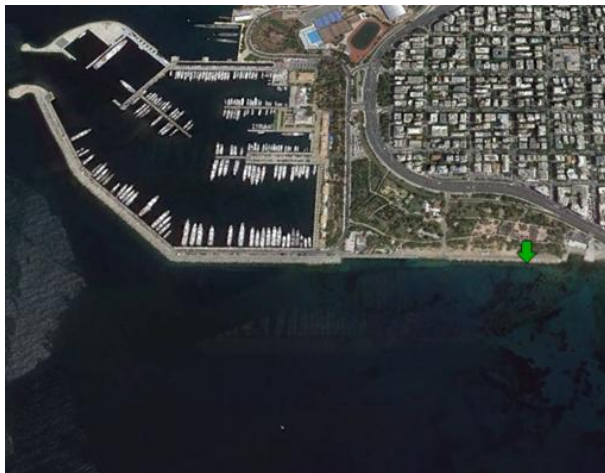


**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ  
ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΡΑΜΑ ΕΩΣ ΤΟ ΦΑΛΗΡΟ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ  
ΣΤΙΣ ΕΚΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΚΗΦΙΣΟΥ**



**Τέταρτο Παραδοτέο  
Αθήνα, Ιανουάριος 2020**



**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ  
ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΡΑΜΑ ΕΩΣ ΤΟ ΦΑΛΗΡΟ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ  
ΣΤΙΣ ΕΚΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΚΗΦΙΣΟΥ**

**Τέταρτο Παραδοτέο  
(Ιανουάριος 2020)**

A) *Επιστημονικός Υπεύθυνος*  
Σουλτάνα Ζερβουδάκη

Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ.)

B) *Επιστημονικό και Τεχνικό προσωπικό από το Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας (ΕΛΚΕΘΕ-Ι.Ω.) που εργάστηκε για το παρόν Παραδοτέο.*

A. Ανδρονή	Χημικός Ωκεανογράφος
Γ. Αρβανιτάκης	Τεχνικός Βιολογίας
Γ. Ασημακοπούλου	Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)
Ε. Βουτσινά	Βιολόγος Ωκεανογράφος
Β. Γερακάρης	Θαλασσίων Επιστημών-Ωκεανογράφος (Δρ.)
Π. Γεωργίου	Τεχνικός Γεωλογίας
Π. Ζαχιώτη	Τεχνικός Χημείας
Θ. Ζούλιας	Τεχνικός Βιολογίας
Σ. Ηλιάκης	Χημικός Μηχανικός
A. Καραγεώργης	Γεωλόγος Ωκεανογράφος (Δρ)
Ε. Καμπέρη	Χημικός Ωκεανογράφος (Δρ)
N. Κατσιάρας	Θαλασσίων Επιστημών-Ωκεανογράφος
B. Καψιμάλης	Γεωλόγος Ωκεανογράφος (Δρ)
K. Κικιάκη	Μηχανικός-Τοπογράφος
X. Κοντογιάννης	Φυσικός Ωκεανογράφος (Δρ)
A.Κωνσταντινοπούλου	Τεχνικός Βιολογίας
Π. Παναγιωτίδης	Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)
A. Παπαγεωργίου	Τεχνικός Γεωλογίας
A. Παυλίδου	Χημικός Ωκεανογράφος (Δρ)
M. Πρωτοπαπά	Βιολόγος Ωκεανογράφος
Ε. Ρουσελάκη	Χημικός Ωκεανογράφος
K. Σιγάλα	Βιολόγος Ωκεανογράφος
I. Σταυρακάκη	Γεωλόγος Ωκεανογράφος
N. Σύμπουρα	Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)
B. Φιοράκη	Χημικός Ωκεανογράφος
Σ. Χαϊκάλης	Πολιτικός Μηχανικός
S. Faulwetter	Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)

Η παρούσα έκθεση έχει συνταχθεί για την Περιφέρεια Αττικής, Γενική Διεύθυνση Αναπτυξιακού Προγραμματισμού, η οποία δικαιούται να κάνει εκμετάλλευση των προϊόντων της έρευνας για την κάλυψη των υπηρεσιακών αναγκών της.

Απαγορεύεται η χρήση των στοιχείων της έκθεσης από οποιονδήποτε άλλο και για οποιονδήποτε σκοπό χωρίς την έγκριση και του **Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών**.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ	ΣΕΛΙΔΑ
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>7</b>
<b>2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΣΤΗΛΗΣ</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Φυσικά χαρακτηριστικά – Υδρογραφία</b> <i>Χ. Κοντογιάννης</i>	<b>11</b>
<b>2.2. Διαλυμένο Οξυγόνο και Θρεπτικά Άλατα</b> <i>Α. Παυλίδου, Ε. Ρουσελάκη, Β. Φιοράκη, Π. Ζαχιώτη</i>	<b>12</b>
<b>2.3. Σωματιδιακός Οργανικός Άνθρακας, Άζωτο και Φώσφορος</b> <i>Α. Ανδρονή</i>	<b>13</b>
<b>2.4. Κατανομές φυτοπλαγκτού</b> <i>Γ. Ασημακοπούλου, Α. Κωνσταντινοπούλου</i>	<b>16</b>
<b>2.5. Μεσοζωοπλαγκτόν</b> <i>Σ. Ζερβουδάκη, Μ. Πρωτοπαπά, Θ. Ζούλιας</i>	<b>21</b>
<b>3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΙΖΗΜΑΤΟΣ</b>	<b>23</b>
<b>3.1. Εκτίμηση της διαχρονικής ρύπανσης από βαρέα μέταλλα στα ιζήματα.</b> <i>Καμπέρη Ε., Καραγεώργης Α., Ηλιάκης Σ., Σταυρακάκη Ι., Παπαγεωργίου Α., Γεωργίου Π.</i>	<b>23</b>
<b>3.2. Ζωοβένθος Μαλακού Υποστρώματος</b> <i>Κ. Σιγάλα, Ν. Κατσιάρας, Ε. Βουτσινά, S. Faulwetter, Γ. Αρβανιτάκης, Ν. Σύμπουρα</i>	<b>28</b>
<b>3.3. Φυτοβενθικοί πληθυσμοί σκληρού υποστρώματος στην ανώτερη υποπαράλια ζώνη</b> <i>Π. Ι. Λάρδη, Β. Γερακάρης, Π. Παναγιωτίδης</i>	<b>30</b>
<b>4. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ</b>	<b>39</b>
<b>4.1. Μελέτη του ριπιδίου διασποράς του Κηφισού και της φυτοπλαγκτονικής δραστηριότητας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων</b> <i>Κ. Κικάκη, Β. Καψιμάλης, Α. Καραγεώργης</i>	<b>39</b>
<b>5. ΣΥΝΟΨΗ</b>	<b>43</b>
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>45</b>



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στον Σαρωνικό Κόλπο το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ), εφαρμόζοντας τις απαιτήσεις της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα (ΟΠΥ, 2000/60/ΕΕ, Water Frame Directive WFD), παρακολουθεί συστηματικά την «οικολογική ποιότητα», δηλαδή το Οικολογικό Καθεστώς Ποιότητας (Ecological Quality Status, EQS)), όπως αυτό ορίζεται στην Οδηγία 2000/60/ΕΕ. Για τον σκοπό αυτό έχει επιλεγεί ένα σύνολο σημείων (σταθμών) δειγματοληψίας, με κριτήριο την απόσταση από του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ).

Διαχρονικές μελέτες της οικολογικής ποιότητας του Εσωτερικού Σαρωνικού κόλπου για το χρονικό διάστημα από 1998 έως 2016 έδειξε ότι μετά το 2004 λόγω της εφαρμογής της προχωρημένης δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων, η περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί από μέτρια έως καλή με σημαντική τάση βελτίωσης χωρικά με την απομάκρυνση από την Ψυττάλεια αλλά και χρονικά για ένα σημαντικό αριθμό βιότικών και αβιότικών παραμέτρων (Pavlidou et al., 2013; Symboura et al., 2014). Επίσης, αναλύσεις των βιοκοινωνιών του φυτοβένθους και ιδιαίτερα των μακροφυκών, που αποτελούν βασικό Βιολογικό Στοιχείο Ποιότητας (Biological Quality Element, όπως αναφέρεται στην ΟΠΥ) για την εκτίμηση του Οικολογικού Καθεστώτος όπως αυτό ορίζεται στην Οδηγία 2000/60/ΕΕ, έχουν δείξει ότι η οικολογική ποιότητα των σταθμών του Εσωτερικού Σαρωνικού παρουσιάζει βελτίωση όσο απομακρυνόμαστε από την Ψυττάλεια (Tsiamis et al., 2013). Αντίθετα, βρέθηκε επιβάρυνση των ιζημάτων σε βαρέα μέταλλα και μεταλλοειδή, που αναπόφευκτα σχετίζονται με ποικίλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην περιοχή (Karageorgis et al., 2016). Συνεπώς, η προσπάθεια βελτίωσης της οικολογικής ποιότητας του Σαρωνικού που γίνεται με το έργο της Ψυττάλειας, θα οδηγήσει τελικά στο επιθυμητό αποτέλεσμα της ικανοποίησης των απαιτήσεων της ΟΠΥ με την προϋπόθεση ότι δεν θα προστεθούν νέα φορτία ρύπανσης από άλλες παράπλευρες πηγές που θα αναιρέσουν τα μέχρι σήμερα θετικά αποτελέσματα.

Συνεπώς το ΕΛΚΕΘΕ κατέχει αυτή τη στιγμή μεγάλη χρονοσειράς δεδομένα και μπορεί να αποτυπώσει την οικολογική και περιβαλλοντική κατάσταση του Εσωτερικού Σαρωνικού και των κόλπων της Ελευσίνας και του Κερατσινίου έτσι ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί σε απαιτήσεις εφαρμογής των Οδηγιών για τα Ύδατα της ΕΕ και να διερευνήσει πιθανές μεταβολές σε ορισμένα χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος σε σχέση με το παρελθόν.

Το πρόγραμμα παρακολούθησης που έχει προταθεί από το ΕΛΚΕΘΕ, για τον έλεγχο της ποιότητας των θαλασσίων υδάτων από το Πέραμα μέχρι το Φάληρο με έμφαση στις εκβολές του Κηφισού, έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ακολουθεί πιστά τους σκοπούς του πιλότικού ερευνητικού προγράμματος της διακήρυξης του συνοπτικού διαγωνισμού της Περιφέρειας Αττικής: α) διαπίστωση και ταυτοποίηση της ρύπανσης σε περιόδους βροχοπτώσεων στην περιοχή της εκβολής του ποταμού Κηφισού, και β) έλεγχος της ρύπανσης του θαλάσσιου αποδέκτη από χερσαίες δραστηριότητες στην παράκτια θαλάσσια περιοχή από το Πέραμα μέχρι το Φάληρο.

*Το παρόν ερευνητικό πρόγραμμα έχει θέσει τους εξής στόχους:*

1. Η εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης των παράκτιων υδάτων από την εκβολή του Κηφισού μέχρι το Πέραμα (με βάση τα Βιολογικά και Χημικά στοιχεία ποιότητας που προβλέπει η Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα).
2. Η διερεύνηση πιθανών μεταβολών στα χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος σε σχέση με το παρελθόν και εκτίμηση της επίδρασης των διαφόρων φάσεων της σχεδιαζόμενης ανάπτυξης του παράκτιου χώρου.
3. Η εκτίμηση της διαχρονικής ρύπανσης από βαρέα μέταλλα στα ιζήματα.
4. Η παρακολούθηση βραχυχρόνιων μεταβολών του ριπιδίου διασποράς του Κηφισού με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης.

5. Η συλλογή ωκεανογραφικών δεδομένων που απαιτούνται από την Οδηγία Πλαίσιο για την Θαλάσσια Στρατηγική, ώστε να μπορεί να γίνει πιλότική εφαρμογή της.

Στην παρούσα Έκθεση που αποτελεί και το Τέταρτο Παραδοτέο του προγράμματος παρουσιάζεται η σύνοψη των αποτελεσμάτων των αναλύσεων που προέκυψαν από τις δύο δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στην εξεταζόμενη περιοχή από το Πέραμα ως το Φάληρο και τις εκβολές του Κηφισού. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στις 24 Οκτωβρίου 2018 και 19 Μαρτίου 2019 με το Ω/Κ ΑΙΓΑΙΟ του ΕΛΚΕΘΕ σε πέντε σταθμούς (Εικόνα 1), εντός της ζώνης του ενός ναυτικού μιλίου από την ακτογραμμή (Πέραμα, Πειραιϊκή, εκβολή Κηφισού, εκβολή Ιλισού, μαρίνα Φλοίσβου).

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας είναι:

**α) Παράμετροι της υδάτινης στήλης:** φυσικά χαρακτηριστικά-υδρογραφία, διαλυμένο οξυγόνο, θρεπτικά άλατα, σωματιδιακός άνθρακας, άζωτο και φώσφορος, χλωροφύλλη, φυτοπλαγκτόν και μεσοζωοπλαγκτόν.

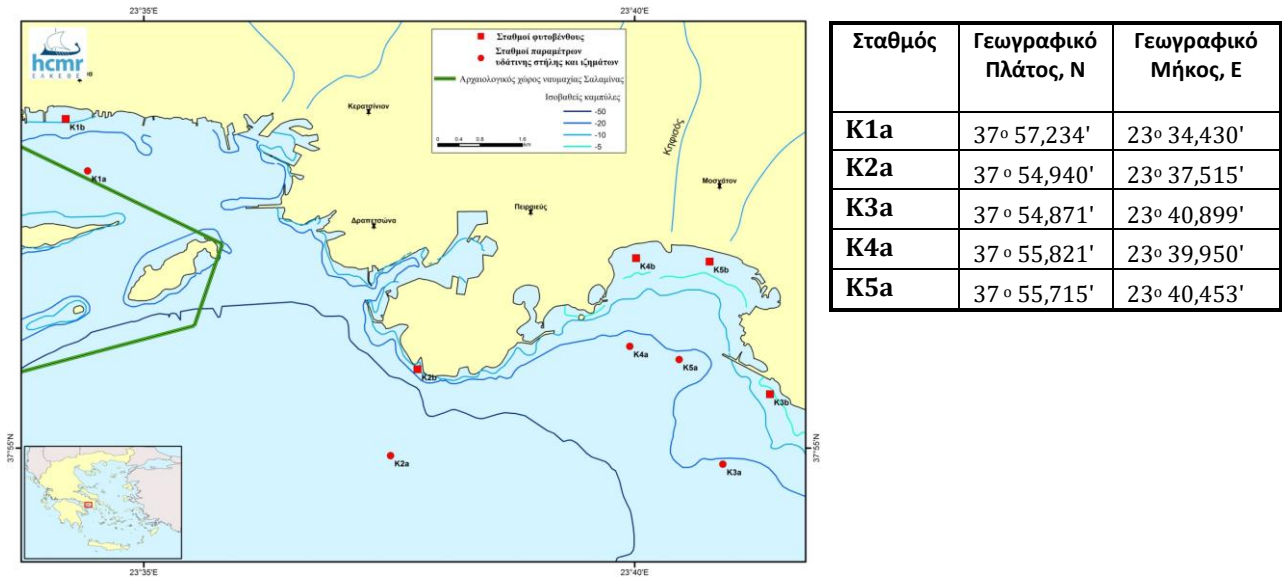
**β) Παράμετροι Ιζήματος:** Στην δειγματοληψία του Οκτωβρίου 2018 (θερμή περίοδος) έγινε γεωχημική ανάλυση των ιζημάτων και των μακροζωοβενθικών βιοκοινωνών μαλακού υποστρώματος. Τον Ιούνιο-Ιούλιο 2018 περίοδο πραγματοποιήθηκε η μελέτη των μακροφυκών του παράκτιου χώρου. Το σύνολο των εν λόγω σταθμών δειγματοληψίας που είχαν αρχικά προταθεί απαντούσαν σε βραχώδες υπόστρωμα στην ανώτερη υποπαράλια ζώνη του θαλάσσιου μετώπου της περιοχής. Μέρος των εξετασθέντων σταθμών δειγματοληψίας απορρίφθηκαν λόγω μη καταλληλότητας του διαθέσιμου σκληρού υποστρώματος (δηλ. μεγάλης κλίσης, μη φυσικό, ασυνεχές βραχώδες υπόστρωμα) και οι σταθμοί δειγματοληψίας που εξετάστηκαν τελικά τον Ιούνιο-Ιούλιο 2018 περιορίστηκαν στους εξής τρεις

- σταθμός Φλοίσβος (ΦΛ)
- σταθμός Νησάκι Σταλίδα (Ν)
- σταθμός Πειραιϊκή (Π)

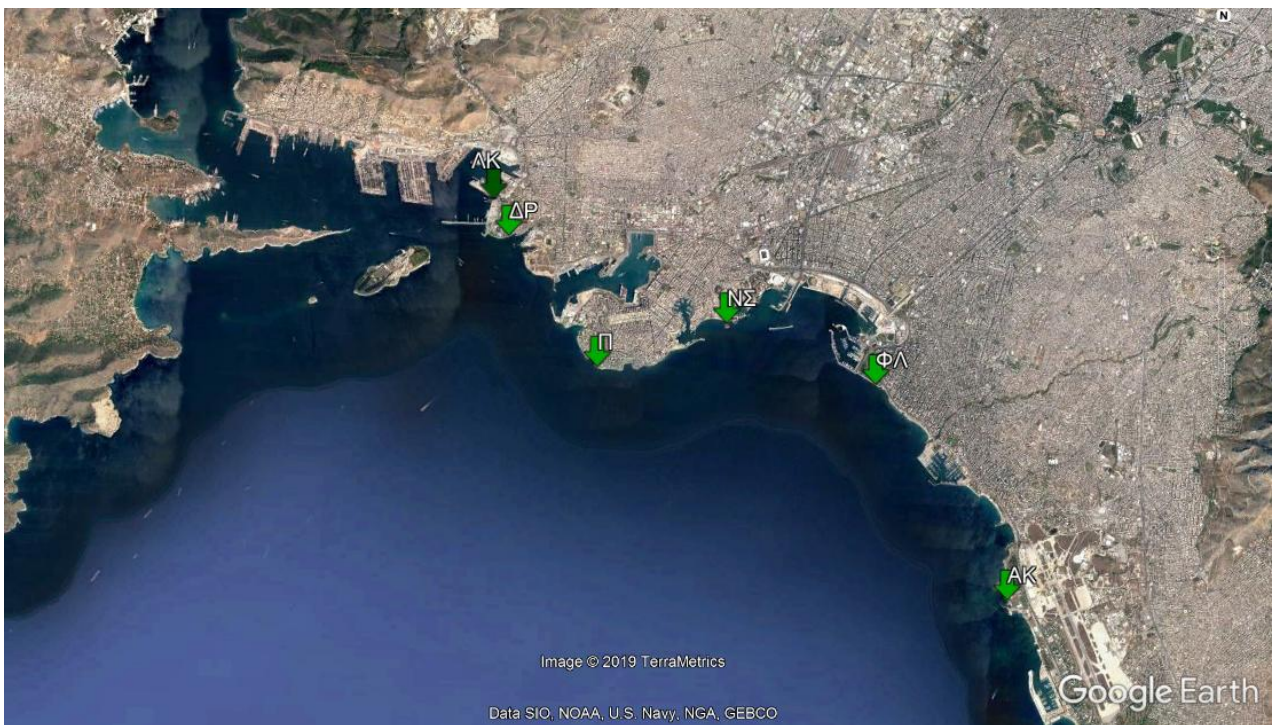
Τον Μάρτιο 2019 (ψυχρή περίοδος) ελήφθησαν δείγματα μόνο για τη μελέτη των μακροφυκών. Οι σταθμοί δειγματοληψίας που θεωρήθηκαν κατάλληλοι για την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας είναι οι ακόλουθοι (Εικόνα 2):

- Άγιος Κοσμάς (ΑΚ)
- Φλοίσβος (ΦΛ)
- Νησάκι Σταλίδα (ΝΣ)
- Πειραιϊκή (Π)
- Δραπετσώνα (ΔΡ)

Λόγω του μειωμένου αριθμού των σταθμών δειγματοληψίας κατά τη θερμή περίοδο για τη μελέτη των μακροφυκών, πραγματοποιήθηκε εκ νέου δειγματοληψία τον Ιούνιο 2019 στους ίδιους σταθμούς με την περίοδο του Μαρτίου 2019 (Εικόνα 2).



**Εικόνα 1.** Χάρτης και θέσεις σταθμών δειγματοληψίας παραμέτρων υδάτινης στήλης και ιζημάτων (κύκλος) του παρόντος προγράμματος.



**Εικόνα 2.** Σταθμοί δειγματοληψιών μακροφυκών σε υπόβαθρο δορυφορικής εικόνας (Google earth).

### Τηλεπισκόπηση

Στην παρούσα Έκθεση παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα της Τηλεπισκόπησης με σκοπό τη μελέτη του ριπιδίου διαφοράς του Κηφισού και της φυτοπλαγκτονικής δραστηριότητας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων και ο έλεγχος της αξιοπιστίας των συγκεκριμένων δεδομένων με βάση τις *in situ* μετρήσεις. Συνολικά στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος χρησιμοποιήθηκαν 60 δορυφορικές εικόνες από τους αισθητήρες Sentinel-2, Sentinel-3 και Landsat-8, από τις οποίες προέκυψαν οι χάρτες της χλωροφύλλης και του αιωρούμενου υλικού για την περιοχή μελέτης. Στο συγκεκριμένο παραδοτέο γίνεται αξιολόγηση του αλγορίθμου πρόβλεψης της χλωροφύλλης (OC3) με βάση τις επιτόπιες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τις ανάγκες του προγράμματος. Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι πιο αντιπροσωπευτικοί χάρτες των παραμέτρων της ποιότητας των υδάτων που εξετάστηκαν στην περιοχή μελέτης.

