές του φθινοπώρου του 2009 και η διαφορετική κατανομή στην περιοχή μελέτης είναι δύο στοιχεία που αξίζει να σημειωθούν. Αναμενόμενη είναι και η αύξηση της συγκέντρωσης συγκριτικά με το καλοκαίρι του 2004, αφού αυξήθηκε (σε μικρό βαθμό) η βροχόπτωση (εικόνα 32) και επομένως μέσω της επιφανειακής απορροής πραγματοποιείται συνεχής ανανέωση των υδάτων με φωσφορικά ιόντα.

Τα πυριτικά (εικόνα 35δ), όπως συνέβη και στις προηγούμενες εποχές που σχολιάστηκαν είναι σημαντικά περισσότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα θρεπτικά που μελετήθηκαν. Οι μικρότερες τιμές εντοπίστηκαν στο διάυλο και νότια του κόλπου, ενώ οι μεγαλύτερες στο Αιγαίο και στο βορειοδυτικό κομμάτι του κόλπου, στις εκβολές του ποταμού Τσικνιά. Αντίστοιχα με τα όσα ειπώθηκαν προηγουμένως, τα πυριτικά είναι αυξημένα τόσο σε σχέση με το φθινόπωρο του 2009 όσο και με το καλοκαίρι του 2004.



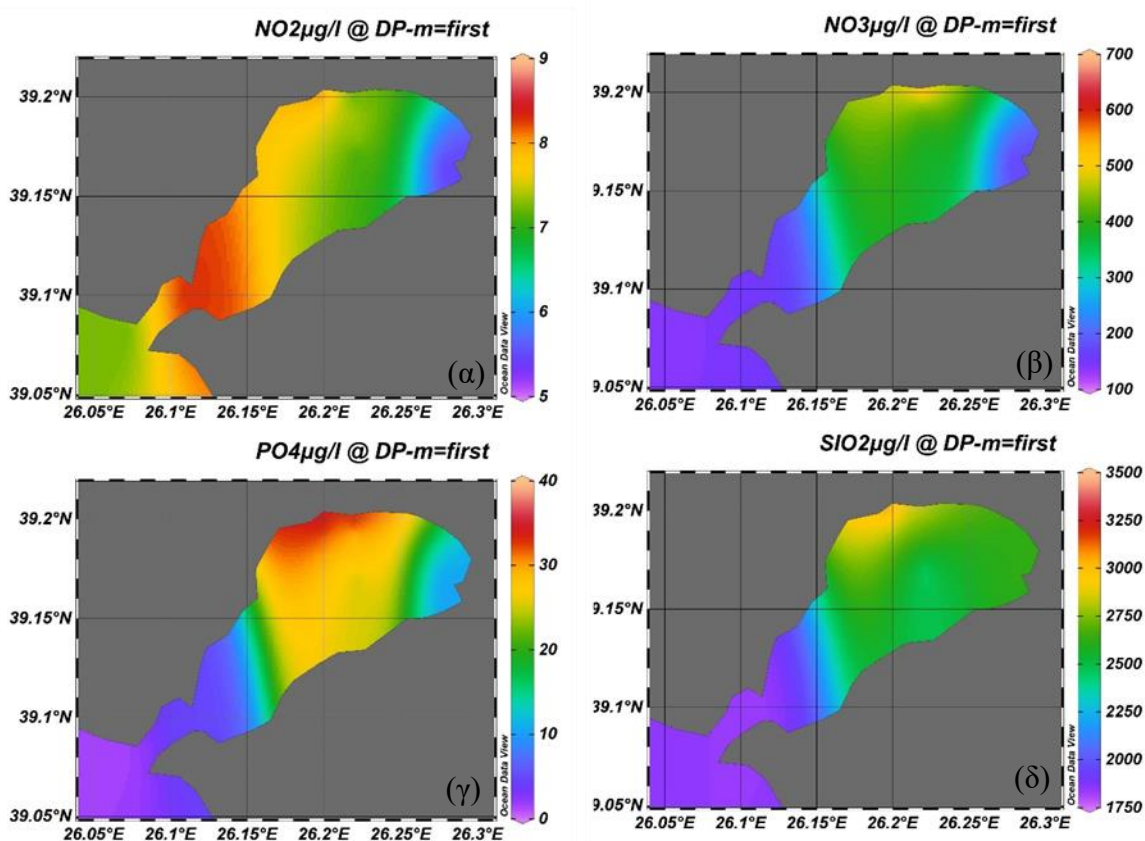
Εικόνα 36: Επιφανειακή κατανομή Chl-a - Φθινόπωρο 2004

Η κατανομή της χλωροφύλλης (Chl-a) κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου του 2004 φαίνεται στην εικόνα 36. Οι μικρότερες τιμές συναντώνται στο Αιγαίο και οι ενδιάμεσες στο διάυλο και στο γενικότερα στο νότιο τμήμα του κόλπου. Οι μέγιστες τιμές της συγκέντρωσης εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η χλωροφύλλη παραμένει στα ίδια επίπεδα με το καλοκαίρι του 2004, ενώ υπάρχει σημαντική μείωση σε σχέση με τις τιμές που υπολογίστηκαν για το φθινόπωρο του 2009.



## ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2004-2005

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα του 2004-2005 εντοπίζεται ο κύριος όγκος νερού των κατακρημνίσεων που δέχθηκε ο κόλπος της Καλλονής (εικόνα 31). Ειδικότερα, ο μήνας με τον μεγαλύτερη ποσότητα βροχής ήταν ο Φεβρουάριος του 2005, οπότε και καταγράφηκαν 159.3 mm βροχής. Η μικρή ένταση ηλιακού φωτός σε συνδυασμό με τις χαμηλές θερμοκρασίες που επικράτησαν στα όρια του κόλπου είχαν ως αποτέλεσμα την καταστροφή του εποχιακού θερμοκλινούς και την πλήρη ομογενοποίηση της στήλης. Το ευφωτικό στρώμα απέκτησε μικρότερο πάχος από το αντίστοιχο του επιφανειακού μικτού στρώματος. Παρά την σχετική αφθονία θρεπτικών αλάτων, που φαίνεται κι από τα διαγράμματα που ακολουθούν (εικόνα 37), η εποχή του χειμώνα χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρή παραγωγικότητα. Επομένως γίνεται αντιληπτό ότι η μετάβαση από το φθινόπωρο στο χειμώνα θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στα θρεπτικά συστατικά.



Εικόνα 37 : Επιφανειακή κατανομή μέσης συγκέντρωσης για (α) Νιτρώδη (β) Νιτρικά (γ) Φωσφορικά (δ) Πυριτικά Χειμώνας 2004-2005

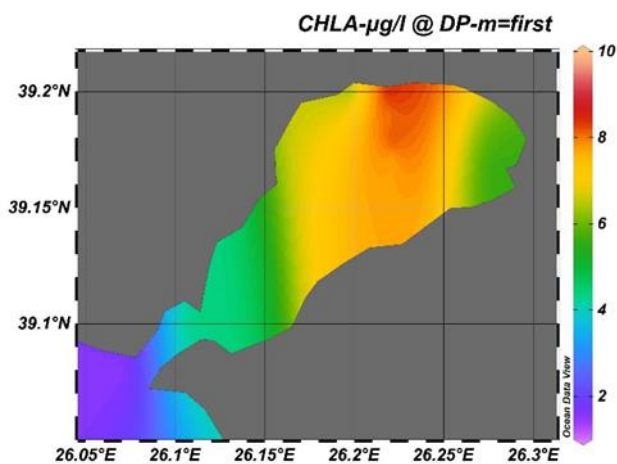
Τα νιτρώδη (εικόνα 37α), διαθέτουν τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις του στα βορειοανατολικά τμήματα του κόλπου, στις εκβολές του Βούβαρη, ενώ τις μεγαλύτερες στο διάυλο και στην περιοχή εντός του κόλπου πριν απ' αυτόν. Με άλλα λόγια, η συγκέντρωση αυξάνεται καθώς κινούμαστε από το εσωτερικό του κόλπου προς την ανοιχτή θάλασσα. Κάνοντας σύγκριση με τις τιμές του φθινοπώρου του 2004, παρατηρούμε ότι υπάρχει αύξηση. Αντιστοίχως, οι τιμές του χειμώνα του 2004-2005, είναι αυξημένες και σε σχέση με τις τιμές του χειμώνα του 2009-2010 που εξετάστηκε προηγουμένως.

Η δεύτερη ένωση του αζώτου που μελετήθηκε ως προς τον ρόλο της στο φαινόμενο του ευτροφισμού είναι τα νιτρικά (εικόνα 37β). Όπως προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται στο κεντρικό κυρίως τμήμα του κόλπου της Καλλονής, αλλά και στα βορειοδυτικά παράλια, όπου και καταλήγει ο ποταμός Βούβαρης. Οι μικρότερες τιμές βρίσκονται κατά κύριο λόγο στο βορειοανατολικό τμήμα. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μία σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων του νιτρικών σε σχέση με τις τιμές του φθινοπώρου του 2004 αλλά και σε σχέση μ' αυτές του χειμώνα του 2009-2010.

