

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΣΥΜΒΑΣΗ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

**«ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ
ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΤΟΝ ΟΡΜΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ»**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2023-2024

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ



ΦΟΡΕΑΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ

ΔΗΜΟΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ



ΦΟΡΕΑΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ

ΜΟΥΣΕΙΟ ΓΟΥΛΑΝΔΡΗ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΒΙΟΤΟΠΩΝ - ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2024

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	3
2. Περιοχή μελέτης.....	4
3. Μέθοδος.....	7
3.1. Σταθμοί δειγματοληψίας	7
3.2. Δειγματοληψίες.....	8
3.3. Παράμετροι παρακολούθησης	8
3.3.1. Μετρήσεις στο πεδίο	8
3.3.2. Μετρήσεις στο εργαστήριο	9
4. Αποτελέσματα - Συζήτηση	10
4.1. Διαφάνεια	10
4.2. Φυσικοχημικές παράμετροι	12
4.2.1. Θερμοκρασία	12
4.2.2. Αγωγιμότητα.....	15
4.2.3. pH.....	27
4.2.4. Διαλυμένο οξυγόνο	28
4.2.5. Θρεπτικά ιόντα	34
4.3. Βιολογικές παράμετροι	39
4.3.1. Χλωροφύλλη α	39
4.3.2. Φυτοπλαγκτό.....	41
5. Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα	45
6. Βιβλιογραφία	47

1. Εισαγωγή

Το παρόν αποτελεί αναφορά αποτελεσμάτων των δειγματοληψιών και εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της Προγραμματικής Σύμβασης με Αρ. 163154/04.07.2023, η οποία αφορά στη συνεργασία μεταξύ του Τμήματος Περιβάλλοντος & Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή του Δήμου Θεσσαλονίκης και του Μουσείου Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας / Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων - Υγροτόπων (ΜΓΦΙ-ΕΚΒΥ) για την υλοποίηση του Έργου «Έλεγχος και Παρακολούθηση της ποιότητας της θάλασσας στον Όρμο της Θεσσαλονίκης» (περίοδος παρακολούθησης 07/2023-06/2024).

Τόσο η Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα¹ όσο και η Οδηγία για τη Θαλάσσια Στρατηγική² επιβάλλουν την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων στην επικράτεια κάθε κράτους μέλους, ώστε τα αποτελέσματα να χρησιμοποιούνται στη λήψη μέτρων και εν γένει αποφάσεων για τη διαχείριση, προστασία, διατήρηση ή αποκατάσταση των υδάτινων πόρων. Και οι δύο Οδηγίες εισάγουν ριζικές αλλαγές στον έως τότε τρόπο παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων καθώς ιεραρχούν πρώτα τα βιολογικά ποιοτικά στοιχεία (π.χ. φυτοπλαγκτό, μακροφύκη και αγγειόσπερμα, ζωοβένθος, ψάρια κ.λπ.) και προτάσσουν τις παραμέτρους ποιοτικής περιγραφής (διατήρηση της βιοποικιλότητας, ελαχιστοποίηση ανθρωπογενούς ευτροφισμού κ.ά.) αντίστοιχα, για την αξιολόγηση / ταξινόμηση της κατάστασης των υδάτων. Σε αυτό το πλαίσιο, οι φυσικοχημικές και υδρομορφολογικές παράμετροι χρησιμοποιούνται ως υποστηρικτικές για την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων στα οποία καταλήγει η μέτρηση των βιολογικών / περιβαλλοντικών παραμέτρων. Η εφαρμογή των δύο Οδηγιών πραγματοποιείται σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια, σε συγκεκριμένους σταθμούς δειγματοληψίας και με συγκεκριμένες συχνότητες παρακολούθησης. Σε κάποιες περιπτώσεις, όπως είναι τα ιδιαίτερα επιβαρυμένα συστήματα, η συχνή και διαρκής παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων θεωρείται απαραίτητη για τη λήψη μέτρων και αποφάσεων σε τοπικό επίπεδο.

Σε απόκριση της ανωτέρω ανάγκης, το Έργο «Έλεγχος και Παρακολούθηση της ποιότητας της θάλασσας στον Όρμο της Θεσσαλονίκης» στοχεύει στη διασφάλιση της διαχρονικής παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων του Όρμου της Θεσσαλονίκης, με τη δημιουργία και διατήρηση βάσης δεδομένων φυσικοχημικών παραμέτρων και δεικτών ποιότητας θαλασσινού νερού (περιλαμβανομένων των δεικτών ευτροφισμού) ώστε να προτείνονται, από τον Δήμο Θεσσαλονίκης σε συνεργασία με τους αρμόδιους φορείς, μέτρα για τη βελτίωση της κατάστασης της αστικής θαλάσσιας περιοχής. Η βάση δεδομένων είναι διαθέσιμη προς κάθε φορέα που διενεργεί μελέτες ή έρευνα στην περιοχή κατόπιν αίτησης προς το Δήμο Θεσσαλονίκης, ενώ μέρος αυτής είναι άμεσα διαθέσιμη στην ιστοσελίδα www.envdimosthes.gr, η οποία ανανεώνεται σε μηνιαία βάση.

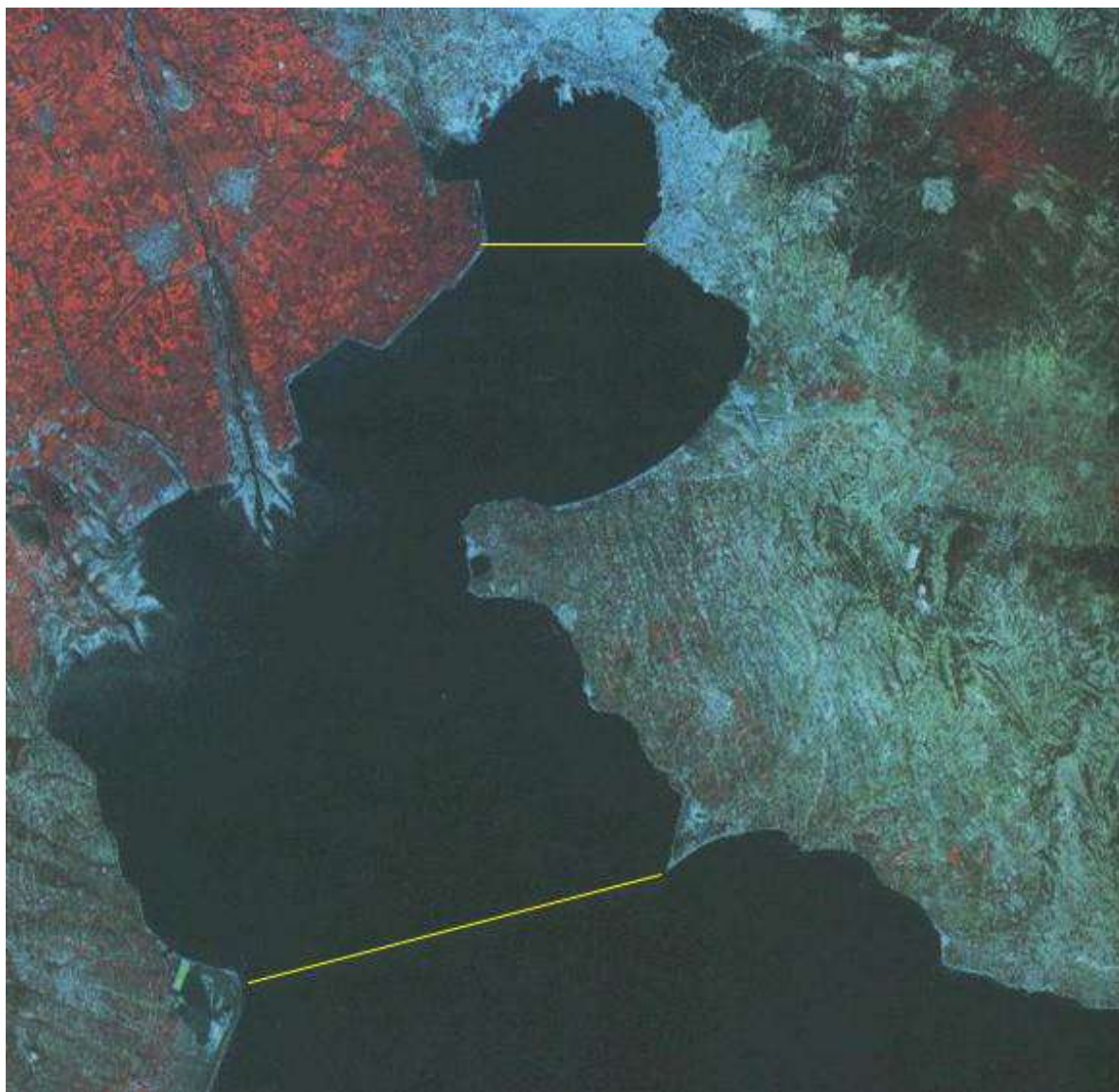
¹ Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (Οδηγία 2000/60/ΕΕ) έχει στόχο την επίτευξη της καλής οικολογικής κατάστασης όλων των επιφανειακών υδάτων (παράκτιων, μεταβατικών, λιμνών, ποταμών) των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το έτος 2015.

² Η Οδηγία για τη Θαλάσσια Στρατηγική (Οδηγία 2008/56/ΕΚ) έχει στόχο τη διατήρηση και αποκατάσταση της καλής περιβαλλοντικής κατάστασης του θαλάσσιου περιβάλλοντος των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το έτος 2020.

2. Περιοχή μελέτης

Ο Όρμος της Θεσσαλονίκης, σύμφωνα με χάρτες της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού, ορίζεται από τη νοητή γραμμή που ενώνει το ακρωτήριο της Παλιομάνας στα δυτικά, με το ακρωτήριο Μικρό Έμβολο ανατολικά (Εικ. 1, όριο Α) και αποτελεί ουσιαστικά το τμήμα εσωτερικά του Θερμαϊκού Κόλπου, ο οποίος έχει ως βόρειο όριο την ανωτέρω νοητή γραμμή και ως νότιο όριο τη νοητή γραμμή από το ακρωτήριο Βαρδάρης (εκβολές του ποταμού Αξιού στα δυτικά) έως το ακρωτήριο Μεγάλο Έμβολο, ανατολικά (Εικ. 1, όριο Β).

Εικόνα 1. Θερμαϊκός Κόλπος. Α: όριο Όρμου Θεσσαλονίκης, Β: όριο Θερμαϊκού Κόλπου.



Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι καλλιεργούμενες εκτάσεις.

Πηγή: NASA 2003

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 48392/939/2002 (ΦΕΚ 405Β/3-4-2002), η οποία συμπλήρωσε την ΚΥΑ 19661/1982/1999, όχι μόνο ο Όρμος Θεσσαλονίκης (Α) αλλά ολόκληρος ο Θερμαϊκός Κόλπος (Β) προσδιορίζονται ως ευαίσθητες περιοχές από απορρίψεις αστικών λυμάτων.

Στο θαλάσσιο τμήμα της παράκτιας ζώνης του Θερμαϊκού, οι επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων αφορούν κυρίως τη ρύπανση, τον ευτροφισμό και τη φυσική διαταραχή (Πιν. 1). Τα φαινόμενα αυτά συνδέονται με τις μεταβολές των φορτίων των θρεπτικών ουσιών, των ρύπων και των αιωρούμενων στερεών.

Πίνακας 1. Σχέση μεταξύ ανθρώπινων δραστηριοτήτων και επιπτώσεων στην παράκτια ζώνη.

Δραστηριότητες	Παράγοντες	Επιπτώσεις
Αστικοποίηση Μετακινήσεις	Αλλαγές χρήσης γης, οδική, σιδηροδρομική και αεροπορική κυκλοφοριακή συμφόρηση, εκβάθυνση και απόρριψη ιζήματος λιμένων, κηλίδες στη θάλασσα, απόρριψη λυμάτων και απορριμμάτων	Ευτροφισμός, μείωση κάλυψης τύπων οικοτόπων/βλάστησης και βιοποικιλότητας, οπτική ρύπανση, μείωση και υφαλμύρωση του υδροφόρου ορίζοντα, ρύπανση νερού, κίνδυνος ασθενειών
Γεωργικές δραστηριότητες	Ανάκτηση γης, χρήση λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων, αύξηση κοπαδιών, αφαίρεση νερού, απόρριψη λυμάτων και απορριμμάτων	Ευτροφισμός, μείωση κάλυψης τύπων οικοτόπων/βλάστησης και βιοποικιλότητας, ρύπανση νερού, μείωση ποσότητας εσωτερικών υδάτων στην παράκτια ζώνη
Τουρισμός Αναψυχή	Αλλαγές χρήσης γης, οδική, σιδηροδρομική και αεροπορική κυκλοφοριακή συμφόρηση, λιμενοβραχίονες, αφαίρεση νερού, λύματα και απορρίμματα	Ευτροφισμός, οπτική ρύπανση, μείωση του υδροφόρου ορίζοντα, είσοδος αλμυρού νερού στους αποθέματα νερού, ρύπανση νερού, κίνδυνος ασθενειών, μείωση κάλυψης τύπων οικοτόπων/βλάστησης και βιοποικιλότητας
Υδατοκαλλιέργειες	Κατασκευή λιμένων, επεξεργασία ιχθύων, αλιευτικός εξοπλισμός, απόβλητα ιχθυοκαλλιεργειών	Υπεραλίευση, επίδραση σε μη αλιευόμενα είδη, ρύποι και κηλίδες πετρελαίων στις ακτές, ανάδευση ιζήματος, ρύπανση νερού, ευτροφισμός
Βιομηχανία Μετατροπή ενέργειας	Αλλαγές χρήσης γης, σταθμοί ενέργειας, εκμετάλλευση φυσικών πόρων, επεξεργασία αποβλήτων, νερό ψύξης, ανεμόμυλοι, αποξήρανση ποταμών, αντιπαλιρροιακά εμπόδια	Ρύπανση νερού, μείωση εισόδου γλυκού νερού και ιζήματος στην παράκτια ζώνη, θερμική ρύπανση, ευτροφισμός, οπτική ρύπανση, απώλεια τύπων οικοτόπων/βλάστησης και βιοποικιλότητας, διάβρωση παράκτιας ζώνης

Τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα του πολεοδομικού ιστού της Θεσσαλονίκης και οι απορροές των γεωργικών εκτάσεων στις λεκάνες απορροής των ποταμών συνυπάρχουν με τις οικονομικές δραστηριότητες αναψυχής και αλιείας στον Θερμαϊκό κόλπο. Τα ανωτέρω έχουν άμεση επίδραση στην τροφική κατάσταση του θαλάσσιου οικοσυστήματος, η οποία επιδεινώνεται από τα φυσικά γνωρίσματα του κόλπου (μικρό άνοιγμα, μικρό βάθος, κίνηση του νερού κ.λπ.).

Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Θεσσαλονίκης (ΕΕΛΘ) άρχισε να λειτουργεί το έτος 1992 (www.eyath.gr). Για το αποχετευτικό σύστημα της πόλης και τη λειτουργία του, η Ειδική Υπηρεσία Δημοσίων Έργων Ύδρευσης Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης (ΕΥΔΕ) αναφέρει (www.eydeael.gr) ότι «το έτος 2000, μετά την ολοκλήρωση των βασικών έργων της βιολογικής βαθμίδας και του αγωγού διάθεσης, ξεκίνησε η δοκιμαστική λειτουργία της νέας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Από τα μέσα του 2000 άρχισαν σταδιακά να παραλαμβάνονται όλα τα συνδεδεμένα με τον Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (ΚΑΑ) δίκτυα αστικών λυμάτων και από τις αρχές του 2001 οδηγούνται για επεξεργασία περίπου 160.000 κυβικά μέτρα αστικών λυμάτων του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης ημερησίως, ενώ είχε εκτιμηθεί ότι θα αυξηθούν στα 200.000 κυβικά μέτρα ημερησίως, με προσθήκη βιομηχανικών αποβλήτων από τη Βιομηχανική Περιοχή Θεσσαλονίκης στη Σίνδο, υπό προϋποθέσεις συμβατότητας».

Η ευρύτερη περιοχή του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης αποχετεύεται με αγωγούς ομβρίων και ακαθάρτων. Οι αγωγοί ομβρίων καταλήγουν με φυσική ροή στη θάλασσα, ενώ οι αγωγοί ακαθάρτων, μέσω του Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού (ΚΑΑ), καταλήγουν στη θαλάσσια περιοχή του Γαλλικού, αφού διοχετευθούν μέσα από βιολογικό καθαρισμό στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων Θεσσαλονίκης (ΕΕΛΘ), στη Σίνδο.

Το αποχετευτικό δίκτυο της Θεσσαλονίκης είναι χωριστικό, εκτός του κέντρου της, όπου το δίκτυο είναι παντοροϊκό.

Η εταιρεία λειτουργεί την Ε.Ε.Λ.Θ., η οποία βρίσκεται στη Σίνδο και δέχεται καθημερινά περί τις 150.000 - 160.000 m³/d λυμάτων, ενώ οι δυνατότητές της φτάνουν τις 296.000 m³/d.

Η ΕΥΑΘ Α.Ε. μεριμνά ώστε τα επεξεργασμένα λύματα να διοχετεύονται στον ευαίσθητο αποδέκτη, το Θερμαϊκό, σύμφωνα με τους ισχύοντες περιβαλλοντικούς όρους. Η συλλογή των αστικών λυμάτων από το σύνολο (98%) της περιοχής δικαιοδοσίας της και η επεξεργασία τους σε βαθμό 92%-96% σε τιμές οργανικού φορτίου, 365 μέρες το χρόνο και 24 ώρες το 24ωρο, αποτελούν κυρίαρχο στόχο της εταιρείας. Τα καθαρισμένα απόβλητα διατίθενται κατόπιν στον κεντρικό κόλπο αποφορτίζοντας τον όρμο της Θεσσαλονίκης.

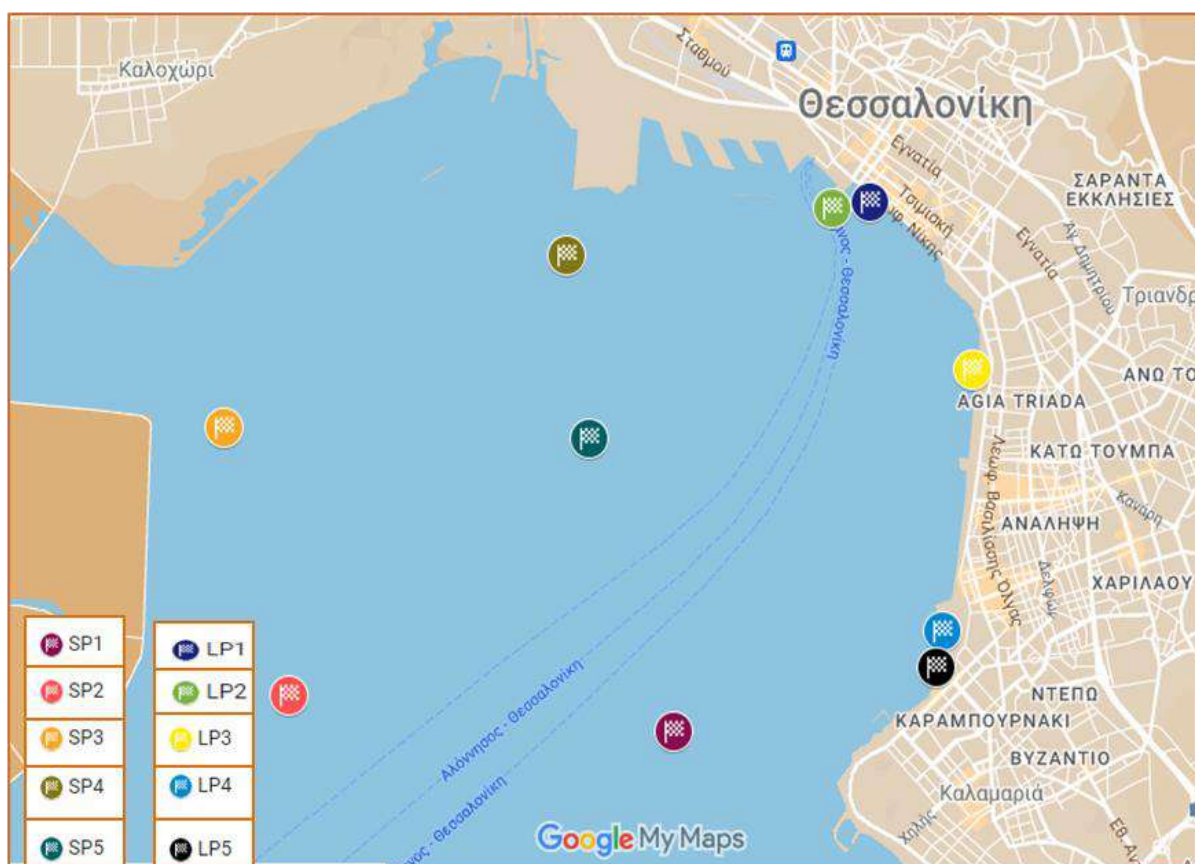
Παράλληλα, εφαρμόζεται σε ερευνητικό επίπεδο η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων στην άρδευση κι ο εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με περαιτέρω επεξεργασμένα λύματα μετά τη βιολογική τους επεξεργασία.

3. Μέθοδος

3.1. Σταθμοί δειγματοληψίας

Ως περιοχή μελέτης / παρακολούθησης ορίζεται ο Όρμος της Θεσσαλονίκης (από τις παλιές εκβολές του Αξιού, Παλιομάνα, έως το Μικρό Έμβολο - Καραμπουρνάκι).

Η επιλογή των σταθμών δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε με τρόπο, ώστε να υπάρχει συνέχεια στις προηγούμενες μετρήσεις, αλλά και από παλαιότερες μελέτες και προγράμματα (κοινά σημεία με το πρόγραμμα Black Sea Basin 2014-2020). Στόχος είναι η συνεχής καταγραφή των δεδομένων και η δημιουργία ικανής χρονοσειράς, ώστε να καθίσταται πιο πλήρης η μελέτη της εξέλιξης του οικοσυστήματος του Όρμου και των τάσεων του επιπέδου ευτροφισμού που το χαρακτηρίζουν. Τα σημεία των μετρήσεων είναι δέκα: τα πέντε είναι παράκτια σημεία (LP1-LP5) και τα πέντε πελαγικά στον Όρμο (SP1-SP5) (Εικ. 2).



Εικόνα 2. Η περιοχή μελέτης με το δίκτυο σημείων (παράκτια LP1-LP5 και πελαγικά SP1-SP5) μετρήσεων και δειγματοληψιών, για την παρακολούθηση της ποιότητας του θαλάσσιου περιβάλλοντος του Όρμου της Θεσσαλονίκης.