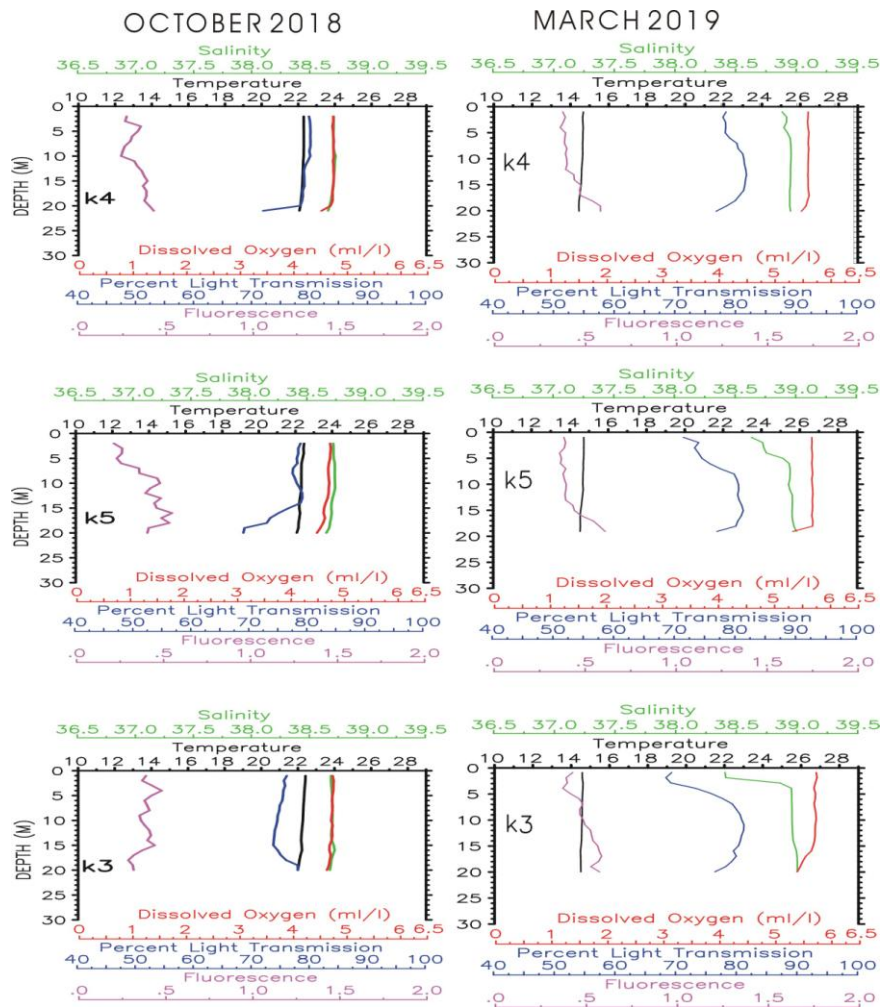
Συντομογραφία	Περιγραφή
CTD	conductivity, temperatue, depth
HABs	Harmful Algae Blooms
E.I.	Δείκτης Ευτροφισμού
POC	Σωματιδιακός οργανικός άνθρακας
PP	Σωματιδιακός φώσφορος
LOQ	Όρια ποσότικοποίησης
WFD	Οδηγία Πλαίσιο για τα Υδατα (Water Frame Directive)
ΟΠΥ	Οδηγία Πλαίσιο για τα Υδατα
BQEs	Βιολογικά Στοιχεία Ποιότητας
κυτ.λ <sup>-1</sup>	Κύτταρα στο λίτρο
PMC	Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων
IOP	Εγγενή Οπτική Ιδιότητα
GES	Καλή Περιβαλλοντική Κατάσταση (Good Environmental Status)
EF	Συντελεστής εμπλουτισμού μετάλλων
Species richness (S)	Αριθμός ειδών
Abundance (N)	Αριθμός ατόμων ανά είδος
Pielou's Evenness Index (J)	Δείκτης ομαλής κατανομής των ατόμων ανά είδος
Shannon-Wiener Diversity Index (H)	Δείκτης Βιοποικιλότητας των ειδών.
Simpson's Dominance	Δείκτης της πιθανότητας της παρουσίας δύο ή περισσότερων ατόμων στο δείγμα που ανήκουν στο ίδιο είδος.
Ecological Quality Status (EQS)	Οικολογικό καθεστώς βασιζόμενο σε βιολογικές παραμέτρους και διαχωρίζει το οικοσύστημα σε τέσσερις κλάσεις (Υψηλό, Καλό, Μέτριο και Φτωχό)
Bentix index EQR	Δείκτης υπολογισμού του EQS, βασιζόμενος στη σχετική αφθονία των ανθεκτικών και ευαίσθητων ειδών στο δείγμα.
Bray-Curtis Coefficient	Εκφράζει την ομοιότητα μεταξύ των σταθμών βασιζόμενο στην αφθονία των ειδών σε κάθε σταθμό.
Spearman's Rank Correlation Coefficient	Συσχέτιση μεταξύ παραμέτρων

## ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΣΤΗΛΗΣ

## 2.1. Φυσικά χαρακτηριστικά - Υδρογραφία

## X. Κοντογιάννης

Η διερεύνηση των φυσικών ιδιοτήτων του θαλασσινού νερού (θερμοκρασία, αλατότητα και διαύγεια) στους πλόες που έγιναν τον Οκτώβριο 2018 και Μάρτιο 2019 με επικέντρο την ευρύτερη περιοχή γύρω από την εκβολή του Κηφισσού στο Σαρωνικό κόλπο, ανέδειξε το εξής κύριο χαρακτηριστικό: Η μειωμένη επιφανειακή διαύγεια, κύριο γνώρισμα των νερών από ποτάμια μέσα σε ένα θαλάσσιο εκβολικό σύστημα, ήταν και στους δύο πλόες εντονότερη στην πλέον νότια παράκτια θέση μέτρησης (σταθμός K3) η οποία ήταν πλησίον της Μαρίνας του Καλαμακίου και όχι μπροστά από την εκβολή του Κηφισσού στο Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας. Στη συγκεκριμένη περιοχή εκβάλλει το ρεύμα της Πικροδάφνης. Η συγκεκριμένη παρατήρηση δεν σημαίνει ότι το ρεύμα της Πικροδάφνης έχει μεγαλύτερη παροχή από την Κηφισσό, αλλά ότι μια πλέον εμπειριστατομένη μελέτη θα απαιτούσε δειγματοληψία με περισσότερους και πυκνότερους μετρητικούς σταθμούς σε ολόκληρη της περιοχή και σε μιά περίοδο εντός μιάς ή δύο ημερών, το πολύ, μετά από έντονη βροχόπτωση όταν και οι δύο εκβολές (Κηφισσός και Ρεύμα της Πικροδάφνης) είναι ενεργές.



Εικόνα 1. Υδρογραφικά χαρακτηριστικά στις θέσεις K4, K5, K3 στους πλόες κατά τον Οκτώβριο 2018 και Μάρτιο 2019.

## 2.2. Διαλυμένο Οξυγόνο και Θρεπτικά Άλατα

**Α. Παυλίδου, Ε. Ρουσελάκη, Β. Φιοράκη, Π. Ζαχιώτη**

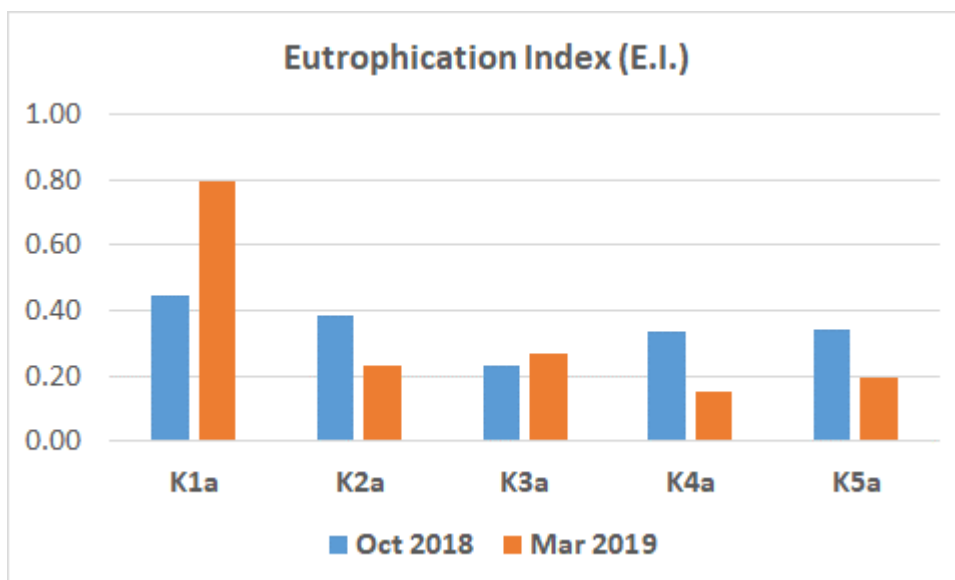
Στην παρούσα Έκθεση παρουσιάζεται η τροφική κατάσταση της θαλάσσιας περιοχής πλησίον του π. Κηφισού τον Οκτώβριο 2018 και τον Μάρτιο 2019.

Οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου κυμάνθηκαν σε φυσιολογικά επίπεδα ακολουθώντας τις διακυμάνσεις τις θερμοκρασίας, ανάλογα με την εποχή.

Σε γενικές γραμμές, οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων δεν διαφοροποιήθηκαν σε σχέση με τις συγκεντρώσεις που μετρώνται στην ευρύτερη περιοχή τις ίδιες εποχές, και ως εκ τούτου δεν φαίνεται να επηρεάζονται από τον ποταμό Κηφισό. Ωστόσο, ο σταθμός Κ1α ξεχώρισε και στις δύο δειγματοληψίες με σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις ανόργανων και οργανικών θρεπτικών, υποδεικνύοντας την ύπαρξη σημειακής πηγής σε θρεπτικά συστατικά από το όμορο περιβάλλον. Επιπλέον, τον Μάρτιο 2019 καταγράφηκαν σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις οργανικού αζώτου και φωσφόρου στον σταθμό Κ5α, παράμετροι οι οποίες σχετίζονται με επιβάρυνση σε οργανική ύλη γεγονός που πιθανά σχετίζεται με την ύπαρξη της μαρίνας και των ποταμών-ποταμοχειμάρων στη μελετώμενη θαλάσσια περιοχή.

Εκτιμήθηκε η τροφική κατάσταση στην περιοχή μελέτης με βάση τον δείκτη Ευτροφισμού - E.I. (Primpas et.al., 2010). Χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις φωσφορικών, νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών αλάτων καθώς και η συγκέντρωση της Χλωροφύλλης -α, ώστε να αποτυπωθεί ολιστικά η τροφική κατάσταση στην περιοχή.

Η γενική τροφική κατάσταση της θαλάσσιας περιοχής σύμφωνα με τον E.I. είναι ΜΕΤΡΙΑ προς ΚΑΛΗ, και φαίνεται ότι η όποια επίδραση του Κηφισού ποταμού στην περιοχή μελέτης περιορίζεται σχετικά κοντά στις εκβολές του ποταμού και δεν επηρεάζει τη γενικότερη τροφική κατάσταση της περιοχής. Εξαιρέση αποτελεί ο σταθμός Κ1α στον οποίο η τροφική κατάσταση τον Οκτώβριο 2018 ήταν μέτρια, ενώ τον Μάρτιο 2019 ήταν φτωχή (Εικόνα 2).



**Εικόνα 2.** Τροφική Κατάσταση της Περιοχής.

## 2.3. Σωματιδιακός Οργανικός Άνθρακας, Άζωτο και Φώσφορος

### A. Ανδρονή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται η σύνοψη των αποτελέσματα από τις μετρήσεις των συγκεντρώσεων του POC, PN και PP στους σταθμούς: K1α, K2α, K3α, K4α και K5α τον Οκτώβριο 2018 και Μάρτιο 2019 (Πίνακας 1) και τα τελικά συμπεράσματα.

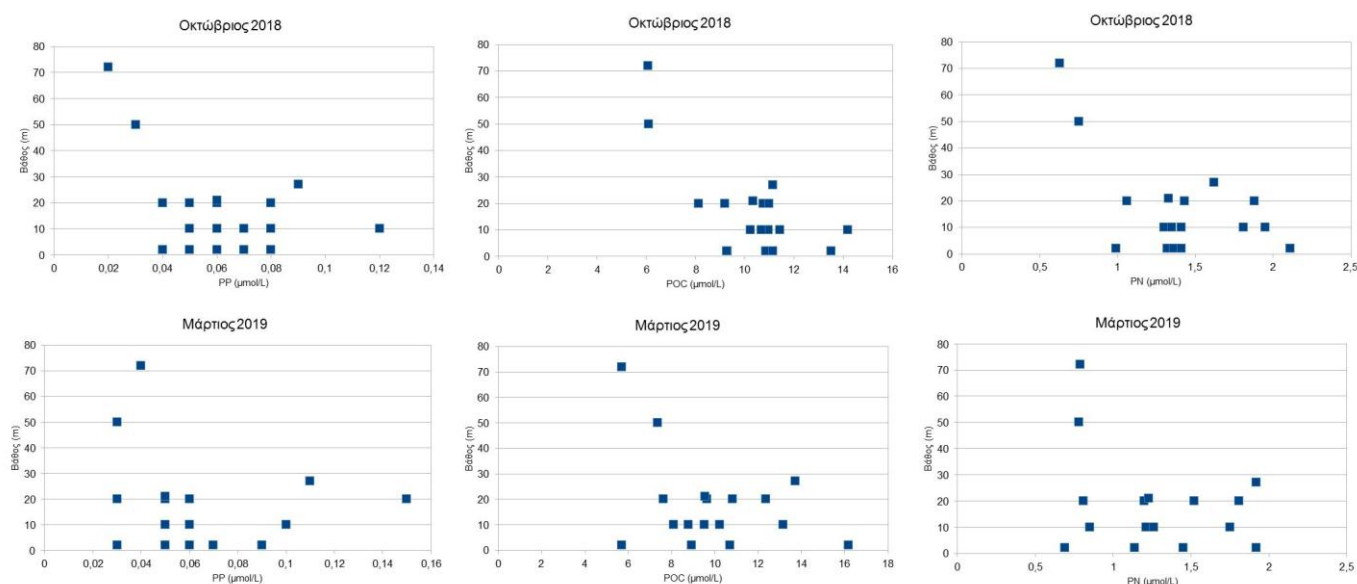
Οι τιμές συγκεντρώσεων των τριών παραμέτρων που μελετήθηκαν δεν είχαν σημαντικές εποχικές διαφορές (Εικόνα 3). Συγκεκριμένα τα αιωρούμενα σωματίδια άνθρακα (POC) κυμάνθηκαν από 6,08 μέχρι 14,9  $\mu\text{mol/L}$  τον μήνα Οκτώβριο 2018 και 5,70  $\mu\text{mol/L}$  μέχρι 16,17 τον Μάρτιο 2019. Αντίστοιχα τα αιωρούμενα σωματίδια αζώτου (PN) παρουσίασαν τιμές από 0,63  $\mu\text{mol/L}$  μέχρι 2,11  $\mu\text{mol/L}$  τον Οκτώβριο 2018 και 0,69  $\mu\text{mol/L}$  μέχρι 1,92  $\mu\text{mol/L}$  τον Μάρτιο 2019 και τέλος τα αιωρούμενα σωματίδια του φωσφόρου (PP) είχαν εύρος τιμών από 0,02  $\mu\text{mol/L}$  μέχρι 0,12  $\mu\text{mol/L}$  τον Οκτώβριο 2018 και 0,03  $\mu\text{mol/L}$  με 0,15  $\mu\text{mol/L}$  τον Μάρτιο 2019.

Παρόλα αυτά, υπήρξε εποχική διαφορά στις κατακόρυφες κατανομές των παραμέτρων. Τον Οκτώβριο 2018 παρουσιάστηκε η κλασική κατακόρυφη κατανομή της υδάτινης στήλης όπου οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων μειώνονται με την αύξηση του βάθους. Αυτό υποδηλώνει την προοδευτική αποσύνθεση των οργανικών σωματιδίων από την επιφάνεια της υδάτινης στήλης προς τον πυθμένα λόγω βακτηριακής κατανάλωσης και αναπνοής με εξαίρεση τους σταθμούς K4α και K5α όπου σημειώθηκαν επιφανειακές συγκεντρώσεις POC χαμηλότερες από εκείνες των βαθύτερων στρωμάτων. Αυτό το πρότυπο κατακόρυφης κατανομής παρατηρήθηκε και στις συγκεντρώσεις του PN και PP στον σταθμό K4α όχι όμως στον K5α. Το φαινόμενο αυτό φαίνεται να έχει σχέση με την γειτνίαση των σταθμών αυτών με τους ποταμούς Κηφισό και Ιλισό. Αντίθετα τον Μάρτιο 2019 η κατακόρυφη κατανομή των συγκεντρώσεων των τριών παραμέτρων που μελετήθηκαν υπέδειξε ομογενοποίηση της υδάτινης στήλης λόγω του ότι δεν υπήρξαν μεγάλες διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων στα διάφορα βάθη.

**Πίνακας 1.** Συγκεντρώσεις POC, PN και PP ( $\mu\text{mol/L}$ ) στους σταθμούς K1α, K2α, K3α, K4α και K5α.

Δειγματοληψία	Σταθμός	Βάθος (m)	POC ( $\mu\text{mol/L}$ )	PN ( $\mu\text{mol/L}$ )	PP ( $\mu\text{mol/L}$ )
<b>Οκτώβριος 2018</b>	<b>K1α</b>	2	13,50	2,110	0,08
		10	14,19	1,952	0,12
		20	10,74	1,434	0,08
	<b>K2α</b>	27	11,15	1,617	0,09
		2	10,85	1,324	0,06
		10	10,23	1,298	0,05
	<b>K3α</b>	20	8,13	1,060	0,04
		50	6,11	0,750	0,03
		72	6,08	0,630	0,02
	<b>K4α</b>	2	11,14	1,363	0,05
		10	11,42	1,355	0,08
		20	9,18	1,062	0,06
	<b>K5α</b>	2	9,29	0,493	0,04
		10	10,95	0,495	0,07
		21	10,33	1,414	0,06
	<b>K5α</b>	2	9,28	1,414	0,07
		10	10,66	1,330	0,06
		20	10,99	0,990	0,05

<b>Μάρτιος 2019</b>	<b>K1α</b>	2	16,17	1,18	0,09
		10	13,16	1,19	0,10
		20	12,35	1,81	0,15
		27	13,71	1,92	0,11
	<b>K2α</b>	2	5,70	0,69	0,03
		10	8,11	0,85	0,05
		20	7,62	0,81	0,05
		50	7,37	0,78	0,03
		72	5,70	0,79	0,04
	<b>K3α</b>	2	10,69	1,45	0,07
		10	9,51	1,22	0,06
		20	9,64	1,20	0,06
	<b>K4α</b>	2	10,69	1,14	0,06
		10	8,79	1,21	0,05
		21	9,54	1,23	0,05
	<b>K5α</b>	2	8,93	1,14	0,05
		10	10,23	1,26	0,05
		20	10,82	1,52	0,03



**Εικόνα 3.** Τιμές συγκεντρώσεων PP (αριστερά-επάνω, κάτω), POC (μέση-επάνω, κάτω) και PN (δεξιά-επάνω, κάτω) τον Οκτώβριο 2018 και Μάρτιο 2019.

Για την εκτίμηση της ποιότητας των σωματιδιακών υλών έγινε ο υπολογισμός της στοιχειομετρικής αναλογίας άνθρακα προς άζωτο. Σύμφωνα με τη σταθερά του Redfield (Redfield et al., 1963) η στοιχειακή σύνθεση των θαλάσσιων οργανικών υλών διατηρείται σε σταθερή αναλογία (C/N=106/16) στα παράλια και στον ωκεανό, έτσι ο λόγος C/N πρέπει να είναι 6,6. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται ο μέσος όρος της μοριακής αναλογίας του άνθρακα προς το άζωτο κάθε σταθμού για τις δύο εποχές. Παρατηρούμε ότι οι περισσότεροι σταθμοί παρουσιάζουν αναλογία που δεν ξεπερνάει κατά πολύ την θεωρητική τιμή Redfield το οποίο καταδεικνύει ότι το μεγαλύτερο μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων άνθρακα και αζώτου είναι βιογενούς προέλευσης.

**Πίνακας 2.** Μοριακή αναλογία C/N στους σταθμούς μελέτης.

Σταθμός	C/N
K1A	7,3
K2A	8,5
K3A	8,1
K4A	7,7
K5A	6,9

Τέλος προσδιορίστηκαν οι μέσες ολοκληρωμένες τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων για κάθε σταθμό προκειμένου να συγκριθούν με τις αντίστοιχες τιμές από άλλες μελέτες στον Σαρωνικό Κόλπο και άλλες περιοχές της Αττικής σε παρόμοιες εποχές, και παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Από τον παρακάτω πίνακα φαίνεται ότι οι μέσες ολοκληρωμένες τιμές POC, PN και PP στην παρούσα μελέτη ανήκουν στο ίδιο εύρος τιμών με τις υπόλοιπες παράκτιες θαλάσσιες περιοχές που αναφέρονται.

**Πίνακας 3.** Μέσες ολοκληρωμένες τιμές POC, PN,PP (μmol/L) σε διάφορες παράκτιες περιοχές της Ελλάδας.

Περιοχή	Μέση Ολοκληρωμένη τιμή POC (μmol/L)	Μέση Ολοκληρωμένη τιμή PN (μmol/L)	Μέση Ολοκληρωμένη τιμή PP (μmol/L)	Πηγή
Β. Ευοϊκός Κόλπος (Λάρυμνα) 9/2014	9,29			WFD DATA BASE
Παγασητικός Κόλπος 9/2014	6,76			WFD DATA BASE
Θερμαϊκός Κόλπος 11/2014	9,52			WFD DATA BASE
Κόλπος Ελευσίνας 11/2013	13,83			WFD DATA BASE
Έσω Σαρωνικός Κόλπος 11/2013	7,85			WFD DATA BASE
Κόλπος Αυλίδας (Αν.Στ.Ελλάδα) 11/2013	13,29			WFD DATA BASE
Β. Ευοϊκός Κόλπος (Θεολόγος) 11/2012	10,96			WFD DATA BASE
Κερκυραϊκή Θάλασσα 10/2013	8,57			WFD DATA BASE
KA1 10/2018	12,48	1.778	0.093	Παρούσα μελέτη
KA2 10/2018	7,48	1.012	0.040	Παρούσα μελέτη
KA3 10/2018	10,73	1,260	0.063	Παρούσα μελέτη
KA4 10/2018	10,42	0.801	0.057	Παρούσα μελέτη
KA5 10/2018	10,44	1.245	0.060	Παρούσα μελέτη
Ν.Ευοϊκός (Μαρκόπουλο) 3/2018	7,04		0,04	WFD DATA BASE
Ραφήνα 3/18	6,88		0,03	WFD DATA BASE
Κόλπος Ελευσίνας 3/18	19,21		0,10	WFD DATA BASE
Κόλπος Ελευσίνας	13,83		0,10	WFD DATA BASE

3/18				
Έσω Σαρωνικός Κόλπος 3/18	10,37		0,08	WFD DATA BASE
Έξω Σαρωνικός Κόλπος 3/18	6,58		0,03	WFD DATA BASE
Έσω Σαρωνικός Κόλπος 2/16		1,12		Αρχείο Παρακολούθησης Οικοσυστήματος Σαρωνικού
KA1 3/2019	13,45	1,82	0,11	Παρούσα μελέτη
KA2 3/2019	7,18	0,80	0,04	Παρούσα μελέτη
KA3 3/2019	9,81	1,26	0,06	Παρούσα μελέτη
KA4 3/2019	9,41	1,20	0,05	Παρούσα μελέτη
KA5 3/2019	10,10	1,31	0,04	Παρούσα μελέτη

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η οικολογική κατάσταση της θαλάσσιας περιοχής που μελετήθηκε, όσον αφορά τις χημικές παραμέτρους POC, PN και PP, δεν έχει σημαντικές διαφορές από προηγούμενα έτη σε παρακείμενα σημεία δειγματοληψιών.

## 2.4. Κατανομές φυτοπλαγκτού

### Γ. Ασημακοπούλου, Α. Κωνσταντινοπούλου

Στα πλαίσια της μελέτης για την αποτύπωση της ποιότητας των θαλασσίων υδάτων από το Πέραμα έως το Φάληρο με έμφαση στις εκβολές του Κηφισού, έχει συμπεριληφθεί και η μελέτη των παραμέτρων της υδάτινης στήλης: χλωροφύλλη  $\alpha$  (ως δείκτη βιομάζας φυτοπλαγκτού) και οι πληθυσμοί του φυτοπλαγκτού. Οι δειγματοληψίες για την κατανομή της χλωροφύλλης  $\alpha$  και τη μελέτη της σύνθεσης και δομής των βιοκοινοτήτων των φυτοπλαγκτονικών πληθυσμών πραγματοποιήθηκαν τον Οκτώβριο 2018 και τον Μάρτιο 2019 με σκοπό την διερεύνηση των επιπτώσεων της οργανικής ρύπανσης στη περιοχή και η εκτίμηση της Οικολογικής Ποιότητας για την εκπλήρωση των στόχων της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα.

