

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΣΥΜΒΑΣΗ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

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

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2024-2025

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ



ΦΟΡΕΑΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ:

ΔΗΜΟΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΦΟΡΕΑΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ:

ΜΟΥΣΕΙΟ ΓΟΥΛΑΝΔΡΗ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΒΙΟΤΟΠΩΝ - ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ



ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2025

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	3
2. Περιοχή μελέτης	4
3. Μέθοδος	5
3.1. Σταθμοί δειγματοληψίας.....	5
3.2. Δειγματοληψίες	6
3.3. Παράμετροι παρακολούθησης.....	6
3.3.1. Μετρήσεις στο πεδίο	6
3.3.2. Μετρήσεις στο εργαστήριο	6
4. Αποτελέσματα - Συζήτηση	8
4.1. Διαφάνεια	8
4.2. Φυσικοχημικές παράμετροι	10
4.2.1. Θερμοκρασία	10
4.2.2. Αγωγιμότητα	14
4.2.3. pH.....	25
4.2.4. Διαλυμένο οξυγόνο.....	26
4.2.5. Θρεπτικά ιόντα	32
4.3. Βιολογικές παράμετροι.....	38
4.3.1. Χλωροφύλλα α.....	38
4.3.2. Φυτοπλαγκτό	40
5. Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα	43
6. Βιβλιογραφία	45

1. Εισαγωγή

Το παρόν αποτελεί αναφορά αποτελεσμάτων των δειγματοληψιών και εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της υπ' αριθμ. 217470/2024 Προγραμματικής Σύμβασης, η οποία αφορά στη συνεργασία μεταξύ του Τμήματος Περιβάλλοντος & Προστασίας Φυσικών Πόρων 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 10/2024-09/2025).

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. φυτοπλαγκτόν, μακροφύκη και αγγειόσπερμα, ζωβένθος, ψάρια κ.λπ.) και προτάσσουν τις παραμέτρους ποιοτικής περιγραφής (διατήρηση της βιοποικιλότητας, ελαχιστοποίηση ανθρωπογενούς ευτροφισμού κτλ.) 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 επιβαρυσμένα συστήματα, η συχνή και διαρκής παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων θεωρείται απαραίτητη για τη λήψη μέτρων και αποφάσεων σε τοπικό επίπεδο.

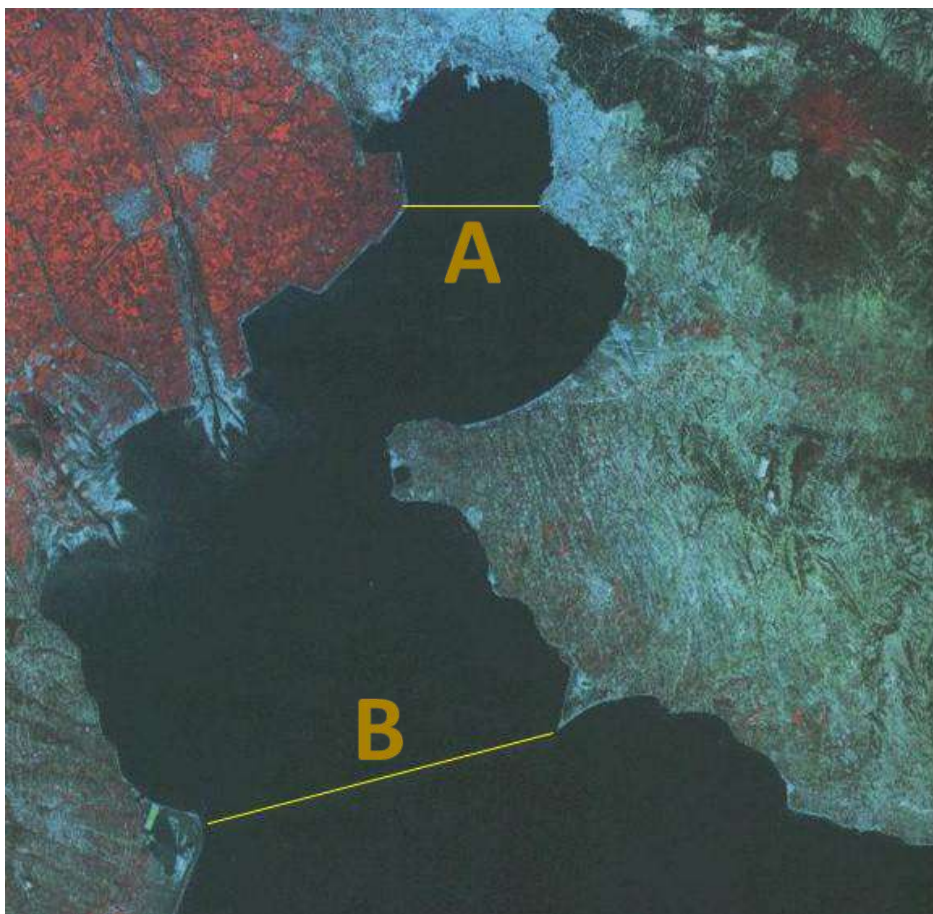
Σε απόκριση της ανωτέρω ανάγκης, το Έργο «Έλεγχος και Παρακολούθηση της ποιότητας της θάλασσας στον Όρμο της Θεσσαλονίκης» στοχεύει στη διασφάλιση της διαχρονικής παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων του Όρμου της Θεσσαλονίκης, με τη δημιουργία και διατήρηση βάσης δεδομένων φυσικοχημικών παραμέτρων 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. Περαιτέρω, το Έργο έχει στόχο τη συνεργασία, τη μεταφορά τεχνογνωσίας και την εκπαίδευση των στελεχών του Τμήματος Περιβάλλοντος & Προστασίας Φυσικών Πόρων του Δήμου Θεσσαλονίκης ώστε το εργαστήριο που βρίσκεται στην αρμοδιότητα του Τμήματος να λειτουργεί αξιόπιστα και αποτελεσματικά.