Στην περίπτωση των φωσφορικών (εικόνα 37γ), γίνεται εύκολα ορατό ότι οι μικρότερες τιμές εντοπίζονται στο Αιγαίο, καθώς και στο δίαυλο επικοινωνίας του κόλπου μ' αυτό. Όσο κινούμαστε προς το εσωτερικό, υπάρχει μία τάση αύξησης της συγκέντρωσης. Οι μεγαλύτερες τιμές συναντώνται στις εκβολές του ποταμού Τσικνιά, δηλαδή στο βορειοδυτικό τμήμα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι συγκριτικά με το φθινόπωρο του 2004 που σχολιάστηκε προηγουμένως, υπάρχει αύξηση των φωσφορικών, καθώς και μετατόπιση της περιοχής που αυτά εντοπίζονται, από την ανοιχτή θάλασσα εντός του κόλπου. Αυτή η αύξηση προκύπτει κι αν συγκρίνουμε τις τιμές του χειμώνα του 2004-2005 που μελετάμε με τις τιμές του χειμώνα του 2009-2010.

Τα πυριτικά (εικόνα 37δ), έχουν την τάση να αυξάνονται, καθώς προχωράμε από το Αιγαίο προς το εσωτερικό του κόλπου. Πιο συγκεκριμένα, οι μικρότερες συγκεντρώσεις βρίσκονται στο Αιγαίο καθώς και στο δίαυλο. Αντίστοιχα με την κατανομή των φωσφορικών, οι μεγαλύτερες τιμές υπάρχουν στις εκβολές του ποταμού Τσικνιά. Συγκριτικά με το φθινόπωρο του 2004, βλέπουμε ότι τα μέγιστα εντοπίζονται στην ίδια περιοχή αλλά είναι σαφώς υψηλότερες οι τιμές τους. Ακόμα εντονότερη είναι η αύξηση σε σχέση με τον χειμώνα του 2009-2010, όπου τα μέγιστα συναντώνται κατά κύριο λόγο στις εκβολές του Βούβαρη.

Αυτή η αυξητική τάση που παρατηρείται σ' όλα τα θρεπτικά που μελετήθηκαν, σε σχέση με τα αντίστοιχα του φθινοπώρου του 2004, οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο ότι αυξήθηκε ο όγκος νερού που κατέληξε στον κόλπο από τις επιφανειακές απορροές (εικόνα 32). Οι τελευταίες είναι στενά συνδεδεμένες με τις κατακρημνίσεις που αυξήθηκαν δραστικά από το φθινόπωρο του 2004 στον χειμώνα του 2004-2005. Η συνεχής ανανέωση των αποθεμάτων των θρεπτικών κατά τη διάρκεια του χειμώνα μπορεί να μην έχει άμεσες συνέπειες στην παραγωγικότητα του οικοσυστήματος, ωστόσο μακροπρόθεσμα επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ισορροπία του.



Εικόνα 38 : Επιφανειακή κατανομή Chl-a - Χειμώνας 2004-2005

Η κατανομή των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης (Chl-a) φαίνεται στην εικόνα 38. Η συκέντρωση αυξάνεται καθώς προχωράμε από την ανοιχτή θάλασσα στο εσωτερικό του κόλπου. Οι μέγιστες τιμές εντοπίζονται στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης και είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που προέκυψαν για το φθινόπωρο του 2004. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες που επικρατούν τον χειμώνα, σε συνδυασμό με τις αφθονία σε φωσφορικά και νιτρικά άλατα είναι ορισμένοι παράγοντες που μπο-

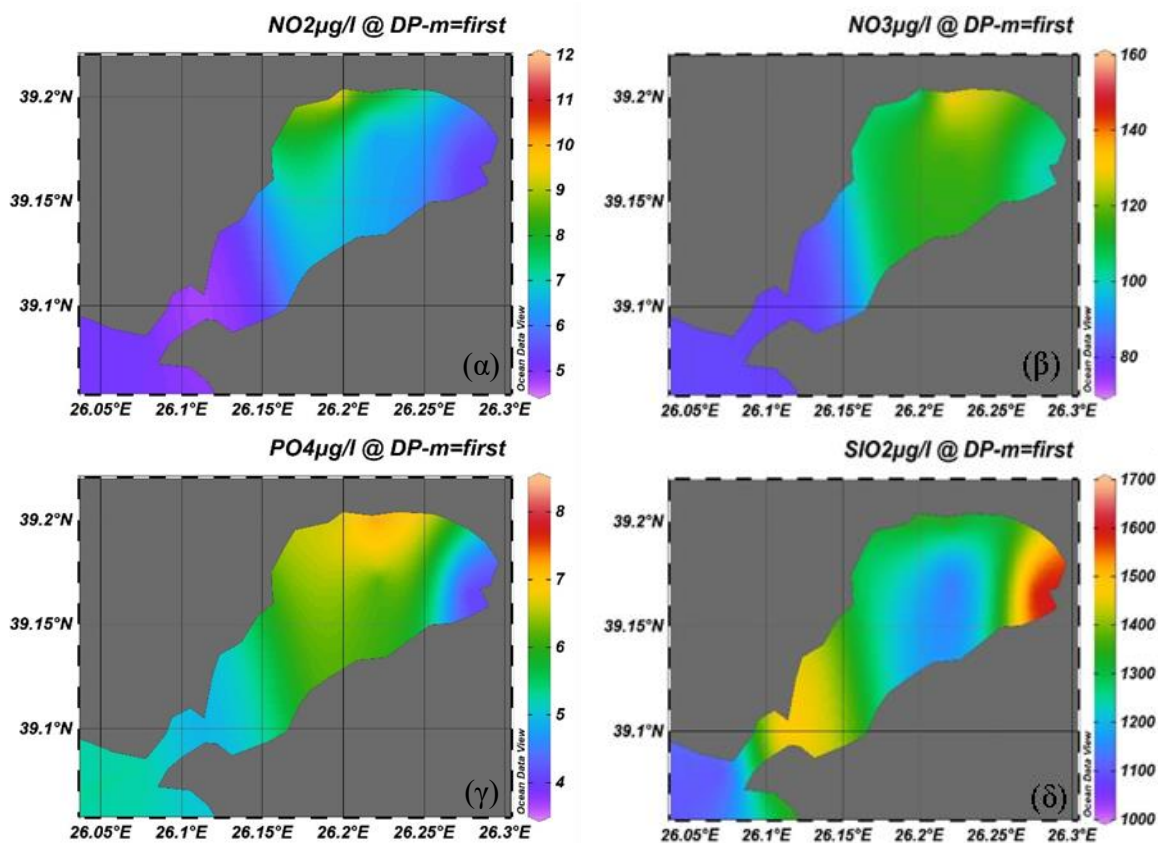
ρούν να ερμηνεύσουν αυτή την αύξηση που παρατηρήθηκε. Βαρύνουσα σημασία στην εξέλιξη και τη διαθεσιμότητα αρχικά των θρεπτικών και τελικά της χλωροφύλλης, έχουν οι ποσότητες του νερού που καταλήγουν στην υδάτινη στήλη, εξαιτίας της επιφανειακής απορροής.

## ΑΝΟΙΞΗ 2005

Κύριο χαρακτηριστικό της άνοιξης είναι η αύξηση της παραγωγικότητας. Στην αρχή της συγκεκριμένης εποχής του χρόνου, τα θρεπτικά άλατα που κατέληξαν στην υδάτινη στήλη τους χειμερινούς μήνες, συνεχίζουν να υπάρχουν σε αφθονία. Αυτή η αύξηση της παραγωγικότητας παρατηρείται όταν αποκατασταθεί η ισορροπία μεταξύ του βάθους της ανεμογενούς ανάμιξης και της ευφωτικής ζώνης. Ταυτόχρονα αρχίζει να δημιουργείται το εποχιακό θερμοκλινές, απομονώνοντας τα θρεπτικά άλατα στο επιφανειακό στρώμα και εμποδίζοντας την ανανέωσή τους από τα βαθύτερα στρώματα.

Οι βροχοπτώσεις κατά διάρκεια της άνοιξης του 2005 είναι μειωμένες σε σχέση με του χειμώνα του 2004-2005 (εικόνα 32). Ο μήνας με τον περισσότερο όγκο νερού είναι ο Μάρτιος του 2005 (81.3 mm). Οπότε περιμένουμε ότι τα θρεπτικά υλικά που υπάρχουν στο θαλάσσιο οικοσύστημα, ήδη από τον χειμώνα, θα επηρεάσουν την ισορροπία του. Η εποχή της άνοιξης είναι ένα καίριο σημείο που οφείλουμε να μελετήσουμε, αφού κατά τη διάρκειά της είναι πολύ πιθανό να εκδηλωθεί κάποιο φαινόμενο ευτροφισμού.