3.2. Δειγματοληψίες

Οι δειγματοληψίες στα προκαθορισμένα σημεία μέτρησης υλοποιούνται από την επιστημονική ομάδα του ΕΚΒΥ σε συνεργασία με στελέχη του Τμήματος Περιβάλλοντος & Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή. Τα δείγματα μεταφέρονται στο εργαστήριο του ΕΚΒΥ και στο εργαστήριο του Τμήματος Περιβάλλοντος & Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή του Δήμου Θεσσαλονίκης. Πριν από κάθε εργασία πεδίου, συλλέγονται τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής.

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιούνται σε μηνιαία βάση. Συγκεκριμένα, ο στόχος είναι η χρονική απόσταση μεταξύ δύο δειγματοληψιών (επισκέψεων στο πεδίο) να είναι περί τις 30 ημέρες και όχι απλώς η κάλυψη των ημερολογιακών μηνών.

Η συλλογή των δειγμάτων από όλους τους πελαγικούς (SP) και τους παράκτιους σταθμούς (LP) πραγματοποιείται την ίδια μέρα, ώστε να μηδενίζεται το στοιχείο της μεταβολής των επικρατούντων συνθηκών που είναι δυνατόν να επηρεάζουν κάποιες παραμέτρους π.χ. διαφάνεια στήλης νερού, κυματισμό κ.λπ.

Στα μέσα Ιουνίου 2024, πραγματοποιήθηκε έκτακτη δειγματοληψία στους τρεις βαθύς σταθμούς (SP1, SP4, SP5) και στους παράκτιους. Συνεπώς, τον μήνα Ιούνιο 2024 υλοποιήθηκαν δύο δειγματοληψίες, συγκεκριμένα στις 13 (έκτακτη) και 28 Ιουνίου 2024 (προγραμματισμένη μηνιαία). Η έκτακτη δειγματοληψία είχε ως σκοπό τη διερεύνηση των ιδιαίτερων συνθηκών που επικρατούσαν εκείνο το χρονικό διάστημα στον Όρμο της Θεσσαλονίκης (υψηλές θερμοκρασίες, εμφάνιση άνθισης φυτοπλαγκτού).

3.3. Παράμετροι παρακολούθησης

3.3.1. Μετρήσεις στο πεδίο

Κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών, σε κάθε πελαγικό σημείο, πραγματοποιούνται τα ακόλουθα:

- Προσδιορισμός εύφωτης ζώνης με τον δίσκο του Secchi και μέγιστου βάθους σημείου δειγματοληψίας.
- Μέτρηση, με τη χρήση πολυπαραμετρικού οργάνου (SBE 19plus V2 SeaCAT CTD), του pH, της αλατότητας και της αγωγιμότητας στην επιφάνεια της θάλασσας, και της θερμοκρασίας του νερού, της συγκέντρωσης (mg/L) και κορεσμού (%) του διαλυμένου οξυγόνου σε ολόκληρη τη στήλη του νερού (ανά μέτρο).
- Μέτρηση, με τη χρήση αυτογραφικού οργάνου CTD (Conductivity Temperature Depth), της θερμοκρασίας, αλατότητας, αγωγιμότητας και του βάθους σε ολόκληρη τη στήλη του νερού.
- Συλλογή ενιαίου δείγματος νερού (integrated sample) για τη μέτρηση χλωροφύλλης α και θρεπτικών ιόντων. Το δείγμα προέρχεται από ολόκληρη την εύφωτη ζώνη με αυτόματο δειγματολήπτη Hydrobios. Στους σταθμούς SP2 και SP3 όπου το βάθος είναι πολύ μικρό (<3m) λαμβάνονται αναμεμειγμένα δείγματα από την εύφωτη ζώνη.
- Συλλογή ενιαίου δείγματος νερού (ποσοτικό δείγμα – συντήρηση με Lugol) από την εύφωτη ζώνη για τον προσδιορισμό φυτοπλαγκτικών οργανισμών σε επίπεδο γένους τουλάχιστον και τη μέτρηση της αφθονίας, στο εργαστήριο.

Παράλληλα, σε κάθε παράκτιο σημείο μέτρησης πραγματοποιούνται:

- Μέτρηση, με τη χρήση αυτογραφικού οργάνου CTD (Conductivity Temperature Depth), της θερμοκρασίας, αλατότητας, αγωγιμότητας και του βάθους σε ολόκληρη τη στήλη του νερού.
- Συλλογή δείγματος νερού για τη μέτρηση χλωροφύλλης α. Το δείγμα προέρχεται από επιφανειακό στρώμα (1m) με δειγματολήπτη KC Denmark.

Η τυχόν απουσία μετρήσεων οφείλεται σε βλάβη και χρόνο επιδιόρθωσης των οργάνων.

3.3.2. Μετρήσεις στο εργαστήριο

Για την εκτίμηση της τροφικής κατάστασης της θαλάσσιας περιοχής και την ποιότητα του νερού προσδιορίζονται οι ακόλουθες παράμετροι:

1) σε κάθε σταθμό μέτρησης

- Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α.

2) στους πελαγικούς σταθμούς

- Τα ιόντα αζώτου νιτρώδη (NO_2^-), νιτρικά (NO_3^-) και αμμωνιακά (NH_4^+), τα ορθοφωσφορικά ιόντα (PO_4^{+3}) και τα πυριτικά ιόντα (SiO_4^{-3}).

- Η σύνθεση και η αφθονία των φυτοπλαγκτικών οργανισμών.

Τα δείγματα του νερού διηθούνται με ηθμό GF/F και ο ποσοτικός προσδιορισμός των ιόντων πραγματοποιείται με αναλυτικές μεθόδους σύμφωνα με τους Strickland & Parsons (1967) και Liddicoat *et al.* (1974 & 1976) (αμμωνιακό άζωτο).

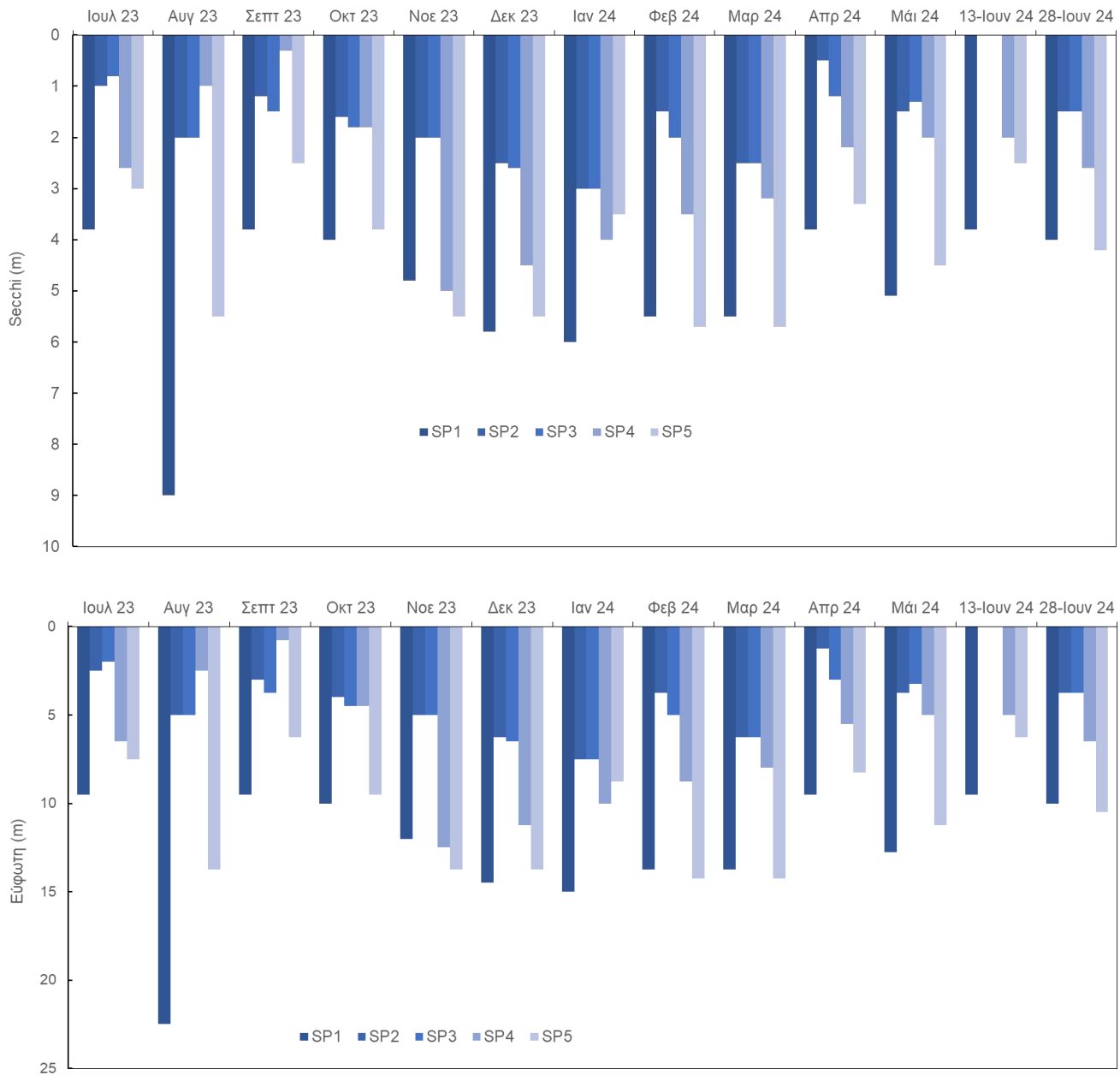
Ο προσδιορισμός της χλωροφύλλης α πραγματοποιείται με εκχύλιση από τους ηθμούς σε διάλυμα 90% ακετόνης με κορεσμένο διάλυμα MgCO_3 (1%w/v) για 18-24 ώρες και χρήση τριχρωματικής εξίσωσης (Jeffrey & Humphrey 1975). Η χλωροφύλλη α στους παράκτιους σταθμούς προσδιορίζεται με φθορισμόμετρο τύπου Turner Trilogy, σύμφωνα με τη μέθοδο Holm-Hansen *et al.* (1965) (απευθείας μέτρηση μονάδων φθορισμού και μέτρηση συγκέντρωσης, μετά από εκχύλιση σε διάλυμα 90% ακετόνης).

Η σύνθεση και η αφθονία του φυτοπλαγκτού προσδιορίζεται στο εργαστήριο, προσδιορίστηκε σε ανάστροφο μικροσκόπιο με τη μέθοδο Utermöhl (IOC-UNESCO 2010).

4. Αποτελέσματα - Συζήτηση

4.1. Διαφάνεια

Η μέτρηση του βάθους του δίσκου Secchi χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του βάθους της εύφωτης ζώνης δηλαδή το άνω στρώμα του νερού όπου απαντά το μέγιστο της αυτότροφης βιομάζας.

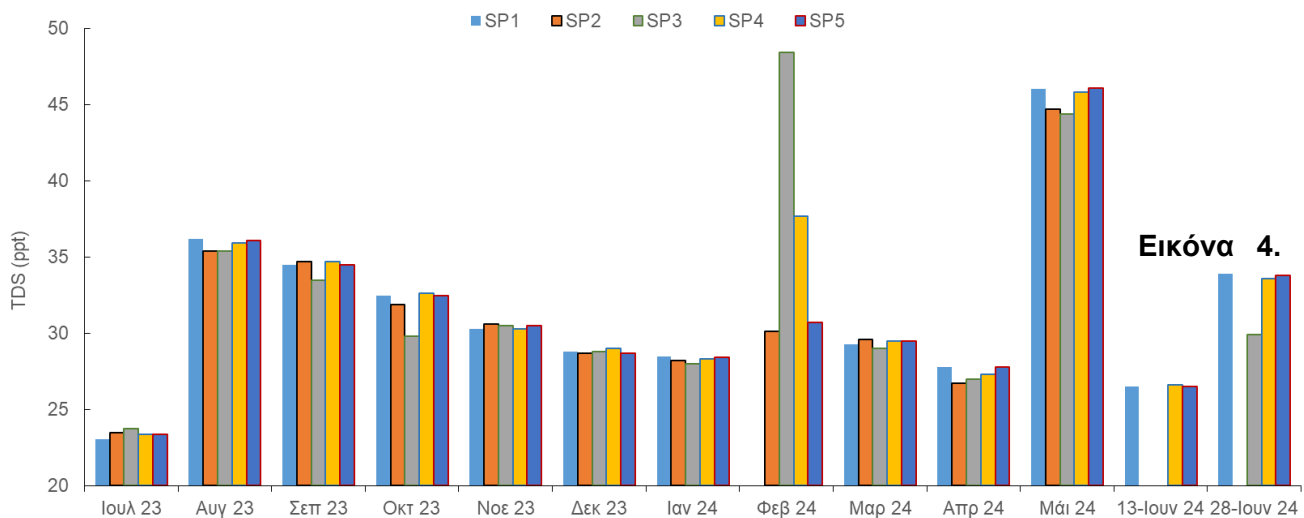


Εικόνα 3. Μεταβολή της διαφάνειας της στήλης του νερού στους πελαγικούς σταθμούς (δίσκος Secchi) και του βάθους της εύφωτης ζώνης για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.

Στους ρηχούς σταθμούς (SP2 και SP3), η εύφωτη ζώνη σε όλες τις δειγματοληψίες έφτασε έως το μέγιστο βάθος (~2,5 m). Εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός SP2, τον Απρίλιο 2024, με μικρότερο βάθος εύφωτης ζώνης (1,25 m) καθώς και οριακά ο σταθμός SP3, τον Ιούλιο 2024, με βάθος εύφωτης ζώνης τα 2 m (Εικ. 3).

Οι σταθμοί SP1 και SP5 (σταθμοί με το μεγαλύτερο βάθος, +/-20 m) παρουσίασαν τις υψηλότερες τιμές διαφάνειας, με τη μεγαλύτερη να παρατηρείται τον Αύγουστο 2023 στον σταθμό SP1. Μεταξύ των τριών βαθύνων σταθμών, μικρότερη διαφάνεια (0,3 m) παρουσίασε τον Σεπτέμβριο 2023, ο SP4 που βρίσκεται κοντά στο εμπορικό λιμάνι. Πιθανώς αυτό οφείλεται στην ανάδευση που προκαλείται από την κίνηση μεγάλων και μικρότερων σκαφών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους στο τμήμα αυτό του όρμου. Η χαμηλή διαύγεια στον σταθμό αυτόν ενδεχομένως να οφείλεται και στις υδάτινες μάζες του Γαλλικού και των αντλιοστασίων που μεταφέρονται με την κίνηση των ρευμάτων στον όρμο (Εικ. 3).

Οι διαφορές αυτές μεταξύ των τιμών στους σταθμούς συνάδουν με τις συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων στερεών στην επιφάνεια του νερού (Εικ. 4).

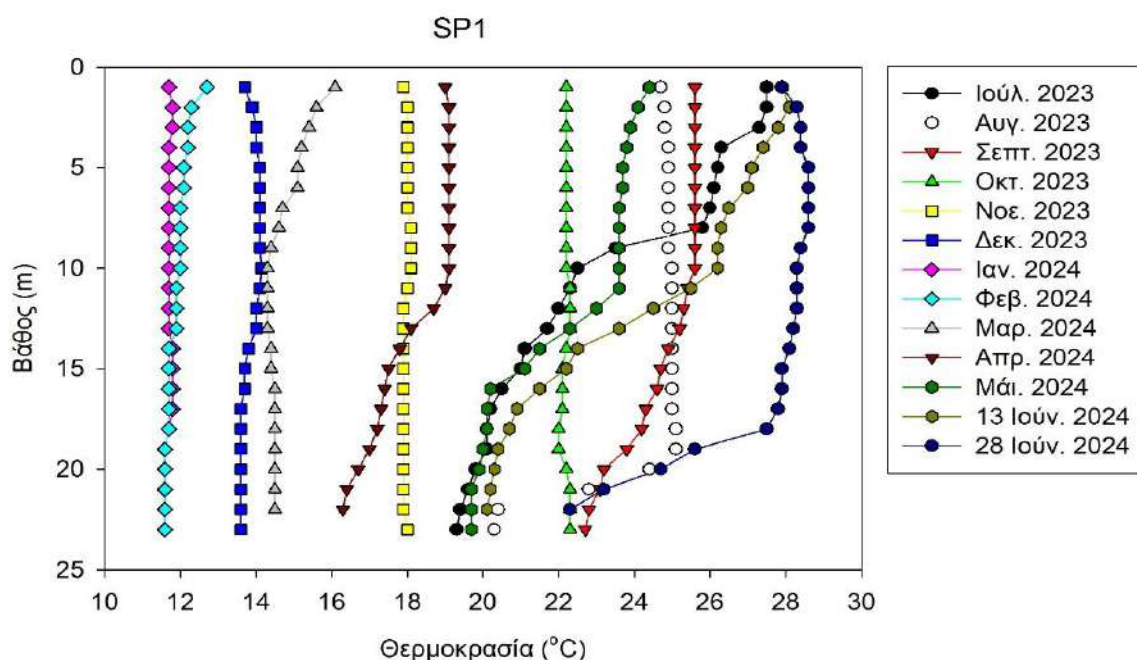


Κατανομή των ολικών αιωρούμενων στερεών σωματιδίων (TDS) στους πελαγικούς σταθμούς για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.

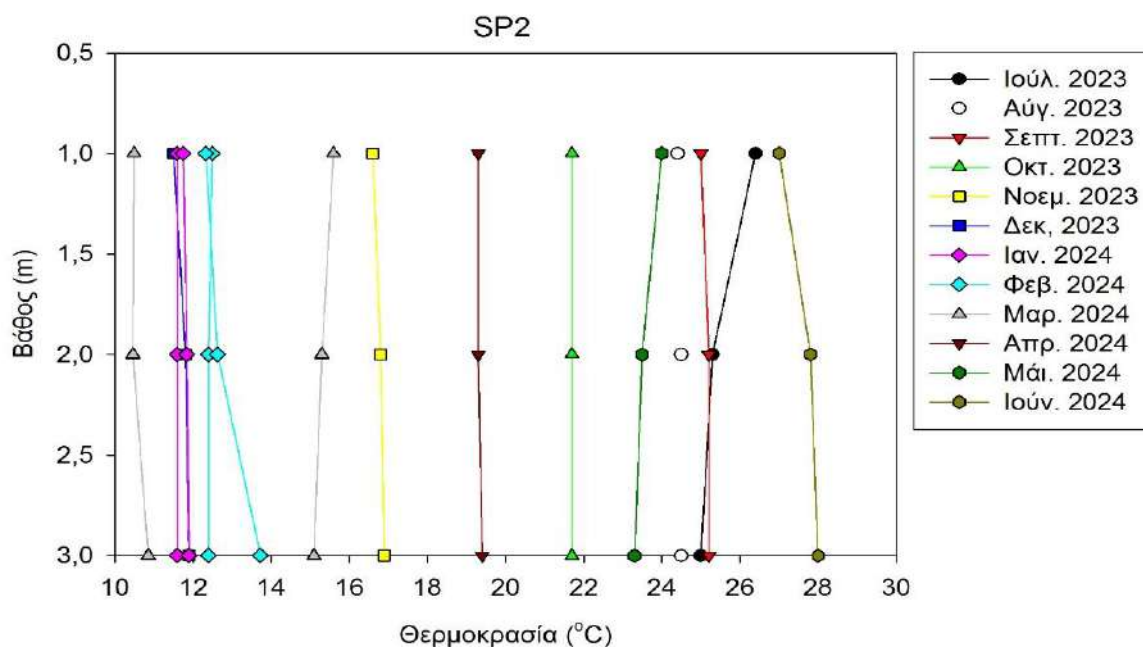
4.2. Φυσικοχημικές παράμετροι

4.2.1. Θερμοκρασία

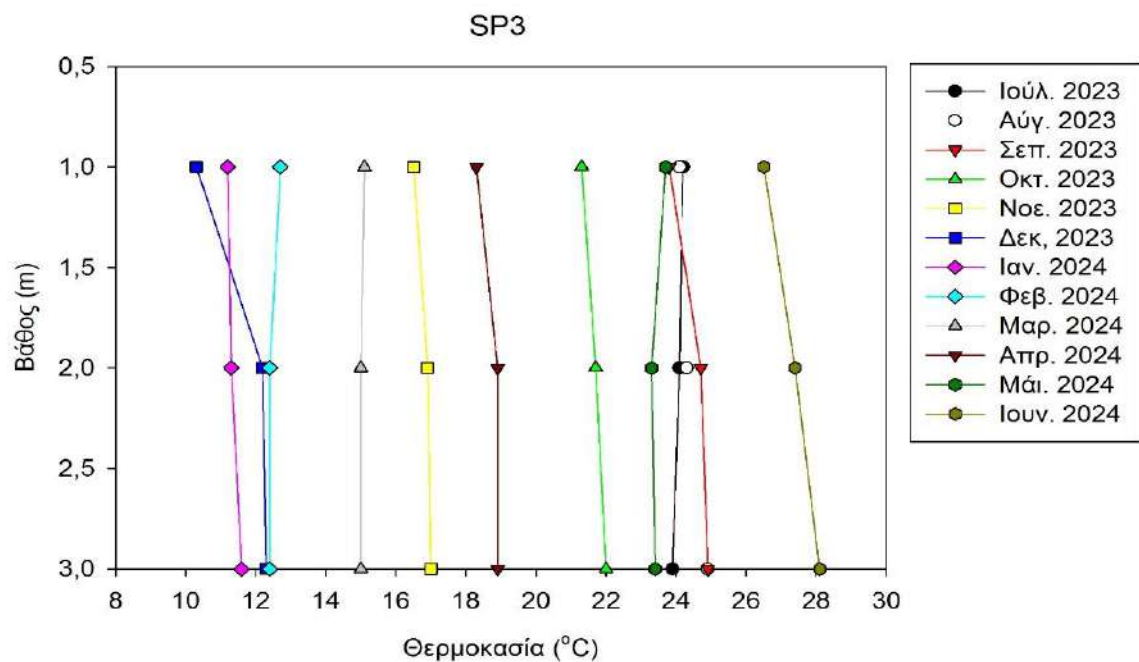
Η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας στους πέντε πελαγικούς σταθμούς για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024, φαίνεται στις Εικόνες 5-9.