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

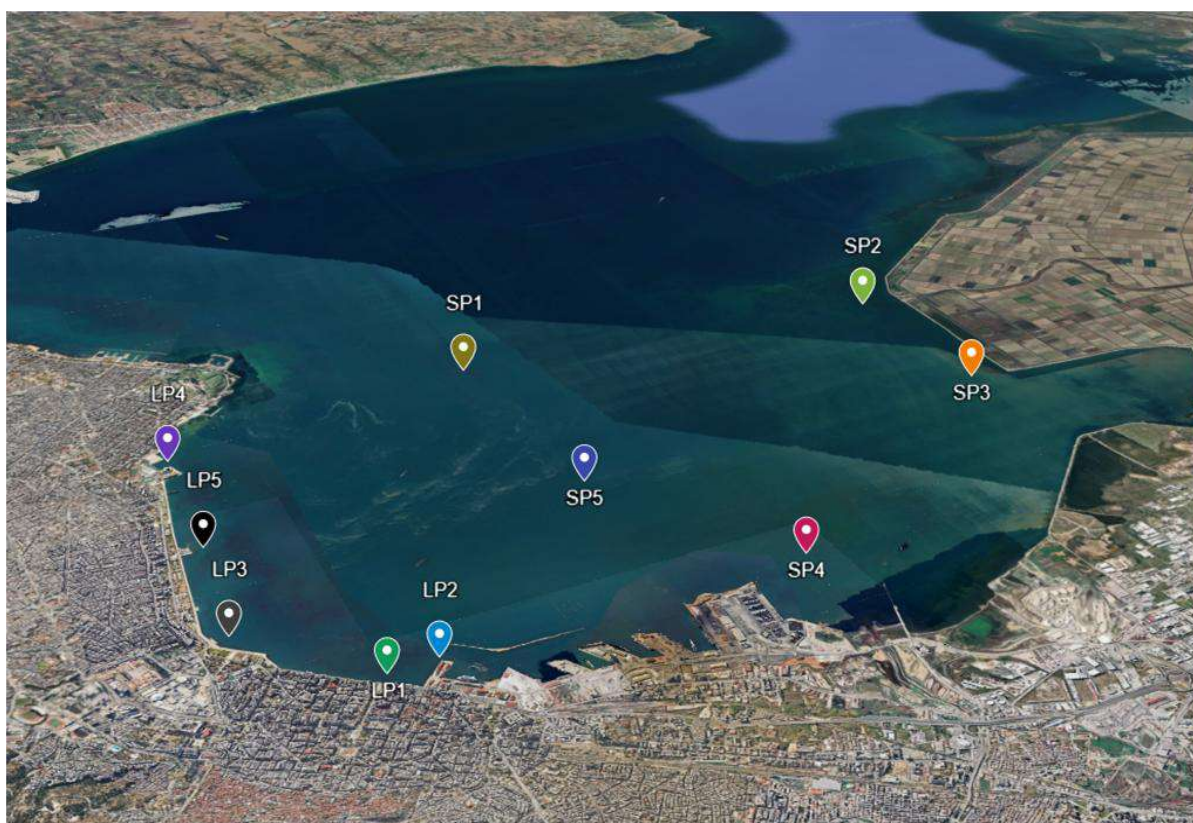
Σύμφωνα με την ΚΥΑ 48392/939/2002 (ΦΕΚ 405Β/3-4-2002), η οποία συμπλήρωσε την ΚΥΑ 19661/1982/1999, όχι μόνο ο Όρμος Θεσσαλονίκης (Α) αλλά ολόκληρος ο Θερμαϊκός Κόλπος (Β) προσδιορίζονται ως ευαίσθητες περιοχές από απορρίψεις αστικών λυμάτων (περισσότερα για τις πιέσεις στην παράκτια ζώνη μπορούν να αναζητηθούν σε προηγούμενα παραδοτέα προγραμματικών συμβάσεων μεταξύ Δ.Θ.- ΕΚΒΥ).

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. Στην παρούσα σύμβαση υπήρξε αλλαγή στη θέση ενός μόνο σημείου, για τη βέλτιστη κάλυψη της περιοχής μελέτης (LP5). Τα σημεία των μετρήσεων είναι δέκα: τα πέντε είναι παράκτια σημεία (LP1-LP5) και τα πέντε πελαγικά στον Όρμο (SP1-SP5) (Εικ. 2).



SP1	40°35'28"N 22°54'45"E	LP1	40°37'52"N 22°56'22"E
SP2	40°35'44"N 22°51'42"E	LP2	40°37'52"N 22°56'05"E
SP3	40°36'47"N 22°51'43"E	LP3	40°37'20"N 22°56'59"E
SP4	40°37'53"N 22°53'55"E	LP4	40°35'45"N 22°56'50"E
SP5	40°36'51"N 22°54'40"E	LP5	40°36'36"N 22°56'53"E

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 & Προστασίας Φυσικών Πόρων. Τα δείγματα μεταφέρονται στο εργαστήριο του ΕΚΒΥ και στο εργαστήριο του Τμήματος Περιβάλλοντος & Προστασίας Φυσικών Πόρων του Δήμου Θεσσαλονίκης. Πριν από κάθε εργασία πεδίου, συλλέγονται τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής.

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιούνται σε μηνιαία βάση και από τους δέκα προκαθορισμένους σταθμούς. 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.

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 της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας σε ολόκληρη της στήλη του νερού με αυτογραφικό όργανο τύπου SBE 19plus V2 SeaCAT CTD.
- Μέτρηση φυσικών και χημικών παραμέτρων με πολυπαραμετρικό όργανο τύπου Hach 2200, ηλεκτρόδιο PHC101, ηλεκτρόδιο LDO101, ηλεκτρόδιο CDC401.
- 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) για τον προσδιορισμό φυτοπλακτονικών οργανισμών σε επίπεδο γένους τουλάχιστον και τη μέτρηση της αφθονίας, στο εργαστήριο.

Σε κάθε παράκτιο σταθμό πραγματοποιούνται:

- Μέτρηση της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας σε ολόκληρη της στήλη του νερού με αυτογραφικό όργανο τύπου SBE 19plus V2 SeaCAT CTD.
- 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 φυτοπλακτονικών 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).