Παρακάτω (εικόνα 39) παρουσιάζονται τα διαγράμματα των θρεπτικών συστατικών που υπάρχουν στα πλαίσια της περιοχής μελέτης για τους μήνες της άνοιξης



Εικόνα 39 : Επιφανειακή κατανομή μέσης συγκέντρωσης για (α) Νιτρώδη (β) Νιτρικά (γ) Φωσφορικά (δ) Πυριτικά Άνοιξη 2005

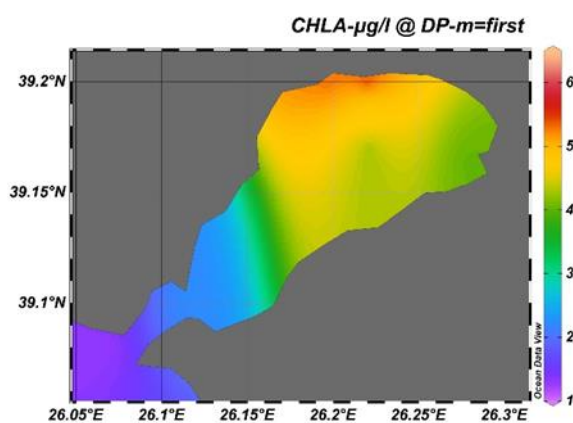
Το πρώτο θρεπτικό στοιχείο που μελετήθηκε είναι τα νιτρώδη (εικόνα 39α). Όπως φαίνεται κι από το αντίστοιχο διάγραμμα, η συγκέντρωση τους αυξάνεται καθώς κινούμαστε από την ανοιχτή θάλασσα στο εσωτερικό του κόλπου. Ειδικότερα, οι μικρότερες συγκεντρώσεις συναντώνται στο διάλυο επικοινωνίας με το Αιγαίο, καθώς και στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, στην περιοχή που εκβάλλει ο ποταμός Βούβαρης. Αντίθετα, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται στο βορειοδυτικό τμήμα του κόλπου της Καλλονής, στις εκβολές του Τσικνιά. Κάνοντας σύγκριση με το διάγραμμα που προέκυψε για τα νιτρώδη και αφορά το χειμώνα 2004-2005, μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει μία μείωση στη συγκέντρωση. Ενώ, συγκριτικά με την άνοιξη του 2010 παρατηρούμε ότι έχουν αυξηθεί. Αξιοσημείωτη είναι η μεγάλη ομοιότητα που υπάρχει στον τρόπο που κατανέμονται οι συγκεντρώσεις ανάμεσα στους μήνες της άνοιξης που μελετήθηκαν.

Η δεύτερη ένωση του αζώτου που εξετάστηκε, είναι το νιτρικά (εικόνα 39β). Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρούμε ότι οι μικρότερες τιμές της συγκέντρωσης εντοπίζονται στο διάλυο επικοινωνίας και στην ανοιχτή θάλασσα, ενώ οι μεγαλύτερες στο κεντρικό κυρίως τμήμα του κόλπου και στα κεντρικά παράλια του. Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει αύξηση των συγκεντρώσεων από την ανοιχτή θάλασσα προς το εσωτερικό του κόλπου. Κάνοντας σύγκριση με το διάγραμμα για το χειμώνα του 2004-2005, παρατηρούμε ότι υπάρχει μείωση στις τιμές του νιτρικών. Ενώ τα προφίλ των διαγραμμάτων των συγκεντρώσεων είναι παρόμοια. Σε σχέση με την άνοιξη του 2010, υπάρχει εμφανής αύξηση της συγκέντρωσης.

Για τα φωσφορικά (εικόνα 39γ), ισχύουν σε μεγάλο βαθμό όσα ειπώθηκαν παραπάνω για τα νιτρικά. Με άλλα λόγια, υπάρχει μία αυξητική τάση της συγκέντρωσής τους καθώς κινούμαστε από την ανοιχτή θάλασσα προς το εσωτερικό του κόλπου. Οι μικρότερες τιμές υπάρχουν στο βορειοανατολικό κομμάτι της περιοχής μελέτης, ενώ οι υψηλότερες στο κεντρικό κομμάτι και στις εκβολές του ποταμού Τσικνιά. Υπάρχει αντίστοιχη μείωση στις τιμές σε σχέση μ' αυτές που βρέθηκαν για το χειμώνα του 2004-2005. Συγκριτικά με την άνοιξη του 2010 βλέπουμε ότι υπάρχει σαφής αύξηση στις συγκεντρώσεις και παρόμοια προφίλ.

Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η γενικότερη μείωση που υπάρχει (μικρότερη ή μεγαλύτερη) στα διαθέσιμα θρεπτικά της περιοχής μελέτης οφείλεται κυρίως σε δύο παράγοντες που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Ο πρώτος αφορά τις μειωμένες ποσότητες νερού που καταλήγουν στον κόλπο από τις επιφανειακές απορροές, σε σχέση μ' αυτές του χειμώνα. Ο δεύτερος είναι ο σχηματισμός του εποχιακού θερμοκλινούς που έχει ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση της διαδικασίας της παραγωγικότητας. Οι οργανισμοί που υπάρχουν στο θαλάσσιο οικοσύστημα καταναλώνουν με μεγαλύτερους ρυθμούς τα θρεπτικά συστατικά που καταλήγουν σ' αυτό.

Σε αντίθεση με όσα σχολιάστηκαν έως τώρα αναφορικά με τα πυριτικά, οι μεγαλύτερες τιμές κατά τη διάρκεια της άνοιξης του 2005 εντοπίζονται στις εκβολές του ποταμού Βούβαρη, δηλαδή στο βορειοανατολικό τμήμα (εικόνα 39δ). Οι μικρότερες βρίσκονται κυρίως κεντρικά του κόλπου, αλλά και στο Αιγαίο. Αν επιχειρήσουμε να κάνουμε μία σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές του χειμώνα του 2004-2005, θα διαπιστώσουμε ότι υπάρχει ελάττωση των συγκεντρώσεων. Ενώ σε σχέση με την άνοιξη του 2010 υπάρχει αύξηση.



Εικόνα 40 : Επιφανειακή κατανομή Chl-a - Άνοιξη 2005

Όπως γίνεται εμφανές από το διάγραμμα της κατανομής των συγκεντρώσεων της Chl-a (εικόνα 40), υπάρχει μείωση σε σχέση με το χειμώνα του 2004-2005. Παρατηρούμε ότι υπάρχει αύξηση των συγκεντρώσεων από το Αιγαίο στο εσωτερικό του κόλπου. Οι μεγαλύτερες τιμές υπάρχουν στο βορειοδυτικό κομμάτι της περιοχής μελέτης, ενώ οι μικρότερες στο διάυλο και στην ανοιχτή θάλασσα. Σε σχέση με το χειμώνα του 2004-2005 υπάρχει μείωση και βλέπουμε ότι τα προφίλ κατανομής των συγκεντρώσεων παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες.

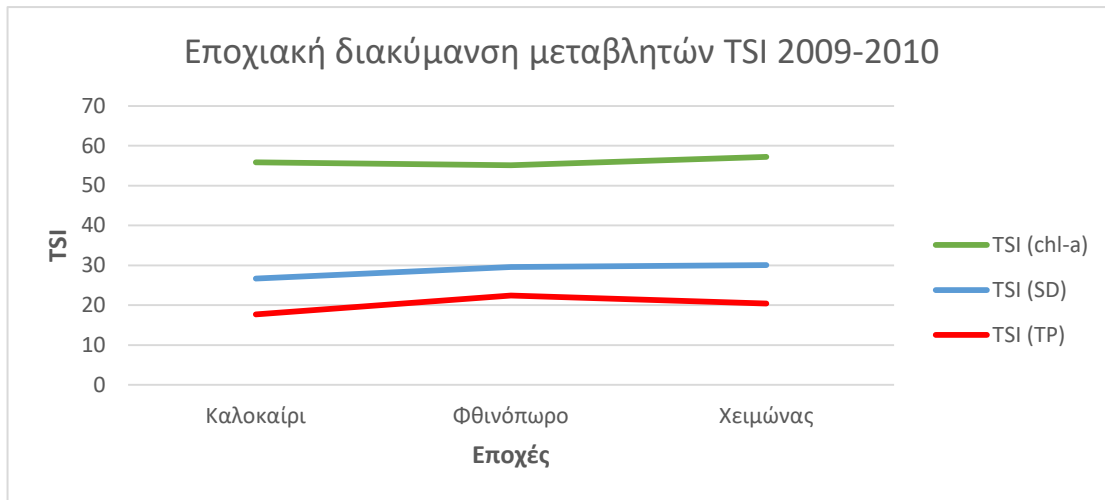
### 3.5 Τροφικό επίπεδο κόλπου (2009-2010)

Για την πληρέστερη ανάλυση και την καλύτερη σύγκριση ανάμεσα στις δύο περιόδους μελέτης που επιλέχθηκαν, αξιοποιήθηκε ο δείκτης τροφικού επιπέδου του Carlson (TSI). Έγινε χρήση των διαγραμμάτων που προέκυψαν από το ODV, τόσο για την υγρή (2009-2010), όσο και για την ξηρή περίοδο (2004-2005). Η ανάλυση βασίστηκε στην ίδια λογική που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω για τη μελέτη των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του κόλπου της Καλλονής. Τόσο οι επιμέρους, όσο κι ο ολικός δείκτης TSI, υπολογίστηκαν εποχικά για την καλύτερη απεικόνιση της διακύμανσης του τροφικού επιπέδου.