Στην παρούσα Έκθεση γίνεται εκτίμηση του Οικολογικού Καθεστώτος (Ecological Status) της περιοχής μελέτης βάσει της ΟΠΥ. Τα αποτελέσματα για την ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης κάθε σταθμού σύμφωνα με το άρθρο 1.4.1. του Παραρτήματος V της Οδηγίας 2000/60/EK πρέπει να εκφράζονται ως λόγοι της οικολογικής ποιότητας (Ecological Quality Ratio, EQR), όπου οι βιολογικές παράμετροι αποτελούν απόκλιση από τις συνθήκες αναφοράς και οι φυσικοχημικές-υδρομορφολογικές παράμετροι είναι τέτοιες που να στηρίζουν τα αποτελέσματα των βιολογικών ποιότικων στοιχείων (Οδηγία 2000/60/EK, Παράρτημα V). Ο λόγος εκφράζεται ως η αριθμητική τιμή μεταξύ του μηδενός και του ενός, όπου η υψηλή οικολογική κατάσταση δηλώνεται με την τιμή ένα (1) και η κακή οικολογική κατάσταση αντιπροσωπεύεται από το μηδέν (0).

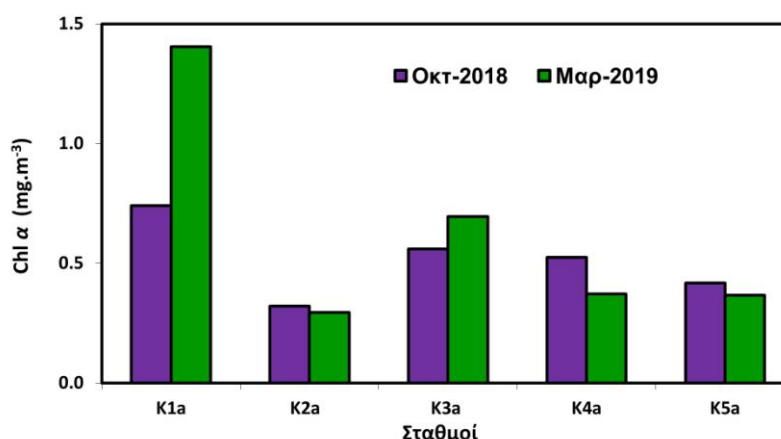
Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διαβαθμονόμησης της ομάδας γεωγραφικής διαβαθμονόμησης της Μεσογείου (MEDGIG), προσδιορίστηκε μια μεθοδολογία για τη χρήση διαφορετικών ιδιοτήτων φυτοπλαγκτού για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής κατάστασης στα παράκτια ύδατα. Η απόφαση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (ΕΚ) 2013/480 / ΕΕ εξέτασε τη χλωροφύλλη  $\alpha$  ως κριτήριο ταξινόμησης για το φυτοπλαγκτόν βιολογικής ποιότητας (BQE). Οι συνθήκες αναφοράς και τα όρια για την μεταξύ υψηλής, καλής και ελλιπής ποιότητας των κατηγοριών βασίστηκαν σε συγκεντρώσεις χλωροφύλλης σε διαφορετικές τυπολογίες παράκτιων υδάτων της Μεσογείου. Στον Πίνακα 4 αποδίδεται χρωματικά η κλίμακα της οικολογικής ποιότητας των υδάτων.

Οι δείκτες βιοποικιλότητας του φυτοπλαγκτού, που χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής κατάστασης του θαλασσιού περιβάλλοντος, είναι η σύνθεση των βιοκοινωνιών του φυτοπλαγκτού, η αφθονία, η συχνότητα και η ένταση των ανθίσεων του φυτοπλαγκτού (Varkitzi et al., 2018). Για την διερεύνηση της σύνθεσης της βιοκοινότητας και της οικολογικής της κατάστασης υπολογίστηκαν δείκτες δεικτών ποικιλότητας του φυτοπλαγκτού ( $R'$ =αριθμός ειδών του φυτοπλαγκτού,  $d$ =δείκτης Margalef,  $H'$ =δείκτης Shannon,  $S'$ =δείκτης Simpson) και δεικτών ομοιομορφίας του φυτοπλαγκτού ( $J'$ =δείκτης Pielou,  $Sh'$ =δείκτης Sheldon) σε σύγκριση με την κατανομή των δεικτών ολικής βιομάζας και ολικής αφθονίας του φυτοπλαγκτού ( $Chl\ \alpha$  =δείκτης ολικής βιομάζας του φυτοπλαγκτού ως χλωροφύλλη- $\alpha$ ,  $N'$ =ολική αφθονία του φυτοπλαγκτού).

**Πίνακας 4:** Συνθήκες και όρια αναφοράς για την περιβαλλοντική εκτίμηση των παράκτιων υδάτων στην Ελλάδα και την Κύπρο βάσει της χλωροφύλλης- $\alpha$  (παράμετρος που χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο της βιομάζας φυτοπλαγκτού) από τα αποτελέσματα του MEDGIG (πηγή: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ την απόφαση 2018/229 / ΕΕ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής).

	Ορια μεταξύ κλάσεων	Οικολογική ποιότητα
Λόγος οικολογικής απόκλισης της χλωροφύλλης $\alpha$ (EQR)	0.66	Υψηλή/Καλή
	0.37	Καλή/Μέτρια
	< 0.37	Ελλιπής

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται οι μέσες ολοκληρωμένες στην κολώνα του νερού συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης  $\alpha$  στους πέντε σταθμούς του Κηφισού τον Οκτώβριο 2018 και Μάρτιο 2019. Είναι εμφανές ότι η μεγαλύτερη συκέντρωση χλωροφύλλης  $\alpha$  κατά τη διάρκεια και των δύο εποχών παρατηρήθηκε στον σταθμό Κ1α (Κυνόσουρα-Πέραμα) και στον Κ3α (Μαρίνα Φλοίσβου), ενώ οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν στον βαθύτερο σταθμό Κ2α (Πειραιϊκή). Τον Μάρτιο 2019 καταγράφηκαν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά τα πρότυπα του ετήσιου κύκλου των εύκρατων-υποτροπικών περιοχών με την καταγραφή “ανοιξιάτικου” μεγίστου.



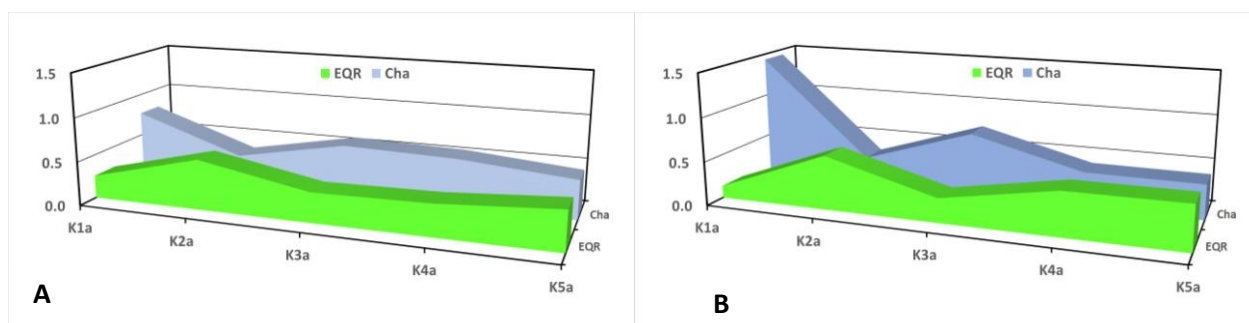
**Εικόνα 4.** Σύγκριση των μέσων ολοκληρωμένων συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης  $\alpha$  ( $mg\ m^{-3}$ ) στους σταθμούς Κ1α, Κ2α, Κ3α, Κ4α και Κ5α τον Οκτώβριο 2018 και τον Μάρτιο 2019.

Ο λόγος οικολογικής ποιότητας της χλωροφύλλης *a* δείχνει ότι τα παράκτια ύδατα στον Κηφισό παρουσιάζουν «Μέτρια» έως «Καλή» Περιβαλλοντική Κατάσταση, σύμφωνα με τα όρια που θεσπίστηκαν από τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες (Πίνακας 5).

**Πίνακας 5.** Ποσοστό οικολογικής ποιότητας χλωροφύλλης-*a* και αξιολόγηση της περιβαλλοντικής κατάστασης στους σταθμούς του Κηφισού (Οκτώβριο 2018 και Μάρτιο 2019).

Κηφισός	Ορια μεταξύ κλάσεων	Οικολογική ποιότητα
0.40	0.66	Υψηλή/Καλή
	0.37	Καλή/Μέτρια
	< 0.37	Ελλιπής

Στην Εικόνα 5Α και 5Β δίνονται τα αποτελέσματα χλωροφύλλης *a*, του EQR και η Οικολογική Ποιότητα των σταθμών. Τον Οκτώβριο 2018 ο σταθμός Κ1α είναι «Ελλιπής» και παρουσιάζει την περισσότερο υποβαθμισμένη ποιότητα. Οι σταθμοί Κ3α και Κ4α παρουσιάζουν χαμηλές τιμές στα όρια προς την «Ελλιπή». Ενώ ο σταθμοί Κ2α και Κ5α παρουσιάζουν «Καλή» οικολογική ποιότητα. Τον Μάρτιο 2019 οι σταθμοί Κ1α και Κ3α παρουσιάζουν χαμηλές τιμές «Ελλιπή» οικολογική ποιότητα. Οι υπόλοιποι σταθμοί (Κ2α, Κ4α και Κ5α) παρουσιάζουν «Καλή» οικολογική ποιότητα.

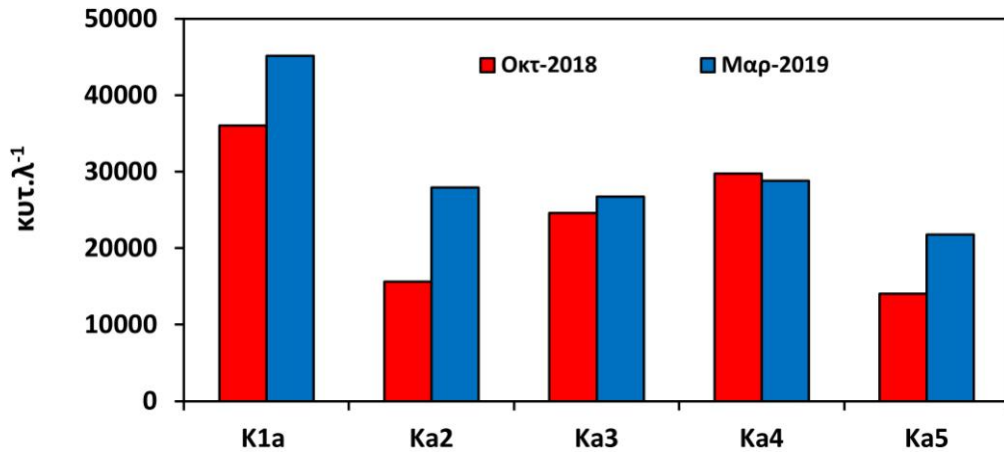


**Εικόνα 5.** Αξιολόγηση της περιβαλλοντικής κατάστασης βάσει του δείκτη οικολογικής ποιότητας χλωροφύλλης-*a* στους σταθμούς του Κηφισού (Α) τον Οκτώβριο 2018 (Β) και τον Μάρτιο 2019.

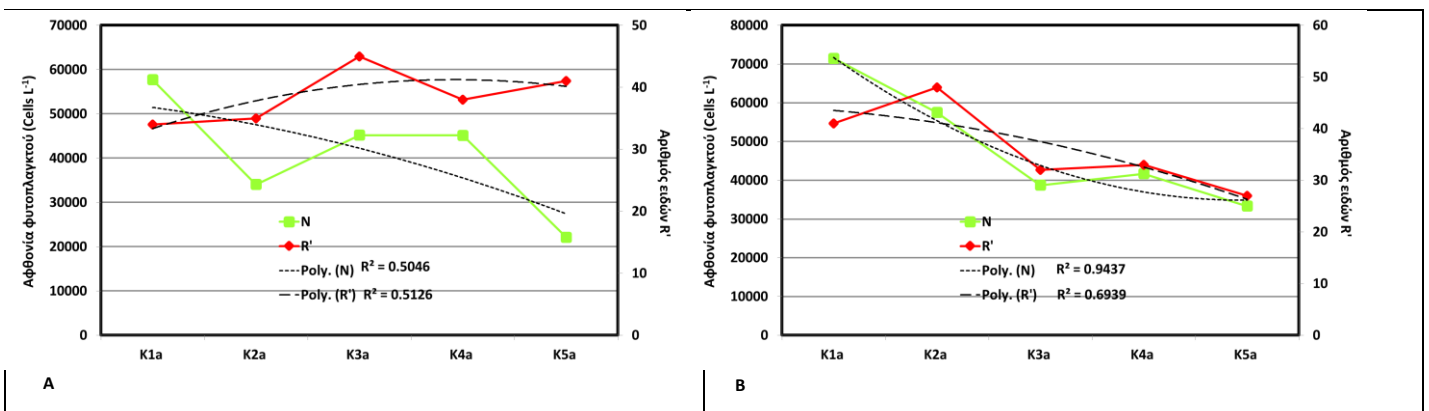
Στην Εικόνα 6 παρουσιάζονται οι μέσες ολοκληρωμένες του ολικού αριθμού κυττάρων στους πέντε σταθμούς του Κηφισού τον Οκτώβριο 2018 και Μάρτιο 2019. Είναι εμφανές ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις φυτοπλαγκτού κατά τη διάρκεια και των δύο εποχών παρατηρήθηκαν στον σταθμό Κ1α (Κυνόσουρα-Πέραμα) και, ενώ οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις τον Οκτώβριο καταγράφηκαν στον Κ5α (Καλλιθέα-εκβολή Ιλισσού) και στον βαθύτερο σταθμό Κ2α (Πειραική).

Στα ακόλουθα γραφήματα (Εικόνες 7, 8 και 9) παρουσιάζεται η κατανομή του αριθμού των ειδών, της ολικής αφθονίας, της αφθονίας των ομάδων, και των δεικτών ποικιλότητας και ομοιομορφίας των βιοκοινωνιών του φυτοπλαγκτού στους σταθμούς δειγματοληψίας. Τον Οκτώβριο ο σταθμός Κ1α με αρκετά υψηλή αφθονία παρουσιάζεται περισσότερο υποβαθμισμένος τόσο ως προς την ποικιλότητα  $H'$  (2,7), όσο και ως προς την ομοιογένεια  $J'$  (0,77), ίσως λόγω υψηλής κυριαρχίας

λίγων ειδών. Ενώ τον Μάρτιο παρουσιάζεται επίσης με υψηλή, αλλά και υψηλούς δείκτες ποικιλότητας και ομοιογένειας. Ο σταθμός K5α παρουσιάζει και την μεγαλύτερη ποικιλότητα  $H'$  (3,77) και σχετικά υψηλή ομοιογένεια  $J'$  (0,89). Τον Οκτώβριο η αφθονία του φυτοπλαγκτού και ο αριθμός των ειδών παρουσίασαν αντίστροφη σχέση. Οι σταθμοί K1α και K4α παρουσίασαν το μεγαλύτερο αριθμό ειδών και ατόμων. Ενώ τη περίοδο του Μαρτίου καταγράφηκαν υψηλές συγκεντρώσεις κυττάρων καθώς και των ειδών φυτοπλαγκτού.

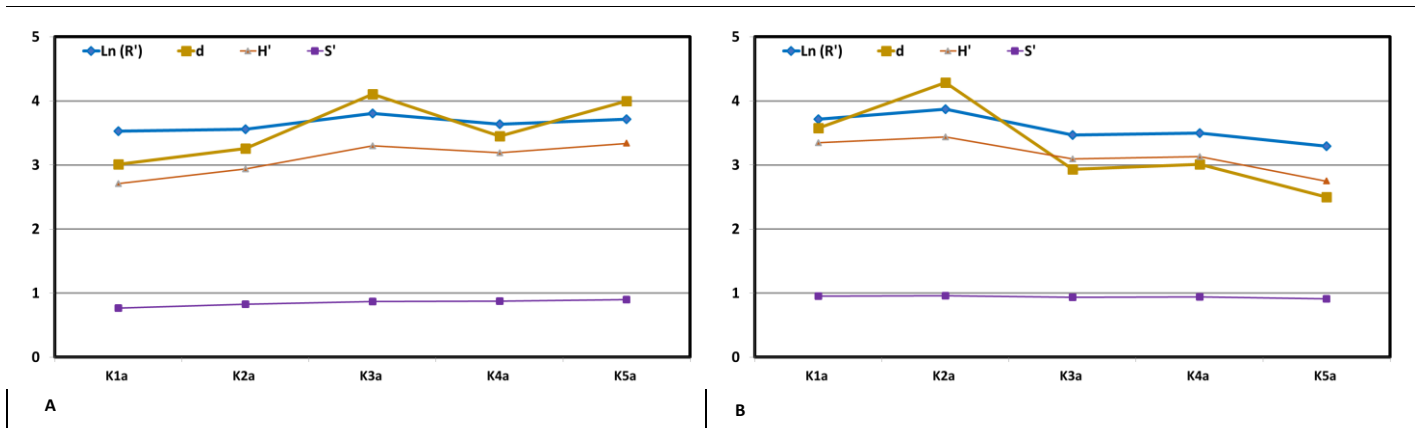


**Εικόνα 6.** Κατανομή της ολικής αφθονίας του φυτοπλαγκτού ( $\text{cells L}^{-1}$  = αριθμός κυττάρων φυτοπλαγκτού ανά λίτρο θαλασσινού νερού) στους πέντε σταθμούς του Κηφισού τον Οκτώβριο 2018 και τον Μάρτιο 2019.

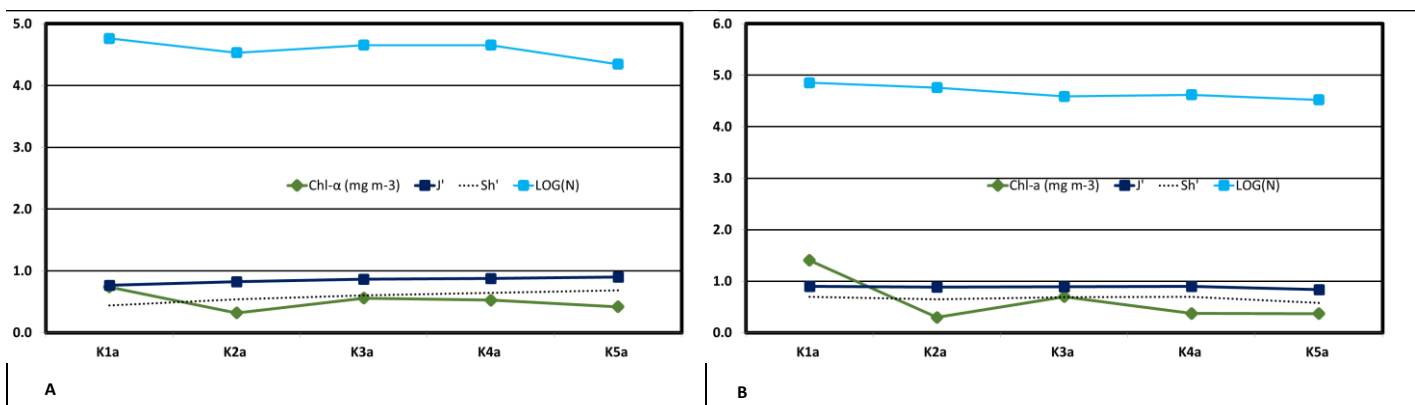


**Εικόνα 7.** Κατανομή της ολικής αφθονίας N ( $\text{cells L}^{-1}$  = αριθμός κυττάρων φυτοπλαγκτού ανά λίτρο θαλασσινού νερού) και του αριθμού των ειδών  $R'$  του φυτοπλαγκτού στους πέντε σταθμούς του Κηφισού τον Οκτώβριο 2018 (A) και Μάρτιο 2019 (B).

Στην Εικόνα 8 οι δείκτες ποικιλότητας του φυτοπλαγκτού ( $H'$ ) παρουσίασαν σχετικά υψηλά επίπεδα με τιμές  $>3$  τον Οκτώβριο 2018 στον σταθμό K3α και τον Μάρτιο στον σταθμό K2α στους περισσότερους σταθμούς. Η αφθονία ειδών που παρουσιάζουν αυτοί οι σταθμοί συμβαδίζει με τον δείκτη ποικιλότητας. Ο δείκτης ομοιομορφίας ήταν παρόμοιος σε όλους του σταθμούς (Εικόνα 9).



**Εικόνα 8.** Κατανομή των δεικτών ποικιλότητας του φυτοπλαγκτού ( $R'$ =αριθμός ειδών του φυτοπλαγκτού,  $d$ =δείκτης Margalef,  $H'$ =δείκτης Shannon,  $S'$ =δείκτης Simpson) στους πέντε σταθμούς του Κηφισού (A) τον Οκτώβριο 2018 και (B) το Μάρτιο 2019.



**Εικόνα 9.** Κατανομή των δεικτών ομοιομορφίας του φυτοπλαγκτού ( $J'$ =δείκτης Pielou,  $Sh'$ =δείκτης Sheldon) σε σύγκριση με την κατανομή των δεικτών ολικής βιομάζας και ολικής αφθονίας του φυτοπλαγκτού ( $Chl\ \alpha$ =δείκτης ολικής βιομάζας του φυτοπλαγκτού ως χλωροφύλλη  $\alpha$ ,  $N'$ =ολική αφθονία του φυτοπλαγκτού) στους πέντε σταθμούς του Κηφισού τον Οκτώβριο 2018 (A) και Μάρτιο 2019 (B).

**Συνοψίζοντας:**

- Τον Οκτώβριο 2018 ο σταθμός K1a (Πέραμα) είναι «Ελλιπής» και παρουσιάζει την περισσότερο υποβαθμισμένη ποιότητα. Οι σταθμοί K3a (Μαρίνα Φλοίσβου) και K4a (εκβολή Κηφισού) παρουσιάζουν χαμηλές τιμές στα όρια προς την «Ελλιπή». Ενώ ο σταθμοί K2a (Πειραιϊκή) και K5a (Εκβολή Ιλισού) παρουσιάζουν «Καλή» οικολογική ποιότητα. Τον Μάρτιο 2019 οι σταθμοί K1a και K3a παρουσιάζουν χαμηλές τιμές «Ελλιπή» οικολογική ποιότητα. Οι υπόλοιποι σταθμοί (K2a, K4a και K5a) παρουσιάζουν «Καλή» οικολογική ποιότητα.
- Χαρακτηριστικό και των δύο εποχών οι μέγιστες συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης  $\alpha$  αλλά και του ολικού αριθμού φυτοπλαγκτονικών κυττάρων καταγράφηκαν κυρίως στα ανατολικά του κόλπου στο σταθμό K1a (Πέραμα) και στη Μαρίνα Φλοίσβου (στ.Κ3a ), ενώ οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις και των δύο παραμέτρων καταγράφηκαν στη Πειραιϊκή (στ. K2a). Οι τιμές των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης  $\alpha$  κυμάνθηκαν σε επίπεδα ( $\sim 0.70\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ) αυτών που έχουν μετρηθεί για την ίδια περίοδο σε αντίστοιχες περιοχές του Σαρωνικού κόλπου ( $>0.5\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ) (Ασημακοπούλου & Πάγκου, 2001, 2008). Παρατηρήθηκε επίσης μερική διαφοροποίηση στη χωρική κατανομή των σταθμών,

που ίσως να οφείλεται στα ιδιαίτερα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά κάθε υποπεριοχής (βάθος, εκροές επιφανειακών νερών, ανθρωπογενείς δραστηριότητες, επικρατούσα κυκλοφορία).