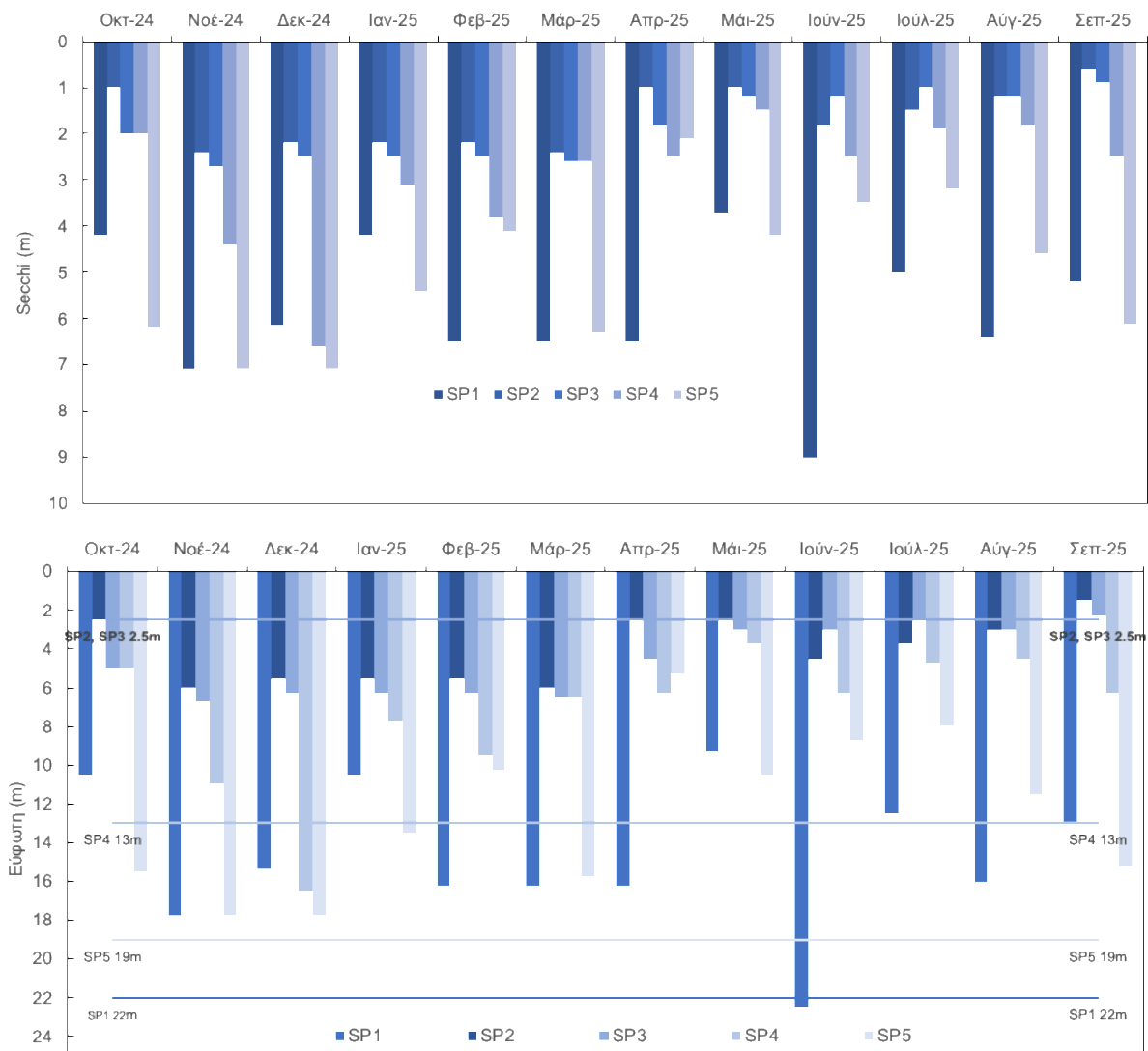
Ο προσδιορισμός της χλωροφύλλης α πραγματοποιείται με εκχύλιση από τους ηθμούς σε διάλυμα 90% ακετόνης με κορεσμένο διάλυμα MgCO_3 (1%w/v) για 18-24 ώρες και χρήση τριχρωματικής εξίσωσης (Jeffrey & Humphrey 1975). Η χλωροφύλλη α στους παράκτιους σταθμούς προσδιορίζεται με φθορισμόμετρο τύπου Turner Trilogy, 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 φυτοπλακτού προσδιορίζεται στο εργαστήριο, προσδιορίσθηκε 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. Τα αποτελέσματα για τους πελαγικούς σταθμούς δίδονται παρακάτω:



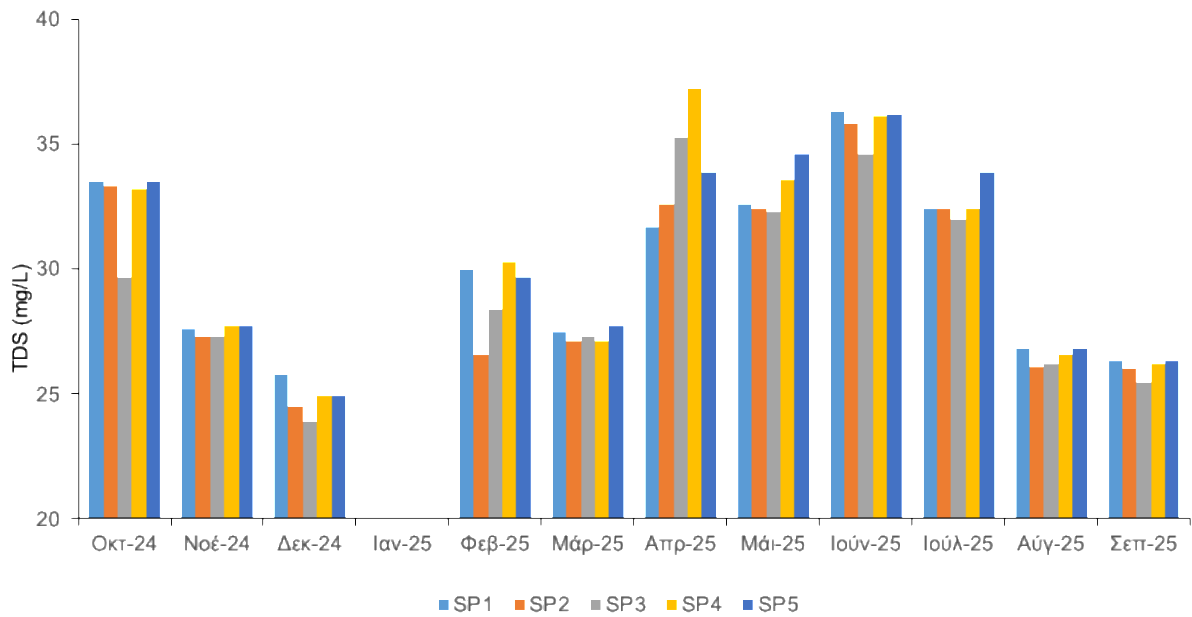
Εικόνα 3. Μεταβολή της διαφάνειας της στήλης του νερού στους πελαγικούς σταθμούς (δίσκος Secchi) και του βάθους της εύφωτης ζώνης για την περίοδο Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025 και βάθη σταθμών.