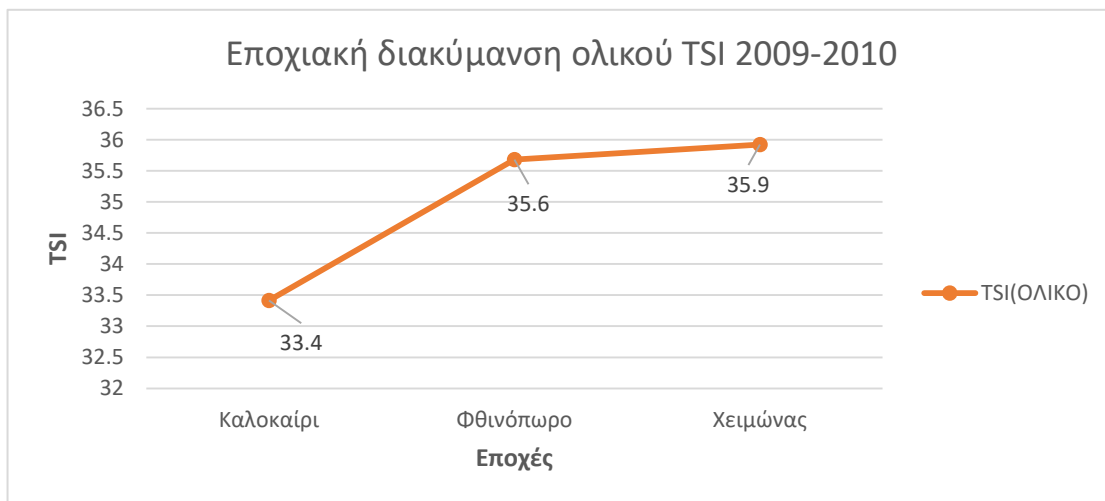
Το προφίλ της εποχιακής χωρικής κατανομής των συγκεντρώσεων για την χλωροφύλλη και τον φώσφορο έχουν παρουσιαστεί παραπάνω και για τις δύο χρονικές περιόδους μελέτης. Στο κομμάτι της διαύγειας της υδάτινης στήλης, όπως είναι λογικό, υπάρχουν διαφοροποιήσεις από εποχή σ' εποχή και γενικότερα από την ξηρή (2004-2005) στην υγρή περίοδο (2009-2010). Σε γενικές γραμμές από τις μετρήσεις που προέκυψαν για την περίοδο από τον Ιούνιο του 2009 έως τον Αύγουστο του 2010, βγαίνει το συμπέρασμα ότι οι τιμές μειώνονται καθώς κινούμαστε από την ανοιχτή θάλασσα προς το εσωτερικό του κόλπου. Η μέγιστη τιμή είναι τα 27 m που μετρήθηκαν στον ΚΑ1 (σταθμός αναφοράς για το ολιγοτροφικό Αιγαίο) τον χειμώνα του 2009-2010. Η ελάχιστη τιμή είναι τα 2 m στον ΚΑ5 τον χειμώνα του 2009-2010.

Σημαντικό ρόλο στα παραπάνω δεδομένα που προέκυψαν από το δίσκο Secchi, διαδραματίζει το Αιγαίο. Ο σταθμός ΚΑ1 βρίσκεται λίγο έξω από τον κόλπο και επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ανοιχτή θάλασσα. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2009, που είχαμε ελάχιστη βροχόπτωση συγκεντρωμένη τον Ιούνιο (46.5 mm), η μεγαλύτερη τιμή ήταν τα 21 m στον ΚΑ1, ενώ η μικρότερη τα 2.05 m στον ΚΑ7. Το φθινόπωρο του 2009 που αυξήθηκαν οι βροχοπτώσεις και επομένως η επιφανειακή απορροή, η μέγιστη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στον σταθμό ΚΑ1 και ήταν 26 m. Η ελάχιστη ήταν 2.8 m και εντοπίστηκε στον ΚΑ6. Το χειμώνα του 2009-2010 που έγινε φανερή η μεγάλη επίπτωση των αυξημένων επιφανειακών απορροών, η μεγαλύτερη τιμή ήταν τα 27 m στον ΚΑ1 και η μικρότερη τα 2 m στον ΚΑ5.

Παρακάτω, φαίνονται τα διαγράμματα που προέκυψαν μετά τον υπολογισμό των τριών ανεξάρτητων μεταβλητών (εικόνα 41) καθώς και του ολικού δείκτη (εικόνα 42). Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν ανά εποχή. Για την άνοιξη του 2010 δεν υπήρχαν δεδομένα σχετικά με τη διαύγεια του νερού, οπότε παραλείπεται. Προκειμένου να υπολογιστεί με σωστό τρόπο ο δείκτης που σχετίζεται με τον ολικό φώσφορο (Total P), έγιναν οι κατάλληλες μετατροπές σε σχέση με τις μετρήσεις των φωσφορικών που βρέθηκαν στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 41 : Εποχιακή διακύμανση μεταβλητών TSI (2009-2010)



Εικόνα 42: Εποχιακή διακύμανση ολικού TSI (2009-2010)

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό υπάρχουν ορισμένες διαφορές στις τιμές του κάθε δείκτη. Πιο συγκεκριμένα, την περίοδο του καλοκαιριού του 2009, υπολογίστηκαν:  $TSI(Chl-a)=55.8$ ,  $TSI(SD)=26.6$  και  $TSI(TP) =17.7$ . Οι δύο τελευταίες τιμές αποτελούν τις μικρότερες που βρέθηκαν για τον κάθε δείκτη αντίστοιχα, συγκριτικά με τις άλλες εποχές. Ο συνολικός TSI για το καλοκαίρι του 2009 υπολογίστηκε  $TΣI(ΟΛΙΚΟ)=33.4$ , αντίστοιχα η μικρότερη ολική τιμή.

Αν λάβουμε υπόψη το δείκτη  $TSI(Chl-a)$ , που βασίζεται στις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης, ο κόλπος της Καλλονής για την περίοδο του καλοκαιριού του 2009, χαρακτηρίζεται ως ένα ευτροφικό σύστημα. Αντίθετα, με βάση τις άλλες δύο μεταβλητές, αλλά και τον ολικό δείκτη, το σύστημα είναι oligότροφο. Αυτή η ιδιαιτερότητα του TSI οδήγησε σε πολλές περιπτώσεις, στην χρήση του δείκτη  $TSI(TP)$ , ως βάση κατάταξης των συστημάτων. Η συγκεκριμένη πρακτική βρίσκει μεγάλη εφαρμογή όταν προκύπτουν μεγάλες τιμές του ολικού TSI (Kountoura and Zacharias, 2013).

Κατά τους φθινοπωρινούς μήνες του 2009 παρουσιάζεται μία πιο ομαλή εικόνα αναφορικά με την κατάταξη του κόλπου σε τροφικό επίπεδο. Ειδικότερα: TSI(Chl-a)=55.1, TSI(SD)=29.5 και TSI(TP)=22.4, που αποτελεί και την μεγαλύτερη τιμή. Ο συνολικός δείκτης είναι : TSI(ΟΛΙΚΟ)=35.6. Οι δύο τελευταίες μεταβλητές κι ο ολικός δείκτης κατατάσσουν τον κόλπο στα oligότροφα συστήματα. Αντίθετα, όπως συνέβη και το καλοκαίρι, η μεταβλητή του δείκτη που σχετίζεται με την χλωροφύλλη, τοποθετεί τον κόλπο στο επίπεδο των ευτροφικών συστημάτων.

Για το χειμώνα 2009-2010 επικρατεί το ίδιο μοτίβο κατάταξης που περιεγράφηκε για τις εποχές που προηγήθηκαν. Αναλυτικά: TSI(Chl-a)=57.2(η μεγαλύτερη τιμή συγκριτικά με καλοκαίρι και φθινόπωρο), TSI(SD)=30.1 (μεγαλύτερη τιμή) και TSI(TP)=20.4. Τελικά, ο συνολικός είναι TSI(ΟΛΙΚΟ)=35.9. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μία μικρή αύξηση στον ολικό δείκτη σε σχέση με τον αντίστοιχο του φθινοπώρου του 2009. Οι δύο επιμέρους μεταβλητές της διαύγειας και του ολικού φώσφορου, καθώς και ο συνολικός TSI, κατατάσσουν τον κόλπο ως ένα oligότροφο σύστημα, ενώ η μεταβλητή της χλωροφύλλης στα ευτροφικά συστήματα.

Ένα γενικό συμπέρασμα που μπορεί να ειπωθεί σε πρώτη φάση είναι το γεγονός ότι οι τιμές του δείκτη που αφορούν τις χλωροφύλλες της περιοχής μελέτης είναι αισθητά μεγαλύτερες σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές των μεταβλητών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο κόλπος και τις τρεις εποχές που μελετήθηκε να κατατάσσεται στα ευτροφικά συστήματα. Οι δύο άλλες μεταβλητές και ο ολικός δείκτης παρουσιάζουν μία ομοιομορφία στο τροφικό επίπεδο που τοποθετούν τον κόλπο της Καλλονής (oligότροφο).