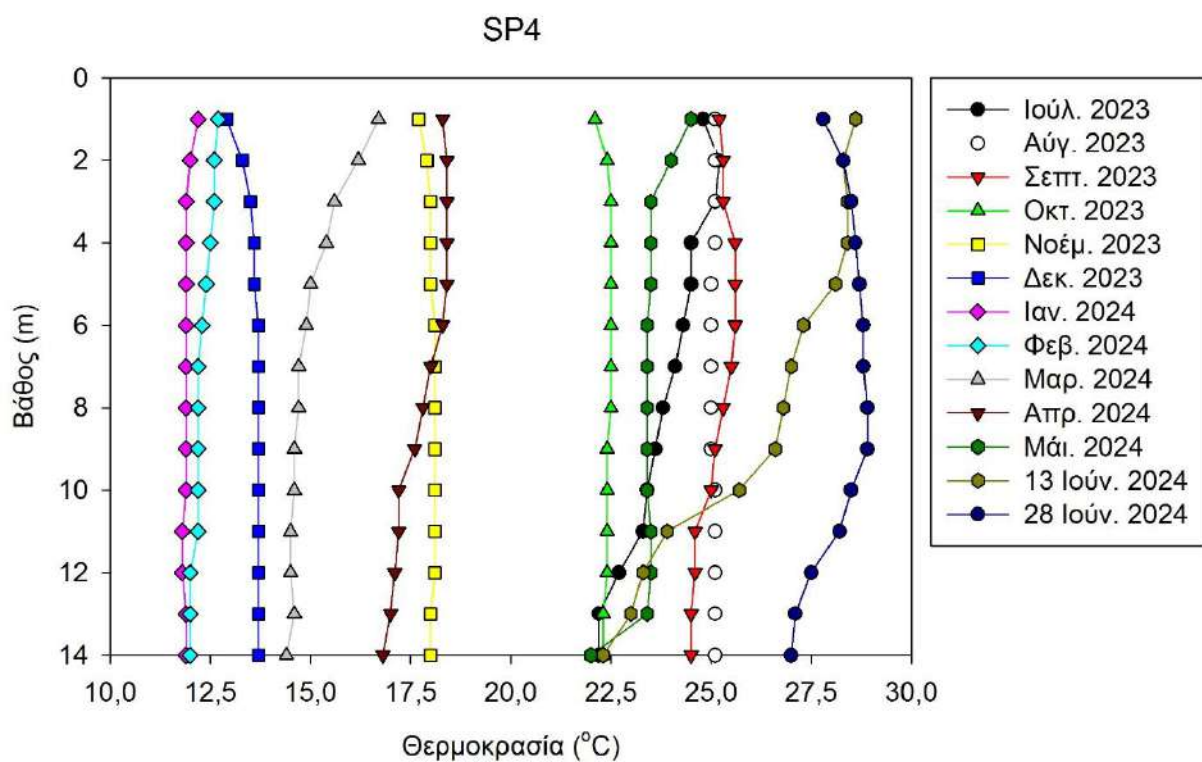
Εικόνα 5. Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP1 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.



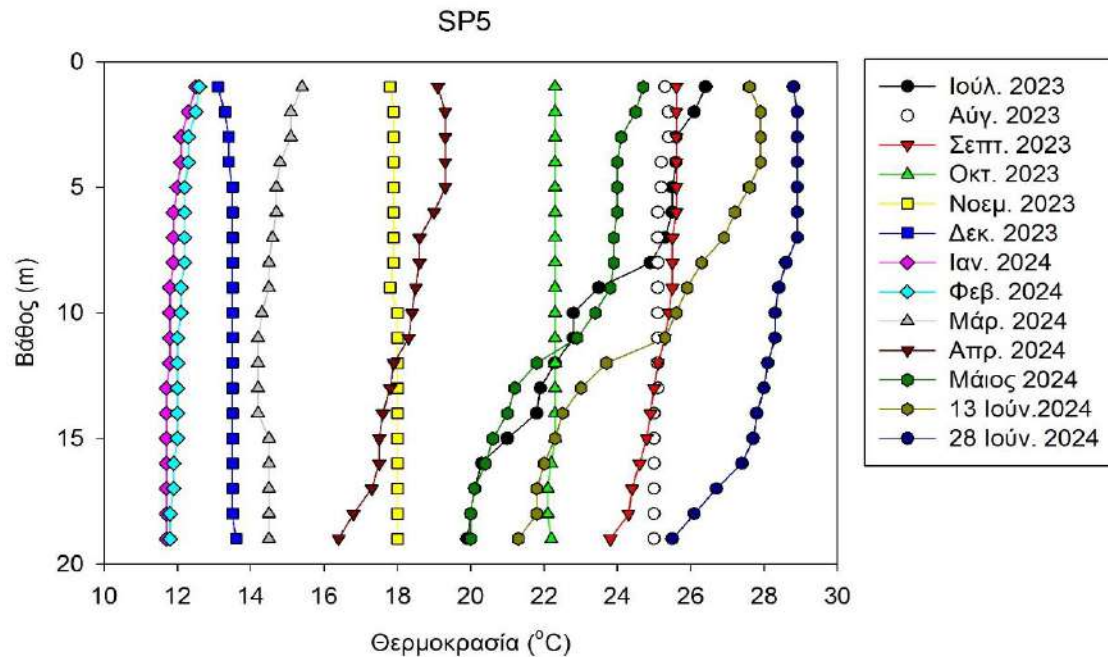
Εικόνα 6. Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP2 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.



Εικόνα 7. Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP3 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.



Εικόνα 8. Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP4 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.



Εικόνα 9. Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP5 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.

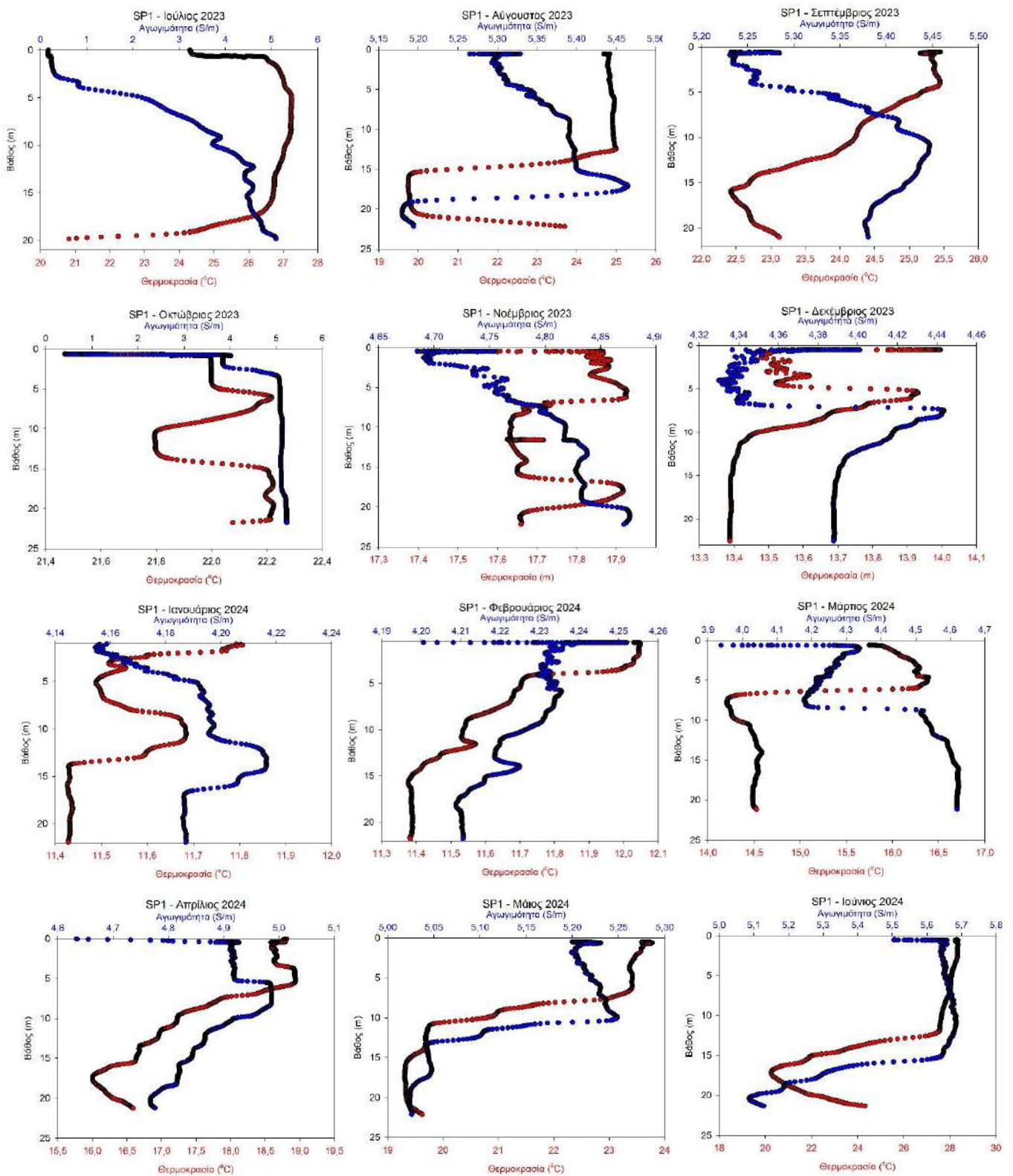
Στον σταθμό SP1 (Εικ. 5), η θερμοκρασία του νερού παρουσιάζει ομοιόμορφη κατανομή με το βάθος κατά την ψυχρή περίοδο (Νοέμβριος 2023 - Μάρτιος 2024). Τους θερμούς μήνες Ιούλιος - Σεπτέμβριος 2023 και Απρίλιος - Ιούνιος 2024, έως το μέσο του μέγιστου βάθους, η θερμοκρασία παρουσιάζει μικρή μεταβολή. Από το βάθος αυτό και κάτω παρατηρείται σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας. Τον Αύγουστο 2023 η θερμοκρασία έως τα 18 m παρουσίασε μικρή μεταβολή (0,4 °C) ανά μέτρο (24,7 - 25,1 °C) και στα τελευταία 4 m ανιχνεύθηκε ψυχρότερη μάζα νερού με διαφορά 5 °C έως το μέγιστο βάθος (22m).

Στους ρηχούς σταθμούς SP2 και SP3 (Εικ. 6, 7) δεν παρατηρήθηκε στρωμάτωση ούτε με το βάθος ούτε με την εποχή, καθώς η ανάμειξη είναι πλήρης σε όλη τη διάρκεια του έτους.

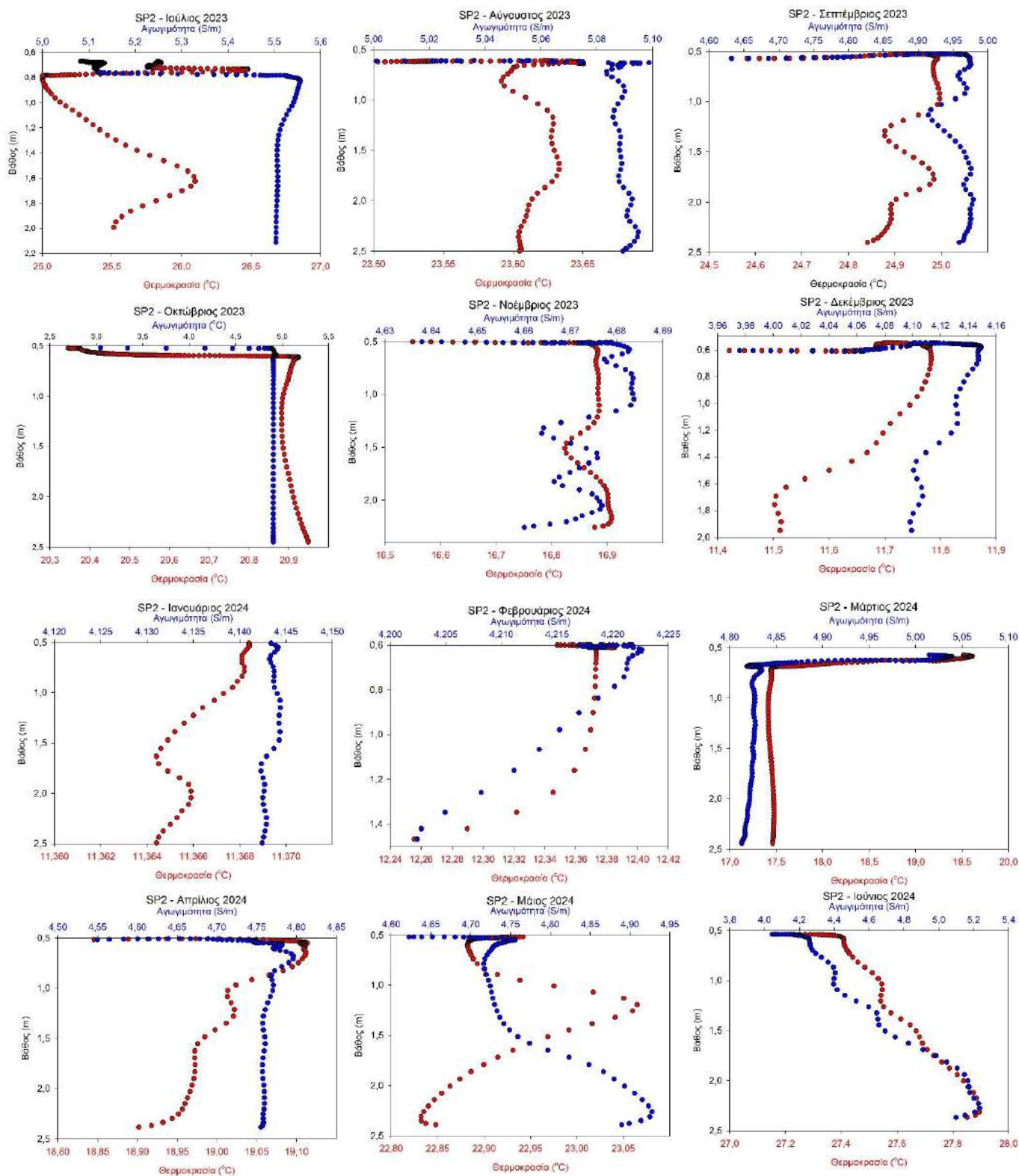
Παρόμοια με τον σταθμό SP1, στους σταθμούς SP4 και SP5 η σταθερή κατανομή της θερμοκρασίας με το βάθος παρατηρήθηκε από τον Νοέμβριο 2023 έως τον Απρίλιο 2024, όπως επίσης και τον Αύγουστο 2023 (Εικ. 7). Η διαφορά θερμοκρασίας στα βαθύτερα στρώματα μεταξύ των σταθμών SP1 από τη μία και SP4-SP5 από την άλλη, κατά τον μήνα Αύγουστο (2023) αποτελεί ένδειξη ότι η ψυχρή μάζα νερού δεν κυκλοφορούσε σε όλον τον όρμο στα μεγάλα βάθη.

4.2.2. Αγωγιμότητα

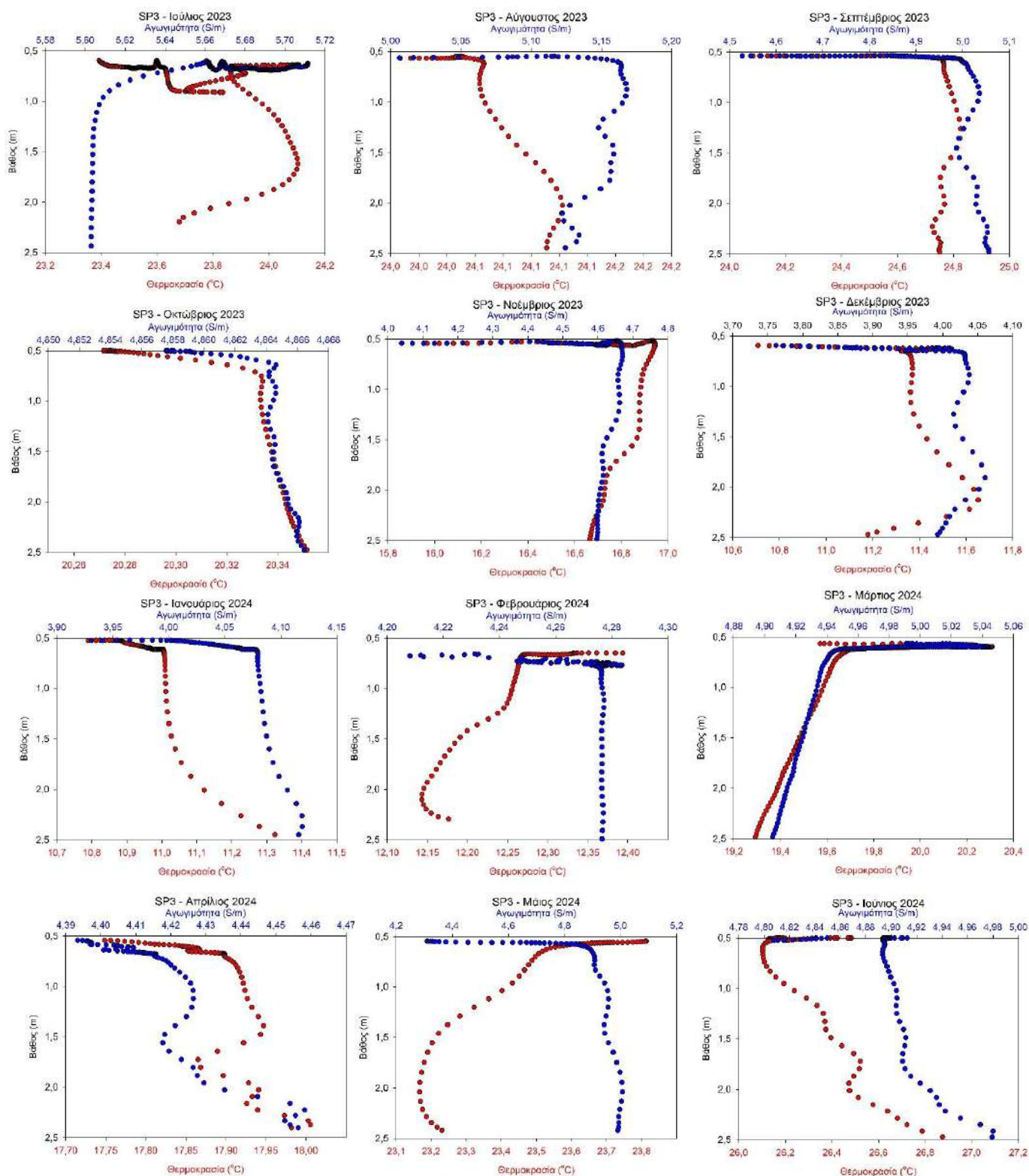
Η κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας στους πελαγικούς σταθμούς για την περίοδο Ιούλιο 2023 - Ιούνιο 2024 φαίνεται στις Εικ. 10-14.



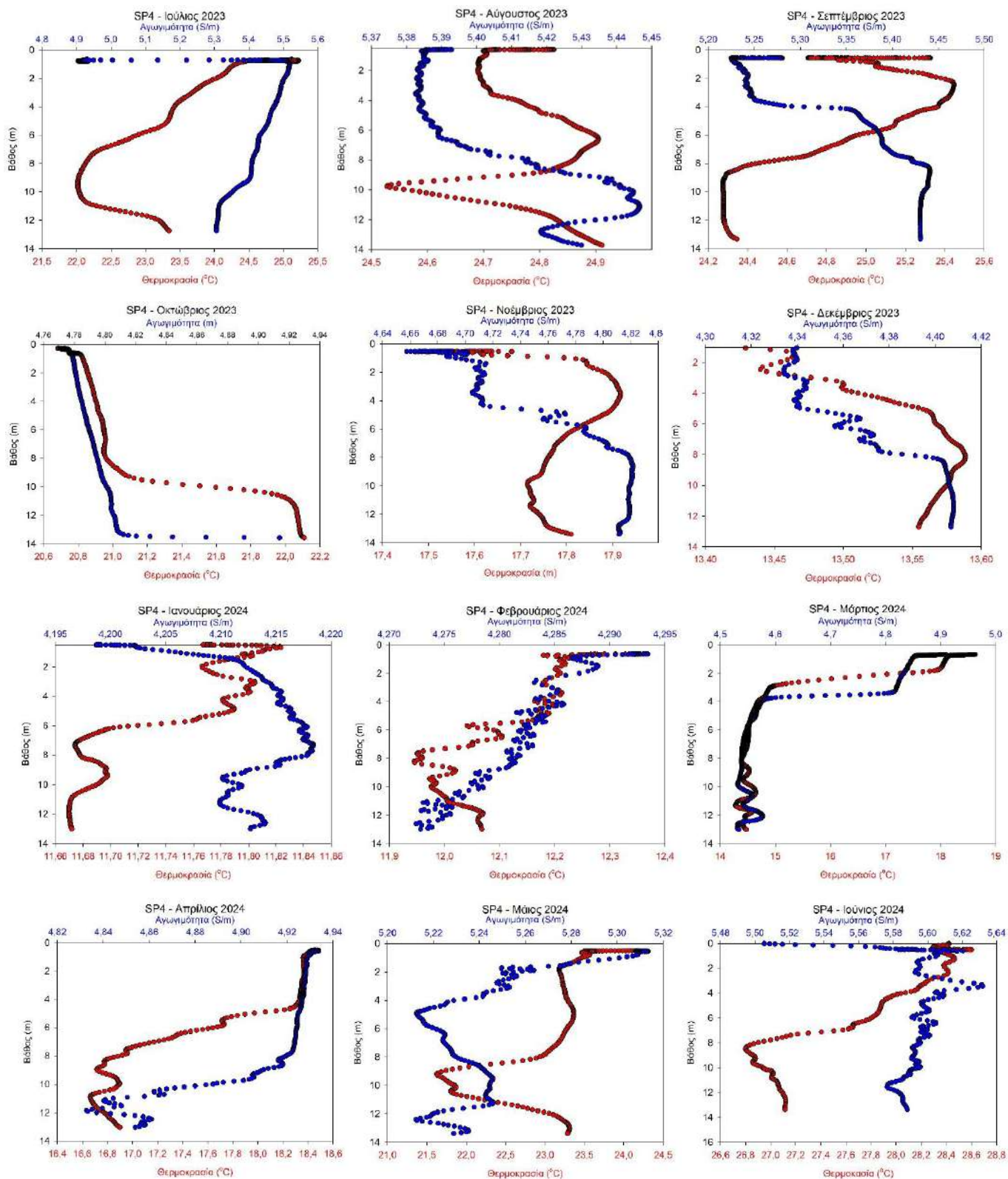
Εικόνα 10. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP1 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.