Στους ρηχούς σταθμούς (SP2 και SP3), η εύφωτη ζώνη έφτασε έως το μέγιστο βάθος (~2,5 m) εκτός από τον Σεπτέμβριο 2025.

Οι σταθμοί SP1 και SP5 (σταθμοί με το μεγαλύτερο βάθος, 22m 19m αντιστοίχως) παρουσίασαν τις υψηλότερες τιμές διαφάνειας, με τη μεγαλύτερη να παρατηρείται τον Ιούνιο 2025 στον σταθμό SP1. Μεταξύ των τριών βαθέων σταθμών, μικρότερες τιμές διαφάνειας παρουσίασε ο SP4 τον Ιούλιο

(1,9m) και τον Αύγουστο 2025 (1,8m). Ο SP4 που βρίσκεται κοντά στο εμπορικό λιμάνι. Πιθανώς αυτό οφείλεται στην ανάδευση που προκαλείται από τη συχνή ροή μεγάλων και μικρότερων σκαφών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους στο τμήμα αυτό του όρμου. Η χαμηλή διαύγεια στο σταθμό αυτόν ενδεχομένως να οφείλεται και στις υδάτινες μάζες του Γαλλικού και των αντλιοστασίων που μεταφέρονται με την κίνηση των θαλασσίων 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).

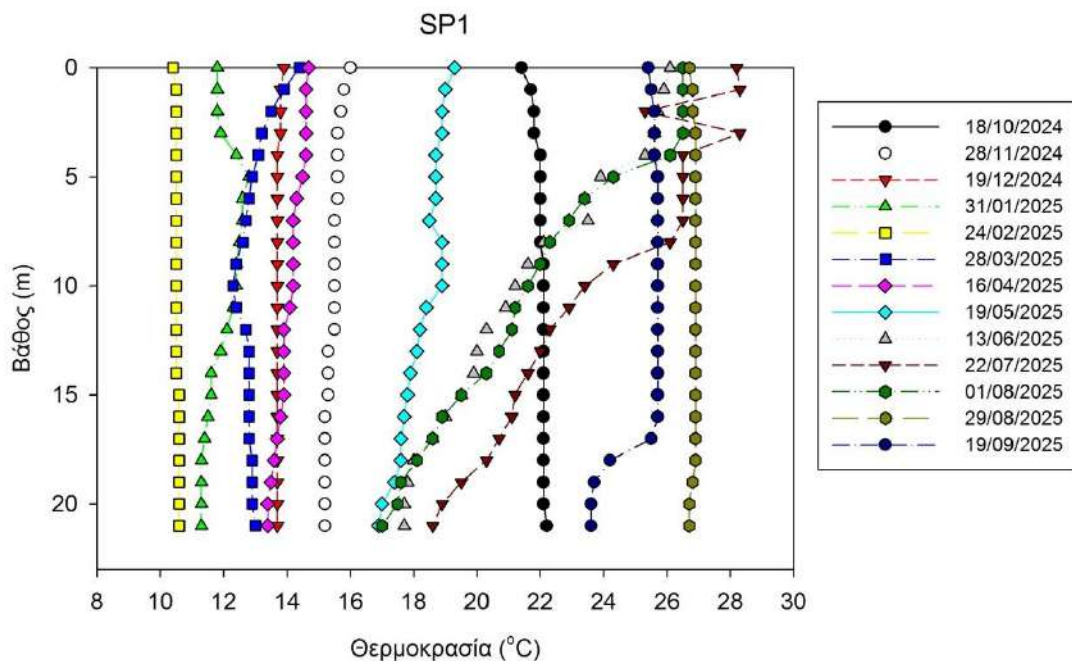


Εικόνα 4. Κατανομή των ολικών αιωρούμενων στερεών σωματιδίων (TDS) στους πελαγικούς σταθμούς για την περίοδο Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025.

4.2. Φυσικοχημικές παράμετροι

4.2.1. Θερμοκρασία

Η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας στους πέντε πελαγικούς σταθμούς για την περίοδο Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025, φαίνεται στις Εικόνες 5-9.