Οι τελικές τιμές παρατηρούμε ότι δεν είναι μικρότερες του 33, πράγμα που σημαίνει ότι ο κόλπος οριακά δεν αλλάζει τροφικό επίπεδο, αφού για να θεωρηθεί μεσότροφο σύστημα οι τιμές θα πρέπει να ήταν κοντά στο 40. Με άλλα λόγια τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την περίοδο 2009-2010 έρχονται σε συμφωνία με τα όσα ειπώθηκαν παραπάνω για τον χαρακτηρισμό του κόλπου ως μία oligότροφη έως μεσότροφη περιοχή. Ένα oligότροφο, κατά προσέγγιση, περιβάλλον όπως αυτό που έχουμε εδώ, δεν αποκλείεται να εμφανίσει ευτροφικά επεισόδια ή περιοχές με αυξημένη παραγωγικότητα. Η εποχιακή διακύμανση του τροφικού επιπέδου του κόλπου της Καλλονής για την υγρή περίοδο (Ιούνιος 2009-Αύγουστος 2010) που περιγράφηκε παραπάνω, φαίνεται στον πίνακα 1 :

Δείκτης TSI	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας
Chl-a	ευτροφικό	ευτροφικό	ευτροφικό
TP	oligότροφο	oligότροφο	oligότροφο
SD	oligότροφο	oligότροφο	oligότροφο
ΟΛΙΚΟ	oligότροφο	oligότροφο	oligότροφο

*Πίνακας 1 : Εποχιακή διακύμανση τροφικού επιπέδου (2009-2010)*



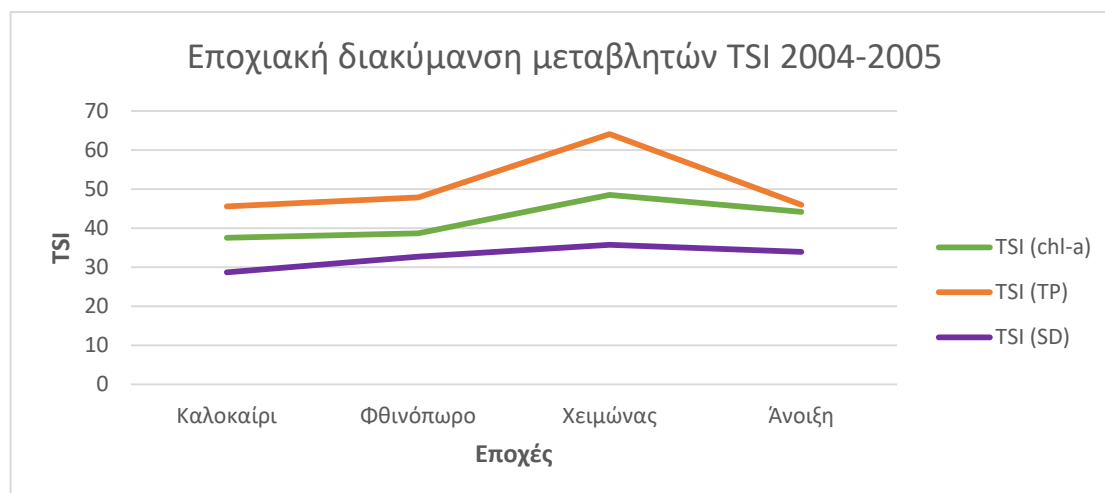
### 3.6 Τροφικό επίπεδο κόλπου (2004-2005)

Η μέθοδος του TSI (Trophic State Index) εφαρμόστηκε και για το διάστημα μελέτης 2004-2005 (ξηρή περίοδος). Για το διαθέσιμο σετ δεδομένων που μας δόθηκε, υπολογίστηκαν TSI για τρεις εποχές. Επιλέξαμε να υπολογιστούν TSI για κάθε εποχή και στα δύο σετ, ώστε να μπορούμε να δούμε καλύτερα την συμπεριφορά του κόλπου εποχικά όπως έγινε και με το σετ δεδομένων του 2009-2010. Η κύρια διαφορά που εντοπίζεται σε πρώτο επίπεδο σε σχέση με την περίοδο 2009-2010 είναι ότι υπάρχουν μετρήσεις για την άνοιξη αναφορικά με την διαύγεια του νερού κι άρα υπολογίστηκαν οι αντίστοιχοι δείκτες. Η συγκεκριμένη εποχή του χρόνου είναι βαρύνουσας σημασίας αφού είναι πολύ πιθανό τότε να εκδηλωθεί κάποιο φαινόμενο ευτροφισμού.

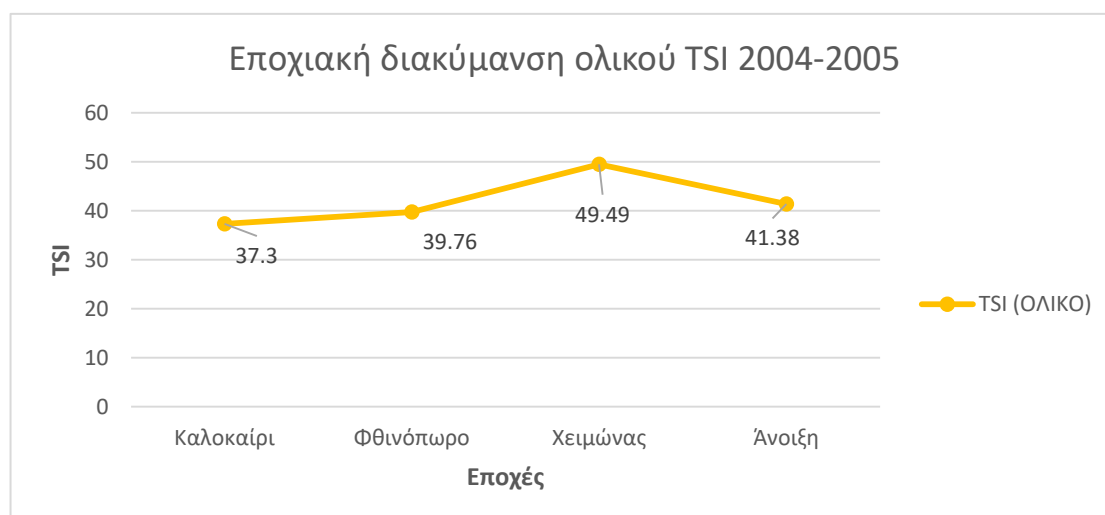
Κατ' αναλογία με τα όσα παρατηρήθηκαν και για την περίοδο 2009-2010, υπάρχουν ορισμένες διαφοροποιήσεις στη διαύγεια της υδάτινης στήλης από εποχή σ' εποχή. Όπως είναι φυσικό, το Αιγαίο συνεχίζει να επιδρά με καθοριστικό τρόπο στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, κι άρα στα αποτελέσματα που προέκυψαν. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζουμε παρόμοια συμπεριφορά, αφού έχουμε μείωση των τιμών που μετρήθηκαν καθώς κινούμαστε από το Αιγαίο προς το εσωτερικό του ημίκλειστου κόλπου. Η μέγιστη τιμή καταγράφηκε το φθινόπωρο του 2004 στον σταθμό ΚΑ1 και είναι ίση με 25 m, ενώ η ελάχιστη τιμή εντοπίστηκε στον σταθμό ΚΑ7, το χειμώνα 2004-2005 και ήταν 1.5 m. Η ίδια μέτρηση εντοπίστηκε και την άνοιξη του 2005 στους σταθμούς ΚΑ6 και ΚΑ7.

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2004 η μέγιστη τιμή που μετρήθηκε με τη βοήθεια του του δίσκου Secchi είναι 22 m στον σταθμό ΚΑ1, που βρίσκεται σε άμεση επαφή με το Αιγαίο. Η ελάχιστη ήταν τα 4 m που εντοπίζονται στους σταθμούς ΚΑ3, ΚΑ4 και ΚΑ7. Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου του 2004 η μεγαλύτερη μέτρηση παρατηρήθηκε στον σταθμό ΚΑ1 και ήταν 25 m. Αντίθετα η ελάχιστη τιμή ήταν 3 m στον ΚΑ7. Το χειμώνα του 2004-2005 η μεγαλύτερη ήταν τα 18 m στον ΚΑ1 και η μικρότερη τα 1.5 m στον ΚΑ7. Τέλος, την άνοιξη του 2005 η μέγιστη τιμή ήταν τα 19.5 m στον ΚΑ1 και η ελάχιστη τα 1.5 m στους ΚΑ6 και ΚΑ7. Παρατηρούμε ότι οι μέγιστες τιμές και για τις δύο περιόδους μελέτης, εντοπίζονται στον σταθμό ΚΑ1 που είναι ο πιο απομακρυσμένος κι επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τα ύδατα της ανοιχτής θάλασσας.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα με την εποχιακή διακύμανση τόσο του ολικού δείκτη TSI (εικόνα 44), όσο και των τριών επιμέρους μεταβλητών (εικόνα 43) που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του.



Εικόνα 43 : Εποχιακή διακύμανση μεταβλητών TSI (2004-2005)



Εικόνα 44 : Εποχιακή διακύμανση ολικού TSI (2004-2005)

Για το καλοκαίρι του 2004 υπάρχουν ορισμένες διαφοροποιήσεις αναφορικά με το που κατατάσσουν οι επιμέρους και ο συνολικός δείκτης τον κόλπο. Ειδικότερα, υπολογίστηκε ότι:  $TSI(Chl-a)=37.5$ ,  $TSI(TP)=45.6$  και  $TSI(SD)=28.7$ , οπότε ο τελικός δείκτης για το καλοκαίρι του 2004 είναι  $TSI(ΟΛΙΚΟ)=37.3$ . Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, οι δύο επιμέρους μεταβλητές ( $TSI(Chl-a)$  και  $TSI(SD)$ ) καθώς κι ο ολικός δείκτης οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο κόλπος κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης εποχής του χρόνου είναι ολιγότροφο σύστημα. Σε αντίθεση η μεταβλητή που σχετίζεται με τον ολικό φώσφορο υποδεικνύει ότι ο κόλπος ανήκει στην κατηγορία των μεσότροφων συστημάτων. Παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές των μεταβλητών, καθώς και του ολικού δείκτη είναι οι μικρότερες που προέκυψαν για την συγκεκριμένη περίοδο μελέτης.