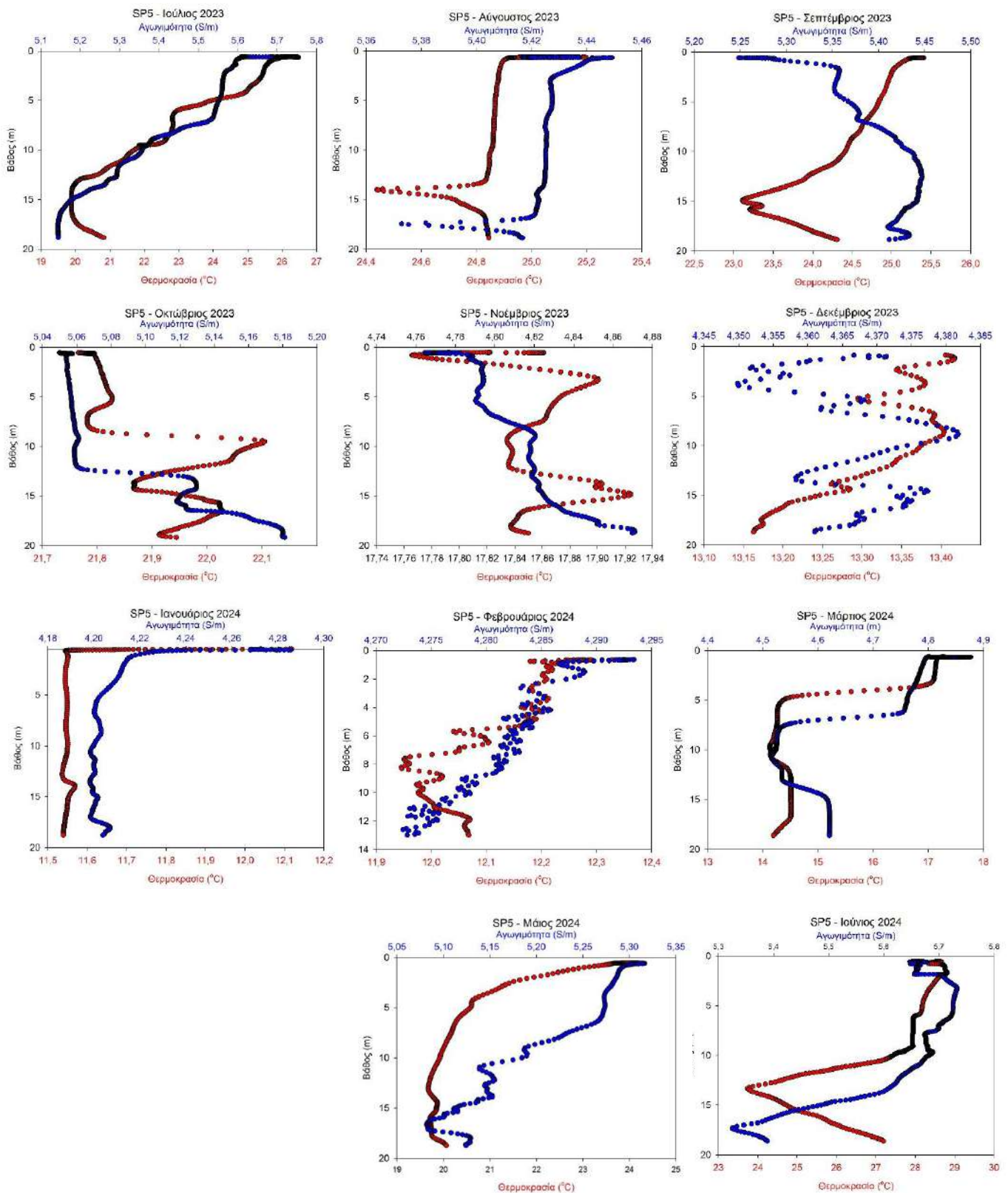
Εικόνα 11. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP2 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.



Εικόνα 12. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP3 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024



Εικόνα 13. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP4 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.



Εικόνα 14. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP5 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024 (τον Απρίλιο 2024 δεν λήφθηκε μέτρηση λόγω βλάβης του οργάνου στον σταθμό).

Η κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας σε μια θαλάσσια περιοχή σχετίζεται με την αλατότητα, τη θερμοκρασία και την πίεση (Pawlowicz 2012). Η αγωγιμότητα είναι ανάλογη με την αλατότητα (Ehrhard 1969) και η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει έντονα την αγωγιμότητα (Dauphinee *et al.* 1977). Η πίεση επηρεάζει την αγωγιμότητα του νερού μεταβάλλοντας την πυκνότητά του και επομένως τη συγκέντρωση των ιόντων (Bradshaw *et al.* 1965).

Στον σταθμό SP1 (Εικ. 10), η κατανομή με το βάθος της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας τον Ιούλιο δείχνει ότι το άναλο νερό από τις σημειακές εισόδους περιορίστηκε στα 5 m από την επιφάνεια. Τον Σεπτέμβριο 2023 η μάζα αυτή έφτανε έως τα 10 m περίπου. Τον Φεβρουάριο, Απρίλιο, Μάιο και Ιούλιο 2024, το άναλο νερό βρισκόταν από τα 10 m και βαθύτερα.

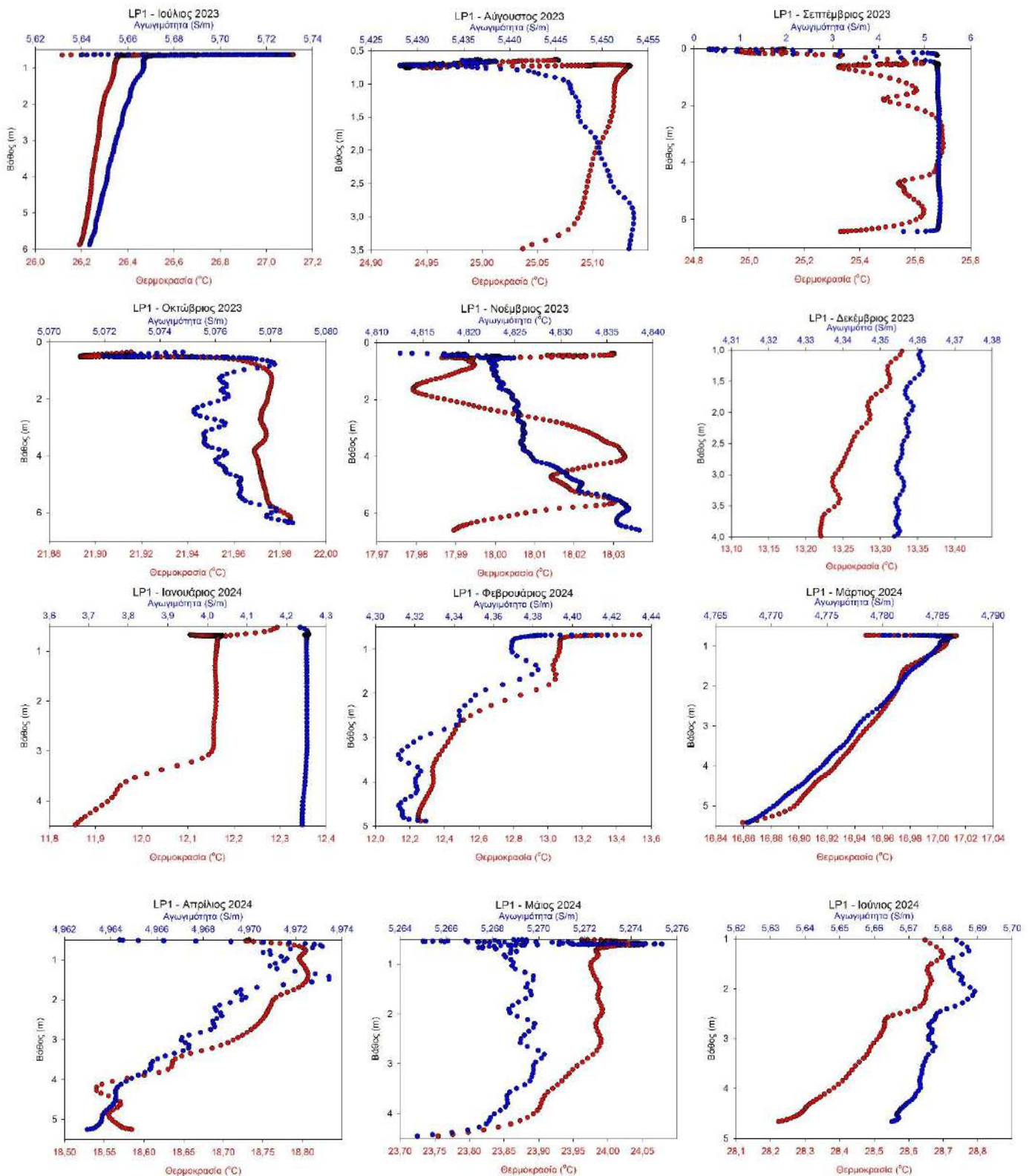
Στον ρηχό σταθμό της δυτικής ακτής του όρμου SP2 (Εικ. 11), ο οποίος βρίσκεται σε μικρή απόσταση από την έξοδο του Δυτικού Αντλιοστασίου, η αγωγιμότητα ήταν όμοια σε ολόκληρη τη στήλη του νερού. Εξαίρεση σημειώθηκε τον Φεβρουάριο 2024 οπότε και η απορροή ήταν περιορισμένη στην επιφάνεια. Αντιθέτως τον Μάιο και τον Ιούνιο 2024 ανιχνεύθηκε νερό υψηλότερης αγωγιμότητας κοντά στον πυθμένα.

Η κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας στον σταθμό SP3 (Εικ. 12) επηρεάζεται απευθείας κυρίως από το άναλο νερό του Γαλλικού ποταμού. Τον Απρίλιο και τον Ιούνιο 2024, άναλο νερό από τον Γαλλικό ποταμό ανιχνεύθηκε μόνο στην επιφάνεια ενώ τον Μάρτιο 2024 πολύ κοντά στον πυθμένα.

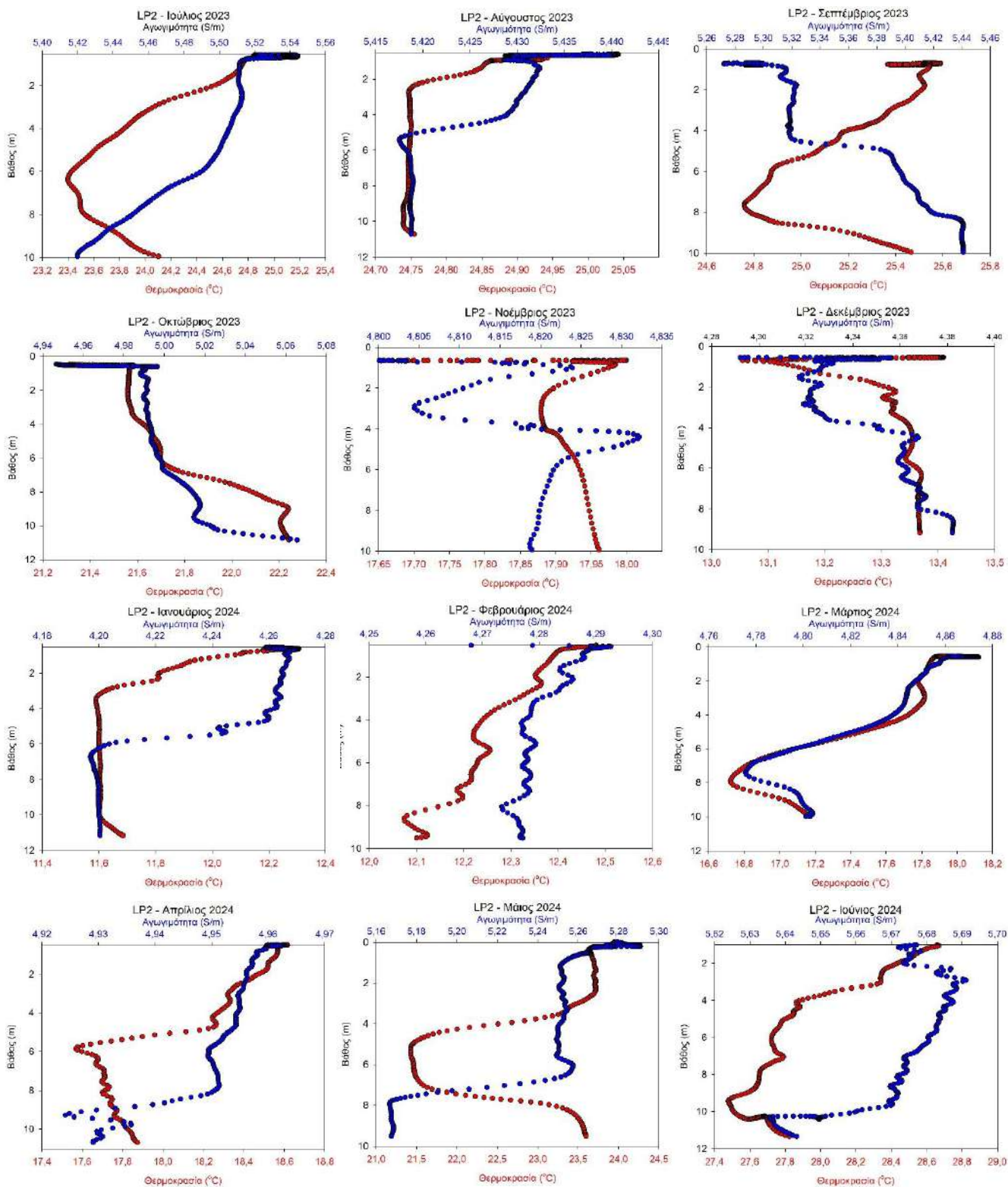
Στον σταθμό SP4 (Εικ. 13), ο οποίος βρίσκεται κοντά στο λιμάνι, η μεταβολή με το βάθος της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας εμφάνισαν παρόμοιο πρότυπο, εκτός από τον μήνα Σεπτέμβριο 2023.

Στον σταθμό που βρίσκεται στο κέντρο του όρμου SP5 (Εικ. 14), η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας εμφανίζει παρόμοιο πρότυπο κατά το μεγαλύτερο μέρος του έτους εκτός από τον Σεπτέμβριο και τον Νοέμβριο 2023.

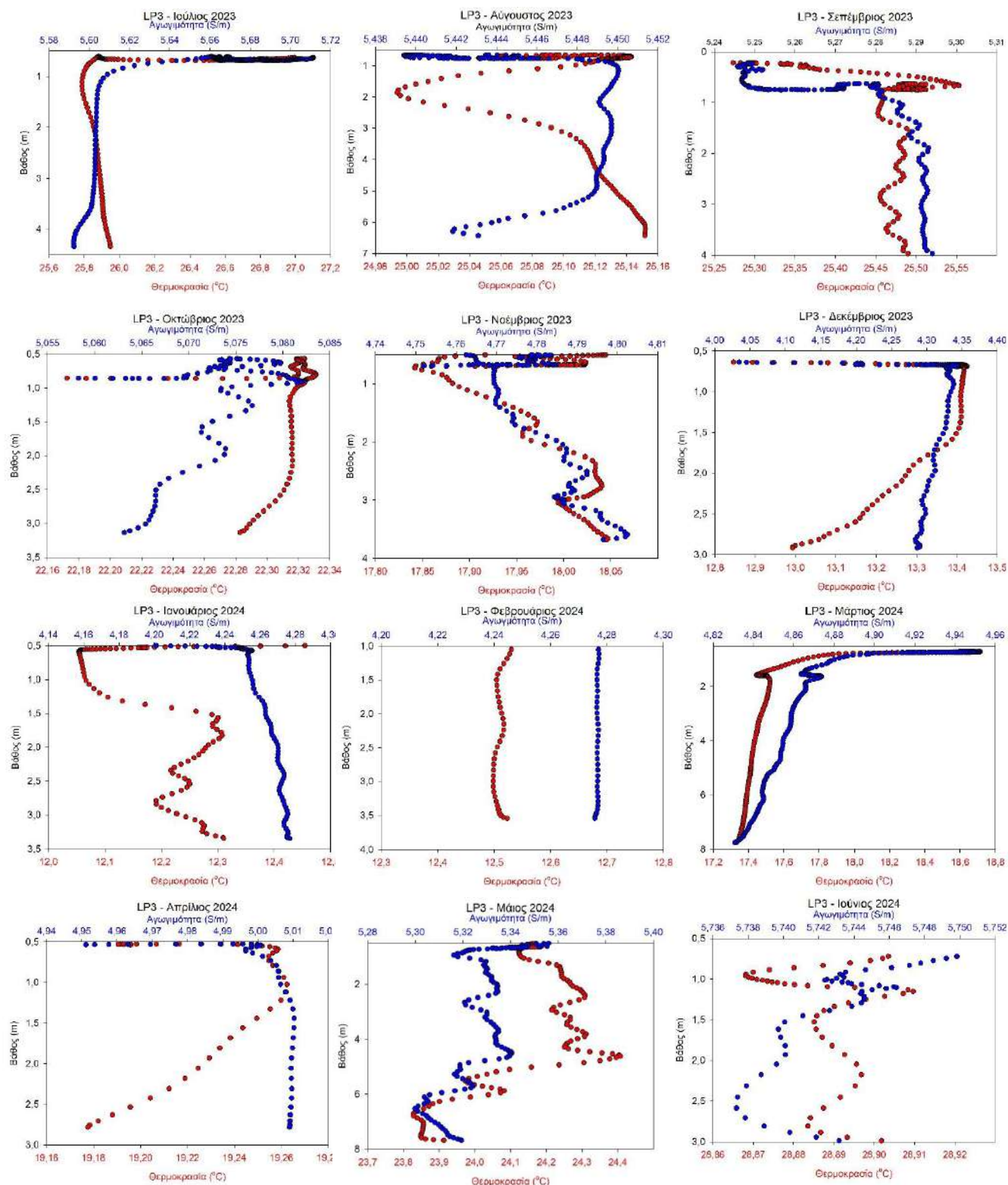
Η κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας στους παράκτιους σταθμούς (LP1 – LP5) φαίνεται στις Εικόνες 15-19 που ακολουθούν.



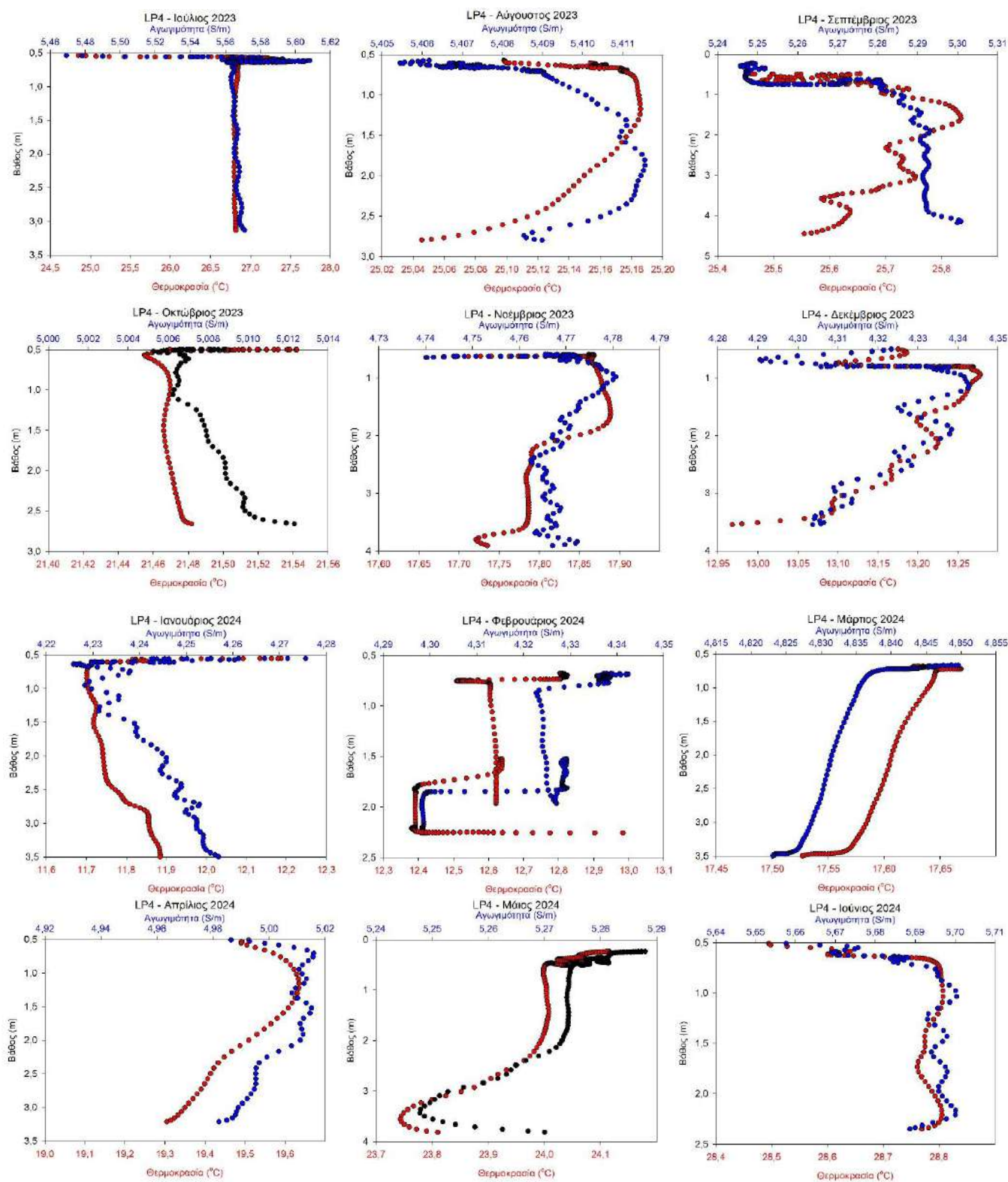
Εικόνα 15. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP1 (Αριστοτέλους) για την περίοδο Ιουλίου 2023 - Ιουνίου 2024.