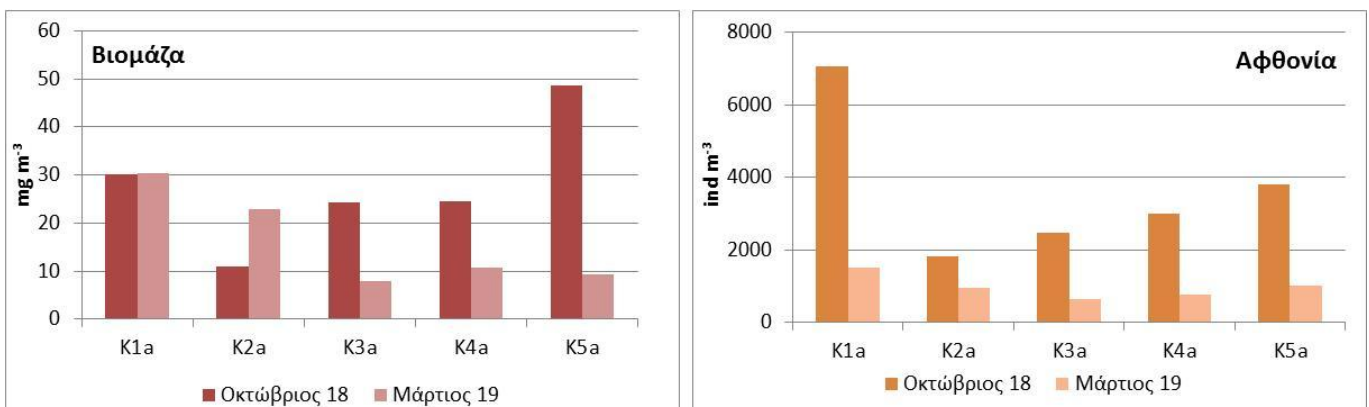
- Η ποικιλότητα εξαρτάται από τις βασικές οικολογικές διεργασίες όπως ανταγωνισμός, θήρευση και διαδοχή. Επομένως οι αλλαγές σε αυτές τις διεργασίες μπορούν να αλλάξουν τον δείκτη ποικιλότητας των ειδών μέσω αλλαγών στην ομαλότητα (Stirling *et al.*, 2001). Οι φυτοπλαγκτονικές κοινωνίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες της οικολογικής κατάστασης. Τα διάτομα είναι η πιο ποικιλόμορφη και με υψηλή αφθονία κατηγορία φυτοπλαγκτού, επειδή διαθέτει ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών μεταβλητών. Η ποικιλομορφία των οργανισμών φυτοπλαγκτού είναι σημαντική για την οικολογία και τη βιογεωχημεία του ωκεανού και σχεδόν βεβαίως δίνει σταθερότητα στο σύστημα (Ptacnik *et al.*, 2008). Η ποικιλότητα των ειδών είναι ένα μέτρο της ποικιλομορφίας μέσα σε μια οικολογική κοινότητα που ενσωματώνει τόσο τον πλούτο των ειδών όσο και την ομοιογένεια. Οι δείκτες ποικιλότητας είναι καλός δείκτης της ρύπανσης στο υδάτινο οικοσύστημα. Η τιμή δείκτη ποικιλότητας μεγαλύτερη από 3.00 δείχνει καθαρό νερό. Οι τιμές στην περιοχή από 1.00 έως 3.00 είναι χαρακτηριστικά μέτρια υγιεινών συνθηκών.

## 2.5. Μεσοζωοπλαγκτόν

### Σ. Ζερβουδάκη, Μ. Πρωτοπαπά, Θ. Ζούλιας

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται η σύνοψη των αποτελέσματα από τις μετρήσεις των συγκεντρώσεων της βιομάζας και αφθονίας του μεσοζωοπλαγκτού καθώς επίσης και η σύνθεση του μεσοζωοπλαγκτού σε ομάδες και είδη, στους σταθμούς: K1a, K2a, K3a, K4a και K5a τον Οκτώβριο 2018 και Μάρτιο 2019 και τα τελικά συμπεράσματα.

Οι τιμές της βιομάζας και αφθονίας του ζωοπλαγκτού εκφρασμένες σε mg ξηρού βάρους ανά m<sup>3</sup> και αριθμού ατόμων ανά m<sup>3</sup> (ind m<sup>-3</sup>) αντίστοιχα στους σταθμούς μελέτης φαίνονται στην Εικόνα 10. Από το σύνολο των τιμών της βιομάζας, οι μεγαλύτερες τιμές καταγράφηκαν τον Οκτώβριο 2018 στους σταθμούς K5a (49 mg m<sup>-3</sup>) και K1a (30 mg m<sup>-3</sup>), ενώ την περίοδο του Μαρτίου οι τιμές της βιομάζας κυμάνθηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα. Οι τιμές της αφθονίας παρουσίασαν αντίστοιχες διακυμάνσεις με εκείνες της βιομάζας, όπου τον Οκτώβριο ήταν αρκετά υψηλότερες και η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στο σταθμό K1a (7059 ind m<sup>-3</sup>). Οι τιμές των σταθμών K1a και K2a συγκρίνονται με καταγεγραμμένες τιμές του κόλπου της Ελευσίνας και Μαλιακού για την ίδιες περιόδους (SoHelME, 2005).



**Εικόνα 10.** Τιμές βιομάζας (mg m<sup>-3</sup>) και αφθονίας για κάθε σταθμό της περιοχής μελέτης τον Οκτώβριο 2018 και Μάρτιο 2019.

Η κυριότερη ομάδα του ζωοπλαγκτού και για τις δύο περιόδους ήταν τα Κωπήποδα και η συμμετοχή τους στο ζωοπλαγκτό με μέγιστες τιμές τον Μάρτιο 2019 στον Κ1α 71% (Κ1α) και τον Οκτώβριο 2019 στον Κ3α (67%). Άλλη σημαντική ομάδα του ζωοπλαγκτού τον Οκτώβριο 2018, ήταν οι Προνύμφες των Θυσανοπόδων με ποσοστό σχετικής αφθονίας που κυμάνθηκε μεταξύ 9% (Κ4α) και 24% (Κ1α), οι Κωπηλάτες με ποσοστό συμμετοχής από 7% (Κ5α) ως 15% (Κ2α) και τα Κλαδοκεραιωτά που κυμάνθηκαν μεταξύ 5% (Κ2α) και 27% (Κ1α). Τον Μάρτιο 2019, σημαντική ήταν η συμμετοχή των ναυπλιακών σταδίων των Κωπηπόδων (2-17%) που δηλώνουν αυξημένη παραγωγή της ομάδας αυτής στην περιοχή. Ακολουθούν οι Κωπηλάτες με ποσοστό σχετικής αφθονίας που κυμάνθηκε μεταξύ 1% (Κ1α) και 29% (Κ3α) και τα Κλαδοκεραιωτά με ποσοστό συμμετοχής από 1% (Κ5α) ως 21% (Κ1α). Οι υπόλοιπες ομάδες του ζωοπλαγκτού κυμάνθηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα αφθονίας και σχετικής αφθονίας και τις δύο περιόδους δειγματοληψίας.

Τα κυρίαρχα είδη που επικρατούσαν στο ζωοπλαγκτόν τον Οκτώβριο 2019 ήταν τα νεαρά στάδια του γένους *Clausocalanus*, *Calocalanus* και *Oithona*, τα είδη *Mesocalanus tenuicornis*, *Calocalanus spp.*, *Oncaea media*, *Oithona spp.* και *Euterpina acutifrons* καθώς επίσης τα είδη των Κλαδοκεραιωτών *Evadne tergestina* και *Penilia avirostris*. Με μικρή διαφοροποίηση λόγω της εποχικότητας που παρουσιάζουν τα είδη του ζωοπλαγκτού, το Μάρτιο 2019 τα κυρίαρχα είδη ήταν τα νεαρά στάδια των Κωπηπόδων *Clausocalanus* και *Oithona*, το Κλαδοκεραιωτό *Evadne normanii*, και τα Κωπήποδα *Mesocalanus tenuicornis* και *Euterpina acutifrons*. Αξιοσημείωτη είναι η μεγάλη αφθονία του Κωπηπόδου *Acartia clausi* στον σταθμό Κ1α το οποίο και εμφανίζεται σε περιοχές με αυξημένα θρεπτικά και χλωροφύλλη.

#### Συνοψίζοντας

Τα παραπάνω αποτελέσματα με τις σχετικά υψηλές τιμές βιομάζας και αφθονίας στους περισσότερους σταθμούς και ιδιαίτερα ο σταθμός Κ1α, υποδηλώνουν έναν κατώτερο μεσότροφο χαρακτήρα της περιοχής καθώς και την παρουσία βιοκοινωνίας χαρακτηριστικής των ημίκλειστων περιοχών, συνοδευόμενη από είδη που συναντώνται σε μεσογειακές παράκτιες περιοχές.

### 3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΙΖΗΜΑΤΟΣ

#### 3.1. Εκτίμηση της διαχρονικής ρύπανσης από βαρέα μέταλλα στα ιζήματα.

**Καμπέρη Ε., Καραγεώργης Α., Ηλιάκης Σ., Σταυρακάκη Ι., Παπαγεωργίου Α., Γεωργίου Π.**

Τα παράκτια ιζήματα αποτελούν ζωτικό οικοσύστημα για την παράκτια θαλάσσια ζωή. Ωστόσο, η αστικοποίηση και η οικονομική ανάπτυξη στις παράκτιες περιοχές έχουν οδηγήσει σε παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα. Λόγω της ανάπτυξης των παράκτιων δραστηριοτήτων, όπως οι νέες βιομηχανικές εγκαταστάσεις και η επέκταση των εμπορικών λιμανιών, εισάγονται ανθρωπογενή μέταλλα στις παρακείμενες περιοχές. Στα ιζήματα αποτυπώνεται διαχρονικά η κατάσταση του θαλάσσιου οικοσυστήματος καθώς τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των θαλασσίων ιζημάτων (πορώδες, μέγεθος κόκκων, ολικές συγκεντρώσεις κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων) αντανακλούν τις αλλαγές που ενδεχομένως συμβαίνουν σε σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα. Για το λόγο αυτό σε μελέτες παρακολούθησης της ρύπανσης, οι αναλύσεις του ρυπαντικού φορτίου των επιφανειακών ιζημάτων γίνονται σε ετήσια βάση ή και σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Η διαχρονική εξέλιξη της ρύπανσης στα ιζήματα μπορεί να μελετηθεί με την βοήθεια του ραδιοϊσοτόπου  $^{210}\text{Pb}$ , το οποίο φθάνει στο θαλάσσιο περιβάλλον από την ατμόσφαιρα και τα επιφανειακά νερά και το οποίο διασπάται σε διάστημα 100-120 ετών, φθάνοντας στην συγκέντρωση υποβάθρου. Η διάσπαση του  $^{210}\text{Pb}$  δίνει την δυνατότητα χρονολόγησης των ιζημάτων και κατ'επέκταση βοηθάει στην εκτίμηση της συγκέντρωσης υποβάθρου των μετάλλων που θεωρούνται ρύποι. Η συγκέντρωση υποβάθρου των ρύπων χρησιμοποιείται στην ποσοτική εκτίμηση της ρυπαντικής κατάστασης των ιζημάτων με την βοήθεια του συντελεστή εμπλουτισμού.

Γεωχημική ανάλυση ιζημάτων για τα κύρια στοιχεία Al, Ti, Fe και για τα ιχνοστοιχεία Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As και Pb πραγματοποιήθηκε σε επιφανειακά δείγματα που συλλέχθηκαν άπαξ από τα 5 προτεινόμενα σημεία δειγματοληψίας εντός της ζώνης του ενός ναυτικού μιλίου από την ακτογραμμή (Πέραμα, Πειραϊκή, μαρίνα Φλοίσβου, εκβολή Κηφισού, εκβολή Ιλισού). Η προετοιμασία των δειγμάτων και η ανάλυση περιγράφεται από τους Karageorgis et al. (2005).

Η διαχρονική ρύπανση καταγράφεται στα ιζήματα, και μπορεί να μελετηθεί με την ανάλυση πυρήνων ιζημάτων. Στην παρούσα μελέτη αναλύθηκαν με την ίδια μεθοδολογία τρεις πυρήνες ιζημάτων που συλλέχθηκαν στην περιοχή του Περάματος (K1A) και της εκβολής του Κηφισού (K4A) και του Ιλισού (K5A). Στους ίδιους πυρήνες έγινε και ο υπολογισμός του ρυθμού ιζηματογένεσης με την μέθοδο του  $^{210}\text{Pb}$  (Sanchez-Cabeza & Ruiz-Fernández, 2012).

Για να εκτιμηθεί, επίσης, η ρύπανση των επιφανειακών ιζημάτων σε μέταλλα, ο συντελεστής εμπλουτισμού μετάλλων (EF) έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως κριτήριο αξιολόγησης για την εξέταση των συγκεντρώσεων μετάλλων με περιβαλλοντική ανησυχία. Οι τιμές EF χρησιμοποιούνται ευρέως για τη διάκριση των φυσικών συγκεντρώσεων μετάλλων από αυτές της ανθρωπογενούς προέλευσης, με σκοπό την εκτίμηση της ποιότητας των ιζημάτων (Qian et al., 2015). Μαθηματικά, εκφράζεται ως το πηλίκο μεταξύ της συγκέντρωσης ενός μετάλλου κανονικοποιημένου ως προς ένα χερσογενές συντηρητικό στοιχείο, και της συγκέντρωσης υποβάθρου του ίδιου μετάλλου κανονικοποιημένου ως προς το ίδιο στοιχείο. Στην μελέτη αυτή ως χερσογενές συντηρητικό στοιχείο προς κανονικοποίηση χρησιμοποιήθηκε το Rb. Ως συγκεντρώσεις υποβάθρου των μετάλλων θεωρήθηκαν οι συγκεντρώσεις στα βαθύτερα στρώματα του αντίστοιχου πυρήνα ιζήματος τα οποία, όπως έδειξε η ανάλυση του  $^{210}\text{Pb}$ , είναι παλαιότερα των 120 ετών και χαρακτηρίζονται ως προβιομηχανικά.

Οι τιμές EF διαιρούνται σε πέντε κατηγορίες με βάση τον βαθμό εμπλουτισμού, (1)  $EF < 2$  υποδηλώνει φυσική προέλευση του μετάλλου έως ελάχιστο εμπλουτισμό, (2)  $EF = 2-5$ , μέτριο

εμπλουτισμό, (3) EF = 5-20, σημαντικό εμπλουτισμό, (4) EF = 20-40, πολύ υψηλό εμπλουτισμό και (5) EF > 40, εξαιρετικά υψηλό εμπλουτισμό.

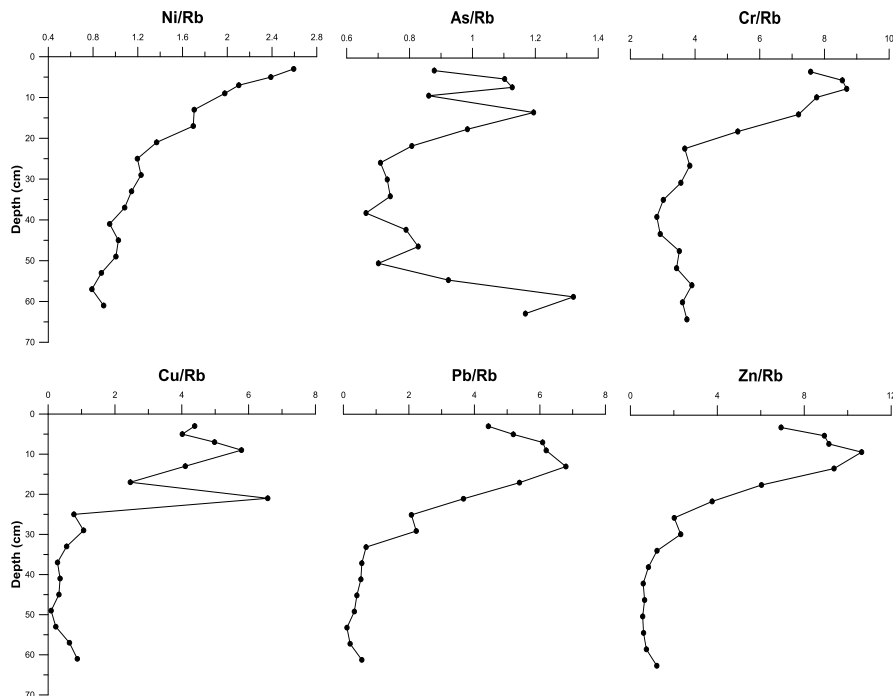
Οι συγκεντρώσεις των κυρίων στοιχείων (Fe, Mn, Rb, Ti και Al) και των ιχνοστοιχείων (As, Cr, Cu, Ni, Pb και Zn) στα επιφανειακά ιζήματα δίνονται στον Πίνακα 6. Στον πίνακα αυτό δίνονται επίσης και τα ποσοστά άμμου, αργίλου και ιλύος. Τα ιζήματα του σταθμού Κ3Α (περιοχή μαρίνας Φλοίσβου) παρουσίασαν τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις όλων των στοιχείων, πράγμα που οφείλεται στο υψηλότερο ποσοστό άμμου που περιέχουν.

**Πίνακας 6.** Χημική σύσταση επιφανειακών ιζημάτων

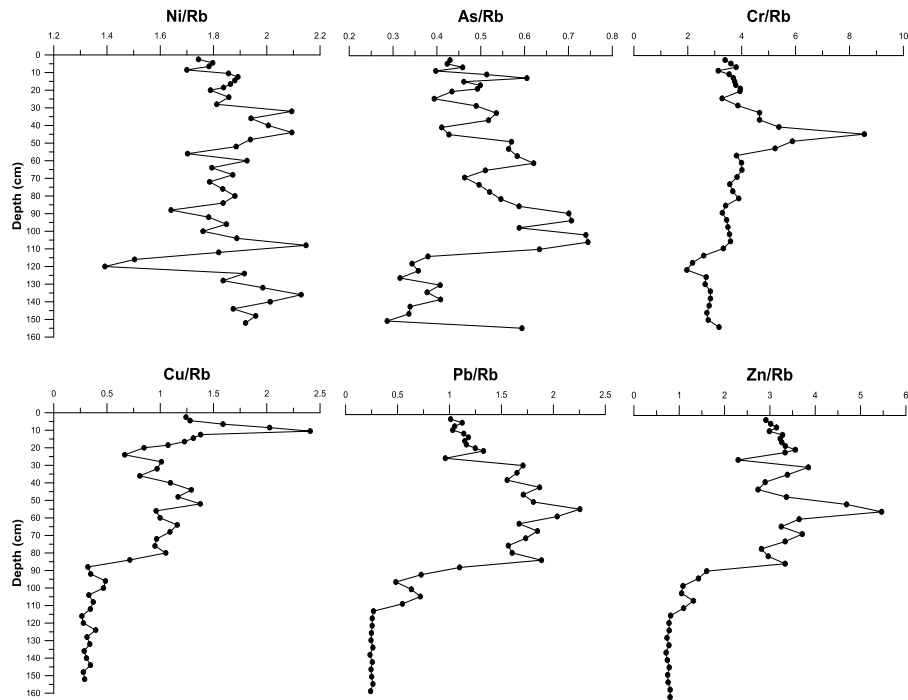
Σταθμός	Βάθος (m)	Fe (%)	Mn (ppm)	Rb (ppm)	Ti ppm	Al (%)	Ni (ppm)	As (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay %
K1A	28	1.59	291	27	948	1.16	59	24	196	108	107	207	64.8	7.16	28.1
K2A	72	2.15	309	40	2046	3.04	78	23	181	52	62	113	11.5	25.6	62.9
K3A	24	0.38	100	19	300	nd	13	17	54	3	49	17	88.8	0.80	10.4
K4A	21	3.20	328	63	2874	4.65	118	25	181	76	51	210	6.10	32.0	61.9
K5A	23	1.95	282	38	2088	2.69	73	23	162	50	53	114	16.4	26.6	57.0

Οι κατακόρυφες κατανομές των συγκεντρώσεων των στοιχείων Ni, As, Cr, Cu, Pb και Zn τα οποία συνήθως προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, κανονικοποιημένες ως προς το χερσογενές στοιχείο Rb, φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 11).

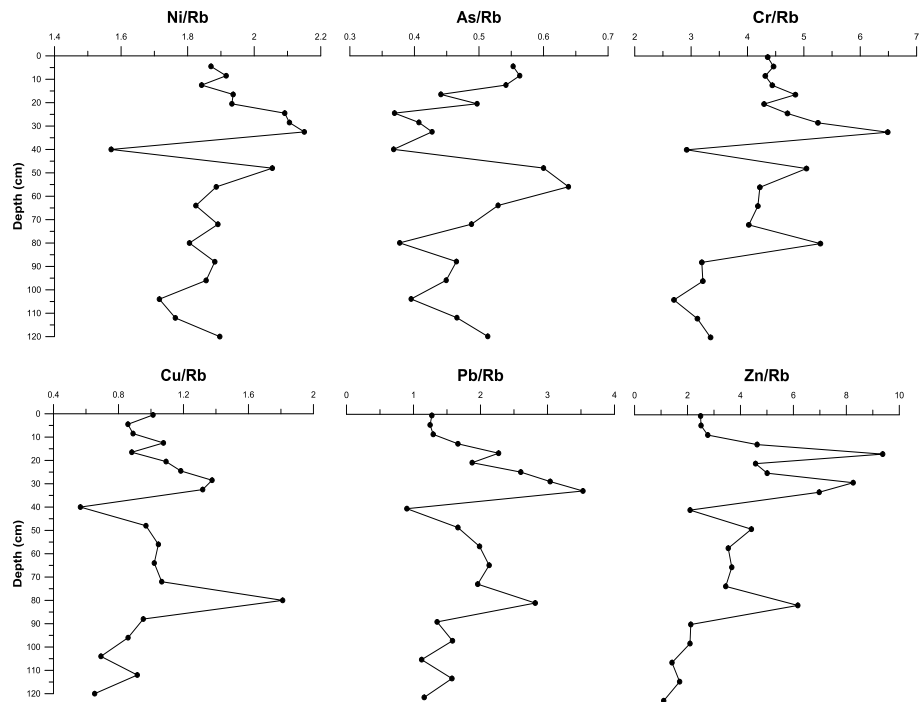
**Σταθμός Κ1Α (Πέραμα)**



**Σταθμός Κ4Α (Κηφισός)**



**Σταθμός Κ5Α (Ιλισσός)**



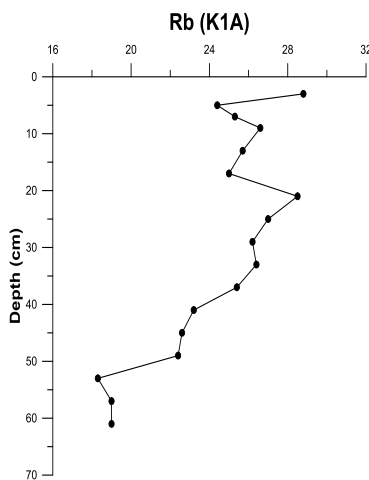
**Εικόνα 11.** Κατακόρυφες κατανομές των συγκεντρώσεων των στοιχείων Ni, Cr, As, Pb, Cu και Zn κανονικοποιημένων ως προς το Rb.