Ανάλογη κατάσταση επικρατεί και κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου της ίδιας χρονιάς. Βρέθηκαν: TSI(Chl-a)=38.7, TSI(TP)=47.9, TSI(SD)=32.7 και TSI(ΟΛΙΚΟ)=39.8. Με άλλα λόγια παρατηρούμε ότι η κατάταξη του κόλπου σε τροφικό επίπεδο είναι ίδια μ' αυτή του καλοκαιριού προηγήθηκε.

Το χειμώνα του 2004-2005 επικρατεί μία διαφορετική εικόνα. Πιο συγκεκριμένα, όλες οι τιμές τόσο των ανεξάρτητων μεταβλητών, όσο και του ολικού δείκτη, είναι οι μεγαλύτερες που υπολογίστηκαν. Αναλυτικότερα προέκυψαν: TSI(Chl-a)=48.5, TSI(TP)=64.1, TSI(SD)=35.8 και TSI(ΟΛΙΚΟ)=49.5. Με βάση τη μεταβλητή που σχετίζεται με τη χλωροφύλλη, ο κόλπος ανήκει στα μεσότροφα συστήματα. Αντίθετα, αν λάβουμε υπόψη τη μεταβλητή του ολικού φώσφορου, το σύστημα είναι ευτροφικό, ενώ η μεταβλητή της διαύγειας κατατάσσει τον κόλπο στα ολιγότροφα συστήματα. Τελικά, ο συνολικός δείκτης TSI για το χειμώνα του 2004-2005, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο κόλπος είναι ένα μεσότροφο σύστημα.

Ο εντοπισμός του τροφικού επιπέδου του κόλπου γίνεται με πιο ομαλό τρόπο κατά τη διάρκεια της άνοιξης του 2005. Οι μεταβλητές που προέκυψαν είναι: TSI(Chl-a)=44.2, TSI(TP)=45.9, TSI(SD)=33.9, ενώ ο ολικός δείκτης είναι: TSI(ΟΛΙΚΟ)=41.4. Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι δύο από τις μεταβλητές ( του ολικού φώσφορου και της χλωροφύλλης) καθώς και ο ολικός δείκτης, τοποθετούν τον κόλπο στο επίπεδο των μεσότροφων συστημάτων. Σε αντίθεση, η μεταβλητή της διαύγειας των υδάτων δίνει την εντύπωση ότι το σύστημα είναι ολιγότροφο.

Με βάση τα παραπάνω παρατηρούμε ότι κατά τη μελέτη του κόλπου της Καλλονής για τη χρονική περίοδο 2004-2005 όλες οι τιμές των μεταβλητών αλλά και των εποχιακών δεικτών που υπολογίστηκαν είναι αυξημένες σε σχέση με τις αντίστοιχες του 2009-2010. Η κατάταξη του συστήματος σε τροφικό επίπεδο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εποχή του έτους που εξετάζουμε, καθώς ποικίλουν οι φυσικοχημικές μεταβλητές που χρησιμοποιούμε. Η εποχιακή διακύμανση του τροφικού επιπέδου του κόλπου της Καλλονής για την ξηρή περίοδο μελέτης (2004-2005) φαίνεται στον πίνακα 2 :

Δείκτης TSI	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Άνοιξη
Chl-a	ολιγότροφο	ολιγότροφο	μεσότροφο	μεσότροφο
TP	μεσότροφο	μεσότροφο	ευτροφικό	μεσότροφο
SD	ολιγότροφο	ολιγότροφο	ολιγότροφο	ολιγότροφο
ΟΛΙΚΟ	ολιγότροφο	ολιγότροφο	μεσότροφο	μεσότροφο

*Πίνακας 2 : Εποχιακή διακύμανση τροφικού επιπέδου (2004-2005)*

Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση που έγινε πιο πάνω οι τιμές που υπολογίστηκαν ανήκουν οριακά σε μεσότροφο οικοσύστημα. Ο κόλπος Καλλονής έχει χαρακτηριστεί από ολιγότροφο έως μεσότροφο περιβάλλον που όμως λόγω της μορφολογίας του (ημίκλειστος κόλπος) μπορεί εύκολα να εμφανίσει ευτροφικά επεισόδια. Το φθινόπωρο του 2004 βλέπουμε η τιμή του TSI να προσεγγίζει πολύ τα όρια προς μεσότροφο (39.8). Η παραγωγικότητα εντείνεται το φθινόπωρο του 2004 και την άνοιξη του 2005 και πιο πολύ την άνοιξη λόγω της περίσσειας θρεπτικών που καταλήγουν στους υδάτινους όγκους με τις απορροές από τις κατακρημνίσεις του χειμώνα. Θα μπορούσαμε να πούμε λοιπόν ότι κατά προσέγγιση θα περιμέναμε η άνοιξη του 2005 να μας δίνει μια τιμή άνω των 40 όπως και τελικά υπολογίστηκε (41.4).

Αν λάβουμε υπόψη αποκλειστικά τον ολικό δείκτη TSI κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, η μεταβολή του τροφικού επιπέδου του κόλπου της Καλλονής παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2004 και μέρους του φθινοπώρου της ίδιας χρονιάς, ο κόλπος εμφανίζει χαρακτηριστικά ολιγότροφου συστήματος. Από το φθινόπωρο του 2004 μέχρι και την άνοιξη του 2005, οι συνθήκες που επικρατούν στα πλαίσια του κόλπου, αντιστοιχούν σε μεσότροφο σύστημα. Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα του 2004-2005, που εμφανίζεται η μέγιστη τιμή του ολικού δείκτη TSI το σύστημα φτάνει στα όρια του να χαρακτηριστεί ως ευτροφικό.

Διαφορετικός είναι ο χαρακτηρισμός κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, αν θέσουμε ως βάση κατάταξης του κόλπου την μεταβλητή του ολικού φώσφορου. Ειδικότερα, από το καλοκαίρι του 2004 έως το φθινόπωρο του 2004, ο κόλπος εμφανίζει χαρακτηριστικά μεσότροφου συστήματος, ενώ από το φθινόπωρο έως το χειμώνα του 2004-2005 ευτροφικού. Τελικά, από το χειμώνα έως την άνοιξη του 2005, επιστρέφει και πάλι στο επίπεδο των μεσότροφων συστημάτων.

## 4. Συμπεράσματα

Ο κόλπος Καλλονής είναι ένας ημίκλειστος ρηχός κόλπος στο νησί της Λέσβου και αποτελεί αντικείμενο μελέτης λόγω του πλούσιου οικοσυστήματος μέσα και γύρω από αυτόν αλλά και των έντονων ανθρωπογενών πιέσεων που υφίσταται. Τα νερά του κόλπου φιλοξενούν πληθώρα οργανισμών και μικροοργανισμών καθιστώντας τον έτσι πόλο οικολογικού ενδιαφέροντος.

Τα παράκτια οικοσυστήματα συχνά επηρεάζονται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες τόσο σε στεριά όσο και σε θάλασσα. Μεγάλη πληγή για τα υδάτινα οικοσυστήματα αποτελεί ο εμπλουτισμός των νερών με θρεπτικά. Τα τελευταία μπορεί να έχουν τόσο θετικές, όσο κι αρνητικές επιδράσεις στην οικολογική ισορροπία του συστήματος. Τα θρεπτικά, κυρίως άλατα, διοχετεύονται στον κόλπο μέσω των ποταμών που εκβάλλουν στην περιοχή, μέσω των επιφανειακών και υπόγειων απορροών. Πηγές θρεπτικών αποτελούν κατά κύριο λόγο τα λιπάσματα και τα αστικά απόβλητα και λύματα.

Για την παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά σετ δεδομένων για τις περιόδους Ιούνιος 2009- Αύγουστος 2010 και Ιούνιος 2004- Αύγουστος 2005 για την καλύτερη κατανόηση και μελέτη της εποχικότητας. Με την μελέτη φυσικοχημικών παραμέτρων για τις δύο περιόδους φάνηκε ότι ο κόλπος Καλλονής αποτελεί ένα ολιγότροφο έως μεσότροφο σύστημα που χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευαισθησία στις μεταβολές των φυσικών και χημικών παραμέτρων του.

Όσον αφορά το κλίμα της περιοχής είναι τυπικό μεσογειακό με ξηρά καλοκαίρια και υγρούς χειμώνες. Κατά την πρώτη περίοδο μελέτης που σχολιάστηκε, 2009-2010, οι βροχοπτώσεις είναι μοιρασμένες σ' όλη τη διάρκεια του έτους σε αντίθεση με το 2004-2005 που πρόκειται για μία ξηρή περίοδο. Η κύρια εποχή ανανέωσης των θρεπτικών στον κόλπο γίνεται με τις κατακρημνίσεις του χειμώνα σε συνάρτηση με την αύξηση της ηλιοφάνειας την άνοιξη.