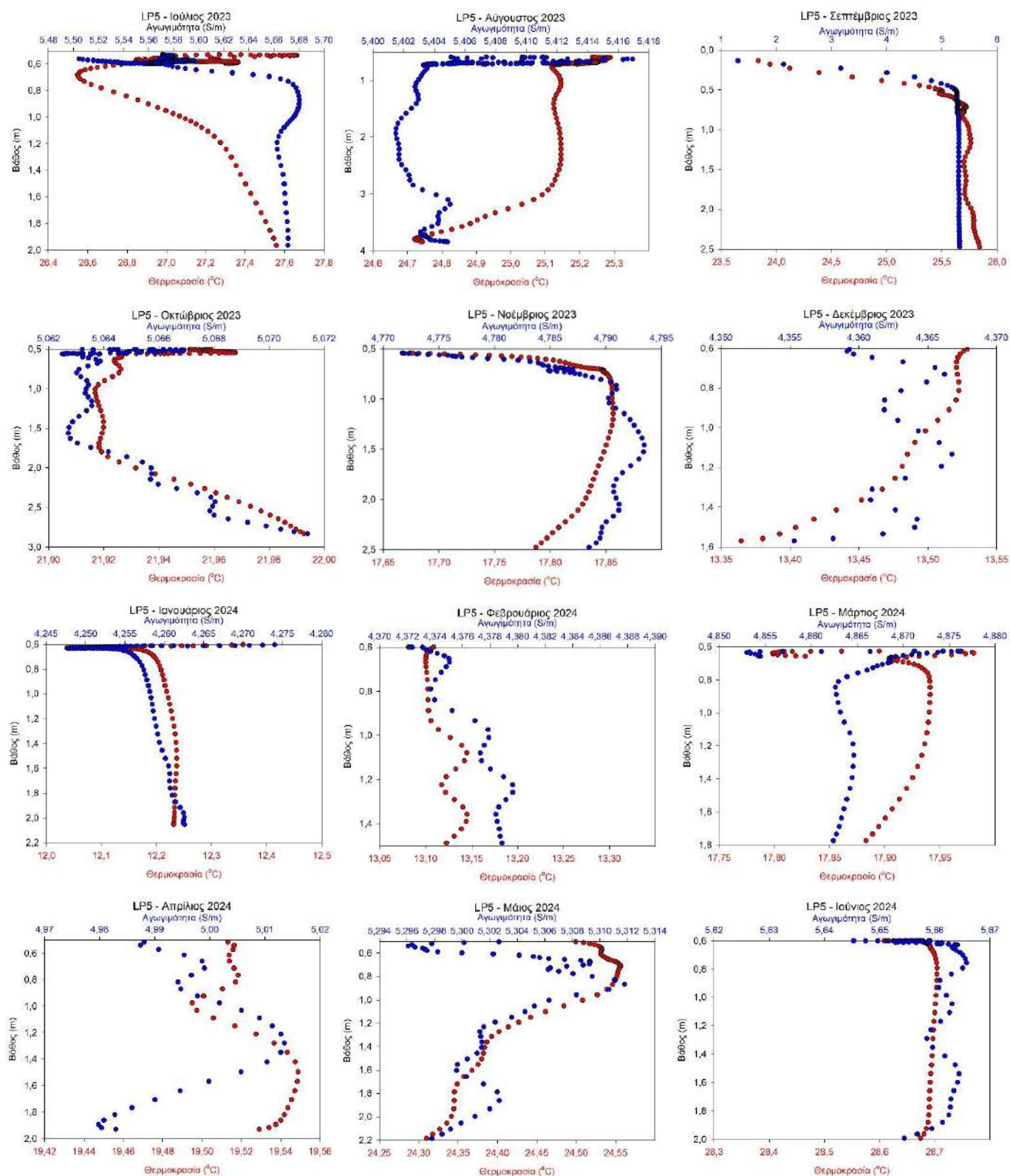
Εικόνα 16. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP2 (Λιμάνι) για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.



Εικόνα 17. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP3 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.



Εικόνα 18. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP4 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.



Εικόνα 19. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP5 για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.

Στον σταθμό LP1 (Αριστοτέλους), η κατακόρυφη κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ακολούθησε την κατανομή της θερμοκρασίας, εκτός από τον Νοέμβριο 2023 και τον Ιανουάριο 2024.

Στον σταθμό LP2 (Λιμάνι), τον Σεπτέμβριο 2023 και τον Μάιο 2024, η κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας παρουσίασε διαφορετική μορφή (Εικ. 16).

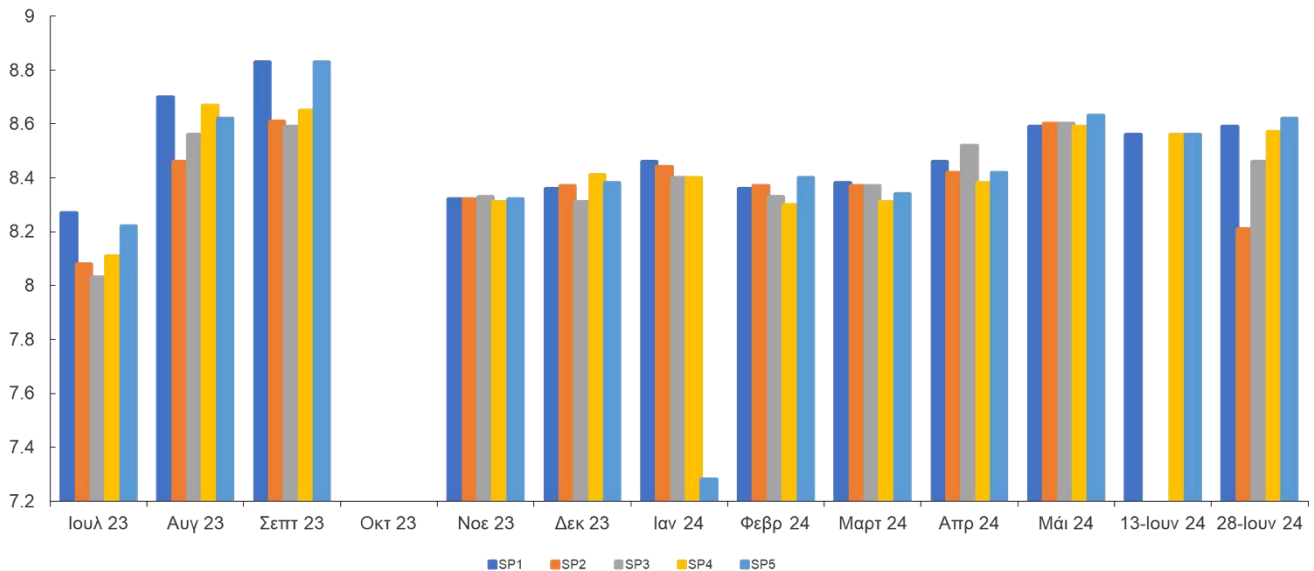
Στον ρηχό σταθμό LP3 (Μακεδονία Παλλάς), η μεταβολή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος ήταν αντίστροφες μόνο τον Αύγουστο 2023 (Εικ. 17).

Στον σταθμό LP4 (Μέγαρο Μουσικής), η κατανομή αγωγιμότητας και θερμοκρασίας ήταν παρόμοιες όλους τους μήνες, το οποίο πιθανώς οφείλεται στην κλειστή μορφολογία της περιοχής (Εικ. 18).

Στον ρηχό σταθμό LP5 (Κελλάριος όρμος), η αγωγιμότητα και η θερμοκρασία είχαν παρόμοια κατακόρυφη κατανομή όλους τους μήνες και μόνο τον Ιούλιο 2023 παρουσίασαν αντίστροφη μεταβολή.

4.2.3. pH

Οι τιμές του pH στους πελαγικούς σταθμούς (Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024) φαίνονται στην Εικόνα 20.



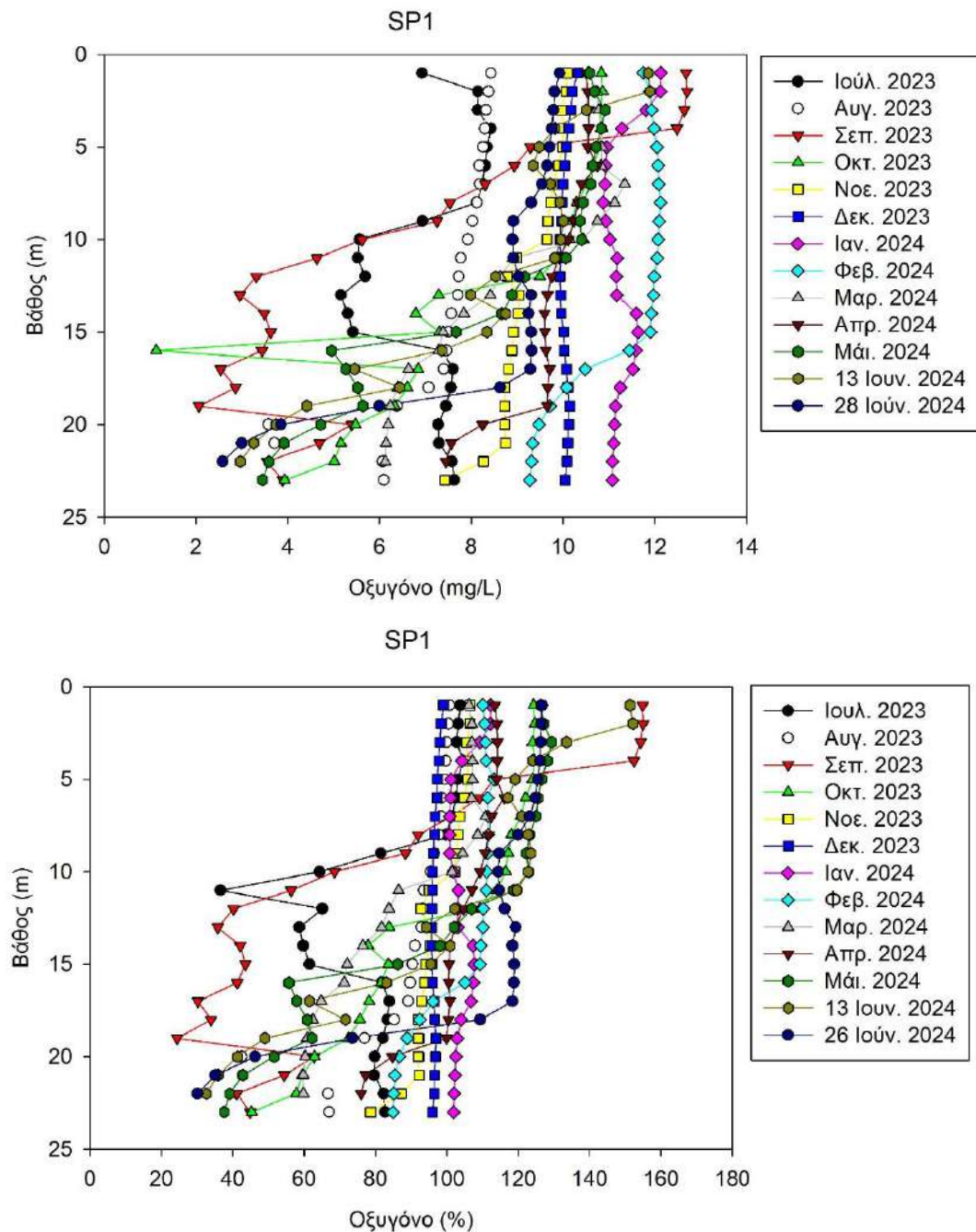
Εικόνα 20. Μετρήσεις pH στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.

Σε μια θαλάσσια περιοχή, η υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών αυξάνει τη βιομάζα του φυτοπλαγκτού και η αντίστοιχη δέσμευση του ανόργανου άνθρακα κατά την ενισχυμένη φωτοσυνθετική δραστηριότητα αυξάνει το pH στη στήλη του νερού (Wei-Jun Cai *et al.* 2011, Flynn *et al.* 2015). Για την εξεταζόμενη περίοδο, η οξύτητα του νερού στον όρμο κυμάνθηκε μεταξύ pH 7,28 (στον σταθμό SP5, τον Ιανουάριο 2024) και 8,83 (στους σταθμούς SP1 και SP5, τον Σεπτέμβριο 2023) και η μέση τιμή για όλους τους πελαγικούς σταθμούς ήταν 8,42. Γενικά, η μεταβολή του pH κυμαίνεται σε στενά όρια και δεν παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές στη διάρκεια του έτους ούτε μεταξύ των διαφορετικών σταθμών.

4.2.4. Διαλυμένο οξυγόνο

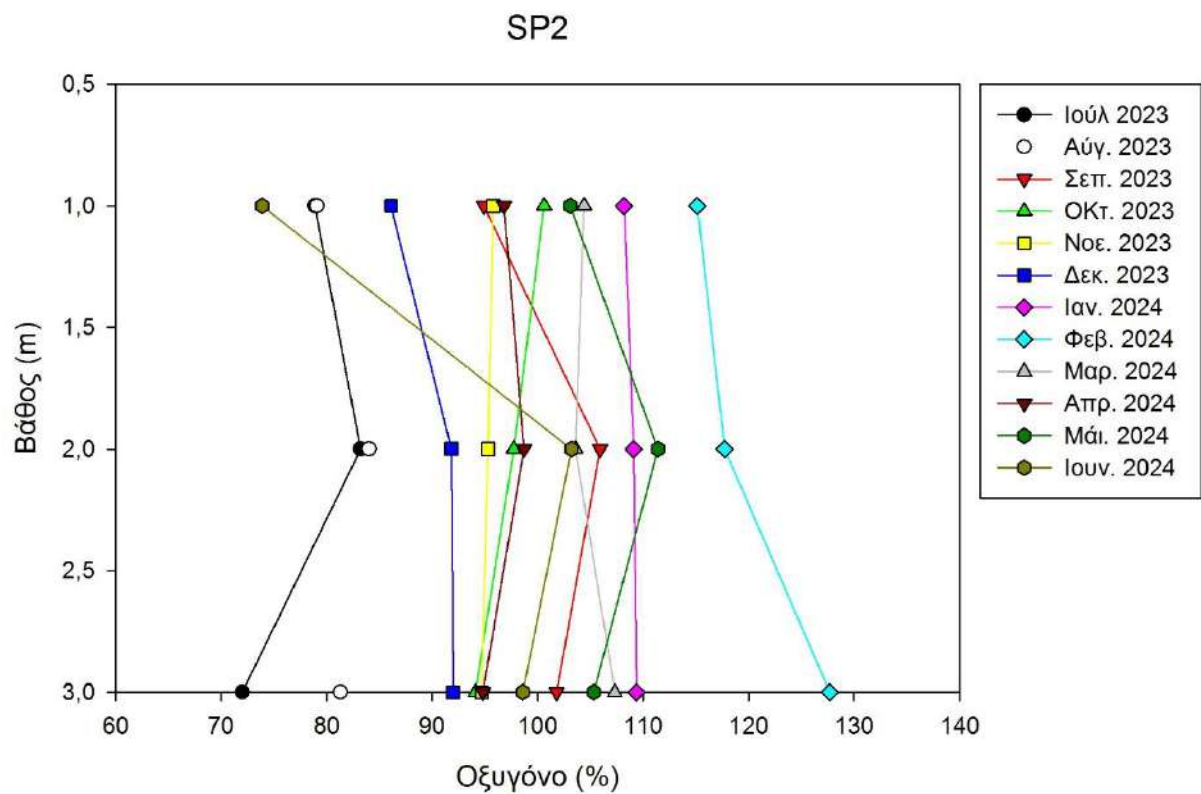
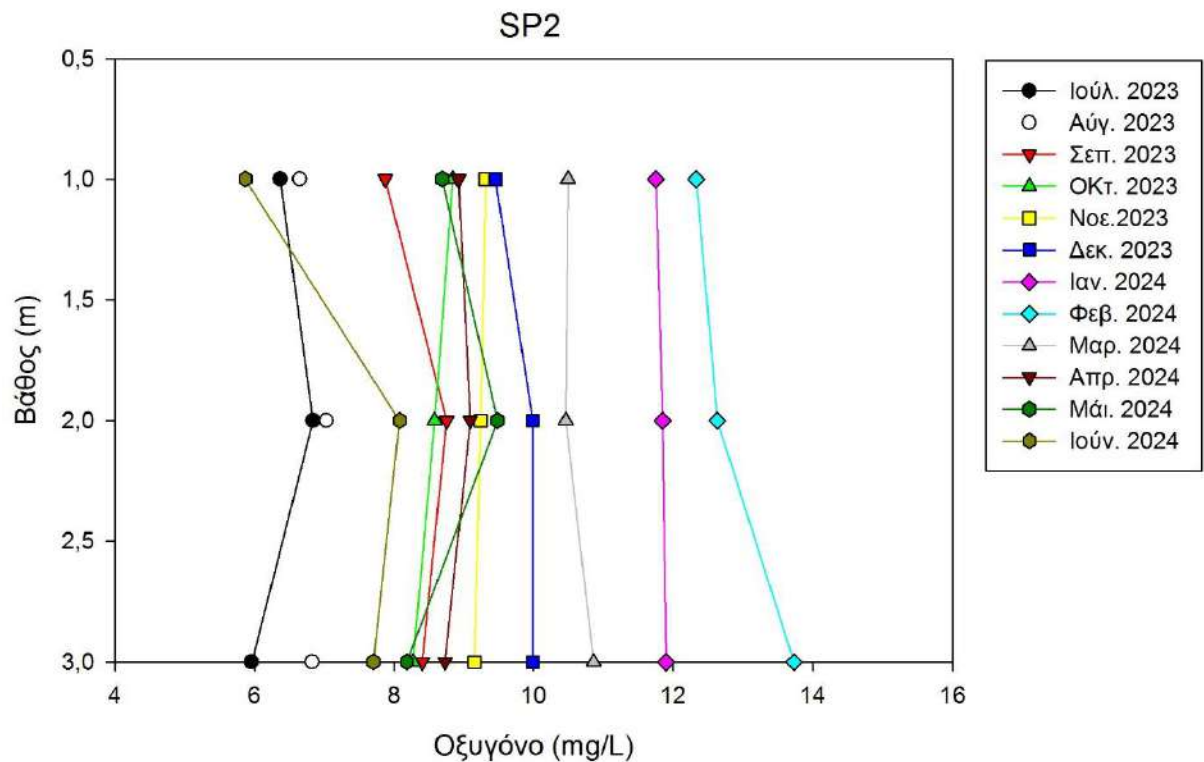
Η συγκέντρωση (mg/L) διαλυμένου οξυγόνου εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού, την πίεση (βάθος), την αλατότητα, τις πηγές και την κατανάλωση του. Η διαλυτότητα του οξυγόνου μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Θερμό επιφανειακό νερό απαιτεί λιγότερο διαλυμένο οξυγόνο για να κορεσθεί 100% από νερό μεγαλύτερου βάθους και χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου μειώνεται εκθετικά με την αύξηση της αλατότητας. Για τον λόγο αυτό, στο θαλασσινό νερό, το διαλυμένο οξυγόνο είναι σχεδόν 20% λιγότερο από το άναλο νερό, για ίδιο βάθος και θερμοκρασία.

Στον σταθμό SP1 τον Ιούλιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο 2023, η κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης του οξυγόνου μειώθηκε (<6 mg/L) κάτω από τα 10m περίπου.



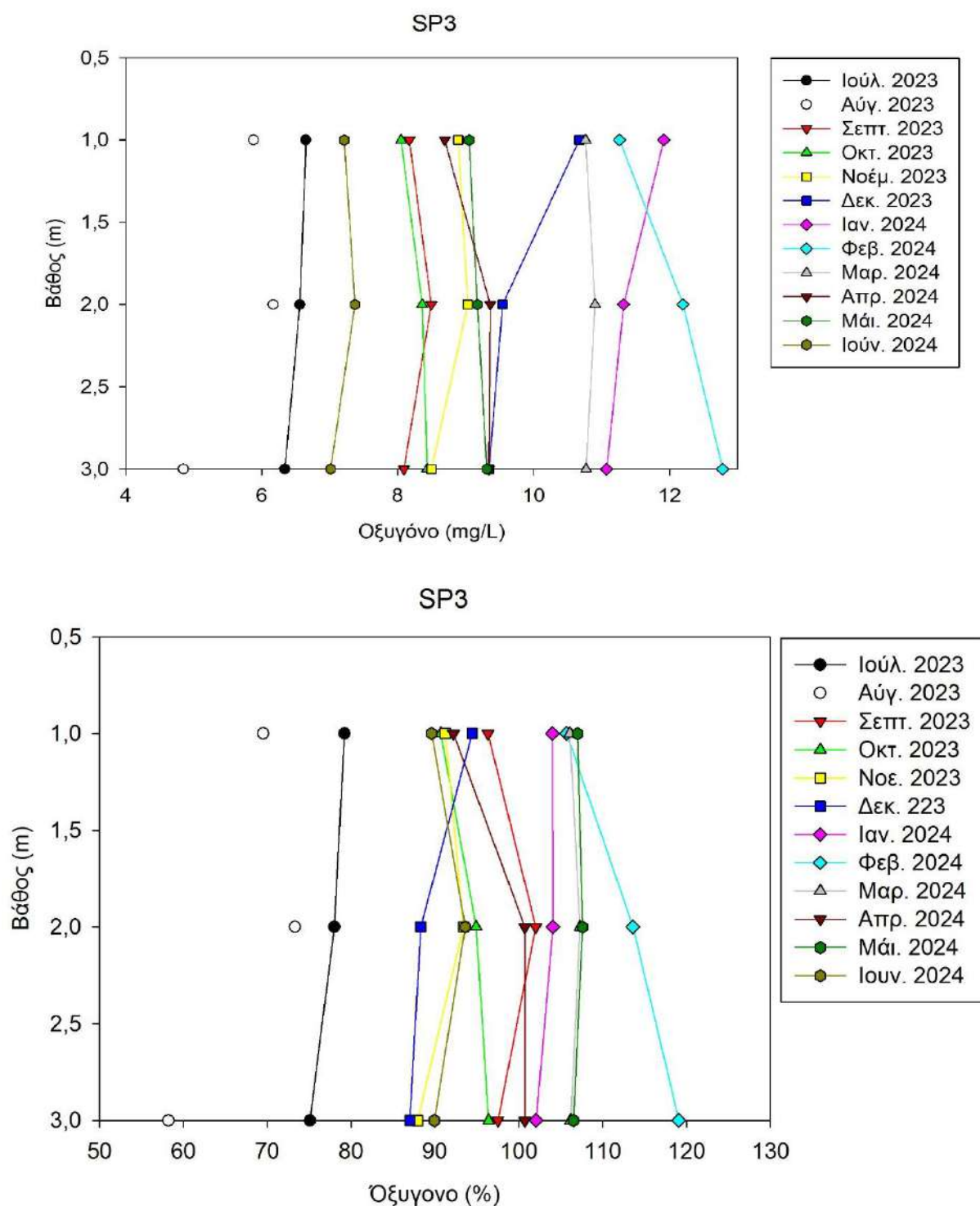
Εικόνα 21. Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP1, για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.

Στον ρηχό σταθμό απέναντι από τα αντλιοστάσια (SP2), οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις μετρήθηκαν τους θερμούς μήνες (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο).