Οι κατακόρυφες κατανομές των κανονικοποιημένων συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων, κυρίως του Cu, του Pb και του Zn, στην περιοχή του Περάματος αλλά και στην περιοχή που

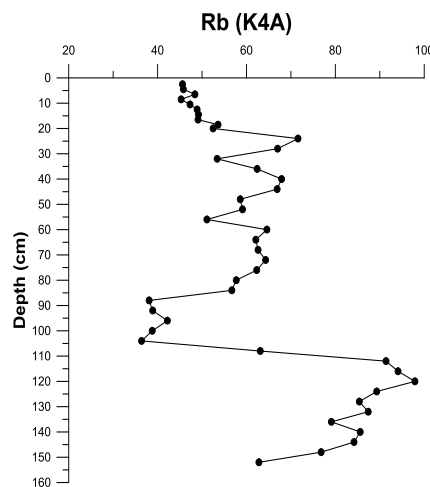
επηρεάζεται από τον Κηφισό δείχνουν την σημαντική επιβάρυνση των ιζημάτων τα τελευταία 100 χρόνια. Είναι επίσης σημαντικό όμως ότι παρατηρείται μία μείωση των συγκντρώσεων στα επιφανειακά στρώματα των ιζημάτων που θα μπορούσε να αποδοθεί και στην λήψη μέτρων αποφυγής απορροής ρύπων στο περιβάλλον. Παρόμοια παρατήρηση έχει γίνει και από τους Karageorgis et al (2019) σε ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού κόλπου.

Η κατακόρυφη κατανομή του Rb, χερσογενούς προέλευσης, στις τρεις περιοχές φαίνεται στο Εικόνα 12. Όπως φαίνεται η ποσότητα του χερσογενούς υλικού που αποτίθεται στην περιοχή του Περάματος είναι σημαντικά χαμηλότερη και σχεδόν σταθερή, με μικρές διακυμάνσεις, τα τελευταία τουλάχιστον 50 χρόνια σε σύγκριση με την περιοχή των εκβολών του Κηφισού και Ιλισσού. Επίσης, φαίνεται ότι στον Ιλισσό το χερσογενές υλικό μειώνεται σταθερά ενώ στον Κηφισό δείχνει τάση μείωσης με τα πολύ πρόσφατα χρόνια, και μεγάλη διακύμανση στο παρελθόν.

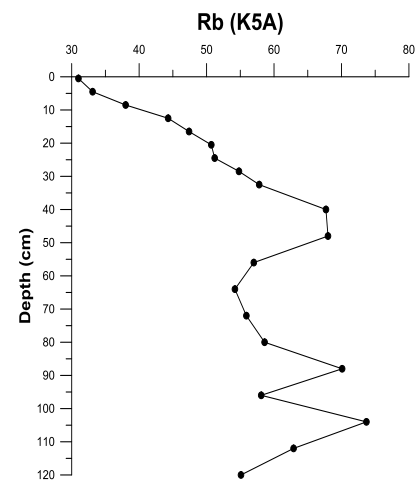
### Σταθμός Κ1Α (Πέραμα)



### Σταθμός Κ4Α (Κηφισός)



### Σταθμός Κ5Α (Ιλισσός)



**Εικόνα 12.** Κατακόρυφη κατανομή του Rb στην περιοχή του Περάματος και των εκβολών του Κηφισού και του Ιλισσού.

Η μέθοδος του  $^{210}\text{Pb}$  έδωσε στην περιοχή της εκβολής του Κηφισού μία μέγιστη τιμή ρυθμού ιζηματογένεσης 0.9 cm/y. Με την παραδοχή ότι η παροχή  $^{210}\text{Pb}$  είναι χρονικά σταθερή, ο ρυθμός αυτός δείχνει ότι τα στρώματα ιζημάτων που βρίσκονται βαθύτερα από τα 90-110 cm, κάτω από την επιφάνεια του βυθού, έχουν αποτεθεί πριν από 100-120 χρόνια. Στην περιοχή του Περάματος ο ρυθμός ιζηματογένεσης φτάνει τα 0.4 cm/y, υποδηλώνοντας ότι τα ιζήματα βαθύτερα των 40-50 cm είναι παλαιότερα των 100-120 χρόνων. Στην περιοχή πλησίον της εκβολής του Ιλισσού δεν ήταν δυνατός ο υπολογισμός του ρυθμού ιζηματογένεσης λόγω βιοαναμόχλευσης και γενικά διατάραξης του υποεπιφανειακού ιζήματος. Η διατάραξη αυτή φαίνεται και στις κατακόρυφες κατανομές των κανονικοποιημένων στοιχείων.

**Πίνακας 7.** Οι συντελεστές εμπλουτισμού (EF) των επιφανειακών ιζημάτων στα ιχνοστοιχεία As, Cr, Cu, Pb και Zn.

Σταθμός	As (ppm)	EF	Cr (ppm)	EF	Cu (ppm)	EF	Pb (ppm)	EF	Zn (ppm)	EF
K1A	24	2.30	196	2.89	108	13.55	107	15.39	207	10.07
K2A	23	1.53	181	1.80	52	4.41	62	6.00	113	3.72
K3A	17	2.24	54	1.09	3	0.59	49	9.76	17	1.11
K4A	25	1.02	181	1.14	76	4.10	51	3.12	210	4.37
K5A	23	1.54	162	1.67	50	4.36	53	5.31	114	3.87

Από τις 5 περιοχές που μελετήθηκαν, φαίνεται ότι (1) η περιοχή του Περάματος (σταθμός K1A) είναι σημαντικά επιβαρυμένη (EF =5-20) σε Cu, Pb και Zn, και μέτρια επιβαρυμένη σε As και Cr (EF=2-5), (2) η περιοχή της Πειραιϊκής (σταθμός K2A) είναι μή επιβαρυμένη σε As και Cr, μέτρια επιβαρυμένη σε Cu και Zn, και σημαντικά επιβαρυμένη σε Pb, (3) η περιοχή της μαρίνας Φλοίσβου είναι σημαντικά επιβαρυμένη σε Pb, και (4) οι περιοχές των εκβολών του Κηφισού και του Ιλισού είναι μέτρια επιβαρυμένες σε Cu, Pb και Zn, με λίγο πιό επιβαρυμένη σε Pb την εκβολή του Ιλισού (Πίνακας 7).

Για λόγους σύγκρισης παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 8) οι συγκεντρώσεις ή εύρη συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων που αντιμετωπίζονται συχνά ως ρύποι λόγω της ανθρωπογενούς προέλευσής τους. Η σύγκριση γίνεται ενδεικτικά, διότι σημαντικό ρόλο παίζουν και άλλες παράμετροι όπως η κοκκομετρία των ιζημάτων η οποία παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις στις παράκτιες περιοχές. Σε βαθύτερες λεκάνες όπως οι λεκάνες του Σαρωνικού κόλπου τα επιφανειακά ιζήματα είναι λεπτόκοκα με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις των μετάλλων να είναι υψηλές (Foerstner & Wittmann, 1983).

**Πίνακας 8.** Σύγκριση τιμών βαρέων μετάλλων που αντιμετωπίζονται συχνά ως ρύποι λόγω της ανθρωπογενούς προέλευσής τους από διάφορες περιοχές μελέτης.

ΠΕΡΙΟΧΗ	Zn	Cu	Ni	Cr	Pb
ΒΔ Σαρωνικός- παράκτια (Παρασκευοπούλου, 2009)	27,7-120	5,6-40,4	151-1612	180-5642	4,5-56,6
Ίσθμια - Κεχριές (Δήμα 2000)	66,3-294	11-44,7	174-668		3,7-54,2
Δυτικός Σαρωνικός (Γιαννοπούλου 2005)	76-192	20-27	150-403	113-195	26-50
Ανατολικός Σαρωνικός (Γιαννοπούλου 2005)	83-788	20-153	65-124	61-253	38-133
Νότιος Σαρωνικός (Γιαννοπούλου 2005)	164	23	92	80	49
Κορινθιακός (Κυπριάδης 2007)	34,3-102	4,7-47,9		33-297	11,1-36,3
Μαλιακός (Ρουσελάκη 2007)	46,2-138	22,4-53,4			4,4-14
Θερμαϊκός (ΔΕΠΠΠΕΘ 2006)	20,4-332	6,0-66,9		23,5-289	21,1-369
Στρυμονικός (ΔΕΠΠΠΕΘ 2006)	38,2-121	5,8-34,3		16,8-88,3	5,3-79,3
Κόλπος Καβάλας (ΔΕΠΠΠΕΘ 2006)	38,4-137	18,0-36,1		11,8-101	7,0-72,0
Παρούσα εργασία	17-210	3-108	13-118	54-196	49-107

#### Συνοψίζοντας:

Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας των ιζημάτων σε ό,τι αφορά τα μεταλλικά στοιχεία γίνεται έμμεσα, σε σύγκριση με τις συγκεντρώσεις των στοιχείων σε βαθύτερες αποθέσεις ιζημάτων που χρονολογούνται πριν από την ανάπτυξη της βιομηχανίας. Τρόπος χαρακτηρισμού της ποιότητας

ανάλογος με αυτούς που ισχύουν για άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους, όπως έχουν νομοθετηθεί με την Οδηγία για τα νερά (Water Framework Directive), δεν υπάρχει.

Η μελέτη έδειξε ότι η περιοχή του Περάματος αλλά κυρίως η περιοχή που επηρεάζεται από τον Κηφισό και τον Ιλισσό είναι εξελισσόμενα περιβάλλοντα όσον αφορά την ρύπανση από βαρέα μέταλλα. Για τον λόγο αυτό, προτείνεται η συνεχής παρακολούθηση της κατάστασης των ιζημάτων του βυθού.

### 3.2. Ζωοβένθος Μαλακού Υποστρώματος

**Κ. Σιγάλα, Ν. Κατσιάρας, Ε. Βουτσινά, S. Faulwetter, Γ. Αρβανιτάκης, Ν. Σύμπουρα**

Κατά την παρούσα μελέτη, κρίθηκε αναγκαία η ανάλυση της σύνθεσης και της δομής της ζωοβενθικής βιοκοινωνίας, προκειμένου να διερευνηθούν οι επιπτώσεις της οργανικής ρύπανσης στη περιοχή και να εκτιμηθεί η Οικολογική Ποιότητα με σκοπό την εκπλήρωση των στόχων της Οδηγίας Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ. Η χρήση της μακροπανίδας σε προγράμματα παρακολούθησης του βενθικού οικοσυστήματος και των αλλαγών που υφίσταται από ανθρωπογενείς πιέσεις αποτελεί μια διαδεδομένη τεχνική (Pearson & Rosenberg, 1978; Dauer, 1993; Diaz et al., 2004). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι επιπτώσεις στο βένθος διαρκούν περισσότερο (από ότι σε άλλα χημικά ή βιολογικά στοιχεία) και έτσι, η εικόνα του βένθους αντιπροσωπεύει τις επιπτώσεις για τον χρόνο που προηγήθηκε. Επιπλέον, σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/ΕΚ «Για τα Ύδατα» αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα βιολογικά ποιότητα στοιχεία αξιολόγησης της οικολογικής κατάστασης των υδατικών σωμάτων.

Η οργανική ρύπανση που σχετίζεται με τα λύματα προκαλεί σημαντικές επιπτώσεις στις βενθικές βιοκοινότητες. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (π.χ. Pearson & Rosenberg, 1978), βαθμιαία υποβαθμίζεται η σύνθεση και η δομή των βενθικών βιοκοινωνιών, με σταδιακή μείωση του αριθμού ειδών και της ποικιλότητας. Η παρουσία ανθεκτικών ειδών σε ρυπογόνες ουσίες γίνεται εντονότερη, όπου αρχικά μπορεί να αυξήσει τον συνολικό αριθμό ειδών, αλλά καθώς η ρύπανση αυξάνεται, τα είδη αυτά τείνουν να κυριαρχούν με πολύ υψηλές αφθονίες, ενώ σταδιακά τα ευαίσθητα είδη εξαφανίζονται. Τέλος, σε περιοχές με μεγάλη περιβαλλοντική διατάραξη, οι βιοκοινότητες χαρακτηρίζονται από λίγα ανθεκτικά είδη με λίγα άτομα, ή ακόμη και από πλήρη απουσία οργανισμών.

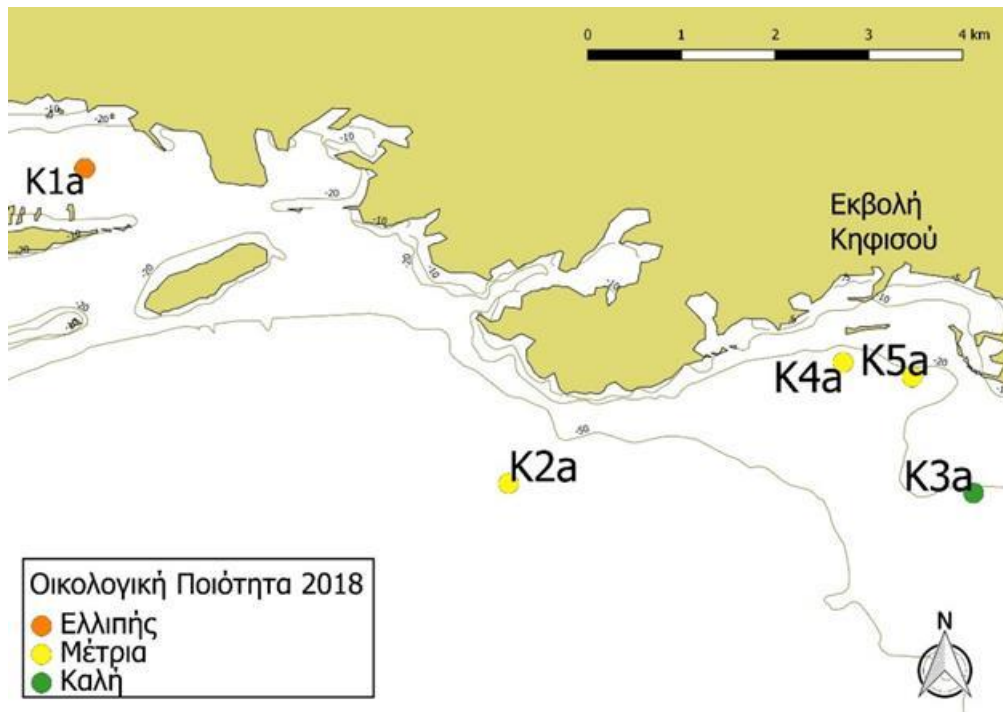
Όπως προκύπτει από την ανάλυση των δειγμάτων και σύμφωνα με την ομαδοποίηση των σταθμών με Bray-Curtis, οι σταθμοί διαφοροποιούνται σημαντικά με βάση τη σύνθεση της πανίδας. Στη περιοχή μελέτης παρουσιάζεται κατ' αρχήν μια διαβάθμιση από το Πέραμα προς τα νότιοανατολικά. Ο σταθμός Κ1α στο Πέραμα διαφέρει από τους υπόλοιπους και παρουσιάζεται ιδιαίτερα υποβαθμισμένος τόσο ως προς τη σύνθεση της βιοκοινότητας, όσο και ως προς την οικολογική ποιότητα (Ελλιπής). Ο συγκεκριμένος σταθμός παρουσίασε τις μικρότερες τιμές στις περισσότερες παραμέτρους. Η ομοιογένεια J' (0,95) που παρουσιάζεται δεν είναι αντιπροσωπευτική, καθώς ο ιδιαίτερα χαμηλός αριθμός ειδών (8 είδη) και ατόμων (11 άτομα) δεν παραπέμπει σε καλά δομημένη βιοκοινότητα. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στον σταθμό Κ1α, το 91% των ατόμων είναι πολύχαιτοι και ότι δεν υπάρχουν καθόλου εχινόδερμα, καρκινοειδή και μαλάκια.

Οι βενθικές βιοκοινότητες βελτιώνονται βαθμιαία προς τα νότιοανατολικά, με τους σταθμούς Κ2α, Κ4α και Κ5α να θεωρούνται ενδιάμεσοι (Μέτρια Οικολογική Κατάσταση) και τον σταθμό Κ3α να παρουσιάζει την μικρότερη υποβάθμιση και να είναι ο μόνος που εκπληρώνει τους στόχους της Οδηγίας 2000/60 (Καλή Οικολογική Κατάσταση). Στη λεκάνη απορροής του Κηφισού, οι σταθμοί (Κ4α και Κ5α) παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συγγένεια, αν και γενικά τα επίπεδα ομοιότητας μεταξύ των σταθμών θεωρούνται χαμηλά. Ο σταθμός Κ4α, ενώ έχει υψηλότερη αφθονία (293 άτομα),

παρουσιάζεται περισσότερο υποβαθμισμένος τόσο ως προς την ποικιλότητα  $H'$  (4,12), όσο και ως προς την ομοιογένεια  $J'$  (0,70). Αυτό οφείλεται στην υψηλή κυριαρχία λίγων, ανθεκτικών ειδών, όπως τα είδη *Aricidea pseudoarticulata*, με ποσοστό 32,4% επί του συνόλου των ατόμων και *Lumbrineris pinaster*, με αντίστοιχο ποσοστό 14,3%. Η σύνθεση αυτής βιοκοινότητας οφείλεται στη θέση του σταθμού ως προς την εκβολή του Κηφισού, με αυξημένη παρουσία νεκρής οργανικής ύλης και λασπώδη βυθό. Οι σταθμοί K5α και K3α παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές ποικιλότητας  $H'$  (5,20 και 4,90, αντίστοιχα) και ομοιογένειας  $J'$  (0,89 και 0,93 αντίστοιχα).

Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι καθοριστικοί παράγοντες για την σύνθεση και τη δομή των βιοκοινωνιών στην εκβολή του Κηφισού είναι η σύσταση του ιζήματος και το μέγεθος της οργανικής επιβάρυνσης.

Συνοψίζοντας, ο σταθμός του Περάματος παρουσιάζει σημαντική υποβάθμιση, όπου η κατάσταση βελτιώνεται προς τα νότιοανατολικά, με τους σταθμούς στην εκβολή του Κηφισού να έχουν μέτρια υποβάθμιση και τέλος, ο σταθμός K3α να παρουσιάζει την καλύτερη κατάσταση (Εικόνα 13).



**Εικόνα 13.** Η απεικόνιση σε χάρτη των σταθμών δειγματοληψίας με χρωματική διάκριση ανάλογα με την Οικολογική ποιότητα.

### 3.3. Φυτοβενθικοί πληθυσμοί σκληρού υποστρώματος στην ανώτερη υποπαράλια ζώνη

#### Π. Ι. Λάρδη, Β. Γερακάρης & Π. Παναγιωτίδης

Η παρούσα έκθεση αφορά στη μελέτη του φυτοβένθους σκληρού υποστρώματος της ανώτερης υποπαράλιας ζώνης. Η υποθαλάσσια βλάστηση παρουσιάζει εποχικές όψεις, όπως ακριβώς και η χερσαία βλάστηση. Συνεπώς, οι βιοκοινωνίες των μακροφυκών εξετάζονται σε τουλάχιστον δύο περιόδους (θερμή και ψυχρή) ώστε να δημιουργηθεί μια αντιπροσωπευτική εικόνα των συνθηκών που επικρατούν στις επιμέρους περιοχές μελέτης. Συγκεκριμένα, στην παρούσα έκθεση εξετάζονται οι πληθυσμοί των μακροφυκών (Χλωροφύκη, Φαιοφύκη, Ροδοφύκη), καθώς και η δομή και η σύνθεση των βιοκοινωνιών τους κατά την ψυχρή (Μάρτιος 2019) και τη θερμή (Ιούνιος-Ιούλιος 2018 και Ιούνιος 2019) περίοδο. Συγχρόνως, γίνεται εκτίμηση του **Οικολογικού Καθεστώτος** (Ecological Status) των περιοχών μελέτης βάσει της ευρωπαϊκής Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα (ΟΠΥ, 2000/60/ΕΚ). Ο όρος «Κατηγορίες Οικολογικού Καθεστώτος» έχει χρησιμοποιηθεί στο κείμενο της ΟΠΥ με στόχο τη βαθμονόμηση της έντασης των ανθρωπογενών επιπτώσεων στις βιοκοινωνίες ενός υδάτινου σώματος. Η ΟΠΥ προβλέπει πέντε κλάσεις ποιότητας (Υψηλή, Καλή, Μέτρια, Ελλιπής, Κακή) όπου η Υψηλή ποιότητα αντιστοιχεί σε συνθήκες αναφοράς (αδιατάρακτες περιοχές).

Για τη μελέτη των μακροφυκών του θαλάσσιου μετώπου της περιοχής ενδιαφέροντος επιλέχθηκαν οι ακόλουθοι πέντε σταθμοί δειγματοληψίας (Εικόνα 14):

- Άγιος Κοσμάς (ΑΚ)
- Φλοίσβος (ΦΛ)
- Νησάκι Σταλίδα (ΝΣ)
- Πειραιϊκή (Π)
- Δραπετσώνα (ΔΡ)

Συγκεκριμένα, ο σταθμός ΑΚ επιλέχθηκε ως σταθμός αναφοράς του δικτύου παρακολούθησης. Συνεπώς, αναμένεται να παρουσιάσει την καλύτερη όψη όσον αφορά στη σύνθεση και στη δομή των βιοκοινωνιών των μακροφυκών.



**Εικόνα 14.** Δίκτυο σταθμών δειγματοληψίας μακροφυκών.

Τα δείγματα των μακροφυκών συλλέχθηκαν με ελεύθερη κατάδυση από σχεδόν οριζόντιες επιφάνειες βραχώδους υποστρώματος στην ανώτερη υποπαράλια ζώνη, δηλαδή σε βάθος μέχρι και 50 cm. Η μέθοδος της δειγματοληψίας ήταν συμβατική (“καταστρεπτική” δειγματοληψία), δηλαδή πραγματοποιήθηκε πλήρης αποψύλωση των μακροφυκών από επιφάνεια 400 cm<sup>2</sup> (20 x 20 cm). Όλα τα δείγματα που συλλέχθηκαν στο πεδίο, μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο και στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν σε συνθήκες κατάψυξης (-20°C). Η αναγνώριση των ταξινομικών μονάδων (taxa) των μακροφυκών πραγματοποιήθηκε με χρήση στερεοσκοπίου και μικροσκοπίου και βασίστηκε σε χλωριδικούς καταλόγους. Η μέτρηση της αφθονίας (κάλυψη του υποστρώματος) των μακροφυκών – γνωστή και ως φυκοκάλυψη – έγινε σύμφωνα με τους Boudouresque (1971) και Verlaque (1987). Έγινε διαλογή των οργανισμών σε κάθε δείγμα και η μερική επιφάνεια κάλυψης κάθε είδους (Ri) σε οριζόντια προβολή ποσοτικοποιήθηκε ως επί τοις εκατό κάλυψη στο σύνολο της επιφάνειας δειγματοληψίας (4 cm<sup>2</sup> = 1% της επιφάνειας δειγματοληψίας).