Ωστόσο από οικολογική άποψη, ως μαζική εισροή θρεπτικών για τη συγκεκριμένη περίοδο, μπορεί να θεωρηθούν οι πρώτες βροχοπτώσεις του φθινοπώρου μέσω των οποίων, μεγάλος όγκος θρεπτικών από ανθρώπινες δραστηριότητες, που έχουν συσσωρευθεί στη λεκάνη απορροής από την περίοδο του καλοκαιριού, καταλήγουν στον κόλπο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι φυτοπλαγκτονικές κοινότητες που σχηματίζονται, να αναπτυχθούν σε μεγάλο βαθμό, χωρίς όμως να υπάρχει αξιοσημείωτη αύξηση της βιομάζας τους. Η παρατήρηση που διατυπώνεται παραπάνω, αντικατοπτρίζεται και στο διάγραμμα της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης για το χειμώνα του 2009-2010. Βλέπουμε ότι οι συγκεντρώσεις είναι αυξημένες κι αυτό το γεγονός είναι άμεσα συνδεδεμένο με τις βροχοπτώσεις του φθινοπώρου του 2009.

Σε αντίθεση με τα όσα ειπώθηκαν για την πρώτη περίοδο μελέτης, για το διάστημα 2004-2005 που προηγήθηκε χρονικά, παρατηρήθηκαν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η ειδοποιός διαφορά εντοπίζεται, τόσο στον όγκο, όσο και στον ρυθμό των βροχοπτώσεων. Η συγκεκριμένη περίοδος μπορεί να χαρακτηριστεί ως ξηρή. Οι συσσωρευμένες βροχοπτώσεις που παρατηρήθηκαν κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες του 2004-2005, οδήγησαν σε μία μαζική εισροή θρεπτικών. Αυτή η περίσσεια θρεπτικών

που δημιουργήθηκε στον κόλπο, καταναλώθηκε κατά τη διάρκεια της άνοιξης του 2005.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η κατάσταση που δημιουργήθηκε, είχε κυρίως αρνητικές συνέπειες για το θαλάσσιο οικοσύστημα. Ακόμα ένας παράγοντας επιδείνωσης είναι οι εκτεταμένες αναμίξεις που παρατηρήθηκαν κατά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης για το χειμώνα, αλλά κυρίως για την άνοιξη του 2005 κάνουν φανερό ότι έχουν δημιουργηθεί όλες οι απαραίτητες συνθήκες για την ανάπτυξη επιβλαβών ανθίσεων. Με άλλα λόγια η εκδήλωση ενός ευτροφικού επεισοδίου, στα πλαίσια του κόλπου της Καλλονής, συγκεντρώνει πολλές πιθανότητες. Ο εμπλουτισμός του κόλπου με θρεπτικά για την περίοδο του 2004-2005, είχε ταυτόχρονα κι ορισμένες ευεργετικές επιδράσεις. Σ' έρευνες που πραγματοποιήθηκαν, βρέθηκε ότι υπήρξε μία τόνωση της ποικιλομορφίας (Spatharis et al., 2007).

Στο κλίμα της περιοχής προστίθενται και βορειοανατολικοί άνεμοι μικρής ταχύτητας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που υποδεικνύουν την ύπαρξη μελτεμιών. Στο Βόρειο Αιγαίο, στο οποίο ανήκει η Λέσβος και ο κόλπος Καλλονής, το μελτέμι έχει βορειοανατολική διεύθυνση. Οι άνεμοι σε συνδυασμό με επιφανειακά θαλάσσια ρεύματα συμβάλλουν στην συσσώρευση ή διασπορά των θρεπτικών στην έκταση του κόλπου. Ο κύριος περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, είναι η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών. Αυτό σημαίνει ότι ο ρυθμός με τον οποίο ανανεώνονται τα θρεπτικά, διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στις πιθανές ανθίσεις φυτοπλαγκτού.

Το παραπάνω συμπέρασμα έρχεται σε αντίθεση με τα όσα ισχύουν για την ανοιχτή θάλασσα, με την οποία ο κόλπος έρχεται σ' άμεση επαφή μέσω του στενού διαύλου που εντοπίζεται στο νότιο τμήμα του. Στο Αιγαίο, οι ανθίσεις του φυτοπλαγκτού καθορίζονται κυρίως από τον σχηματισμό του θερμοκλινούς. Δηλαδή, η σταθερότητα της υδάτινης στήλης είναι αυτή που παίζει τον ρόλο του ρυθμιστικού παράγοντα. Ο σχηματισμός του θερμοκλινούς λειτουργεί ως ένα εμπόδιο που περιορίζει ολόκληρη τη βιομάζα του φυτοπλαγκτού στο ανώτερο ευφωτικό στρώμα.

Η μέση θερμοκρασία, η αλατότητα και η πυκνότητα του νερού τείνουν να έχουν τις μεγαλύτερες τιμές στο εσωτερικό του κόλπου και προς την επιφάνεια. Σε κλίμακα εποχών, η μειωμένη βροχόπτωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σημαίνει και σημαντικά μειωμένες επιφανειακές απορροές. Η υψηλή θερμοκρασία προκαλεί αυξημένη εξάτμιση στις ανώτερες στοιβάδες νερού και αυτό εντοπίζεται ως μεγαλύτερες τιμές αλατότητας. Με παρόμοιο τρόπο επηρεάζεται η πυκνότητα. Το θερμό νερό που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια, σε όλο το μήκος του κόλπου είναι λιγότερο πυκνό. Η σταθερότητα της υδάτινης στήλης είναι αυτή που παίζει τον ρόλο του ρυθμιστικού παράγοντα και συμβάλλει στην διατήρηση της ισορροπίας. Η διαφορά πυκνότητας που προκαλεί τη στρωμάτωση του νερού και ο σχηματισμός του θερμοκλινούς περιορίζει ολόκληρη φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς στο ανώτερο ευφωτικό στρώμα. Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου η στρωμάτωση αυτή χαλάει λόγω της πτώσης της θερμοκρασίας και των πολλών βροχοπτώσεων.

Το χειμώνα επέρχεται αστάθεια στην στήλη νερού. Αυτό είναι αποτέλεσμα της καταστροφής του επιφανειακού στρώματος ανάμιξης αλλά και του εποχιακού θερμο-

κλινούς, που ήδη είχε αρχίσει κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου. Υπάρχει μια γενικότερη πτώση των τιμών της αλατότητας. Η μέγιστη τιμή κατά τους φθινοπωρινούς μήνες βρίσκεται στο επιφανειακό στρώμα ενώ το χειμώνα λόγω της ομογενοποίησης της στήλης νερού, οι μέγιστες τιμές της αλατότητας είναι κυρίως στα ενδιάμεσα βάθη. Η μεταβολή στο μέγεθος της αλατότητας είναι αναμενόμενη εξαιτίας της μειωμένης ηλιοφάνειας και της μαζικής εισροής γλυκού νερού λόγω των κατακρημνίσεων. Κατά την περίοδο της άνοιξης, μόλις αποκατασταθεί η ισορροπία, ανάμεσα στην ευφωτική ζώνη και στο στρώμα της ανεμογενούς ανάμιξης (φαινόμενο που πραγματοποιείται με την αύξηση της ευφωτικής ζώνης που καταστράφηκε τον χειμώνα), θα υπάρξει αύξηση της παραγωγικότητας. Ταυτόχρονα σχηματίζεται και το εποχιακό θερμοκλινές, το οποίο απομονώνει τα θρεπτικά άλατα στο επιφανειακό στρώμα. Παράλληλα, εμποδίζει την κίνησή τους προς τα βαθύτερα στρώματα. Η αφθονία των θρεπτικών που υπάρχουν στην υδάτινη στήλη, ήδη από την περίοδο του χειμώνα, μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας, καθορίζουν κατά κύριο λόγο τον ρυθμό της παραγωγικότητας του θαλάσσιου συστήματος.

Ως μια γενικότερη εικόνα, η κατανομή των συγκεντρώσεων των θρεπτικών φαίνεται να επηρεάζεται άμεσα από τις εκβολές των ποταμών Τσικνιά και Βούβαρη. Τα νιτρικά, νιτρώδη και φωσφορικά άλατα φαίνεται να εμφανίζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις και προς το εξωτερικό του κόλπου ενώ στις εκβολές του ποταμού Τσικνιά και κοντά στην Σκάλα καλλονής φαίνεται ξεκάθαρα η επήρεια του ποταμού. Αξίζει να σημειωθεί πως κατά τη διάρκεια του χειμώνα, στην εν λόγω περιοχή τα φωσφορικά βρίσκονται στις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Παρόμοια εικόνα παρατηρείται στα πυριτικά, των οποίων οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες στις εκβολές των ποταμών λόγω των ηφαιστιογενών εναποθέσεων.

Οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης είναι μέγιστες στο εσωτερικό μέρος του κόλπου με τις μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται το καλοκαίρι και τον χειμώνα για το 2009-2010. Το 2004-2005 οι συγκεντρώσεις είναι κατά μέσο όρο περίπου 10  $\mu\text{g/l}$  λιγότερο από αυτές του 2009-2010. Και πάλι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται τον χειμώνα στο εσωτερικό του κόλπου. Το ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης προσεγγίζονται τον χειμώνα είναι πιθανό να οφείλεται στις χαμηλές θερμοκρασίες που καταστρέφουν τη στρωμάτωση του νερού και το εποχιακό θερμοκλινές. Το βαθύτερο στρώμα νερού που είναι πλούσιο σε θρεπτικά μέσω της ανάμιξης φτάνει στην επιφάνεια που υπάρχει έστω και χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία και μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών.