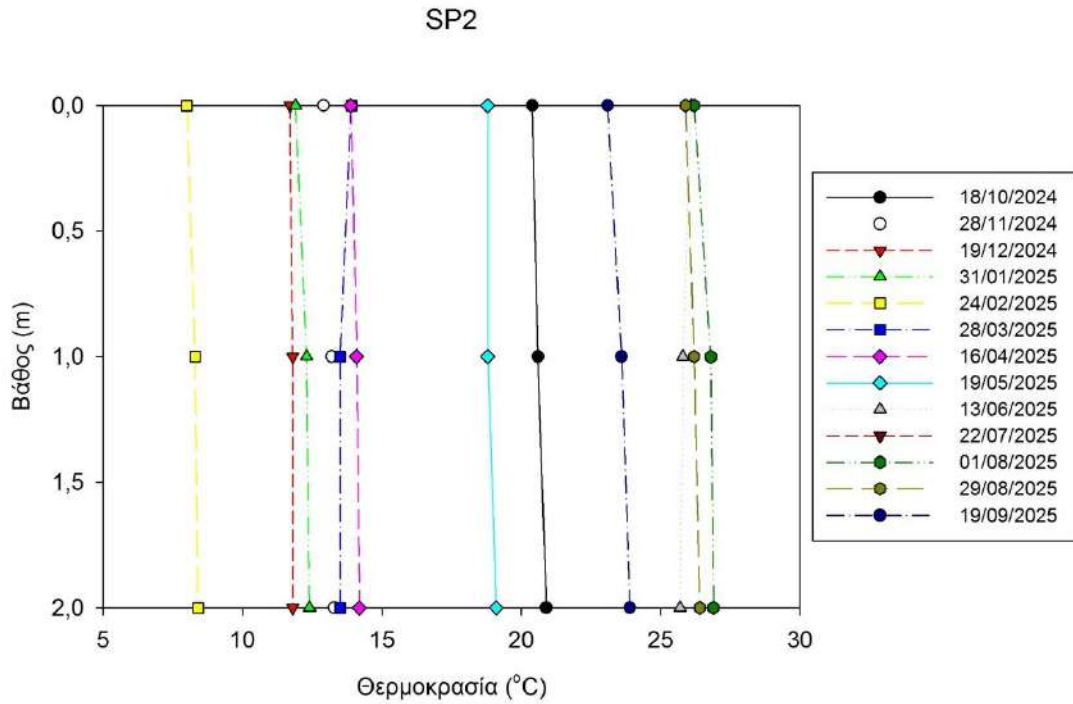


Εικόνα 5. Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP1 για την περίοδο Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025.

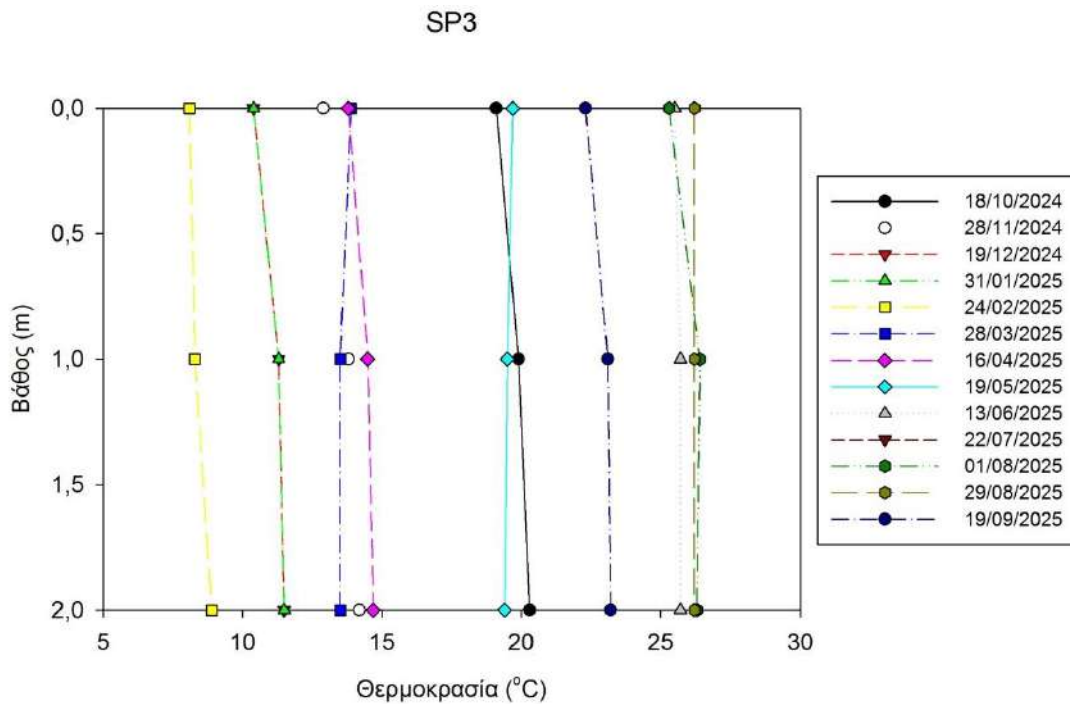
Στον σταθμό SP1 γενικά οι μεταβολές της θερμοκρασίας παρατηρήθηκαν κατά τους θερμούς μήνες (Εικ. 5). Κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και αρχές Αυγούστου (1/8 2025) η θερμοκρασία στα ανώτερα στρώματα (έως περίπου 5m) ήταν υψηλότερη έως 8° C σε σχέση με τις βαθύτερες υδάτινες μάζες. Κατά τη δεύτερη μέτρηση του Αυγούστου (29/8/2025) η θερμοκρασία ήταν σχεδόν σταθερή σε ολόκληρη τη στήλη και αποτέλεσε την υψηλότερη του έτους.

Η χαμηλότερη θερμοκρασία μετρήθηκε τον Φεβρουάριο, οπότε και δεν ξεπέρασε τους 10,6°C και ήταν σταθερή σε ολόκληρη τη στήλη.

Από τον Φεβρουάριο έως τον Μάιο η θερμοκρασία δεν παρουσίασε σπουδαία μεταβολή με το βάθος, γεγονός που οφείλεται πιθανώς στην πλήρη ανάμειξη του νερού.