Για την εκτίμηση του Οικολογικού Καθεστώτος σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας των μακροφυκών χρησιμοποιήθηκε ο «Δείκτης Οικολογικής Εκτίμησης» (EEI-c, σύμφωνα με τους Orfanidis *et al.* 2011; Orfanidis *et al.*, 2014). Ο δείκτης EEI-c βασίζεται στα κύρια μορφολογικά, φυσιολογικά και κύκλου ζωής χαρακτηριστικά των μακροφυκών. Έτσι, τα είδη των μακροφυκών χωρίζονται σε 2 κύριες ευδιάκριτες οικολογικές ομάδες (Ecological Status Group I και II). Η πρώτη οικολογική ομάδα (**ESG I**) διαιρείται σε τρεις υπο-ομάδες, που περιλαμβάνουν τα πολυετή παχιά δερματώδη είδη (**IA**), τα παχιά δερματώδη είδη με φαινοτυπική ευπλαστικότητα («πλαστικά» είδη) (**IB**) και τα σκιδόφιλα είδη με φαινοτυπική ευπλαστικότητα («πλαστικά» είδη) (**IC**). Τα είδη αυτά, εξαιτίας των αυστηρών απαιτήσεών τους ως προς τις περιβαλλοντικές συνθήκες, αποτελούν «δείκτες» καλής οικολογικής ποιότητας. Η δεύτερη οικολογική ομάδα (**ESG II**) διαιρείται σε δύο υπο-ομάδες που περιλαμβάνουν τα σαρκώδη αδρώς διακλαδισμένα καιροσκοπικά είδη (**IIA**) και τα νηματοειδή και φυλλοειδή καιροσκοπικά είδη (**IIB**). Πολλά από τα είδη αυτά δίνουν μεγάλες αφθονίες σε συνθήκες οργανικής ρύπανσης εξαιτίας της αφθονίας των διαθέσιμων πόρων πχ. θρεπτικά άλατα και αποτελούν «δείκτες» κακής οικολογικής ποιότητας. Κάθε σταθμός δειγματοληψίας κατατάσσεται σε μια από τις κλάσεις οικολογικής ποιότητας με βάση την τιμή του δείκτη EEI-c (ή εναλλακτικά την τιμή EEI-c EQR) με βάση τον Πίνακα 9.

**Πίνακας 9.** Σύστημα κατηγοριοποίησης Οικολογικής Ποιότητας βάσει του δείκτη EEI-c (Orfanidis *et al.*, 2011).

Κλάση Οικολογικής	Τιμές Δείκτη EEI-c	Τιμές EEI-c EQR
Υψηλή	8.091-10	0.761-1
Καλή	5.841-8.090	0.481-0.760
Μέτρια	4.041-5.840	0.251-0.480
Ελλιπής	2.341-4.040	0.041-0.250
Κακή	2-2.340	0-0.040

Συνολικά, στο δίκτυο σταθμών δειγματοληψίας προσδιορίστηκαν 54 ταξινομικές μονάδες μακροφυκών (Πίνακας 10): 11 Χλωροφύκη, 15 Φαιοφύκη και 28 Ροδοφύκη. Ο αριθμός των ειδών στους σταθμούς δειγματοληψίας κυμάνθηκε από 13 έως 23 και οι τιμές ολικής φυκοκάλυψης από 88.5 έως 110.1 %. Οι παραπάνω τιμές είναι παραπλήσιες με εκείνες παλαιότερων αντίστοιχων μελετών του Σαρωνικού κόλπου (Sioκου-Frangou *et al.*, 2002; Τσιαμης και συν. 2015; Λαρδη και συν. 2017), όπως επίσης και με άλλες περιοχές του Αιγαίου Πελάγους (Chryssovergis & Panayotidis 1995; Panayotidis *et al.* 1999; Diaroulis *et al.* 2002).

Στους υπό μελέτη σταθμούς του Σαρωνικού κόλπου, παρατηρήθηκε ένας κοινός πυρήνας επικρατούντων ειδών. Ανάμεσά τους το ενασβεστωμένο ροδοφύκος *Jania rubens*, φαιοφύκη που ανήκουν στο γένος *Dictyota*, το φαιοφύκος *Colpomenia sinuosa* και το νιτρόφιλο χλωροφύκος *Cladophora* sp.

Το φαιοφύκος *Cystoseira crinitophylla*, το οποίο ανήκει στην **υπο-ομάδα IA** (πολυετή παχιά δερματώδη είδη) και αποτελεί «δείκτη» καλής οικολογικής ποιότητας, καταγράφηκε μόνο στο σταθμό AK (8-12%). Η απουσία ειδών, στους σταθμούς ΦΛ, Π, ΝΣ και ΔΡ, που ανήκουν στην υπο-ομάδα IA ήταν αναμενόμενη, καθώς τα είδη αυτά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε ανθρωπογενείς πιέσεις. Σημαντική ήταν η καταγραφή του φαιοφύκου *Cystoseira compressa* στους σταθμούς AK (25-31%), ΦΛ (6-7%) και Π (14-21%). Το συγκεκριμένο είδος ανήκει στην **υπο-ομάδα IB** [(παχιά δερματώδη είδη με φαινοτυπική ευπλαστότητα («πλαστικά» είδη)] και παρουσιάζει μερική ανοχή στις ανθρωπογενείς πιέσεις. Αξιοσημείωτη ήταν η παρουσία ενός ατόμου του είδους *C. compressa* στο σταθμό ΝΣ κατά τη δειγματοληψία της ψυχρής περιόδου. Το φαιοφύκος *Sargassum vulgare*, το οποίο ανήκει επίσης στην **υπο-ομάδα IB**, παρατηρήθηκε στους σταθμούς AK (5-7%) και Π (3-7%). Οι καλύψεις ειδών που ανήκουν στις οικολογικές υπο-ομάδες IA και IB ήταν υψηλές (49-55%) στο σταθμό AK. Οι καλύψεις ειδών που ανήκουν στην υπο-ομάδα IB ήταν σχετικά υψηλές (17-29%) στο σταθμό Π, ενώ στους υπόλοιπους σταθμούς ήταν χαμηλές (3-9%).

Οι ποσοστιαίες καλύψεις των **ενασβεστωμένων ροδοφυκών** (*Amphiroa beauvoisii*, *Ellisolandia elongata*, *Jania* spp.) ήταν σχετικά υψηλές σε όλο το δίκτυο των σταθμών παρακολούθησης (9-50%). Τα ενασβεστωμένα ροδοφύκη ανήκουν στην **υπο-ομάδα IC** [σκιόφιλα είδη με φαινοτυπική ευπλαστότητα («πλαστικά» είδη)] και παρουσιάζουν ανοχή στις ανθρωπογενείς πιέσεις.

Τα φαιοφύκη του γένους *Dictyota* spp., ανήκουν στην **υπο-ομάδα IIA** (σαρκώδη, αδρώς διακλαδισμένα καιροσκοπικά είδη) και είναι είδη r- στρατηγικής, δηλαδή διαθέτουν υψηλό δυναμικό αύξησης και αναπαραγωγής με αποτέλεσμα να εκμεταλλεύονται κάθε ευκαιρία βλάστησης (ευκαιριακά-καιροσκοπικά είδη). Το είδη του γένους *Dictyota* spp., παρουσίασαν σχετικά υψηλές καλύψεις στους σταθμούς ΔΡ (32%), ΝΣ (2-25%), ΦΛ (18-20%), ενώ στους σταθμούς AK (6-10%) και Π (0-8%), οι καλύψεις ήταν συγκριτικά πιο περιορισμένες.

Τα **νιτρόφιλα ευκαιριακά χλωροφύκη** (*Ulva* και *Cladophora*), καταγράφηκαν σε όλους τους σταθμούς του δικτύου παρακολούθησης. Ωστόσο, οι ποσοστιαίες καλύψεις των εν λόγω ειδών δεν ήταν υψηλές, με εξαίρεση το σταθμό ΝΣ (15,1-26%) και αμέσως επόμενο το σταθμό ΔΡ (8-13%). Τα είδη αυτά ανήκουν στην **υπο-ομάδα IIB** (νηματοειδή και φυλλοειδή καιροσκοπικά είδη) και αποτελούν «δείκτες» κακής οικολογικής ποιότητας.

Σε ό,τι αφορά στην **εποχικότητα** των μακροφυκών παρατηρήθηκαν οι αναμενόμενες δκυμάνσεις της αφθονίας ορισμένων ειδών βάσει του βιολογικού τους κύκλου, όπως για παράδειγμα η αύξηση της αφθονίας του φαιοφύκου *Colpomenia sinuosa* και του χλωροφύκου *Cladophora* sp. κατά την ψυχρή περίοδο. Αντίθετα, τα ενασβεστωμένα ροδοφύκη (*Amphiroa beauvoisii*, *Ellisolandia elongata*, *Jania rubens*) παρουσίασαν μεγαλύτερη αφθονία κατά τη θερμή περίοδο.

Τέλος, σημαντική ήταν η παρουσία των **ξενικών ειδών** *Caulerpa cylindracea* και *Asparagopsis taxiformis*. Συγκεκριμένα στο σταθμό ΦΛ η ποσοτική κάλυψη του ροδοφύκου *A. taxiformis* ήταν σχετικά υψηλή (13-16%).

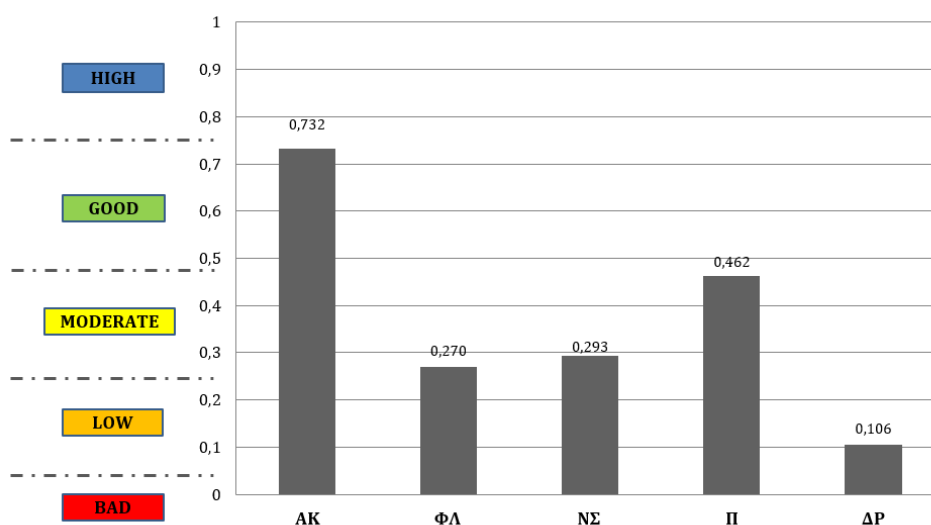
Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η βλάστηση μπορεί να υποδιαιρεθεί στους εξής κύριους ορόφους: α) το **δενδρώδη όροφο (canopy)** ο οποίος χαρακτηρίζεται από φωτόφιλα φύκη με μεγάλο μέγεθος θαλάσσιου, όπως τα μεγάλα φαιοφύκη του γένους *Cystoseira* και *Sargassum*, β) το **θαμνώδη όροφο ή υποόροφο**, χαρακτηριζόμενο κυρίως από ανορθωμένα φωτόφιλα είδη που καταλαμβάνουν τον ελεύθερο χώρο μεταξύ των ατόμων του δενδρώδη ορόφου, όπως τα φαιοφύκη *Dictyota dichotoma* var. *intricata*, *Halopteris scoparia*, και το ροδοφύκος *Ellisolandia elongata* γ) τα **επίφυτα**,

που εδράζονται στην επιφάνεια των θαλλών μεγαλύτερων μακροφυκών, όπως τα είδη *Herposiphonia secunda*, *Anotrichium furcellatum* και *Ceramium* sp.

Ο δενδρώδης όροφος ήταν καλά ανεπτυγμένος μόνο στο σταθμό ΑΚ (49-55%), λόγω της κυρίαρχης παρουσίας των φαιοφυκών *C. crinitophylla*, *C. compressa* και *S. vulgare*. Ο σταθμός Π παρουσίασε μια ενδιάμεση κατάσταση, με μερικώς αναπτυγμένο δενδρώδη όροφο απαρτιζόμενο από τα φαιοφύκη *C. compressa* και *S. vulgare* (17-29%) και πλούσιο θαμνώδη όροφο. Στο σταθμό ΦΛ ο δενδρώδης όροφος ήταν εξαιρετικά περιορισμένος (6-7%), ενώ ο θαμνώδης όροφος αποτελούσε το κύριο στρώμα βλάστησης. Στους σταθμούς ΝΣ και ΔΡ ο δενδρώδης όροφος ήταν απών, ενώ ο θαμνώδης όροφος ήταν το κύριο στρώμα βλάστησης με κυριαρχία του ενασβεστωμένου ροδοφύκου *Ellisolandia elongata* και του φαιοφύκου *Dictyota* spp. Σε παράκτιες περιοχές με ανθρωπογενείς περιβαλλοντικές πιέσεις, η καταληκτική βιοκοινωνία σε βραχώδη υποστρώματα συχνά απαρτίζεται από ενασβεστωμένα ροδοφύκη των γενών *Corallina* και *Ellisolandia* καθώς και από νιτρόφιλα χλωροφύκη του γένους *Ulva*, ιδιαίτερα κατά την άνοιξη (Tsiamis *et al.*, 2013). Επίφυτα βρέθηκαν σε όλους τους σταθμούς, ωστόσο στο σταθμό ΑΚ η παρουσία τους ήταν αμελητέα (2%). Οι υψηλότερες καλύψεις επιφύτων σημειώθηκαν στους σταθμούς ΦΛ (≈18.6%), ΝΣ (≈12.6%) και ΔΡ (≈23%).

Επιπρόσθετα, στους σταθμούς δειγματοληψίας Δραπετσώνα (ΔΡ), Πειραιϊκή (Π) και Νησάκι Σταλίδα (ΝΣ) σημειώθηκαν ορισμένα χαρακτηριστικά βενθικά είδη πέραν της βλάστησης. Συγκεκριμένα, κατά τύπους παρατηρήθηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις νεαρών ατόμων μυδιών του είδους *Mytilus galloprovincialis*. Όταν υπάρχουν μεγάλες συγκεντρώσεις αιωρούμενου οργανικού υλικού οι βιοκοινωνίες των μακροφυκών εκτοπίζονται από τα θαλάσσια ασπόνδυλα που τρέφονται άμεσα από τα αιωρούμενα σωματίδια, όπως τα μύδια και οι θαλάσσιες ανεμώνες (Tsiamis *et al.*, 2013).

Η εκτίμηση του οικολογικού καθεστώτος βάσει του δείκτη EEI-c παρουσιάζεται στον Πίνακα 10. Ο δείκτης EEI-c υπολογίστηκε για κάθε σταθμό δειγματοληψίας κατά τη θερμή και ψυχρή περίοδο. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος των δύο εποχικών δειγματοληψιών, έτσι ώστε να συμπεριληφθεί στην τελική ανάλυση η εποχική διακύμανση που παρουσιάζουν τα μακροφύκη. Συνεπώς, το μέσο οικολογικό καθεστώς στο σταθμό Άγιος Κοσμάς (ΑΚ) χαρακτηρίζεται ως «Καλό», στους σταθμούς Φλοίσβος (ΦΛ), Νησάκι Σταλίδα (ΝΣ) και Πειραιϊκή (Π) ως «Μέτριο», ενώ ο σταθμός Δραπετσώνα (ΔΡ) παρουσίασε «Ελλιπές» οικολογικό καθεστώς (Πίνακας 10 και Εικόνα 15).



Εικόνα 15. Μέσο οικολογικό καθεστώς στο δίκτυο σταθμών δειγματοληψίας.

Συνοψίζοντας:

- Το μέσο οικολογικό καθεστώς στο σταθμό Άγιος Κοσμάς (ΑΚ) χαρακτηρίζεται ως «Καλό», στους σταθμούς Φλοίσβος (ΦΛ), Νησάκι Σταλίδα (ΝΣ) και Πειραϊκή (Π) ως «Μέτριο», ενώ ο σταθμός Δραπετσώνα (ΔΡ) παρουσίασε «Ελλιπές» οικολογικό καθεστώς.
- Η παρουσία του είδους *Cystoseira crinitophylla* (υπο-ομάδα ΙΑ) στο σταθμό αναφοράς Άγιος Κοσμάς (ΑΚ) και η απουσία του από το υπόλοιπο δίκτυο σταθμών ήταν αναμενόμενη, καθώς το συγκεκριμένο είδος είναι ευαίσθητο σε φυσικές και ανθρωπογενείς πιέσεις. Στις «αδιατάρακτες» παράκτιες περιοχές, κυρίαρχα είδη που παρατηρούνται είναι τα φαιοφύκη του γένους *Cystoseira*, τα οποία αποτελούν την καταληκτική βιοκοινωνία (climax community) σε σκληρό υπόστρωμα της ανώτερης υποπαράλιας ζώνης.
- Το φαιοφύκος *Cystoseira compressa*, το οποίο παρουσιάζει μερική ανοχή σε ανθρωπογενείς πιέσεις καταγράφηκε και στους σταθμούς Φλοίσβος (ΦΛ) και Πειραϊκή (Π).
- Σε παράκτιες περιοχές με ανθρωπογενείς περιβαλλοντικές πιέσεις, όπως στους σταθμούς ΦΛ, ΝΣ, Π, η καταληκτική βιοκοινωνία σε βραχώδη υποστρώματα απαρτίζεται από ενασβεστωμένα ροδοφύκη των γενών *Corallina* και *Ellisolandia*, καθώς και από νιτρόφιλα χλωροφύκη του γένους *Ulva* (ιδιαίτερα κατά την άνοιξη).
- Ο σταθμός Δραπετσώνα (ΔΡ) δεν διαθέτει φυσικό βραχώδες υπόστρωμα, συγκεκριμένα παρουσιάζει τεχνητό βραχώδες υπόστρωμα (λιθοριπή), και ανήκει στην κατηγορία των «βαρέως τροποποιημένων» συστημάτων (heavily modified systems). Για τα συστήματα αυτά, σύμφωνα με την ΟΠΥ, δεν απαιτείται επίτευξη της «καλής» περιβαλλοντικής κατάστασης, αλλά διατήρηση του «οικολογικού δυναμικού», δηλαδή τουλάχιστον διατήρηση της υπάρχουσας βιοποικιλότητας.

**Πίνακας 10.** Ποιοτική και ποσοτική (% φυκοκάλυψη) ανάλυση του φυτοβένθους και εκτίμηση του οικολογικού καθεστώτος βάσει του δείκτη EEI-c στο Σαρωνικό Κόλπο για τους σταθμούς Άγιος Κοσμάς (ΑΚ), Φλοίσβος (ΦΛ), Νησάκι Σταλίδα (ΝΣ), Πειραϊκή (Π) και Δραπετσώνα (ΔΡ).

ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ		ΑΚ	ΑΚ	ΦΛ	ΦΛ	ΝΣ	ΝΣ	Π	Π	Δ	Δ
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ		Ιουν-19	Μαρ-19	Ιουν-18	Μαρ-19	Ιουλ-18	Μαρ-19	Ιουν-18	Μαρ-19	Ιουν-19	Μαρ-19
<b>ΤΑΞΙΝΟΜΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ</b>	ESG										
<i>Cystoseira crinitophylla</i> Ercegovic	IA	8	12								
<b><i>Total IA</i></b>		<b><u>8</u></b>	<b><u>12</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>
<i>Cystoseira compressa</i> (Esper) Gerloff & Nizamuddin	IB	25	31	6	7		1	14	21		
<i>Padina pavonica</i> (Linnaeus) Thivy	IB	11	5		2				1		4
<i>Plocamium cartilagineum</i> (Linnaeus) Dixon	IB					7	6				
<i>Sargassum vulgare</i> C. Agardh	IB	5	7					3	7		
<i>Taonia atomaria</i> (Woodward) J. Agardh	IB									3	
<b><i>Total IB</i></b>		<b><u>41</u></b>	<b><u>43</u></b>	<b><u>6</u></b>	<b><u>9</u></b>	<b><u>7</u></b>	<b><u>7</u></b>	<b><u>17</u></b>	<b><u>29</u></b>	<b><u>3</u></b>	<b><u>4</u></b>
<i>Acetabularia acetabulum</i> (Linnaeus) Silva	IC		0,5	0,5							
<i>Amphiroa beauvoisii</i> Lamouroux	IC			14	5	24	12				
<i>Ellisolandia elongata</i> (J.Ellis & Solander) K.R.Hind & G.W.Saunders	IC			13	17	19	8	9	23	22	9
<i>Halimeda tuna</i> (Ellis & Solander) Lamouroux	IC	2	0,5								
<i>Hydrolithon farinosum</i> (J.V.Lamouroux) Penrose & Y.M.Chamberlain	IC		1								
<i>Jania rubens</i> (Linnaeus) Lamouroux	IC	26	12	10	7	5	2	41		8	
<i>Jania virgata</i> (Zanardini) Montagne	IC				3						
<b><i>Total IC</i></b>		<b><u>28</u></b>	<b><u>14</u></b>	<b><u>37,5</u></b>	<b><u>32</u></b>	<b><u>48</u></b>	<b><u>22</u></b>	<b><u>50</u></b>	<b><u>23</u></b>	<b><u>30</u></b>	<b><u>9</u></b>
<i>Acanthophora nayadiformis</i> (Delile) Papenfuss	IIA					0,1		3			
<i>Asparagopsis taxiformis</i> (Delile) Trevisan de Saint-Léon	IIA			16	13	2	2				0,5
<i>Caulerpa cylindracea</i> Sonder	IIA	2	1	1				5			
<i>Champia parvula</i> (C. Agardh) Harvey	IIA					0,1					2
<i>Chondracanthus acicularis</i> (Roth) Fredericq	IIA			2,5	1			2	4		

<i>Colpomenia sinuosa</i> (Mertens ex Roth) Derbès & Solier	IIA		1		1		13		11	4	12
<i>Dictyopteris polypodioides</i> (De Candolle) Lamouroux	IIA		0,5		0,5				0,5		
<i>Dictyota cyanoloma</i> Tronholm, De Clerck, Gomez Garreta & Rull Lluch	IIA						7			2	
<i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) Lamouroux var. <i>dichotoma</i>	IIA		2				18			19	32
<i>Dictyota dichotoma</i> var. <i>intricata</i> (C. Agardh) Greville	IIA	6	8	20	18				8	11	
<i>Dictyota</i> sp.	IIA					2					
<i>Gastroclonium clavatum</i> (Roth) Ardissonne	IIA					0,1					
<i>Gelidium pusillum</i> (Stackhouse) Le Jolis	IIA						0,5				
<i>Gelidium</i> sp.	IIA									3	
<i>Halopteris scoparia</i> (Linnaeus) Sauvageau	IIA	10	15	13	11						
<i>Hypnea musciformis</i> (Wulfen) Lamouroux	IIA	2	3,5	2	1			2			
<i>Hypnea spinella</i> (C. Agardh) Kützing	IIA									4	
<i>Palisada perforata</i> (Bory de Saint-Vincent) Nam	IIA		1					17	7		
<i>Pterocladia capillacea</i> (Gmelin) Santelices & Hommersand	IIA					12	4	6	8		
<i>Sphacelaria cirrosa</i> (Roth) C. Agardh	IIA	4	2	3							
<i>Sphacelaria</i> sp.	IIA							3			
<b>Total IIA</b>		<b>24</b>	<b>34</b>	<b>57.5</b>	<b>45.5</b>	<b>16.3</b>	<b>44.5</b>	<b>38</b>	<b>38.5</b>	<b>43</b>	<b>46.5</b>
<i>Anotrichium furcellatum</i> (J. Agardh) Baldock	IIB			0,1	2	0,5	0,5			8	0,5
<i>Bryopsis duplex</i> De Notaris	IIB								1		
<i>Bryopsis</i> sp.	IIB				1		1				
<i>Ceramium virgatum</i> Roth	IIB							1	10		
<i>Ceramium</i> sp.	IIB		1		2					1	3
<i>Chaetomorpha aerea</i> (Dillwyn) Kützing	IIB				0,1		0,1	0,5			
<i>Cladophora prolifera</i> (Roth) Kützing	IIB									4	
<i>Cladophora</i> sp.	IIB	1	2	1,5	5	1	11	3	2		7
<i>Dasya rigidula</i> (Kützing) Ardissonne	IIB			0,5		0,5					
<i>Gayliella flaccida</i> (Harvey ex Kützing) Cho & McIvor	IIB					8		4	3		
<i>Herposiphonia secunda</i> (C. Agardh) Ambronn	IIB	5		1,5	4	4				2	5
<i>Heterosiphonia crispella</i> (C. Agardh) Wynne	IIB			0,5	2	0,5					
<i>Polysiphonia</i> sp.	IIB							0,5		5	5
<i>Porphyra</i> sp.	IIB				2				3		