Η εποχική μελέτη και η ανάλυση των δύο περιόδων με την χρήση του TSI (Calson's Trophic State Index) έδειξε πως ο κόλπος Καλλονής είναι ένα ολιγότροφο έως μεσότροφο περιβάλλον. Παρόλα αυτά, αν λάβουμε υπόψη αποκλειστικά τον ολικό δείκτη TSI κατά τη διάρκεια του χρόνου φαίνεται πως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και μέρους του φθινοπώρου ο κόλπος εμφανίζει χαρακτηριστικά ολιγότροφου συστήματος. Από το φθινόπωρο μέχρι και την άνοιξη οι συνθήκες που επικρατούν στα πλαίσια του κόλπου, αντιστοιχούν σε μεσότροφο σύστημα.

Στην παρούσα μελέτη υπογραμμίζεται η κρισιμότητα της ανθρώπινης δραστηριότητας και πως αυτή μέσω του θρεπτικού εμπλουτισμού επηρεάζει το θαλάσσιο οικοσύστημα. Ο κόλπος χαρακτηρίζεται από έντονη εποχικότητα και μεταβλητότητα,

στοιχεία που γίνονται φανερά από την ανάλυση των βροχοπτώσεων και των συγκεντρώσεων των θρεπτικών που πραγματοποιήθηκε για τις δύο περιόδους μελέτης. Το παραπάνω συμπέρασμα ενισχύεται από την κατάταξη του κόλπου σε τροφικό επίπεδο με βάση το δείκτη TSI. Οι διακυμάνσεις του τροφικού επιπέδου από εποχή σ' εποχή που φαίνονται στους πίνακες 1 και 2 είναι στενά συνδεδεμένες με τα ιδιαίτερα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά που επικρατούν στον κόλπο την εκάστοτε εποχή. Ωστόσο θα πρέπει να τονιστεί και ο σημαντικός ρόλος που διαδραματίζει η γειτονική λεκάνη απορροής και ειδικότερα τα ποτάμια της περιοχής, αφού όπως φάνηκε αυτά είναι που σχηματίζουν κυρίως την εικόνα του κόλπου.

Με βάση όλα όσα σχολιάστηκαν παραπάνω αναδεικνύεται η μεγάλη ευαισθησία του κόλπου Καλλονής στις μεταβολές που υφίσταται. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να γίνονται με φυσικό τρόπο, όπως είναι για παράδειγμα ο σχηματισμός κι η καταστροφή του εποχιακού θερμοκλινούς. Ωστόσο, μπορεί να οφείλονται και σ' ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Στην τελευταία κατηγορία μπορεί να ενταχθεί ο εμπλουτισμός του κόλπου με νιτρικά άλατα που είναι συνδεδεμένα με την χρήση λιπασμάτων στα πλαίσια αγροτικών δραστηριοτήτων. Τα αποτελέσματα των μεταβολών αυτών μπορεί να είναι διαφορετικά, όπως αποδείχθηκε, για διαφορετικές περιόδους μελέτης. Ρυθμιστικοί παράγοντες είναι τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά που διαφέρουν απ' εποχή σ' εποχή. Ο συνδυασμός της δράσης των μεταβολών και των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του κόλπου, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την οικολογική ισορροπία και το τροφικό του επίπεδο. Η εκδήλωση ενός ευτροφικού επεισοδίου στα πλαίσια του κόλπου είναι ένα πιθανό γεγονός, του οποίου η αντιμετώπιση αλλά κυρίως η πρόβλεψη, απαιτεί περαιτέρω μελέτη.



## Βιβλιογραφία

### **Ελληνική Βιβλιογραφία :**

1. Κρεστενίτης (2015), Παράκτια μηχανική - Θαλάσσια περιβαλλοντική υδραυλική/Χημικές και βιοχημικές διεργασίες στο θαλάσσιο περιβάλλον
2. Στυλιανή Γαμπιεράκη (2020), Διαχρονική εξέλιξη της περιβαλλοντικής κατάστασης και της αλιευτικής παραγωγής του Κόλπου Καλλονής της νήσου Λέσβου (Μυτιλήνης)

### **Ξένη Βιβλιογραφία :**

1. R.H. Reed, S.R.C. Warr, D.L. Richardson, D.J. Moore, W.P. Stewart (1985), Blue-green algae (cyanobacteria): prospects and perspectives, Plant and Soil pp. 89, pp. 97-106
2. Robert J. Livingston (2001), Eutrophication Processes in Coastal Systems: Origin and Succession of Plankton Blooms on Secondary Production in Gulf Coast Estuaries
3. Donald M. Anderson (2002), Harmful Algal Blooms and Eutrophication Nutrient Sources, Composition and Consequences
4. Spatharis S., Dolapsakis N. P., Economou-Amilli A., Tsirtsis G., & Danielidis D. B. (2009), Dynamics of potentially harmful microalgae in a confined Mediterranean Gulf -Assessing the risk of bloom formation
5. Scott W. Nixon (1995), Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns
6. George Tsirtsis, Sofie Spatharis, Angeliki Sampatakaki, Alexandra Spyropoulou (2008), Thresholds of terrestrial nutrient loading for the development of eutrophication episodes in a coastal embayment in the Aegean Sea
7. Darrell L. King (2013), The Role of Carbon in Eutrophication, Journal (Water Pollution Control Federation)
8. Marco J. Ulloa et al.(2016), Harmful algal blooms and eutrophication along the Mexican coast of the gulf of Mexico large marine ECOSYSTEM
9. Laura L. Govers, Leon P.M. Lamers, Tjeerd J. Bouma, Jan H.F. de Brouwer, Marieke M. van Katwijk (2014), Eutrophication threatens Caribbean seagrasses – An example from Curaçao and Bonaire
10. Jianheng Zhang, Jinting Shi, Song Gao, Yuanzi Huo, Jianjun Cui, Hui Shen, Guiyan Liu, Peimin He (2019), Annual patterns of macroalgal blooms in the Yellow Sea during 2007–2017

11. “*Algae overwhelms beach in Qingdao, east China*”, The Guardian
12. Sampo Pihlainen, Marianne Zandersen Kari Hyytiäinen, Hans Estrup Andersen, Alena Bartosova, Bo Gustafsson, Mohamed Jabloun, Michelle McCrackin, H.E. Markus Meier, Jørgen E. Olesen, Sofia Saraiva, Dennis Swaney, Hans Thodsen (2020), Impacts of changing society and climate on nutrient loading to the Baltic Sea
13. “*Our vision for the Baltic Sea*”, WWF Baltic
14. J.M. O’Neil, T.W.Davis, M.A.Burford, C.J.Gobler (2012), The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change
15. Donald M. Anderson (2018), Harmful Algal Blooms. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences
16. Xiao-e Yang, Xiang Wu, Hu-lin Hao and Zhen-li He (2008), Mechanisms and assessment of water eutrophication
17. S.E. Poulos , P.G. Drakopoulos , M.B. Collins (1997), Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean) : an overview
18. N. Skliris, A. Mantziafou , S. Sofianos, A. Gkanasos (2010), Satellite-derived variability of the Aegean Sea ecohydrodynamics
19. Wayne W. Carmichael (2001), Health Effects of Toxin-Producing Cyanobacteria: “The CyanoHABs”
20. Donald M. Anderson, Porter Hoagland, Yoshi Kaoru, Alan W. White (2000), Estimated Annual Economic Impacts from Harmful Algal Blooms (HABs) in the United States
21. World Health Organization (2003), Guidelines for safe recreational water environments, Volume 1: Coastal and fresh waters
22. Sofie Spatharis, Daniel B. Danielidis, George Tsirtsis (2007), Recurrent Pseudo-nitzschia calliantha (Bacillariophyceae) and Alexandrium insuetum (Dinophyceae) winter blooms induced by agricultural runoff, Harmful Algae, Volume 6, Issue 6, pp. 811-822
23. Mamoutos I., Petalas S., Sampatakaki A., Dimitrakopoulos A., Zervakis V. (2018), A high resolution hydrodynamic simulation of Lesvos semi enclosed embayment Kalloni gulf: Preliminary results
24. Panayotis Panayotidis, J. Feretopoulou, Barbara Montesanto (1999), Benthic Vegetation as an Ecological Quality Descriptor in an Eastern Mediterranean Coastal Area (Kalloni Bay, Aegean Sea, Greece)
25. Maria Aloupi, Michael O. Angelidis, Apostolos M. Gavriil, Michael Koulousaris, Soterios P. Varnavas (2008), Influence of geology on arsenic concentrations in ground and surface water in central Lesvos, Greece

26. Alexandra Spyropoulou, Sofie Spatharis, Georgia Papantoniou, George Tsirtsis (2013), Potential response to climate change of a semi-arid coastal ecosystem in eastern Mediterranean
27. K. Kountoura, I. Zacharias (2013), Trophic state and oceanographic conditions of Amvrakikos Gulf: evaluation and monitoring, Desalination and Water Treatment
28. Sofie Spatharis, George Tsirtsis, Daniel B. Danielidis, Thang Do Chi, David Mouillot (2007), Effects of pulsed nutrient inputs on phytoplankton assemblage structure and blooms in an enclosed coastal area
29. Alejandra-Selene Membrillo Abad, Marco Antonio Torres-Vera, Javier Alcer, Rosa Ma. Prol Ledesma, Luis A. Oseguera, Juan Ramón Ruiz-Armenta (2016), Trophic State Index estimation from remote sensing of lake Chapala, México