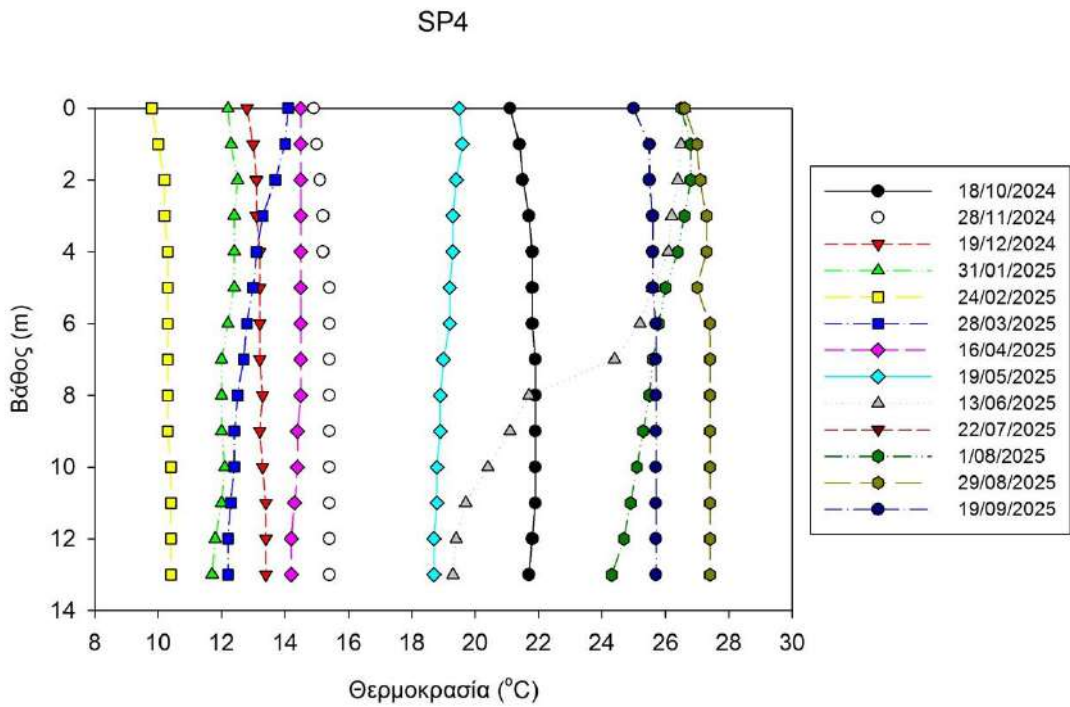


Εικόνα 6. Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP2 για την περίοδο Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025.

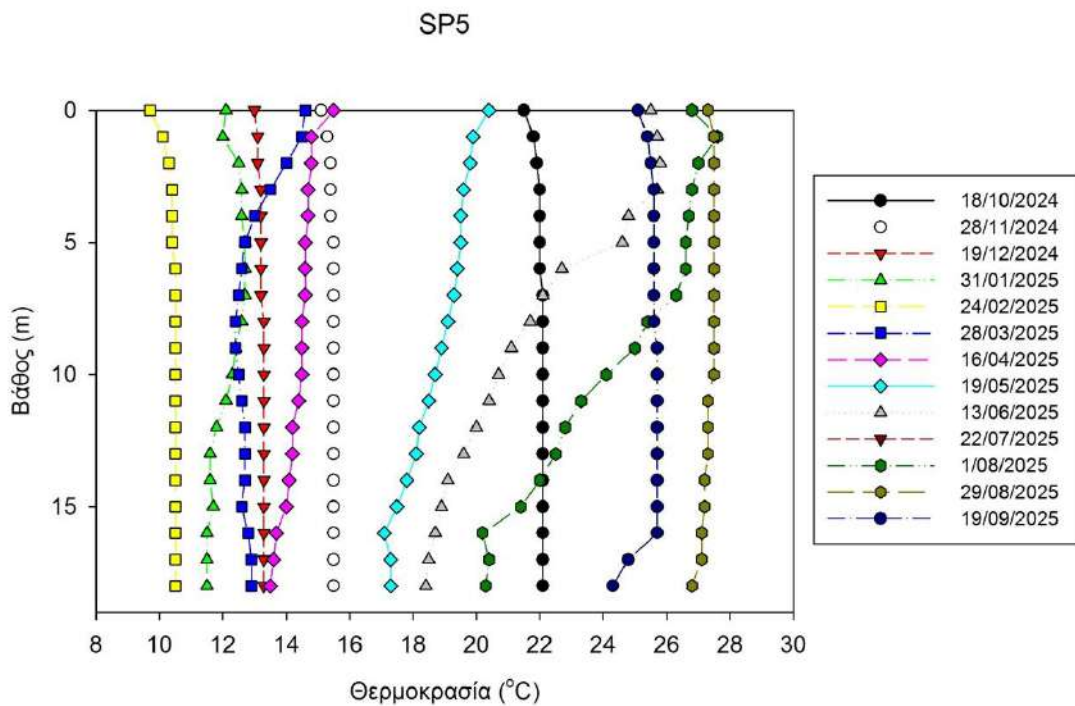


Εικόνα 7. Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP3 για την περίοδο Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025.

Στους ρηχούς σταθμούς SP2 και SP3 (Εικ. 6, 7) δεν παρατηρήθηκε στρωμάτωση με το βάθος, καθώς η ανάμιξη είναι πλήρης σε όλη τη διάρκεια του έτους. Στους δύο σταθμούς οι υψηλότερες τιμές μετρήθηκαν από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο.



Εικόνα 8. Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP4 για την περίοδο Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025.



Εικόνα 9. Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP5 για την περίοδο Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025.

Στον σταθμό SP4, ο οποίος βρίσκεται εντός του εμπορικού λιμένα, εκτός από τον Ιούνιο, η θερμοκρασία παρουσίασε ελάχιστη μεταβολή με το βάθος στη στήλη του νερού. Τον Ιούνιο σχεδόν