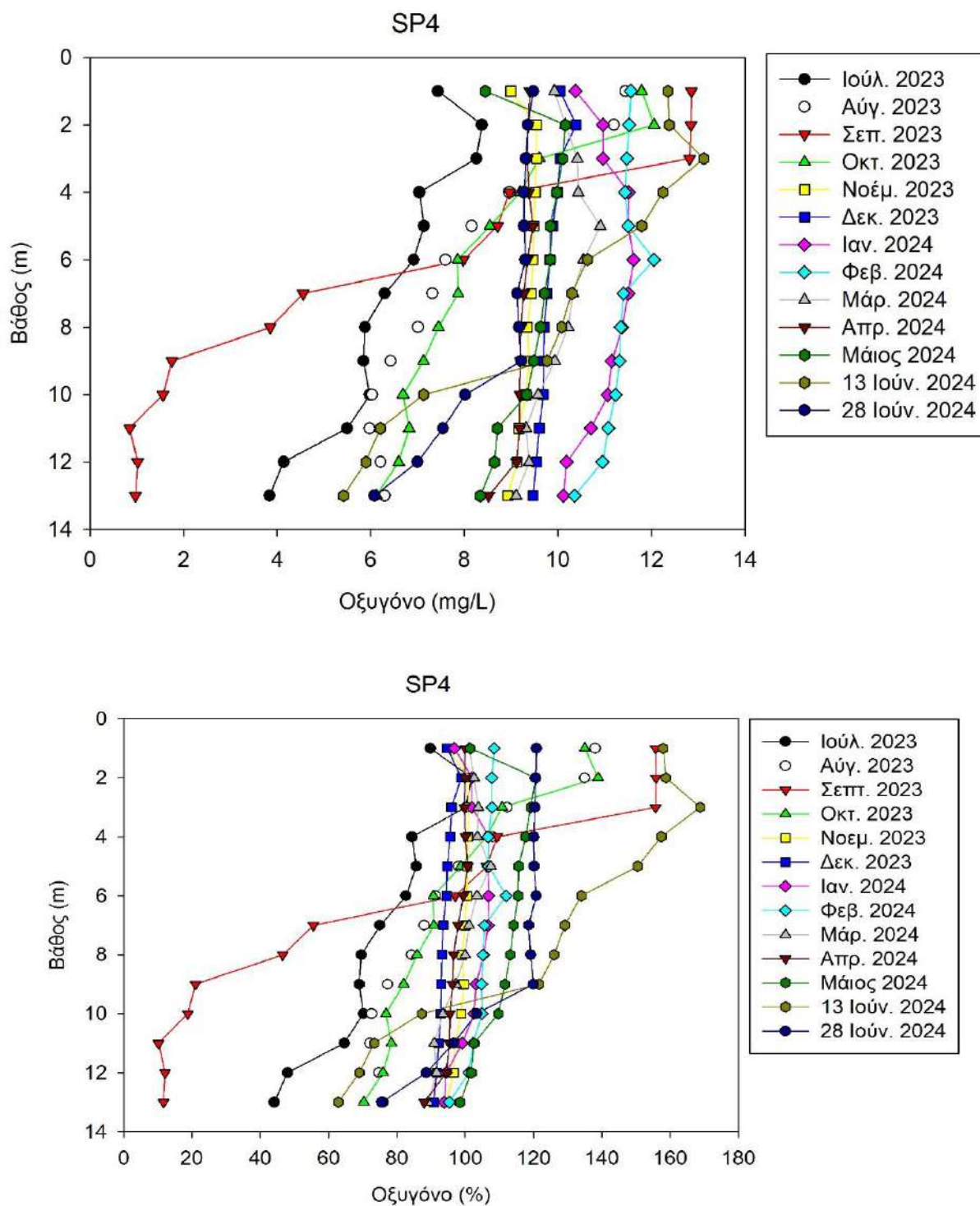
Εικόνα 21. Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP2, για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.

Στον επόμενο ρηχό σταθμό (SP3), ο οποίος δέχεται την επίδραση του Γαλλικού ποταμού, οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις μετρήθηκαν τους ίδιους μήνες όπως στον SP2, με τη διαφορά ότι ήταν υψηλότερες από αυτές του SP2.



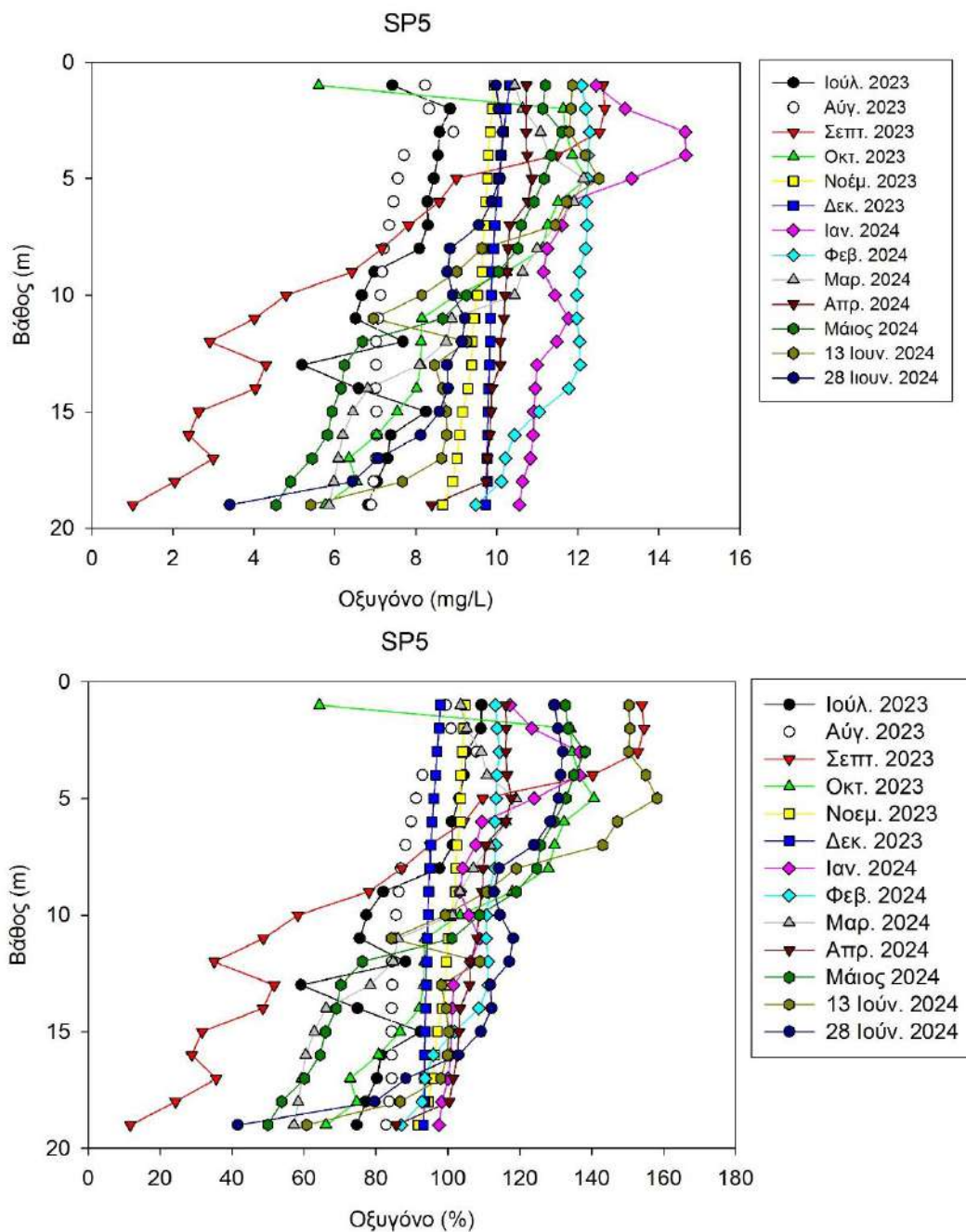
Εικόνα 23. Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP3, για την περίοδο Ιουλίου 2023 - Ιουνίου 2024.

Στον σταθμό που βρίσκεται εντός του εμπορικού λιμανιού (SP4), τον Αύγουστο 2023 η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου παρουσίασε έντονη μείωση βαθύτερα περίπου από τα 6m τους θερμούς μήνες (και ιδιαίτερα κατά τον Σεπτέμβριο 2023).



Εικόνα 24. Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP4, για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.

Στον σταθμό που βρίσκεται στο κέντρο του όρμου της Θεσσαλονίκης (SP5), οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν επίσης τους θερμούς μήνες και η μείωση ήταν εντονότερη βαθύτερα από τα 10m (ιδιαίτερως και πάλι τον Σεπτέμβριο 2023).



Εικόνα 25. Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP5, για την περίοδο Ιούλιος 2023 - Ιούνιος 2024.

Συνθήκες έλλειψης διαλυμένου οξυγόνου είναι δυνατό να επικρατήσουν σε μια κλειστή θάλασσα, όπως ο Θερμαϊκός κόλπος, όταν οι βιολογικές διεργασίες με τις οποίες αυτό καταναλώνεται (αναπνοή, βιο-αποικοδόμηση) υπερτερούν εκείνων της εισόδου του στο νερό. Η έλλειψη οξυγόνου είναι δυνατό να προκληθεί από τον συνδυασμό της περιορισμένης

κυκλοφορίας του νερού (εξαιτίας της μορφολογίας της ακτής και της στρωμάτωσης της θερμοκρασίας) και της αποικοδόμησης οργανικής ύλης καθώς αυτή καθιζάνει από τα ανώτερα στρώματα. Στη Μεσόγειο θάλασσα, ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου παρατηρήθηκε σε συγκεκριμένες περιοχές (Βαλεαρίδες και νοτίως της Κύπρου (ΕΕΑ, 2022). Στην περίπτωση του Θερμαϊκού κόλπου πιθανώς ο συνδυασμός των δύο αιτίων να προκαλεί την κατανάλωση των αποθεμάτων του διαλυμένου οξυγόνου, σε επίπεδα ωστόσο που δεν είναι ανησυχητικά.

Στους βαθύτερους σταθμούς του όρμου SP1, SP4 και SP5 (Εικ. 21, 24 και 25), σημειώθηκαν οι χαμηλότερες τιμές οξυγόνου κατά τους φθινοπωρινούς μήνες του 2023, σε βάθη πολύ κοντά ή στην επιφάνεια του πυθμένα (SP1: 1,13 mg/L Οκτώβριος 2023, SP4: 0,85 mg/L Σεπτέμβριος 2023, SP5: 1,01 mg/L Σεπτέμβριος 2023). Σε αυτούς τους σταθμούς, κατά τις χειμερινές δειγματοληψίες, παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις οξυγόνου στην επιφάνεια (υπερκορεσμός). Μία από τις πιθανές αιτίες για αυτό μπορεί να είναι ο έντονος κυματισμός που αυξάνει την ανάμειξη του νερού με τον αέρα.

Στους ρηχούς σταθμούς SP2 και SP3 (Εικ. 22 και 23), ενδεχομένως λόγω του μικρού βάθους, η κατανομή της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου και του κορεσμού δεν παρουσιάζουν έντονες μεταβολές, εκτός από τους θερμούς μήνες χωρίς όμως και πάλι να παρατηρούνται οι χαμηλές τιμές των άλλων σταθμών.

Δύο μάζες νερού έχουν ανιχνευθεί αναλόγως με την εποχή στον Όρμο του Θερμαϊκού: άναλο νερό από τους ποταμούς στο επιφανειακό στρώμα και το αλμυρό νερό του Βόρειου Αιγαίου στα μεγαλύτερα βάθη (Kombiadou & Krestenitis 2012). Το εισερχόμενο άναλο νερό στην περιοχή, μαζί με την κυκλοφορία και τη στρωμάτωση, πιθανώς επηρεάζουν τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, ιδιαίτερα κατά την υγρή περίοδο οπότε και επικρατούν υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου. Η αντίθετη εικόνα παρατηρείται κατά την ξηρή περίοδο (καλοκαίρι και φθινόπωρο).

4.2.5. Θρεπτικά ιόντα

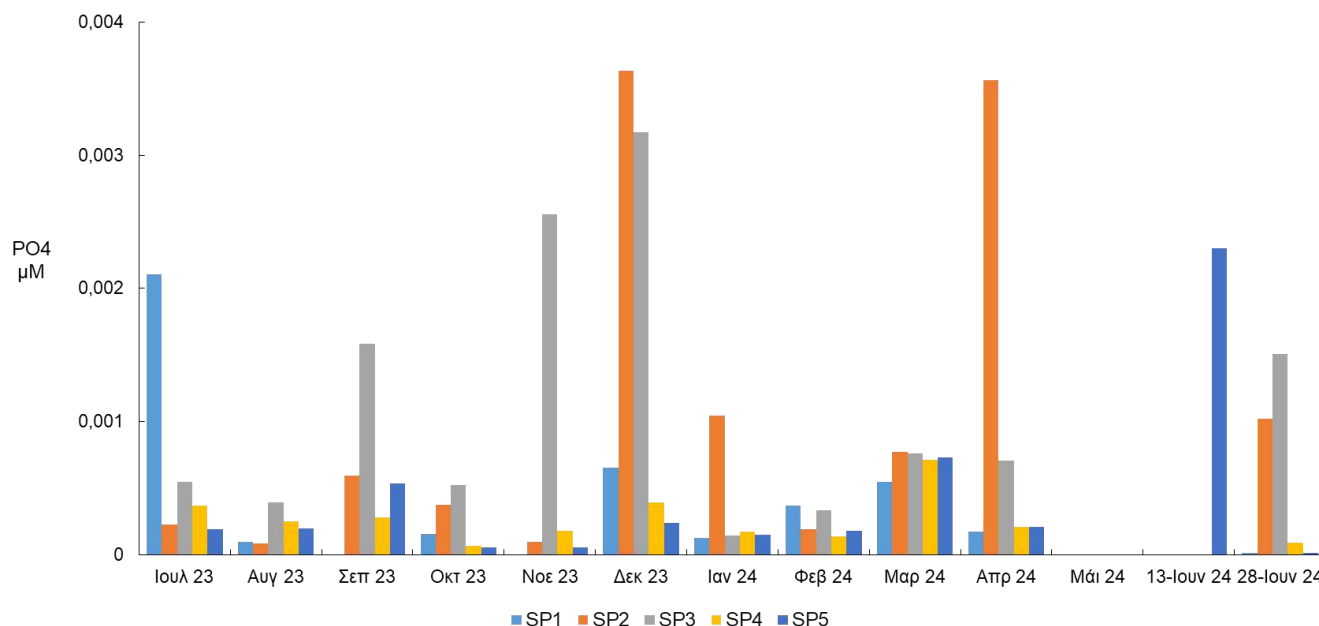
Για τη μελέτη της πρωτογενούς παραγωγικότητας (πλαγκτόν και μακρόφυτα) μιας θαλάσσιας περιοχής είναι αναγκαία η συλλογή δεδομένων για τα διαλυμένα ανόργανα άλατα. Το άζωτο αποτελεί το σπουδαιότερο περιοριστικό στοιχείο για την ανάπτυξη των φωτοσυνθετικών οργανισμών στη θάλασσα και υψηλά φορτία προερχόμενα από εκβολές είναι δυνατό να προκαλέσουν ευτροφισμό (Kennish 2001). Σε κάποιες περιπτώσεις, για την ανάπτυξη των οργανισμών αυτών, ενδέχεται ο φωσφόρος να αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα αναλόγως τη χρονική περίοδο του έτους. Τέλος, ορισμένες κατηγορίες οργανισμών απαιτούν πυρίτιο για την ανάπτυξη του σκελετού τους.

Τα αμμωνιακά, τα νιτρώδη και τα νιτρικά ιόντα αντιπροσωπεύουν τις τρεις κυριότερες διαλυμένες ανόργανες μορφές αζώτου στις παράκτιες περιοχές, με τα νιτρικά να απαντούν στις υψηλότερες συγκεντρώσεις. Μελετώντας τον κύκλο του αζώτου στη θάλασσα, η εξέταση των νιτρωδών είναι χρήσιμη καθώς τα ιόντα αυτά αποτελούν ενδιάμεσο των νιτρικών και των αμμωνιακών. Αν και τα νιτρώδη ιόντα είναι ασταθή, αυτό το γνώρισμα μπορεί να λειτουργήσει ως ένδειξη της ισορροπίας μεταξύ αναγωγικών και οξειδωτικών αντιδράσεων στον κύκλο του αζώτου (Rakestraw 1936). Τα ορθοφωσφορικά συνιστούν το κυριότερο κλάσμα διαλυμένου ανόργανου φωσφόρου σε παρόμοια οικοσυστήματα. Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων συνήθως δεν ξεπερνά το 1 μM ($=\mu\text{g-at/L}$) ενώ των ορθοφωσφορικών σπανίως ξεπερνούν τα 2-3 μM (Μουστάκα-Γούνη 1997, Kennish 1997, Pinet 1998). Το πυρίτιο είναι το δεύτερο πιο κοινό στοιχείο στον φλοιό της γης και από τα κύρια συστατικά του θαλασσινού νερού σε διαλυμένη και σε σωματιδιακή μορφή (Carey *et al.* 2012). Σε παγκόσμια κλίμακα, το 80% σχεδόν του διαλυμένου πυριτίου στη θάλασσα εισέρχεται από τους ποταμούς (Sun *et al.* 2001). Το διαλυμένο πυρίτιο είναι απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο των διατόμων τα οποία αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 40% της πρωτογενούς παραγωγής της θάλασσας (Benoit 2017) και συμμετέχει στη ρύθμιση της σύνθεσης του φυτοπλαγκτού (Officer *et al.* 1980). Επιπλέον, το πυρίτιο επηρεάζει τον λόγο N:P και τον χρωματισμό του νερού (Conley *et al.* 1993).

Περιοχές εκβολών και γενικά η παράκτια ζώνη συχνά δέχεται υψηλά φορτία θρεπτικών ουσιών από σημειακές και μη σημειακές πηγές (αγροτικές, βιομηχανικές, αστικές, ατμόσφαιρα κ.λπ.). Σε παγκόσμια κλίμακα, η ατμόσφαιρα και οι ποταμοί συνεισφέρουν περίπου ίσα ποσοστά θρεπτικών στη θάλασσα (ΑΠΘ 1993, Φυτιάνος 1996). Σε κλειστές περιοχές, όπως ο Θερμαϊκός κόλπος και ο Όρμος της Θεσσαλονίκης όπου η έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα συνδυάζεται με την εκβολή τεσσάρων ποταμών, η διακύμανση της συγκέντρωσης των θρεπτικών είναι έντονη.

4.2.5.1. Ορθοφωσφορικά

Η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών αλάτων χρησιμοποιείται ως ενδείκτης οργανικής ρύπανσης σε παράκτιες αστικές περιοχές. Η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών στους πελαγικούς σταθμούς για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024 (Εικ. 26) κυμάνθηκε από μη ανιχνεύσιμες τιμές (Σεπτέμβριος και Νοέμβριος 2023, έκτακτη δειγματοληψία στα μέσα Ιουνίου 2024, στον SP1) έως 0,002 μM (Ιούλιος 2023, στον SP1) και η μέση ετήσια τιμή στον όρμο ήταν 0,0008 μM . Η χαμηλότερη μέση μηνιαία για όλους τους σταθμούς ήταν 0,0002 μM (Αύγουστος 2023) και η υψηλότερη μέση μηνιαία ήταν 0,0023 μM , στα μέσα του Ιουνίου 2024 (έκτακτη δειγματοληψία).

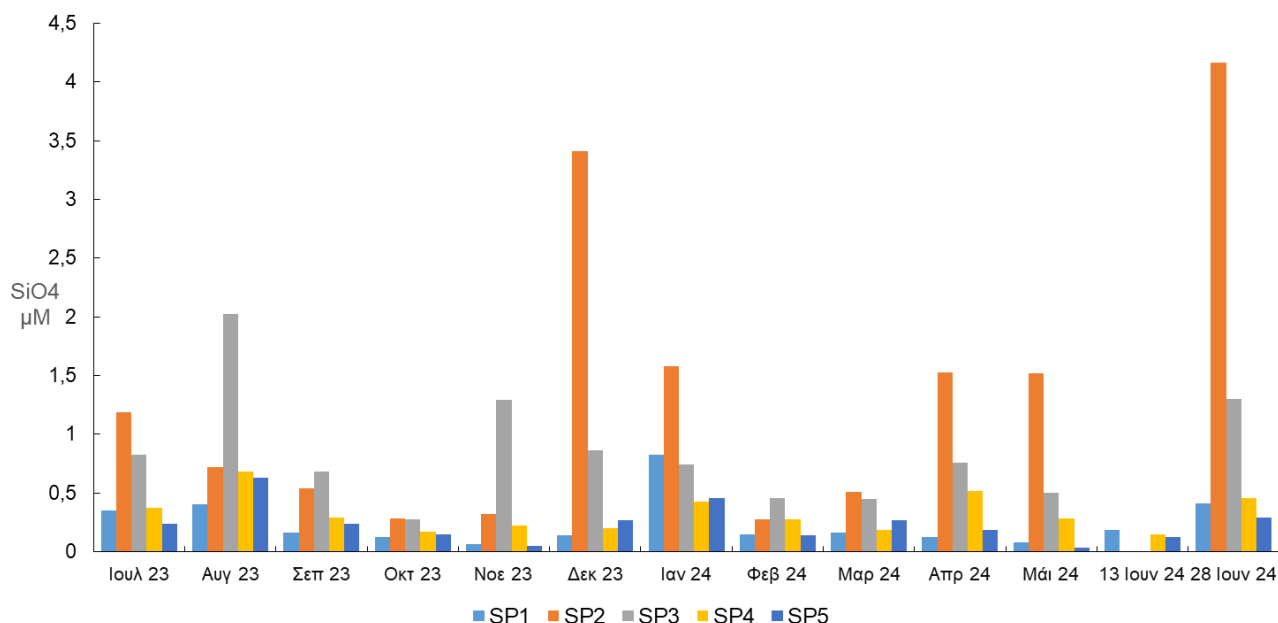


Εικόνα 26. Συγκέντρωση (μM) των ορθοφωσφορικών ιόντων (PO_4) στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024. (Τον Μάιο η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών ιόντων ήταν μικρότερη από το όριο ανίχνευσης)

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις και η αυξητική τάση των προηγούμενων δεκαετιών αποδίδεται στην τότε εντατικοποίηση της γεωργικής δραστηριότητας με την ταυτόχρονη εφαρμογή λιπασμάτων, καθώς και στη μεταβολή της σύνθεσης και στην αύξηση της κατανάλωσης απορρυπαντικών οικιακής χρήσης. Οι σύγχρονες χαμηλότερες συγκεντρώσεις ενδεχομένως να οφείλονται στη μειωμένη απορροή της λεκάνης του Θερμαϊκού και στην τροποποίηση φωσφορούχων προϊόντων ευρείας κατανάλωσης (π.χ. απορρυπαντικά) καθώς και στη λειτουργία του σταθμού βιολογικής επεξεργασίας των λυμάτων της πόλης.

4.2.5.3. Πυριτικά

Οι συγκεντρώσεις των πυριτικών ιόντων για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024 κυμάνθηκαν μεταξύ 0,032 και 4,16 μM (Εικ. 27). Η μέγιστη τιμή (4,16 μM) μετρήθηκε τον Ιούνιο 2024 στον ρηχό σταθμό που βρίσκεται στο Αντλιοστάσιο (SP2) και η ελάχιστη τον Μάιο 2024 στον βαθύ κεντρικό σταθμό του όρμου, SP5. Γενικώς, η συγκέντρωση των πυριτικών ιόντων ήταν υψηλότερη κοντά στους ρηχούς σταθμούς όπου διαχέονται οι εισροές άναλου νερού από το αντλιοστάσιο της Παλιομάνας (SP2) και τον Γαλλικό (SP3).