<i>Pterosiphonia</i> sp.	IIB									3	1,5
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngbye) Link	IIB				0,5						1
<i>Stylonema alsidii</i> (Zanardini) Drew	IIB								0,1		
<i>Ulva clathrata</i> (Roth) C. Agardh	IIB					0,1					
<i>Ulva rigida</i> C. Agardh	IIB			4	2	14	15			4	6
<i>Ulva</i> sp.									0,5		
<b>Total IIB</b>		<b>6</b>	<b>3</b>	<b>8,1</b>	<b>20,6</b>	<b>28,6</b>	<b>27,6</b>	<b>9</b>	<b>19,6</b>	<b>27</b>	<b>29</b>
<b>ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ</b>		<b>Άγιος Κοσμάς</b>		<b>Φλοίσβος</b>		<b>Νησάκι Σταλίδα</b>		<b>Πειραική</b>		<b>Δραπετσώνα</b>	
<b>ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ</b>		<b>Ιουν-19</b>	<b>Μαρ-19</b>	<b>Ιουν-18</b>	<b>Μαρ-19</b>	<b>Ιουλ-18</b>	<b>Μαρ-19</b>	<b>Ιουν-18</b>	<b>Μαρ-19</b>	<b>Ιουν-19</b>	<b>Μαρ-19</b>
Αριθμός Ειδών		13	19	18	23	18	16	16	17	16	14
Ολική Κάλυψη (%)		107	106	109,1	107,1	99,9	101,1	114	110,1	103	88,5
Total IA		8	12	0	0	0	0	0	0	0	0
Total IB		41	43	6	9	7	7	17	29	3	4
Total IC		28	14	37,5	32	48	22	50	23	30	9
Total IIA		24	34	57,5	45,5	16,3	44,5	38	38,5	43	46,5
Total IIB		6	3	8,1	20,6	28,6	27,6	9	19,6	27	29
ESGI		57,6	54,8	27,3	26,4	34,4	18,8	43,6	37	20,4	8,6
ESGII		25,2	30,2	54,1	57	41,6	63,2	39,4	50,4	61,4	66,2
EEI-c		8,131	7,582	4,265	4,058	5,468	3,214	6,237	5,141	3,412	2,289
EEI -c EQR		0,766	0,698	0,283	0,257	0,434	0,152	0,530	0,393	0,176	0,036
ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ		Υψηλό	Καλό	Μέτριο	Μέτριο	Μέτριο	Ελλιπές	Καλό	Μέτριο	Ελλιπές	Κακό
<b>ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ EEI -c EQR</b>		<b>0,732</b>		<b>0,270</b>		<b>0,293</b>		<b>0,461</b>		<b>0,106</b>	
<b>ΜΕΣΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ</b>		<b>ΚΑΛΟ</b>		<b>ΜΕΤΡΙΟ</b>		<b>ΜΕΤΡΙΟ</b>		<b>ΜΕΤΡΙΟ</b>		<b>ΕΛΛΙΠΕΣ</b>	



## 4. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

### 4.1. Μελέτη του ριπιδίου διασποράς του Κηφισού και της φυτοπλαγκτονικής δραστηριότητας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων

**Κ. Κικάκη, Β. Καψιμάλης, Α. Καραγεώργης**

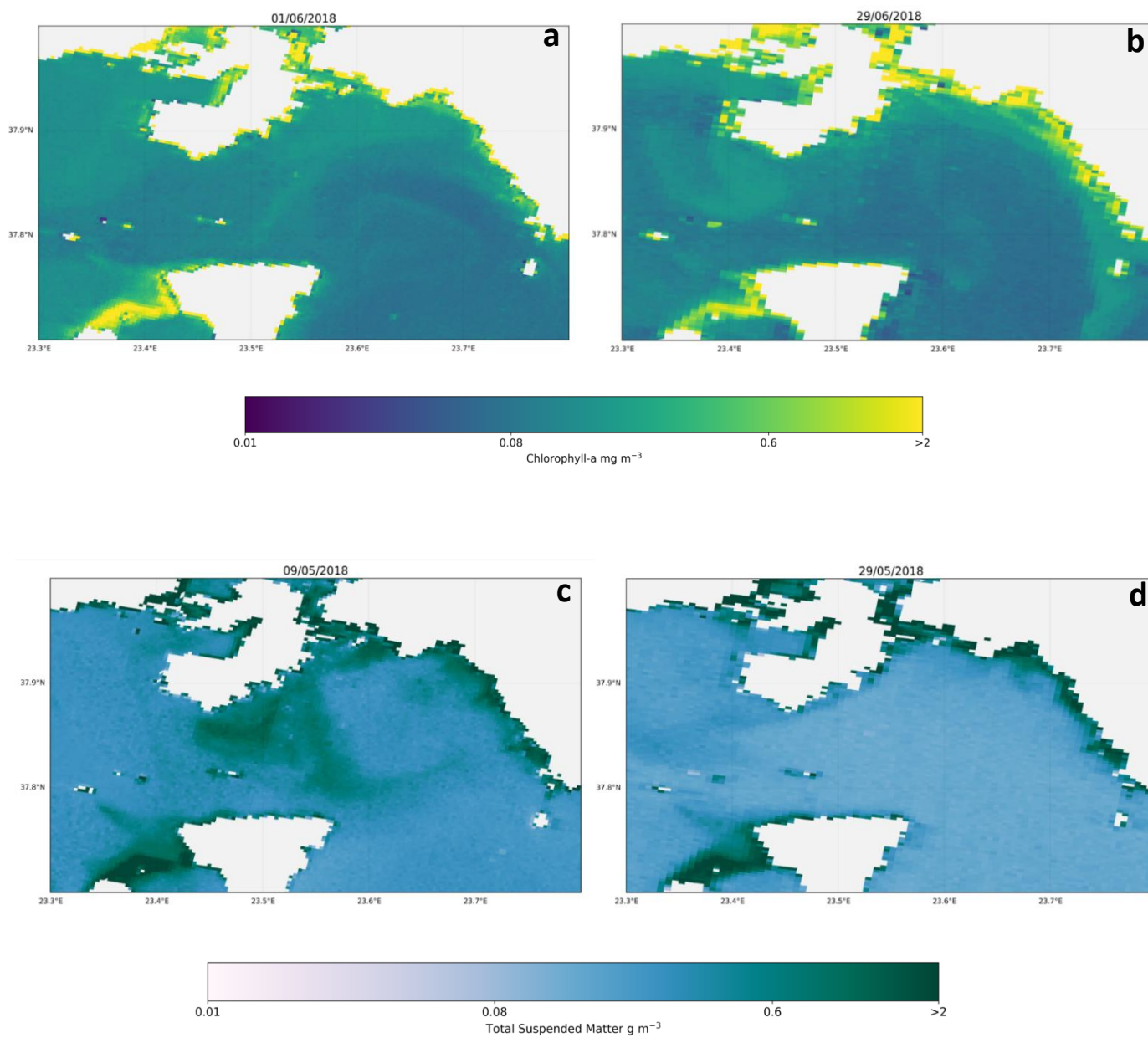
Ο βασικός στόχος της ενότητας του προγράμματος που αφορά στην τηλεπισκόπηση είναι η μελέτη του ριπιδίου διασποράς του Κηφισού και της φυτοπλαγκτονικής δραστηριότητας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων και ο έλεγχος της αξιοπιστίας των συγκεκριμένων δεδομένων με βάση τις *in situ* μετρήσεις. Συνολικά στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος χρησιμοποιήθηκαν 60 δορυφορικές εικόνες από τους αισθητήρες Sentinel-2, Sentinel-3 και Landsat-8, από τις οποίες προέκυψαν οι χάρτες της χλωροφύλλης και του αιωρούμενου υλικού για την περιοχή μελέτης. Στο συγκεκριμένο παραδοτέο γίνεται αξιολόγηση του αλγορίθμου πρόβλεψης της χλωροφύλλης (OC3) με βάση τις επιτόπιες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τις ανάγκες του προγράμματος. Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι πιο αντιπροσωπευτικοί χάρτες των παραμέτρων της ποιότητας των υδάτων που εξετάστηκαν στην περιοχή μελέτης.

Σχετικά με τη μεθοδολογία τα δορυφορικά δεδομένα Sentinel-2 (S2) λήφθηκαν από την επίσημη ιστοσελίδα του Copernicus για την περίοδο 12 Μάιος 2018 έως Ιούνιος 2019. Συνολικά λήφθηκαν 60 με ποσοστό νεφοκάλυψης <10%. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα Sentinel-2 έχουν χωρική ανάλυση 10μ, τα δεδομένα Landsat-8 30μ ενώ τα δεδομένα Sentinel-3 300μ. Τα δεδομένα διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά με τη χρήση του νέου εργαλείου (που είναι σχεδιασμένο για την ατμοσφαιρική διόρθωση σε υδάτινο περιβάλλον) της πλατφόρμας SNAP (ESA) με σκοπό τη μεταροπή τους σε τιμές ανακλαστικότητας στην επιφάνεια της θάλασσας (Remote Sensing Reflectance). Επιπλέον, με τη χρήση του SNAP έγινε η κάλυψη (mask) της στεριάς και των σύννεφων. Για την εξαγωγή των τιμών του αιωρούμενου υλικού χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος των Nechad et al. (2010) που βασίζεται στη χρήση του κόκκινου καναλιού. Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης για τα δεδομένα Sentinel-2 έγινε χρήση του παγκόσμιου αλγορίθμου OC3 (O'Reilly et al., 2000). Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τη συσχέτιση τους με τις διακυμάνσεις του αιωρούμενου υλικού. Τα δεδομένα αυτά λήφθηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό του Αστεροσκοπείου στο Φάληρο. Η επεξεργασία των εικόνων (περικοπή), τα διαγράμματα, η εξαγωγή των χρονοσειρών και η εφαρμογή των αλγορίθμων έγιναν μέσω κώδικα σε matlab και python. Η δημιουργία των χαρτών έγινε με τη χρήση του ελεύθερου λογισμικού QGIS. Για την εξαγωγή των χρονοσειρών με τη χρήση των δορυφορικών δεδομένων επιλέχθηκε παράθυρο 3X3 γύρω από κάθε σταθμό δειγματοληψίας.

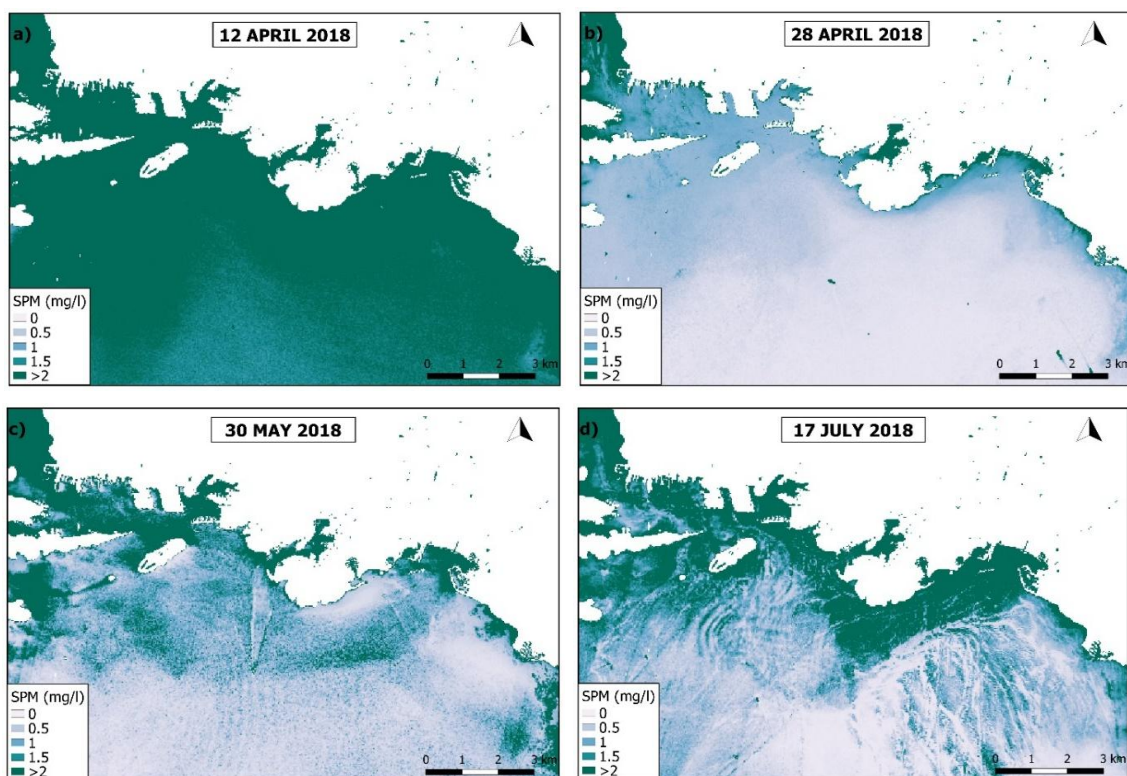
Από το συγκεκριμένο παραδοτέο παρατηρείται ότι η τηλεπισκόπηση αποτελεί αξιόλογο εργαλείο για τη μελέτη της ποιότητας των παράκτιων υδάτων και ιδιαίτερα των μεταβολών των επιφανειακών συγκεντρώσεων αιωρούμενου υλικού και χλωροφύλλης. Η χρήση των δορυφορικών δεδομένων αποδεικνύει ότι η κυκλοφορία των υδάτων ελέγχεται από τον κυκλώνα που εμφανίζεται βόρεια της Σαλαμίνας (Kontogiannis, 2010) με αποτέλεσμα η κατεύθυνση του αιωρούμενου υλικού να είναι κυρίως ΒΑ-ΝΔ. Το γεγονός αυτό έχει παρατηρηθεί και από τους Κρασακορούλου & Καραγεωργίς (2005). Ωστόσο σύμφωνα με τη μελέτη τους οι ελάχιστες τιμές του αιωρούμενου υλικού καταγράφηκαν τον Αύγουστο του 1998 έπειτα από επιτόπιες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Αύγουστο, Δεκέμβριο του 1998 και Φεβρουάριο του 1999. Η μελέτη των μετεωρολογικών παραμέτρων (βροχή και άνεμος) έδειξε ότι τα σημαντικότερα γεγονότα βροχόπτωσης οδήγησαν στις υψηλότερες τιμές αιωρούμενου υλικού. Ενδεικτικοί χάρτες

χλωροφύλλης και αιωρούμενου υλικού με τη χρήση δεδομένων Sentinel-3 και Landsat-8 παρουσιάζονται στις Εικόνες 17 ως 19.

Ενδεικτικοί χάρτες χλωροφύλλης και αιωρούμενου υλικού με τη χρήση δεδομένων Sentinel-3

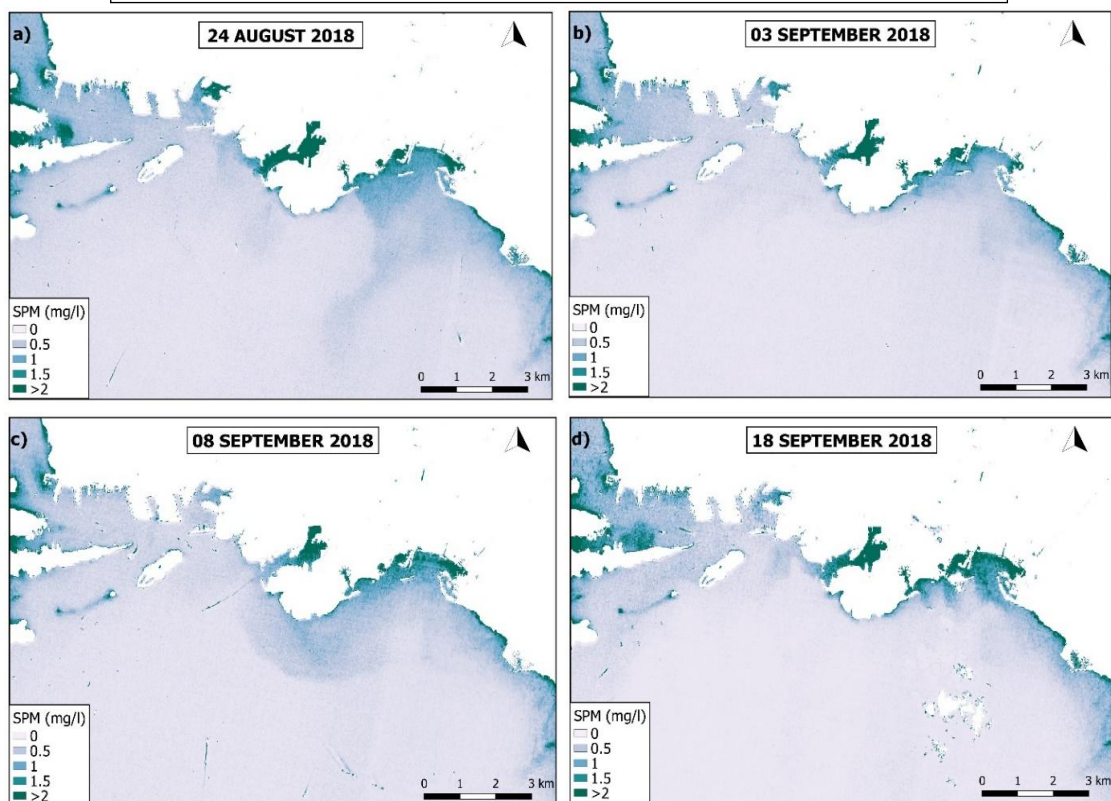


Ενδεικτικοί χάρτες αιωρούμενου υλικού με τη χρήση δεδομένων Landsat-8



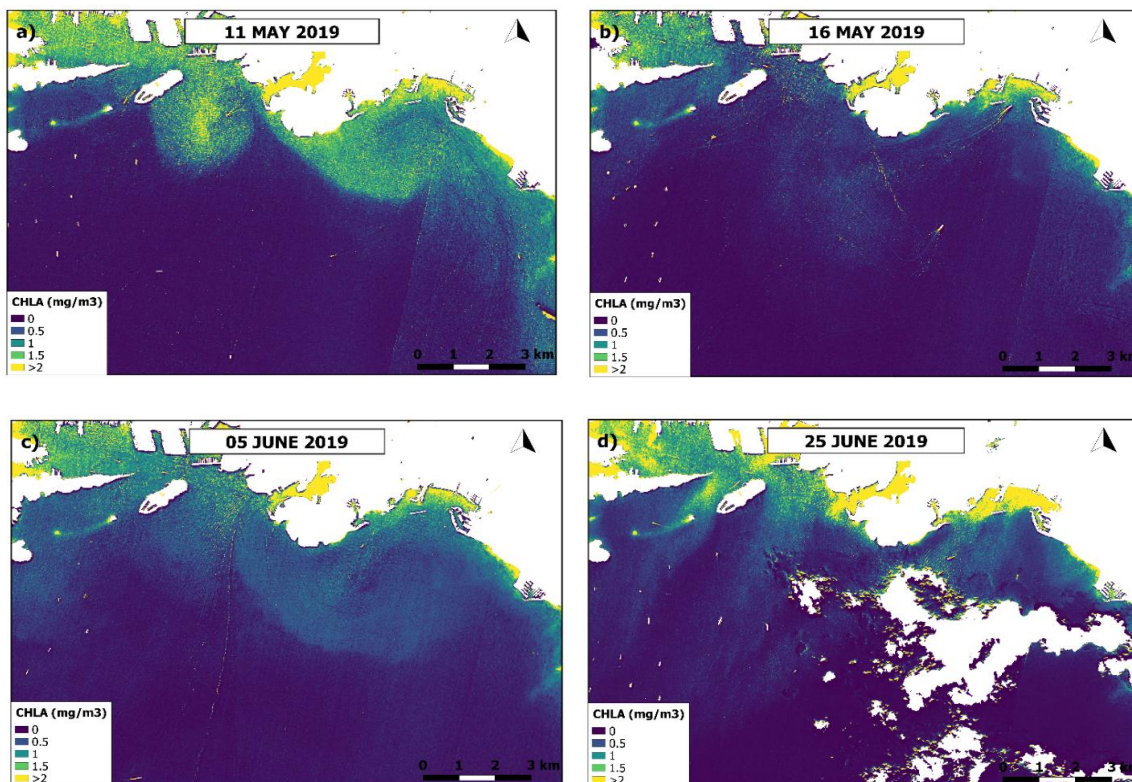
Εικόνα 17 (a)-(d). Αποτύπωση των συγκεντρώσεων του αιωρούμενου υλικού με τη χρήση δεδομένων Landsat-8.

Ενδεικτικοί χάρτες αιωρούμενου υλικού με τη χρήση δεδομένων Sentinel-2



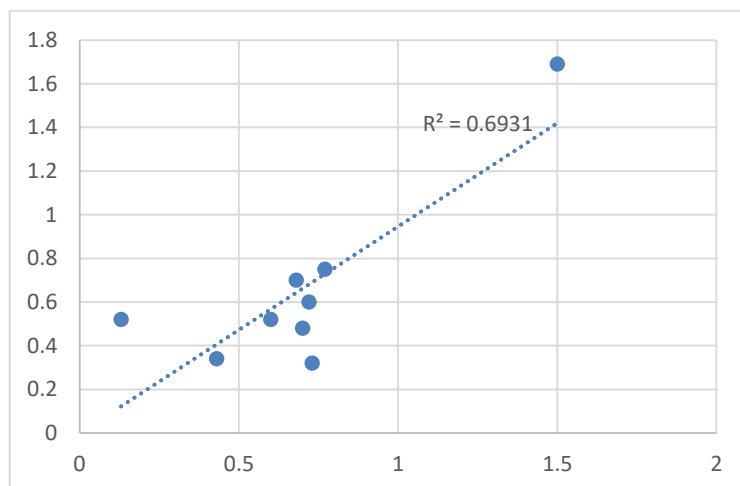
Εικόνα 18 (a)-(d) Αποτύπωση των συγκεντρώσεων του αιωρούμενου υλικού με τη χρήση δεδομένων Sentinel-2.

## Ενδεικτικοί χάρτες χλωροφύλλης με τη χρήση δεδομένων



Εικόνα 19 (a)-(d) Αποτύπωση των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης με τη χρήση δεδομένων Sentinel-2.