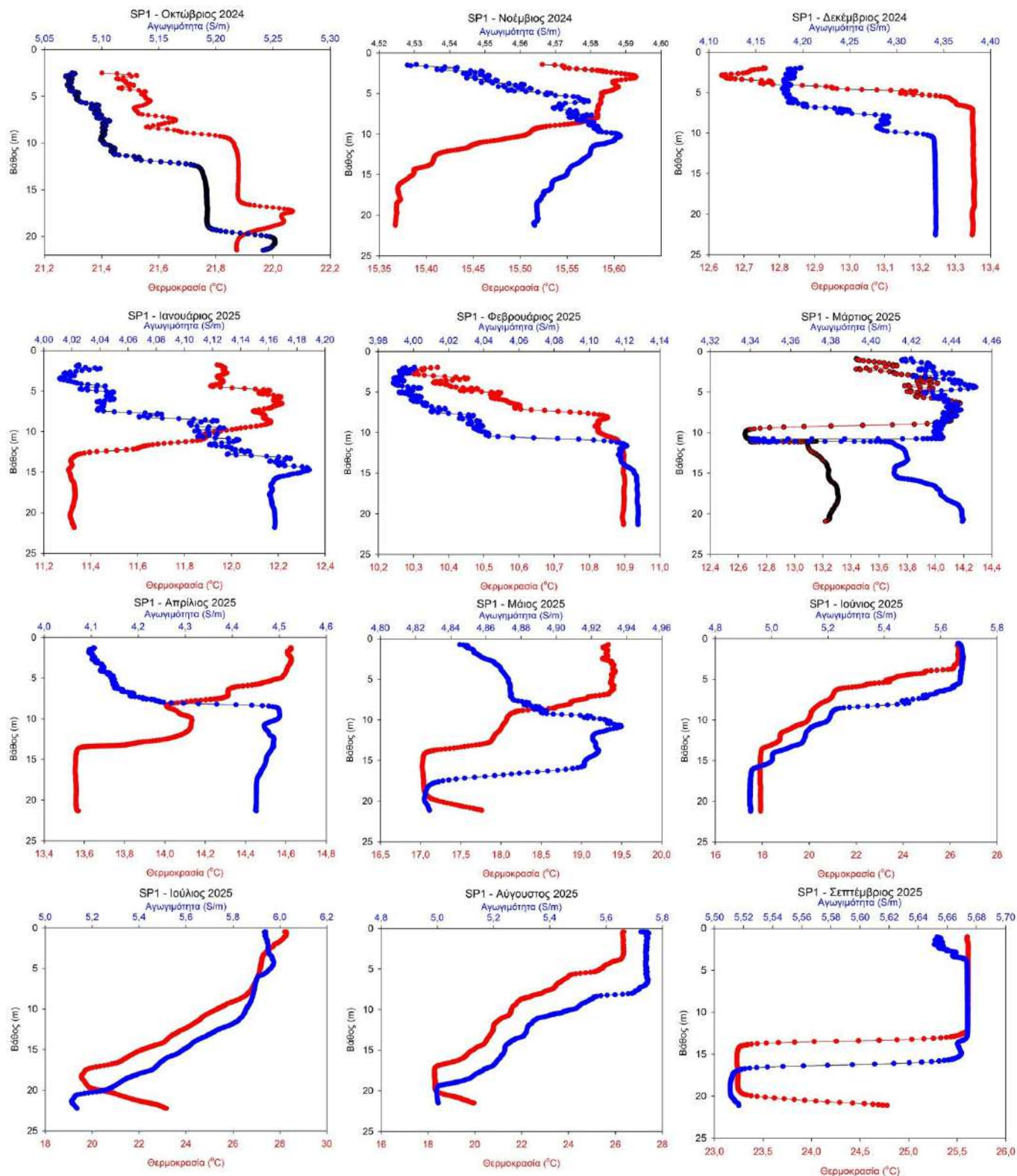
μεταξύ 6-7m υπήρξε πτώση σχεδόν κατά 2°C και έως το μέγιστο βάθος είχε μειωθεί κατά 7°C συγκρινόμενη με την επιφανειακή τιμή.

Στον σταθμό SP5 η εντονότερη μεταβολή με το βάθος παρατηρήθηκε, όπως και στον SP1, τον Ιούνιο, τον Ιούλιο και στις αρχές Αυγούστου (1/8/2025). Αυτούς τους μήνες έως τα 5-6m η θερμοκρασία παρέμεινε σταθερή και από το βάθος αυτό έως τον πυθμένα παρουσίασε συνεχή μείωση, με αποτέλεσμα η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ επιφανειακών και βαθύτερων στρωμάτων να είναι μεταξύ 6,5 °C. και 7,5°C.

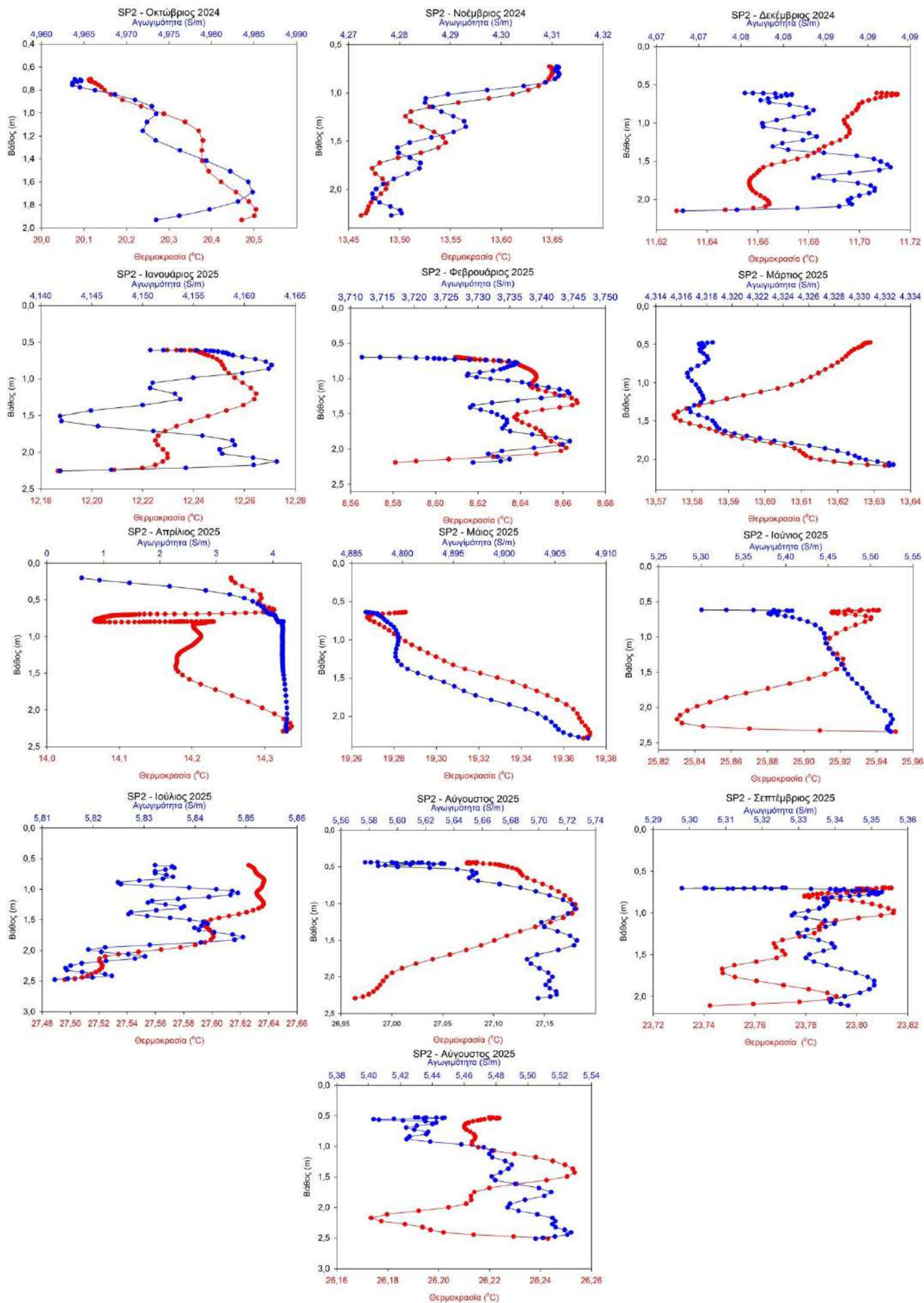
Στους παράκτιους σταθμούς (LP1-LP5) δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα στρωματοποίησης (θερμοκλινούς), λόγω του μικρού βάθους των σημείων μέτρησης. Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία μετρήθηκε στο σταθμό LP2 κατά τον Φεβρουάριο 2025 (10,1°C), ενώ η μέγιστη τον μήνα Ιούλιο 2025 στον σταθμούς LP1 (29,5°C) και στον LP5 (29.7°C). Αναλυτικά η θερμοκρασία στους παράκτιους σταθμούς δίνεται παρακάτω, συνδυαστικά με μετρήσεις αγωγιμότητας.