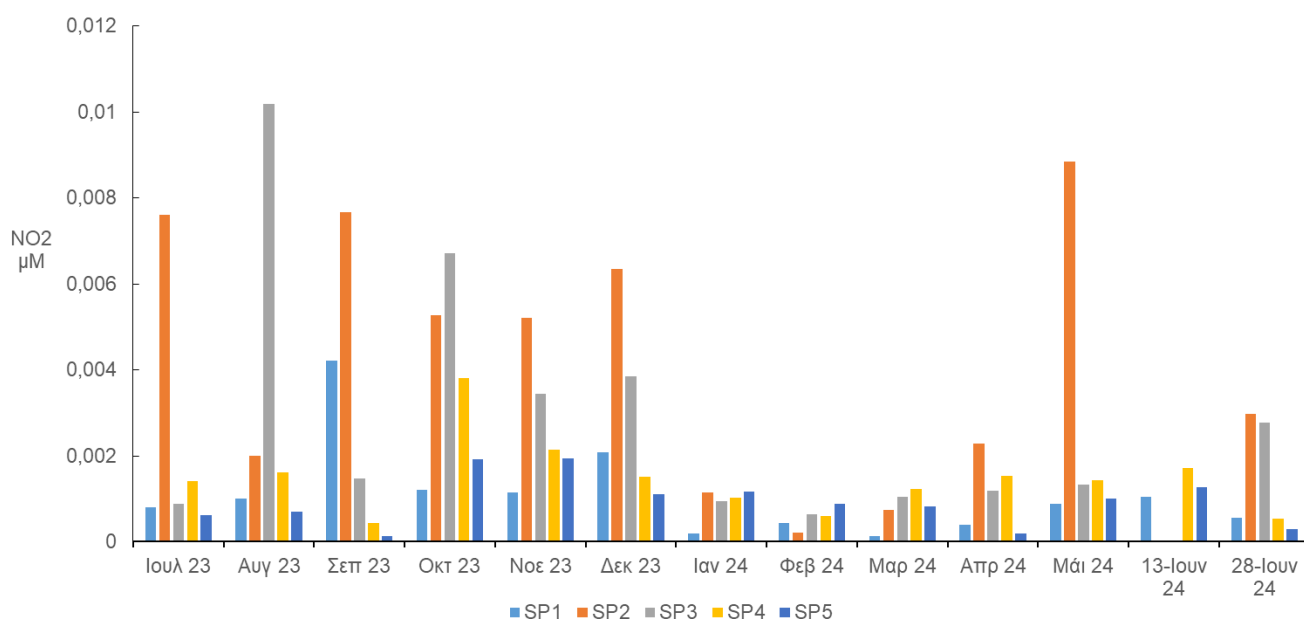


Εικόνα 27. Συγκέντρωση (μM) των πυριτικών ιόντων (SiO_4) στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024.

4.2.5.3. Αζωτο: νιτρώδη - νιτρικά - αμμωνιακά

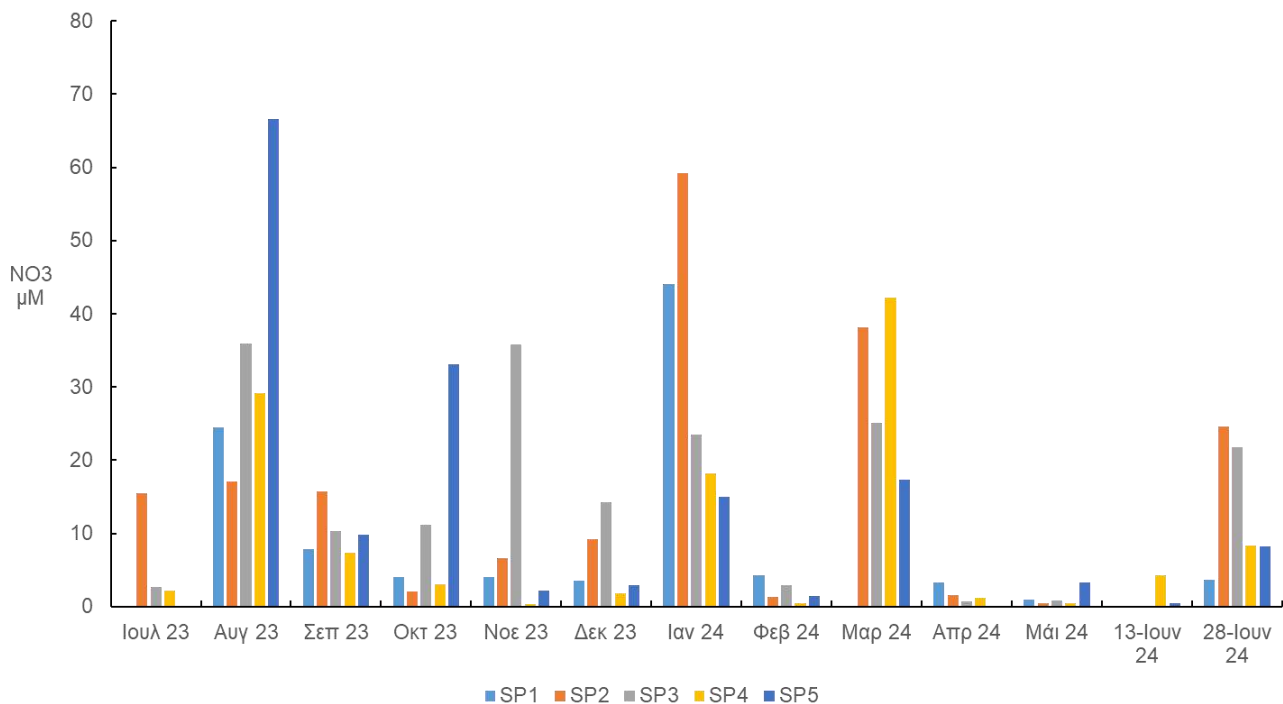
Η μεταβολή της συγκέντρωσης των νιτρωδών, νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων στη στήλη του νερού για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024 φαίνεται στις Εικόνες 28, 29 και 30.

Η υψηλότερη συγκέντρωση νιτρωδών ($0,01 \mu\text{M}$) μετρήθηκε τον Αύγουστο 2023 στον ρηχό σταθμό SP3 ενώ η χαμηλότερη ($0,000137 \mu\text{M}$) τον Σεπτέμβριο 2023 και Μάρτιο 2024 στους βαθείς σταθμούς SP5 και SP1 αντίστοιχα. Γενικά, υψηλές συγκεντρώσεις νιτρωδών μετρήθηκαν σε όλους τους σταθμούς από τον Ιούλιο έως τον Δεκέμβριο (Εικ. 28).



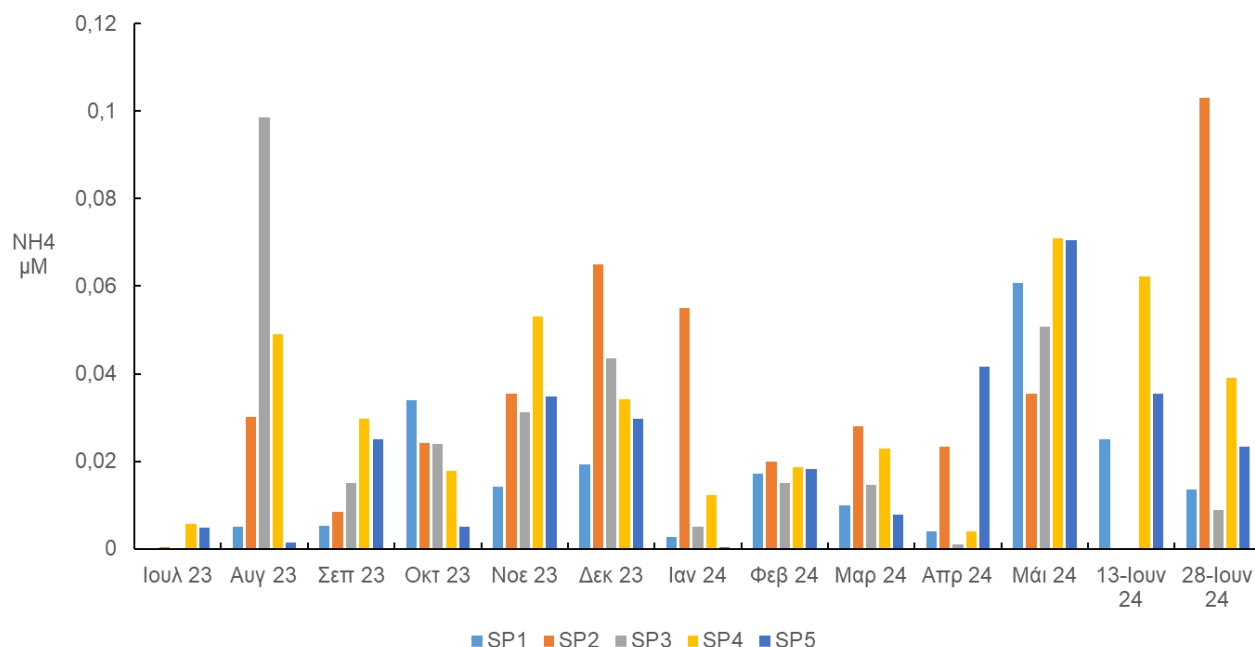
Εικόνα 28. Συγκέντρωση (μM) αζώτου νιτρωδών ιόντων (N-NO_2) στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024.

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024 (Εικ. 29) παρουσίασε έντονη μεταβολή ($0,023\text{-}66,7 \mu\text{M}$), με την υψηλότερη τιμή του έτους να παρατηρείται τον Αύγουστο 2023 στον σταθμό SP5 και τη χαμηλότερη τον Απρίλιο 2024 στον ίδιο σταθμό (Εικ. 29).



Εικόνα 29. Συγκέντρωση (μM) αζώτου νιτρικών (N-NO₃) στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024.

Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών (Εικ. 30) κυμάνθηκαν μεταξύ 0,0004 και 0,1 μM, με την υψηλότερη τιμή να σημειώνεται στον σταθμό SP2 τον Ιούνιο 2024 (Εικ. 30). Γενικότερα τον Μάιο 2024 μετρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις σε όλους τους σταθμούς.



Εικόνα 30. Συγκέντρωση (μM) αζώτου αμμωνιακών (N-NH₄) στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024.

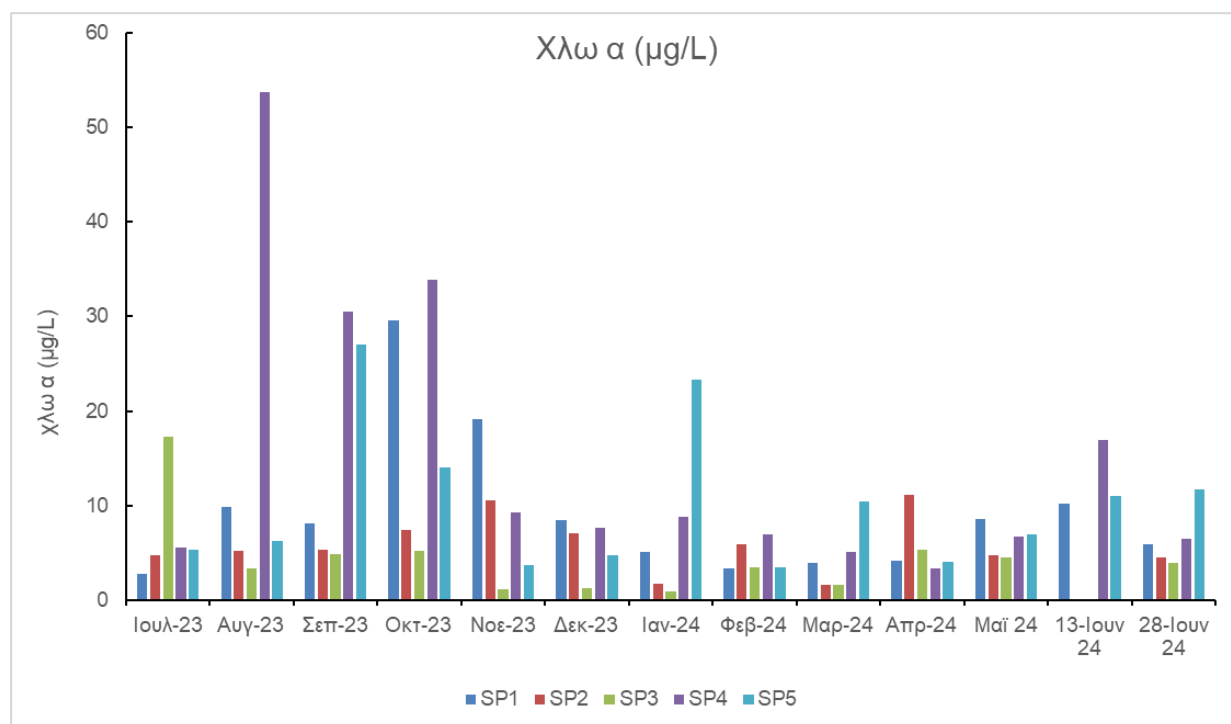
4.3. Βιολογικές παράμετροι

4.3.1. Χλωροφύλλη α

Βιολογικές παράμετροι όπως η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α, η βιομάζα και η σύνθεση και αφθονία του φυτοπλαγκτού χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του τροφικού επιπέδου και κατ' επέκταση της οικολογικής κατάστασης φυσικών υδάτινων οικοσυστημάτων (θαλάσσια, λίμνες, ποταμοί). Η χλωροφύλλη α χρησιμοποιείται στην εκτίμηση της βιομάζας του φυτοπλαγκτού και η μέτρηση της συγκέντρωσής της στο νερό εξυπηρετεί κυρίως: α) την εκτίμηση της χωρικής κατανομής της φυτοπλαγκτονικής βιομάζας και τη συχνότητα φαινομένων επιπολασμού του νερού, β) την αναγνώριση εποχικών τάσεων σε μεγάλες χρονοσειρές βιομάζας φυτοπλαγκτού και γ) την παρακολούθηση του τροφικού επιπέδου (OSPAR 2012).

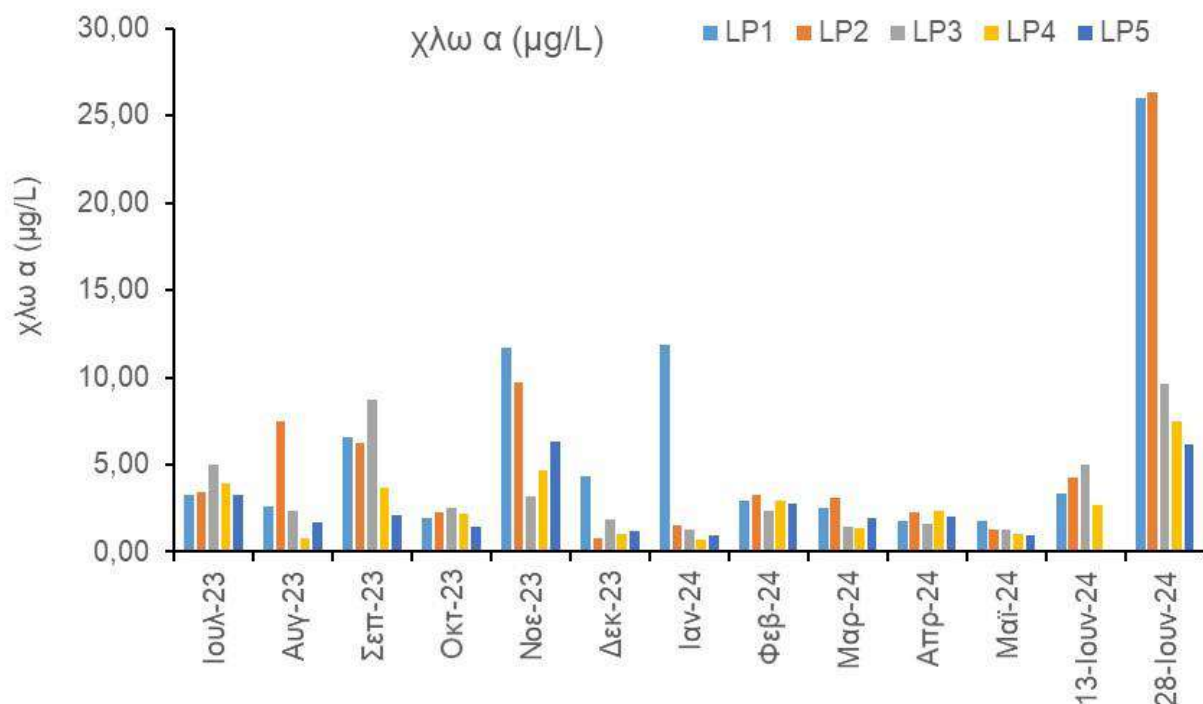
Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5), κυμάνθηκε από 0,88 (SP3) έως 53,7 $\mu\text{g/L}$ (SP4). Η χαμηλότερη τιμή μετρήθηκε τον Ιανουάριο 2024 και η υψηλότερη τον Αύγουστο 2023.

Σε όλους τους σταθμούς η αύξηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης ακολούθησε την αύξηση της θερμοκρασίας (Εικ. 5 - 9, 31). Η υψηλότερη μέση μηνιαία τιμή από όλους τους σταθμούς υπολογίσθηκε τον Οκτώβριο 2023 (18 $\mu\text{g/L}$). Η χαμηλότερη τον Μάρτιο 2024 (4,5 $\mu\text{g/L}$).



Εικόνα 31. Συγκέντρωση χλωροφύλλης α ($\mu\text{g/L}$) στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024.

Στους παράκτιους σταθμούς (LP1-LP5), η κατανομή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης α παρουσιάζεται στην Εικόνα 32.



Εικόνα 32. Συγκέντρωση χλωροφύλλης α (µg/L) στους παράκτιους σταθμούς LP1-LP5 για την περίοδο Ιουλίου 2023 – Ιούνιος 2024.

Στους παράκτιους σταθμούς η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α ήταν υψηλότερη τους ψυχρούς μήνες έως την εποχή της αύξησης της θερμοκρασίας (μετά τον Μάιο). Πιθανώς λόγω του μικρού βάθους και της υδροδυναμικής των παράκτιων σταθμών η μεταβολή της συγκέντρωσης δεν παρουσιάζει σταθερή χρονική και χωρική τάση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι υψηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης α είναι τυπικές φυτοπλαγκτονικών μεγίστων σε εύτροφα παράκτια νερά, ενώ συγκεντρώσεις της τάξης των 0,05 µg/L βρίσκονται συχνά σε άγονες τροπικές θάλασσες (Bienfang & Gundersen 1977). Ειδικά όσον αφορά τις υψηλότερες μέγιστες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης α που καταγράφηκαν στους σταθμούς του Όρμου Θεσσαλονίκης, πρέπει να σημειωθεί ότι στον Θερµαϊκό έχουν αναφερθεί και άλλοτε αντίστοιχες συγκεντρώσεις, κοντά στις εκβολές των ποταµών (14,90 µg/L τον Μάιο 1985) και στον Όρµο της Θεσσαλονίκης (8,70 µg/L τον Δεκέµβριο 1984) από τους Gotsis-Skretas & Friligos (1990).

4.3.2. Φυτοπλαγκτό

Το σύνολο των κλάσεων και γενών που επικρατούν και αναγνωρίστηκαν στον εσωτερικό Θερμαϊκό παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Καταγράφηκαν 34 γένη διατόμων (Bacillariophyceae) και 56 δινοφυκών (Dinophyceae). Καταγράφηκαν επίσης γένη ευγληνοφυκών (Euglenophyceae), κρυπτοφυκών (Cryptophyceae), δικτυοχοφυκών (Dictyochophyceae) και κυανοβακτηρίων (Cyanobacteria).

Πίνακας 2. Επικρατούσες κλάσεις και γένη φυτοπλαγκτού στον όρμο της Θεσσαλονίκης.

Bacillariophyceae

Asterionellopsis spp.
Asteromphalus spp.
Bacillaria spp.
Bacteriastrium spp. (cells)

Chaetoceros spp.
Coscinodiscus spp.
Cylindrotheca closterium/Nitzschia longissima
Dactyliosolen spp.
Dactyliosolen spp./ *Guinardia* spp.
Ditylum spp.
Eucampia spp.
Fragilaria spp.
Guinardia cf. *striata*
Guinardia flaccida
Guinardia spp.
Heliotheca spp.
Hemiaulus spp.
Leptocylindrus spp.
Lioloma spp.
Lithodesmium spp.
Mediophyceae (*Thalassiosira/Chaetoceros*)
Meuniera membranacea
Navicula spp.
Naviculales
Nitzschia spp.
Odontella spp./ *Trieres* spp.
Pleurosigma spp.
Proboscia spp.
Pseudonitzschia spp.
Pseudosolenia calcar-avis
Rhizosolenia spp.
Skeletonema spp.
Striatella spp.
Thalassionema spp.

Cryptophyceae

Cryptomonas spp.

Dinophyceae

Akashiwo sanguinea
Alexandrium cf. *fraterculus*
Alexandrium spp.
Azadinium caudatum var. *margalefii*
Blixaea quinquecornis
Brachydinium spp.
Ceratocorys spp.

Ceratoperidinium cf. *margalefii*
Ceratoperidinium falcatum
Ceratoperidinium yeye
Corythodinium spp.
Dinophysis caudata
Dinophysis cf. *fortii*
Dinophysis cf. *odiosa*
Dinophysis cf. *ovum*
Dinophysis sacculus
Dinophysis spp.
Diplopsalidae
Gonyaulacales
Gonyaulax spp.
Gymnodinium impudicum
Gyrodinium spirale
Gyrodinium spp.
Heterocapsa spp.
Karenia spp.
Karlodinium spp.
Katodinium spp.
Lessardia spp.
Lingulodinium cf. *polyedrum*
Noctiluca scintillans
Ornithocercus sp.
Oxyphysis spp.
Oxytoxum spp.
Peridinales

Dinophyceae (συν.)

Phalacroma rotundata
Podolampas spp.

Dictyochophyceae

Dictyocha spp.

cf. *Vicicitus* sp.

Cyanobacteria

Oscillatoriales (filaments)

Euglenophyceae

Euglena spp.

Polykrikos spp.

Prorocentrum compressum

Prorocentrum dactylum

Prorocentrum dentatum

Prorocentrum micans/gracile

Prorocentrum minimum

Prorocentrum rathymum

Prorocentrum spp.

Prorocentrum triestinum

Protoceratium cf. *reticulatum*

Proto-peridinium spp.

Proto-peridinium spp. 1 (small)

Proto-peridinium spp. 2 (big)

Pyrocystis spp.

Pyrophacus spp.