Για την αξιολόγηση του αλγόριθμου σχετικά με τα διαθέσιμα *in situ* δεδομένα χρησιμοποιήθηκε οπτικό βάθος =10 μ. και υπολογίστηκε η μέση ολοκληρωμένη τιμή για κάθε σταθμό. (Εικόνα 20). Στα δορυφορικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκε παράθυρο 3x3 γύρω από κάθε πίξελ που αντιστοιχούσε ο κάθε σταθμός. Η αξιολόγηση έδειξε ότι υπάρχει μια καλή συσχέτιση ( $R^2=0,69$ ,  $p\text{-value}<0,001$ ). Ωστόσο η παρουσία συννέφων (ή σκιάς) και το λαμπύρισμα του ήλιου σε ορισμένα σημεία οδήγησε σε υποτίμηση των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης από τον δορυφόρο. Παρόλο αυτά, λόγω περιορισμένου αριθμού επιτόπιων μετρήσεων, τα δεδομένα αυτά δεν αφαιρέθηκαν.



Εικόνα 20. Συσχέτιση δορυφορικών και *in situ* δεδομένων χλωροφύλλης.

## 5. ΣΥΝΟΨΗ

Στο Παραδοτέο αυτό γίνεται η σύνθεση των αποτελεσμάτων από τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν τη θερμή (Οκτώβριος 2019) και τη ψυχρή περίοδο (Μάρτιος 2019) στην περιοχή του Εσωτερικού Σαρωνικού από το Πέραμα μέχρι το Φάληρο. Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή την μελέτη συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Μειωμένη επιφανειακή διαύγεια, κύριο γνώρισμα των νερών από ποτάμια μέσα σε ένα θαλάσσιο εκβολικό σύστημα, ήταν και στους δύο πλόες εντονότερη στην πλέον νότια παράκτια θέση μέτρησης (σταθμός Κ3α) η οποία ήταν πλησίον της Μαρίνας του Καλαμακίου και όχι μπροστά από την εκβολή του Κηφισού στο Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας, όπου εκβάλλει το ρεύμα της Πικροδάφνης.

- Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων δεν διαφοροποιήθηκαν σε σχέση με τις συγκεντρώσεις που έχουν βρεθεί στην ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού κόλπου τις ίδιες εποχές. Ωστόσο, ο σταθμός Κ1α ξεχώρισε και στις δύο δειγματοληψίες με σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις ανόργανων και οργανικών θρεπτικών, υποδεικνύοντας την ύπαρξη σημειακής πηγής σε θρεπτικά συστατικά από το όμορο περιβάλλον.

- Η γενική τροφική κατάσταση της θαλάσσιας περιοχής σύμφωνα με τον Δείκτη Ευτροφισμού (E.I.) για τα θρεπτικά άλατα είναι από Μέτρια ως Καλή, και φαίνεται ότι η όποια επίδραση του Κηφισού ποταμού στην περιοχή μελέτης περιορίζεται σχετικά κοντά στις εκβολές του ποταμού. Ενώ, η περιοχή του Περάματος είναι σε ελλιπή και φτωχή τροφική κατάσταση.

- Οι τιμές συγκεντρώσεων του σωματιδιακού Άνθρακα, Άζωτο και Φώσφορο δεν είχαν σημαντικές εποχικές διαφορές και ανήκουν στο ίδιο εύρος τιμών με τις υπόλοιπες παράκτιες θαλάσσιες περιοχές. Οι περισσότεροι σταθμοί παρουσιάζουν αναλογία που δεν ξεπερνάει κατά πολύ την θεωρητική τιμή Redfield το οποίο καταδεικνύει ότι το μεγαλύτερο μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων άνθρακα και αζώτου είναι βιογενούς προέλευσης.

- Χαρακτηριστικό και των δύο εποχών ήταν ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης α αλλά και του ολικού αριθμού φυτοπλαγκτονικών κυττάρων καταγράφηκαν κυρίως στα ανατολικά του κόλπου στο σταθμό Κ1α (Πέραμα) και στη Μαρίνα Φλοίσβου (Κ3α), ενώ οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις και των δύο παραμέτρων καταγράφηκαν στη Πειραιϊκή (Κ2α).

- Η εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας της περιοχής σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης έδειξε ότι οι σταθμοί στο Πέραμα, Μαρίνα Φλοίσβου και στην εκβολή του Κηφισού παρουσίασαν «Ελλιπή» οικολογική ποιότητα και μόνο οι σταθμοί στην Πειραιϊκή και στην Εκβολή Ιλισού εμφάνισαν «Μέτρια» προς «Καλή» οικολογική ποιότητα.

- Σημειώθηκαν σχετικά υψηλές τιμές βιομάζας και αφθονίας μεσοζωοπλαγκτού στους περισσότερους σταθμούς και ιδιαίτερα στο σταθμό Κ1α (Πέραμα), υποδηλώνοντας έναν κατώτερο μεσότροφο χαρακτήρα της περιοχής καθώς και την παρουσία βιοκοινωνίας χαρακτηριστικής των ημίκλειστων περιοχών, συνοδευόμενης από είδη που συναντώνται σε μεσογειακές παράκτιες περιοχές.

- Η μελέτη της γεωχημείας των ιζημάτων έδειξε ότι η περιοχή του Περάματος είναι σημαντικά επιβαρυσμένη σε Cu, Pb και Zn, και μέτρια επιβαρυσμένη σε As και Cr, η περιοχή της Πειραιϊκής είναι μη επιβαρυσμένη σε As και Cr, μέτρια επιβαρυσμένη σε Cu και Zn, και σημαντικά επιβαρυσμένη σε Pb, περιοχή της μαρίνας Φλοίσβου είναι σημαντικά επιβαρυσμένη σε Pb, και οι περιοχές των εκβολών του Κηφισού και του Ιλισού είναι μέτρια επιβαρυσμένες σε Cu, Pb και Zn, με λίγο πιά επιβαρυσμένη σε Pb την εκβολή του Ιλισού.

- Η μελέτη της πανίδας του μαλακού υποστρώματος έδειξε ότι η περιοχή μελέτης παρουσιάζει κατ' αρχήν μια διαβάθμιση από το Πέραμα προς τα νότιοανατολικά. Ο σταθμός στο Πέραμα διαφέρει από τους υπόλοιπους και παρουσιάζεται ιδιαίτερα υποβαθμισμένος τόσο ως προς τη σύνθεση της βιοκοινοότητας, όσο και ως προς την οικολογική ποιότητα (Ελλιπής).

- Οι βενθικές βιοκοινότητες βελτιώνονται βαθμιαία προς τα νότιοανατολικά, με τους σταθμούς Κ2α, Κ4α και Κ5α να θεωρούνται ενδιάμεσοι (Μέτρια Οικολογική Κατάσταση) και τον σταθμό Κ3α να παρουσιάζει την μικρότερη υποβάθμιση.

- Σύμφωνα με τη μελέτη των μακροφυκών, το μέσο οικολογικό καθεστώς στο σταθμό Άγιος Κοσμάς (ΑΚ) χαρακτηρίζεται ως «Καλό», στους σταθμούς Φλοίσβος (ΦΛ), Νησάκι Σταλίδα (ΝΣ) και Πειραιϊκή (Π) ως «Μέτριο», ενώ ο σταθμός Δραπετσώνα (ΔΡ) παρουσίασε «Ελλιπές» οικολογικό καθεστώς.

- Η τηλεπισκόπηση βρέθηκε να αποτελεί ένα αξιόλογο εργαλείο για τη μελέτη της ποιότητας των παράκτιων υδάτων και ιδιαίτερα των μεταβολών των επιφανειακών συγκεντρώσεων αιωρούμενου υλικού και χλωροφύλλης, ενώ βρέθηκε σχετικά καλή συσχέτιση των δορυφορικών και in situ δεδομένων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα της τροφικής και οικολογικής ποιότητας καθώς επίσης και της ρύπανσης σε βαρέα μέταλλα η περιοχή μελέτη φαίνεται να μην πληρεί τους στόχους της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα 2000/60/ΕΚ (Καλή Οικολογική Κατάσταση) και αρκετοί σταθμοί βρίσκονται σε Ελλιπή ως Μέτρια οικολογική κατάσταση. Η παράκτια περιοχή του Εσωτερικού Σαρωνικού Κόλπου όμως, και πολύ περισσότερο η εκβολή του ποταμού Κηφισού, απαρτίζεται από υδατικά οικοσυστήματα ευαίσθητα στις ανθρωπογενείς πιέσεις όπως είναι το κέντρο επεξεργασίας αστικών λυμάτων στην Ψυττάλεια, τα αστικά απόβλητα και τα όμβρια ύδατα που μεταφέρει ο ποταμός. Οι μέχρι τώρα μετρήσεις έδειξαν ότι είναι απαραίτητη η παρακολούθηση της περιοχής μελέτης με σκοπό την βελτιστοποίηση της προστασίας και την ορθότερη διαχείριση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Επομένως, στα πλαίσια της ορθής περιβαλλοντικής διαχείρισης και της εφαρμογής των απαιτήσεων της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα (ΟΠΥ 2000/60/ΕΕ) προτείνεται η συνεχής παρακολούθησή της περιοχής.

Ο ποταμός Κηφισός χρησιμοποιείται ως εναλλακτική οδός μέσω της οποίας, ποσότητες αστικών αποβλήτων καταλήγουν ανεπεξέργαστες στον Έσω Σαρωνικό Κόλπο, κατά τις περιόδους υπερχειλίσης. Η εξυγίανση του Κηφισού είναι άμεσα εξαρτώμενη από την λύση του προβλήματος κορεσμού των λυμάτων στην Ψυττάλεια, αλλά και της βελτίωσης του αποχετευτικού δικτύου του ιστορικού κέντρου της Αθήνας. Για το λόγο αυτό, έχει προταθεί η δημιουργία ενός η περισσότερων κέντρων επεξεργασίας λυμάτων στην ανατολική Αττική με αποδέκτη τον ανοικτό Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο. Ωστόσο, οι δήμοι της Ανατολικής Αττικής επιμένουν να μεταφέρουν τα αστικά τους υγρά απόβλητα προς την Ψυττάλεια. Η συνέχιση αυτής της τακτικής θα έχει ως αποτέλεσμα ο Εσωτερικός Σαρωνικός Κόλπος να μην μπορεί να επιτύχει τους στόχους της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα, δηλαδή την «καλή» Οικολογική Κατάσταση. Η μη απορροή αστικών αποβλήτων στον Κηφισό θα επιτρέψει την ανάπτυξη του Φαληρικού Δέλτα. Όταν η εκβολή του Κηφισού γίνει ελκυστική, θα υπάρξει πλέον η δυνατότητα να αναβαθμιστεί η ακτή της Καστέλας και του Νέου Φαλήρου, που υπήρξαν σημαντικοί χώροι αναψυχής στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, και να ενταχθούν στο μητροπολιτικό πάρκο το παράκτιο μέτωπο της Αττικής. Επιπλέον, για πολλές δεκαετίες ο ιστορικός χώρος της ναυμαχίας της Σαλαμίνας μετατράπηκε σε ναυπηγοεπισκευαστική βάση. Οι επιπτώσεις στο βυθό της θάλασσας των αμμοβολών, βαφών υφάλων και χρόνιας πετρελαϊκής ρύπανσης έχουν να μελετηθούν από την δεκαετία του 1980. Ωστόσο, με την απομάκρυνση των βιομηχανικών εγκαταστάσεων (τσιμέντα, λιπάσματα κλπ) και της εκβολής του ΚΑΑ, η χερσαία παράκτια περιοχή Κερατσινίου έχει αποκτήσει μεγάλες δυνατότητες αναβάθμισης (κατοικία, αναψυχή κλπ) με την προϋπόθεση ότι ο γύρω θαλάσσιος χώρος να πετυχαίνει τους στόχους της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα (2000/60/ΕΕ).

Τέλος, η Οδηγία Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική (MSFD,2008/56/ΕΚ) που ενσωματώθηκε στο Ελληνικό Δίκαιο προβλέπει ότι τα Κράτη Μέλη της ΕΕ υποχρεούνται να λάβουν εκείνα τα μέτρα για να επιτύχουν ή να διατηρήσουν σε καλή περιβαλλοντική κατάσταση στα χωρικά θαλάσσια ύδατα

(και στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη) περιλαμβανομένου του πυθμένα και του υπέδαφους τους το αργότερο έως το 2020. Λόγω των στενών χρονικών περιθωρίων για τη χώρα η Πολιτεία θα πρέπει να λάβει σοβαρά μέτρα εξυγιάνσης της μελετούμενης περιοχής.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Boudouresque C.F. 1971. Méthodes d' étude qualitative et quantitative du benthos (en particulier du phytobenthos). *Téthys*, Fr. 3 (1): 79-104.
- Chryssovergis F. & Panayotidis P. 1995. Evolution des peuplements macrophytobenthiques le long d' un gradient d' eutrophisation (Golfe de Maliakos, Mer Egée, Grèce). *Oceanologica Acta*, 18 (6): 649-658.
- Dauer, D. M., 1993. Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure. *Marine Pollution Bulletin*, 26 (5): 249-257.
- Diapoulis A., Konidis A., Panayotidis P. 2002. Diversity and Abundance of Phytobenthic communities on the coasts of the Aegean volcanic arc: Nisyros & Milos Islands (Greece), *Fresenius Environmental Bulletin*, 11: 594-598.
- Diaz, R.J., Solan, M. & Valente, R.M., 2004. A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *J Environ Manage*, 73 (3): 165-181.
- Foerstner U. & Wittmann G.T.W., 1983. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*, 2<sup>nd</sup> Edition, Springer-Verlag, Berlin.
- Ignatiades L., Karydis M., Vounatsou P., 1992. A Possible Method for Evaluating Oligotrophy and Eutrophication Based on Nutrient Concentration Scales. *Marine Pollution Bulletin*: 24(5): 238-243.
- Karageorgis A.P., Anagnostou C.L., Kaberi H. (2005). Geochemistry and mineralogy of the NW Aegean Sea surface sediments: implications for river runoff and anthropogenic impact. *Applied Geochemistry*, 20(1), 69-88. doi:10.1016/j.apgeochem.2004.07.008
- Kikaki A., Karantzalos K., Kapsimalis V., Kontoyannis H., Assimakopoulou G., Zervoudaki S. Evaluating the performance of empirical models through time series observations for the estimation of key water quality parameters in coastal regions. 3rd International Ocean Color Meeting, Lisbon, May 2017.
- Kontoyiannis H. 2010. Observations on the circulation of the Saronikos Gulf: A Mediterranean embayment sea border of Athens, Greece. *J. Geophys. Res.*, 115, C06029.
- Krasakopoulou E. and Karageorgis A. 2005. Spatial and temporal distribution patterns of suspended particulate matter and particulate organic carbon in the Saronikos Gulf (eastern Mediterranean, Greece). *Geo. Mar. Lett.*, 25, 343-359.
- MED-GIG, 2007. Questionnaire and template for calculation of the comparability of the results of the intercalibration exercise of the Member States Report of MED-GIG to the DG Environment and ECOSTAT. Coordinator: Gianna Casazza (Italy).
- Nechad B., Ruddick K., Park Y. 2010. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sens. of Env.*, 114, 854-866.
- O'Reilly, J.E. and 24 co-authors (2000). SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3. *NASA Tech. Memo. 2000-206892, Vol. 11*, S.B. Hooker and E.R. Firestone, Eds., NASA Goddard Space Flight Center, 49 pp.
- Orfanidis S., Dencheva K., Nakou K., Tsioli S., Papathanasiou V., Rosati I. 2014. Benthic macrophyte metric as bioindicators of water quality: towards overcoming typological boundaries and methodological tradition in Mediterranean and Black Seas. *Hydrobiologia*, 740: 61-78.
- Orfanidis S., Panayotidis P., Ugland K.I., , 2011. Ecological Evaluation Index continuous formula (EEI-c) application: a step forward for functional groups, the formula and reference condition values. *Mediterranean Marine Science*, 12: 199-231.
- Panayotidis P., Feretopoulou J., Montesanto B. 1999. Benthic Vegetation as an Ecological Quality Descriptor in an Eastern Mediterranean Coastal Area (Kalloni Bay, Aegean Sea, Greece). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 48: 205-214.
- Pavlidou A., Kontoyiannis H., Zarokanelos N., Hatzianestis I., Assimakopoulou G., Psyllidou-Giouranovits R. 2014. Seasonal and spatial nutrient dynamics in the Saronikos Gulf: The impact

- of sewage effluents from Athens sewage treatment plant. *Eutrophication: Cause, Consequences and Control*, 111-130.
- Pearson, T.H. & Rosenberg, R., 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16: 229-311.
- Pielou E.C., 1975. *Ecological diversity*, Wiley-Intersci., New York, 165 pp.
- Primpas, I., Tsirtsis, G., Karydis, M., & Kokkoris, G. D., (2010). Principal component analysis: Development of a multivariate index for assessing eutrophication according to the European water framework directive. *Ecological Indicators*, 10, 178–183.
- Ptacnik, R., A. G. Solimini, T. Andersen, T. Tamminen, P. Brettum, L. Lepistö, E. Willén, and S. Rekolainen, 2008. Diversity predicts stability and resource use efficiency in natural phytoplankton communities. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105: 5134–5138.
- Redfield, A.C., B.H. Ketchum, F.A. Richards (1963). The influence of organisms on the composition of sea water. In: M.N. Hill (ed.) *The sea, ideas and observations on progress in the study of the seas*, Interscience, N.Y., pp. 26-77
- Sanchez-Cabeza J.A., Masqué P., Ani-Ragolta I. (1998).  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$  analysis in sediments and soils by microwave acid digestion. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 227, 19–22.
- Sanchez-Cabeza J.A., Ruiz-Fernández A.C. (2012). Pb sediment radiochronology: An integrated formulation and classification of dating models. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 82, 183–200.
- Shannon C.E., Wiener, 1963. *The mathematical theory of communications*, Univ. Illinois, Urbana, 117 pp.
- Siokou-Frangou I (ed.) 2002. *Monitoring of the Saronikos Gulf ecosystem 2002-2004*. Hellenic (National) Center for Marine Research. Technical Report, 98 pp.
- State of the Hellenic Marine Environment. E. Papathanassiou & A. Zenetos (eds) , HCMR Publ., 360 pp)
- Stirling G, Wilsey B., 2001 Empirical relationships between species richness, evenness, and proportional diversity. *The American Naturalist* 2001; 158:286–99.
- Tsiamis K., Panayotidis P., Salomidi M., Pavlidou A., Kleinteich J., Balanika K., Kupper F.C. 2013. Macroalgal community response to re-oligotrophication in Saronikos Gulf. *Marine Ecology Progress Series*, 472: 73-85.
- Verlaque M. 1987. *Contribution à l'étude du phytobenthos d'un écosystème photophile thermophile marin en Méditerranée Occidentale*. Thèse Doctorat d'Etat-Sciences, Univ. Aix-Marseille II, Vol.1 (texte): 389 p. & Vol.2 (illustrations & annexe): 260p.
- WFD DATA BASE: Παρακολούθηση της οικολογικής ποιότητας υδάτων ποταμών, παρακτίων και μεταβατικών υδάτων της Ελλάδας σε εφαρμογή του Άρθρου 8 της Οδηγίας 2000/60/ΕΕ, 2012-2015.
- WFD DATA BASE: Παρακολούθηση της οικολογικής ποιότητας υδάτων ποταμών, παρακτίων και μεταβατικών υδάτων της Ελλάδας σε εφαρμογή του Άρθρου 8 της Οδηγίας 2000/60/ΕΕ, 2018.
- Yu Qian, Weiguo Zhang, Lizhong Yu & Huan Feng (2015). Metal Pollution in Coastal Sediments. *Curr Pollution Rep* 1:203–219. DOI 10.1007/s40726-015-0018-9
- Ασημακοπούλου & Πάγκου, 2001. Φυτοπλαγκτό. Παρακολούθηση των παραμέτρων της υδάτινης στήλης του Σαρωνικού κόλπου. Τελική Τεχνική Έκθεση, ΕΚΘΕ 2001, 127-160.
- Ασημακοπούλου Γ., Πάγκου Κ. & Α. Κωνσταντινοπούλου, 2008. Φυτοπλαγκτό: Κατανομή χλωροφύλλης και φυτοπλαγκτονικών πληθυσμών. Τελική Τεχνική Έκθεση προγράμματος «Παρακολούθηση Οικοσυστήματος Εσωτερικού Σαρωνικού κόλπου υπό την επίδραση του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ) (Β' περίοδος)». Αθήνα, Ιούλιος 2008, σελ.: 97-116.
- Γιαννοπούλου Κ., 2005. Βαρέα μέταλλα σε ιζήματα και νερά στο Σαρωνικό κόλπο για το έτος 2004. Μεταπτυχιακή Εργασία Διπλώματος Ειδίκευσης Χημείας και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, ΕΚΠΑ.
- ΔΕΠΠΠΕΘ (Δίκτυο Εργαστηρίων Παρακολούθησης Ποιότητας Περιβάλλοντος Ελληνικών Θαλασσών), 2006. Τελική Τεχνική Έκθεση του Προγράμματος Παρακολούθησης Ποιότητας Περιβάλλοντος Ελληνικών Θαλασσών 2004-2005.
- Δήμα Θ., 2000. Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του ΒΔ Σαρωνικού Κόλπου. Μεταπτυχιακή Εργασία Διπλώματος Ειδίκευσης Χημείας και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, ΕΚΠΑ.
- Καρύδης Μ., 1999. Έκθεση αξιολόγησης του επιπέδου ευτροφισμού σε παράκτιες ελληνικές περιοχές. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, Φεβρουάριος 1999.

- Κυπριάδης Ε., 2007. Ρύπανση του Κορινθιακού κόλπου από βαρέα μέταλλα για το έτος 2004. Μεταπτυχιακή εργασία Χημικής Ωκεανογραφίας, Π.Μ.Σ. Ωκεανογραφίας, ΕΚΠΑ.
- Λάρδη Π.Ι., Τσιάμης Κ., Γερακάρης Β., Παναγιωτίδης Π. 2017. Μελέτη φυτοβενθικών πληθυσμών σκληρού υποστρώματος στην ανώτερη υποπαράλια ζώνη του Σαρωνικού κόλπου & κόλπου Ελευσίνας. Στο: Ζερβουδάκη και συν.: Παρακολούθηση οικοσυστήματος Εσωτερικού Σαρωνικού κόλπου υπό την επίδραση του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ ΙΙ) - Β' Περίοδος. Τελική Έκθεση, ΕΛΚΕΘΕ, Φεβρουάριος 2017, 67-85.
- Παρασκευοπούλου Β., 2009. Διακίνηση και χημική συμπεριφορά βαρέων μετάλλων σε θαλάσσια περιοχή επηρεαζόμενη από βιομηχανική ρύπανση (ΒΔ. Σαρωνικός). Διδακτορική Διατριβή, ΕΚΠΑ.
- Ρουσελάκη Ε., 2007. Μελέτη βαρέων μετάλλων στις εκβολές του Σπερχειού ποταμού και τον Μαλιακό κόλπο. Μεταπτυχιακή Εργασία Χημικής Ωκεανογραφίας, Π.Μ.Σ. Ωκεανογραφίας, ΕΚΠΑ.
- Τσιάμης Κ., Γερακάρης Β., Παναγιωτίδης Π. 2015. Μελέτη φυτοβενθικών πληθυσμών σκληρού υποστρώματος στην ανώτερη υποπαράλια ζώνη του Σαρωνικού κόλπου & κόλπου Ελευσίνας. Στο: Ζερβουδάκη και συν.: Παρακολούθηση οικοσυστήματος Εσωτερικού Σαρωνικού κόλπου υπό την επίδραση του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ Ι) - Α' Περίοδος. Τελική Έκθεση, ΕΛΚΕΘΕ, Μάρτιος 2015, 69-83.