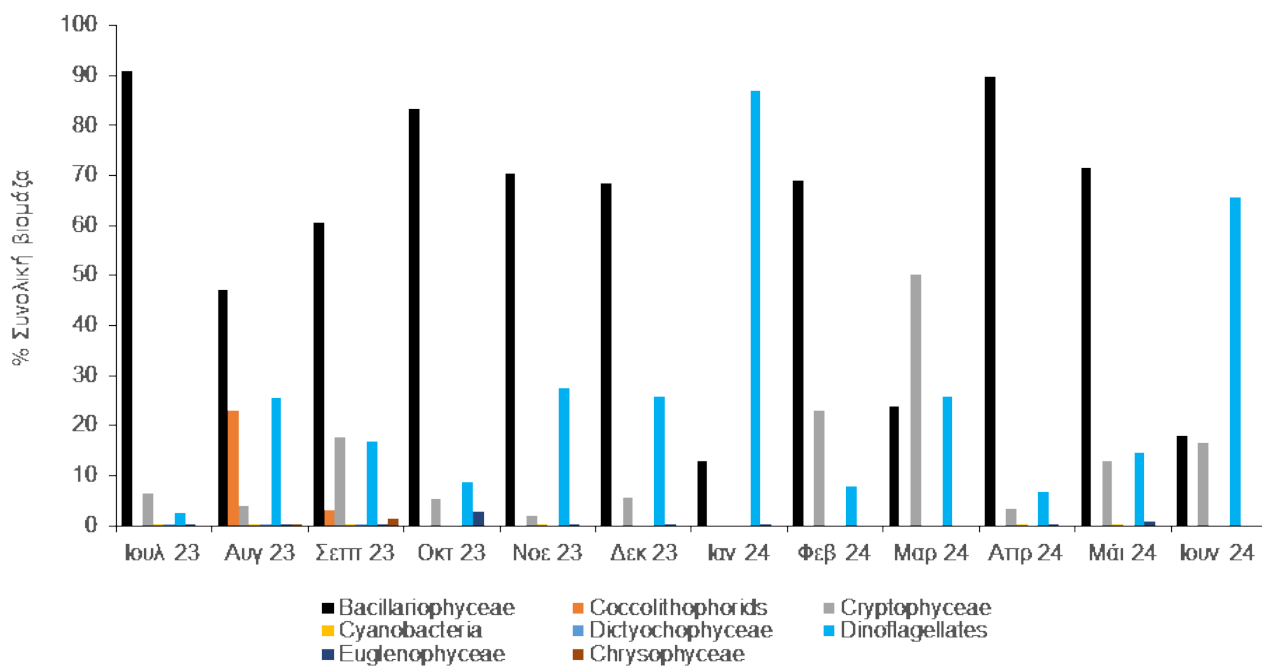
Roscoffia spp.

Scrippsiella spp.

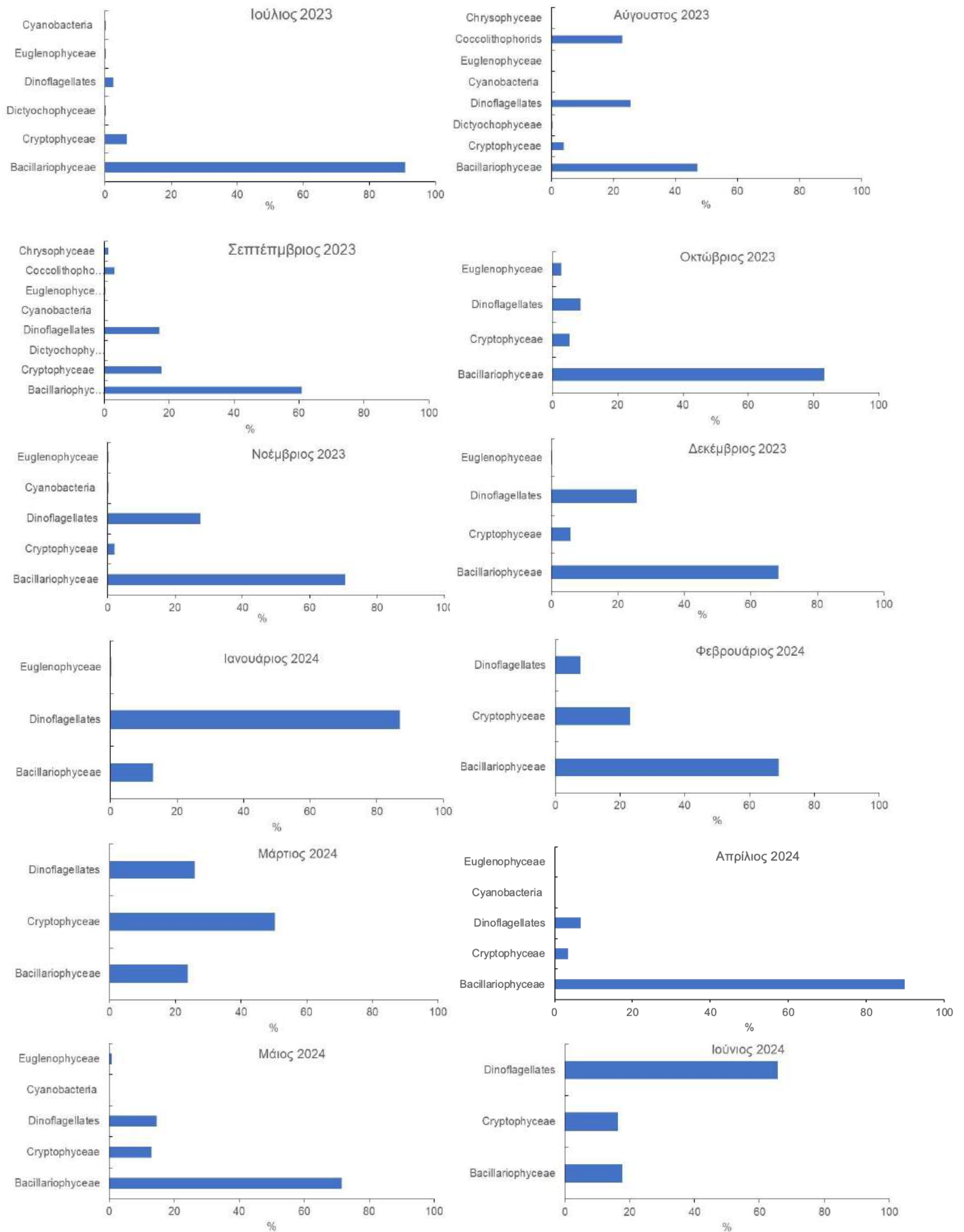
Torodinium spp.

Tripos spp.

Warnowia spp.



Εικόνα 33. Κατανομή της αφθονίας (%) επικρατουσών κλάσεων και συνολικού αριθμού κυττάρων φυτοπλαγκτού στον όρμο της Θεσσαλονίκης, για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024.



Εικόνα 34. Ποσοστά συμμετοχής στην ανά μήνα αφθονία των επικρατουσών ομάδων φυτοπλαγκτού, για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024.

Η συνολική αφθονία των φυτοπλαγκτικών οργανισμών για την περίοδο Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024, στον όρμο της Θεσσαλονίκης (πελαγικοί σταθμοί), κυμάνθηκε μεταξύ $3,4 \times 10^5$ και 11×10^6 κύτταρα/L. Η χαμηλότερη τιμή συνολικής αφθονίας από όλους τους σταθμούς καταγράφηκε τον Ιανουάριο 2024 και η υψηλότερη τον Απρίλιο 2024. Η χρονική κατανομή της αφθονίας παρουσίασε μέγιστη αύξηση κατά τη θερμή περίοδο. Το ποσοστό συμμετοχής των διατόμων στη συνολική βιομάζα παρουσίασε μέγιστη τιμή (90,82%) τον Ιούλιο 2023 και ελάχιστη τον Ιανουάριο 2024 (12,85%) (Εικ. 33, 34). Η αφθονία των δινωμαστιγμών παρουσίασε την αντίστροφη κατανομή οπότε η ελάχιστη αφθονία τους προσδιορίστηκε τον Ιούλιο 2023 (2,53%) και η μέγιστη τον Ιανουάριο 2024 (86,90%) (Εικ. 33, 34).

Κατά τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο 2023 καταγράφηκε άνθιση φυτοπλαγκτού (phytoplankton bloom) στους βαθείς πελαγικούς σταθμούς (SP1, SP4, SP5), η οποία οφείλονταν σε ιδιαίτερα υψηλή αφθονία ενός δινωμαστιγμού του γένους *Polykrikos* spp. Η μέγιστη αφθονία καταγράφηκε στον σταθμό του Λιμανιού (SP4), τον Σεπτέμβριο 2023 (5×10^5 cells L⁻¹), όπου ήταν ορατός δυσχρωματισμός του νερού (στο χρώμα της σκουριάς). Ιδιαίτερα υψηλή ήταν και η αφθονία στον σταθμό SP1, στο κέντρο του Όρμου (13×10^4 cells L⁻¹), τον επόμενο μήνα (Οκτώβριο 2023). Αρκετά χαμηλότερες αφθονίες μετρήθηκαν στα δείγματα των αβαθών σταθμών (SP2 και SP3), στα δυτικά του Όρμου, που δεν ξεπέρασαν την τιμή 16×10^3 cells L⁻¹ (SP2, Οκτώβριος 2023).

Τα δινωμαστιγωτά αποτελούν κυρίαρχο είδος των παράκτιων φυτοπλαγκτικών κοινοτήτων και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο ως πρωτογενείς παραγωγοί των θαλάσσιων οικοσυστημάτων (Shin, Yoon, Kim & Matsuoka 2011). Είναι επίσης πολύτιμοι ενδείκτες των αλλαγών του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Τα δινωμαστιγωτά έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν κύστες και, όταν οι συνθήκες είναι κατάλληλες, οι υψηλές αφθονίες τους οδηγούν συχνά σε ανθίσεις φυτοπλαγκτού (blooms), φαινόμενο επιβλαβές και τοξικό, που αποτελεί εν δυνάμει κίνδυνο τόσο για τα θαλάσσια αλιεύματα όσο και για τη δημόσια υγεία (Kim et al. 1990, Ruiz et al. 1997).

Γενικότερα, οι υψηλές τιμές χλωροφύλλης α, οι υψηλές τιμές αφθονίας φυτοπλαγκτικών οργανισμών που καταγράφηκαν την περίοδο (Αύγουστος³ – Οκτώβριος 2023), πιθανότατα οφείλονται στις επιπτώσεις της κακοκαιρίας Ντάνιελ που έπληξε τη Θεσσαλία το διάστημα 4 έως 12 Σεπτέμβρη, καθώς φερτά υλικά, θρεπτικές ουσίες κ.τ.λ. μεταφέρθηκαν από τη λεκάνη του Πηνειού έως τον κόλπο του Θερμαϊκού.

³ Η δειγματοληψία Αυγούστου 2023 πραγματοποιήθηκε στις 8 Σεπτεμβρίου 2023, εν μέσω της κακοκαιρίας Ντάνιελ στη Θεσσαλία.

5. Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

Στον Όρμο του Θερμαϊκού, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες που ασκούνται στην παράκτια ζώνη, στο πολεοδομικό συγκρότημα αλλά και στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής, σε συνδυασμό με τα φυσικά γνωρίσματα του Όρμου (μικρό άνοιγμα και βάθος κ.ά.) επιδρούν άμεσα στην τροφική κατάσταση του θαλάσσιου οικοσυστήματος.

Η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας δεν παρουσίασε αξιόλογη μεταβολή κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου (χειμώνας και αρχή άνοιξης), σε κανέναν πελαγικό σταθμό. Στους τρεις βαθείς σταθμούς (SP1, SP4 και SP5), η κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας εμφανίζει παρόμοιο πρότυπο κατά τους περισσότερους μήνες της περιόδου. Ωστόσο, στους δύο ρηχούς σταθμούς (SP2 και SP3), η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας δεν παρουσίασαν συγκεκριμένη τάση, γεγονός που πιθανώς να οφείλεται στο μικρό βάθος της δυτικής ακτής.

Σε όλους τους σταθμούς και σε όλα τα βάθη, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου παραμένει σε ικανοποιητικές συγκεντρώσεις και δεν παρατηρήθηκαν συνθήκες έλλειψης οξυγόνου στη στήλη του νερού. Ωστόσο, στους βαθύτερους σταθμούς SP1, SP4 και SP5, κατά τους φθινοπωρινούς μήνες του 2023, καταγράφηκαν χαμηλές τιμές οξυγόνου, σε βάθη πολύ κοντά ή στην επιφάνεια του πυθμένα.

Η συγκέντρωση των φωσφορικών και των πυριτικών παρουσιάζει μείωση από τη δεκαετία του '90. Οι σταθμοί στα δυτικά και κοντά στο αντλιοστάσιο και στην εκβολή του Γαλλικού ποταμού (αβαθή SP2 και SP3) εμφανίζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις πιθανώς επειδή επηρεάζονται από την είσοδο του εμπλουτισμένου άναλου νερού του ποταμού. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων ήταν τους περισσότερους μήνες υψηλότερες στους αβαθείς σταθμούς, πιθανότατα εξαιτίας της εισόδου εμπλουτισμένου νερού. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ήταν γενικώς σταθερά υψηλές στους αβαθείς σταθμούς (SP2 και SP3), ωστόσο κατά την τρέχουσα περίοδο καταγράφηκαν σε κάποιες περιπτώσεις υψηλές τιμές και στους βαθείς σταθμούς (SP1, SP4, SP5).

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α παρουσίασε την αναμενόμενη εποχιακή διακύμανση, ακολουθώντας την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε τον Αύγουστο 2023 στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης.

Καταγράφηκαν περισσότερα από 90 γένη θαλάσσιων φυτοπλαγκτικών οργανισμών. Τα δινοφύκη επικρατούν στον αριθμό ειδών / γενών ενώ τα διάτομα σε αφθονία, τους περισσότερους μήνες της περιόδου Ιούλιος 2023 – Ιούνιος 2024.

Κατά τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο 2023 καταγράφηκε άνθιση φυτοπλαγκτού (phytoplankton bloom) στους βαθείς πελαγικούς σταθμούς (SP1, SP4, SP5), η οποία οφείλονταν σε ιδιαίτερα υψηλή αφθονία ενός δινομαστιγώτου του γένους *Polykrikos* spp, το οποίο σχηματίζει κύστες και είναι εν δυνάμει τοξικό και επιβλαβές για τα θαλάσσια αλιεύματα και τη δημόσια υγεία.

Η κακοκαιρία Ντάνιελ που έπληξε τη Θεσσαλία το διάστημα 4 έως 12 Σεπτέμβρη ενδεχομένως έπαιξε ρόλο στην επικράτηση του φαινομένου της άνθισης του φυτοπλαγκτού και στις υψηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης α, το προαναφερθέν χρονικό διάστημα, καθώς φερτά υλικά, θρεπτικές ουσίες κ.τ.λ. μεταφέρθηκαν από τη λεκάνη του Πηνειού έως τον κόλπο του Θερμαϊκού.

Σύμφωνα με τους Pagou *et al.* 2008 (κλίμακα τροφικού επιπέδου, Πιν. 4), ο Θερμαϊκός παρουσιάζει γνωρίσματα υψηλής μεσοτροφικής και ευτροφικής περιοχής.

Πίνακας 4. Κλίμακα τροφικού επιπέδου βασισμένη σε θρεπτικά ιόντα (μM, ND Not Detected), χλωροφύλλη α (μg/L) και αφθονία (κύτταρα/L) (Pagou *et al.* 2008).

Παράμετρος	Ολιγοτροφική	Κατώτερη μεσοτροφική	Υψηλή μεσοτροφική	Ευτροφική	1975-1976 (Friligos <i>et al.</i> 1982)	1984-1985 (Gotsis-Scretas <i>et al.</i> 1990)	1992-1993 (ΕΛΚΕΘΕ 1994)	2023-2024
Χλω-α	<0,10	0,10-0,60	0,60-2,21	>2,21	0,10-2,60	1,64-8,70	0,15-18,50	0,7 - 15,9
Νιτρικά	<0,62	0,62-0,65	0,65-1,19	>1,19	0,40-2,92	0,04-1,02	0,04-4,07	0,03 - 31,5
Αμμωνιακά	0,55	0,55-1,05	1,05-2,20	>2,20	0,40-5,00	0,20-1,83	0,08-3,41	0,01 - 0,71
Φωσφορικά	<0,07	0,07-0,14	0,14-0,68	>0,68	0,11-0,33	0,10-1,03	0,04-1,54	ND - 0,15
Φυτοπλαγκτό	<6χ10 ³	6χ10 ³ - 1,5χ10 ³	1,5χ10 ³ - 9,6χ10 ³	>9,6χ10 ³				

6. Βιβλιογραφία

- Benoiston A-S, Ibarbalz FM, Bittner L, Guidi L, Jahn O, Dutkiewicz S, Bowler C. 2017. The evolution of diatoms and their biogeochemical functions. *Phil. Trans. R. Soc. B* 372: 20160397.
- Bienfang P.J. and K. Gundersen. 1977. Light effect on nutrient-limited oceanic primary production. *Mar. Biol.*, 43: 187-191.
- Bradshaw, A. & K.E. Schleicher, 1965. The effect of pressure on the electrical conductance of sea water. *Deep Sea Research & Oceanographic Abstracts* 12, 151–162 (1965).
- Carey, J.C.; Fulweiler, R.W. 2012. Human activities directly alter watershed dissolved silica fluxes. *Biogeochemistry*, 111, 125–138.
- Conley, D.J.; Schelske, C.L.; Stoermer, E.F. 1993. Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 101, 179–192.
- Dauphinee, T. M. & Klein, H. P. 1977. The effect of temperature on the electrical conductivity of seawater. *Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography* 24, 891–902.
- EEA 2022. Oxygen concentrations in coastal and marine waters surrounding Europe. Published 5 August 2022. <https://www.eea.europa.eu/ims/oxygen-concentrations-in-coastal-and>
- Ehrhard, M. 1969. A new method for the automatic measurement of dissolved organic carbon in sea water. *Deep Sea Research & Oceanographic Abstracts* 16, 393–397.
- Flynn K.J., Clark D.R., Mitra A., Fabian H., Hansen P.J, Glibert P.M., Wheeler G.L., Stocker D.K., Blackford J.C. and C. Brownlee. 2015. Ocean acidification with (de)eutrophication will alter future phytoplankton growth and succession. *Proc. R. Soc. B* 282. Issue 1804. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*.
- Friligos N and T. Kousouris. 1984. Preliminary observations on sewage nutrient enrichment and phytoplankton ecology in the Thermaikos Gulf, Thessaloniki, Greece. *Vie et Milieu*, 34 (1), pp 35-39.
- Gotsis-Skretas, O. and N. Friligos. 1990. Contribution to eutrophication and phytoplankton ecology in the Thermaikos Gulf. *Thalassographica*, Vol. 13, suppl. 1.
- Intergovernmental Oceanographic Commission of ©UNESCO. 2010. Karlson, B., Cusack, C. and Bresnan, E. (editors). *Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis*. Paris, UNESCO. (IOC Manuals and Guides, no. 55.) (IOC/2010/MG/55) 110 pages.
- Kennish M.J. 1997. *Practical handbook of estuarine and marine pollution*. CRC Press.
- Kennish M.J. 2001. *Practical Handbook of Marine Science*, 3rd ed. CRC Press.
- Kombiadou K. and I.Y. Krestenitis. 2012. Fine sediment transport model for river influenced microtidal shelf seas with application to the Thermaikos Gulf (NW Aegean Sea). *Continental Shelf Research*, Vol. 36, pp 41-62.
- Liddicoat M.I., Tibbitts S. and E.I. Butler. 1975. The determination of ammonia in seawater. *Limn. Ocean.* Vol. 20, Iss. 1, pp 131-132.

- Liddicoat M.I., Tibbitts S. and E.I. Butler. 1976. The determination of ammonia in natural waters. *Water Research*, Vol. 10, pp 567-568.
- Officer, C. and J. Ryther. 1980. The possible importance of silicon in marine eutrophication. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1980, 3, 83–91.
- OSPAR Agreement. 2012-11. Joined Assessment Monitoring Programme Eutrophication Monitoring Guidelines: Chlorophyll a in water.
- Pagou K., Siokou-Frangou, I. and E. Papathanassiou. 2008. Nutrients and their ratios in relation to eutrophication and HAB occurrence. The case of Eastern Mediterranean coastal waters. https://circabc.europa.eu/webdav/CircaBC/Joint%20Research%20Centre/jrc_eewai/Library/intercalibration/intercalibration_2/technical_versions/tr_feb08/coastaltransitional/mediterranean/Section%203_Annex%20I_Greece.pdf
- Papush L. and Å. Danielsson. 2006. Silicon in the marine environment: Dissolved silica trends in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 67: 53-66.
- Pawlowicz, R. 2012. The electrical conductivity of seawater at high temperatures and salinities. *Desalination* 300, 32–39 (2012).
- Pinet P.R. 1998. *Invitation to Oceanography*, Jones and Bartlett Publishers, Sudbury, MA.
- Rakestraw N.W. 1936. The occurrence and significance of nitrite in the sea. *The Biological Bulletin*, vol. 71 No. 1, pp 133-167.
- Strickland J.D.H. and T.R. Parsons. 1968. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 167, 293 pp.
- Sun, Y.M. and J.M. Song. 2001. Biogeochemistry of nitrogen phosphorus and silicon near the ocean sediment-seawater interface. *Geol. Rev.* 2001, 47, 527–534.
- Wei-Jun Cai, Xinping Hu, Wei-Jen Huang, Michael C. Murrell, John C. Lehrter, Steven E. Lohrenz, Wen-Chen Chou, Weidong Zhai, James T. Hollibaugh, Yongchen Wang, Pingsan Zhao, Xianghui Guo, Kjell Gundersen, Minhan Dai and Gwo-Ching Gong. 2011. Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication *Nature Geoscience* 4: 766–770.
- ΑΠΘ 1993. Παρακολούθηση της ποιότητας των αποβλήτων της πόλεως Θεσσαλονίκης και του αποδέκτη Θερμαϊκού στην περιοχή ανατολικού αντλιοστασίου Χαλάστρας. Τμ. Κτηνιατρικής Εργ. Οικολογίας & Προστασίας Περιβάλλοντος, Τμ. Χημείας, Εργ. Αναλυτικής Χημείας.
- ΕΛΚΕΘΕ 1994. Ωκεανογραφική μελέτη Θερμαϊκού Κόλπου, Τελική Τεχνική Έκθεση.
- ΕΛΚΕΘΕ 2015. Τεχνική Έκθεση: Αποτελέσματα των ωκεανογραφικών πλοών της περιόδου 2014-2015. Επ. Π. Παναγιωτίδης.
- Μουστάκα-Γούνη Μ. 1997. Ωκεανογραφία, Μια βιολογική προσέγγιση. Εκδόσεις EXIN.
- Φυτιάνος Κ. 1996. Η ρύπανση των θαλασσών. University Studio Press, Β' έκδοση.