4.2.2. Αγωγιμότητα

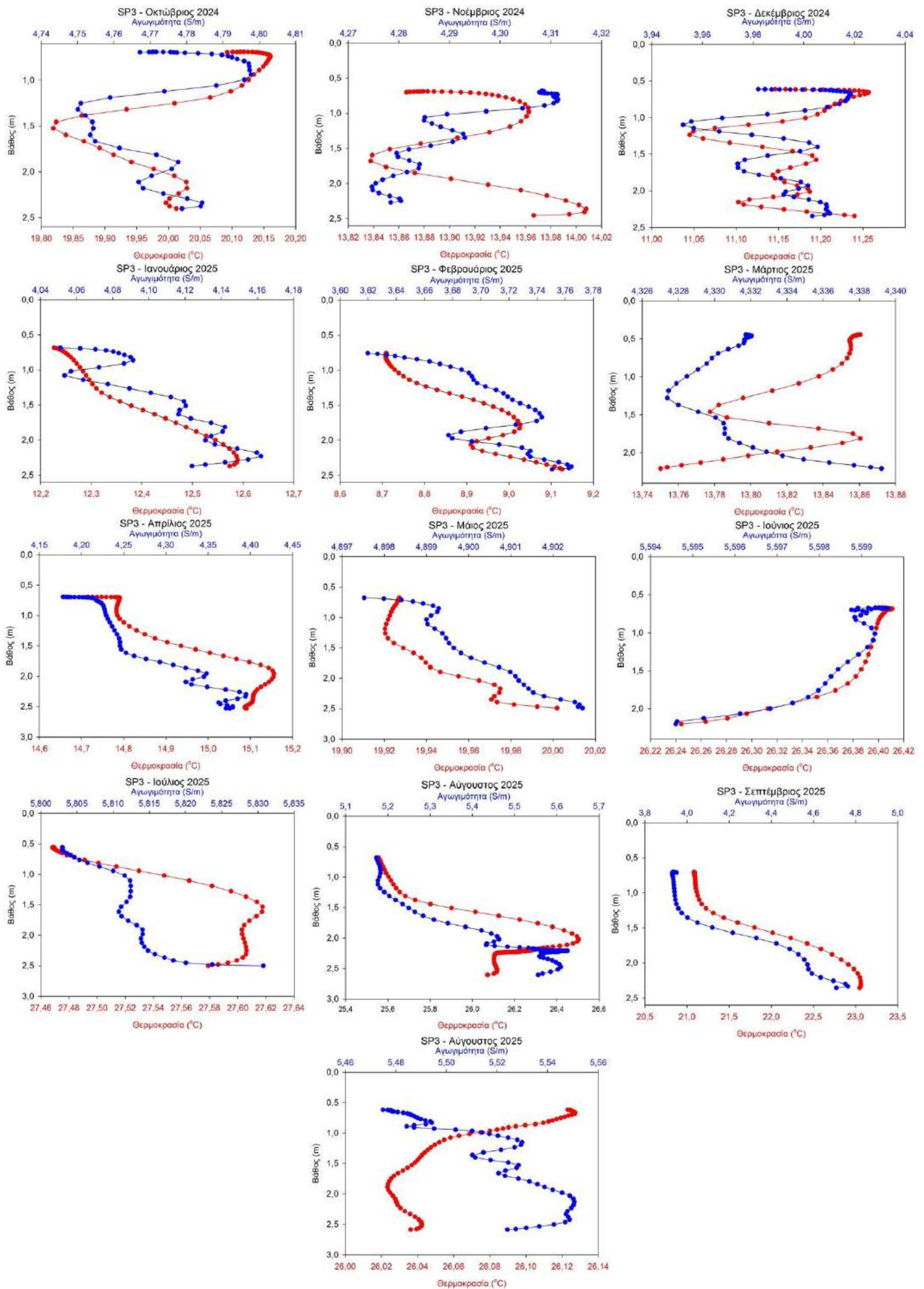
Η κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας στους πελαγικούς σταθμούς (SP1- SP5), για την περίοδο Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025, φαίνεται στις Εικόνες 10-14.



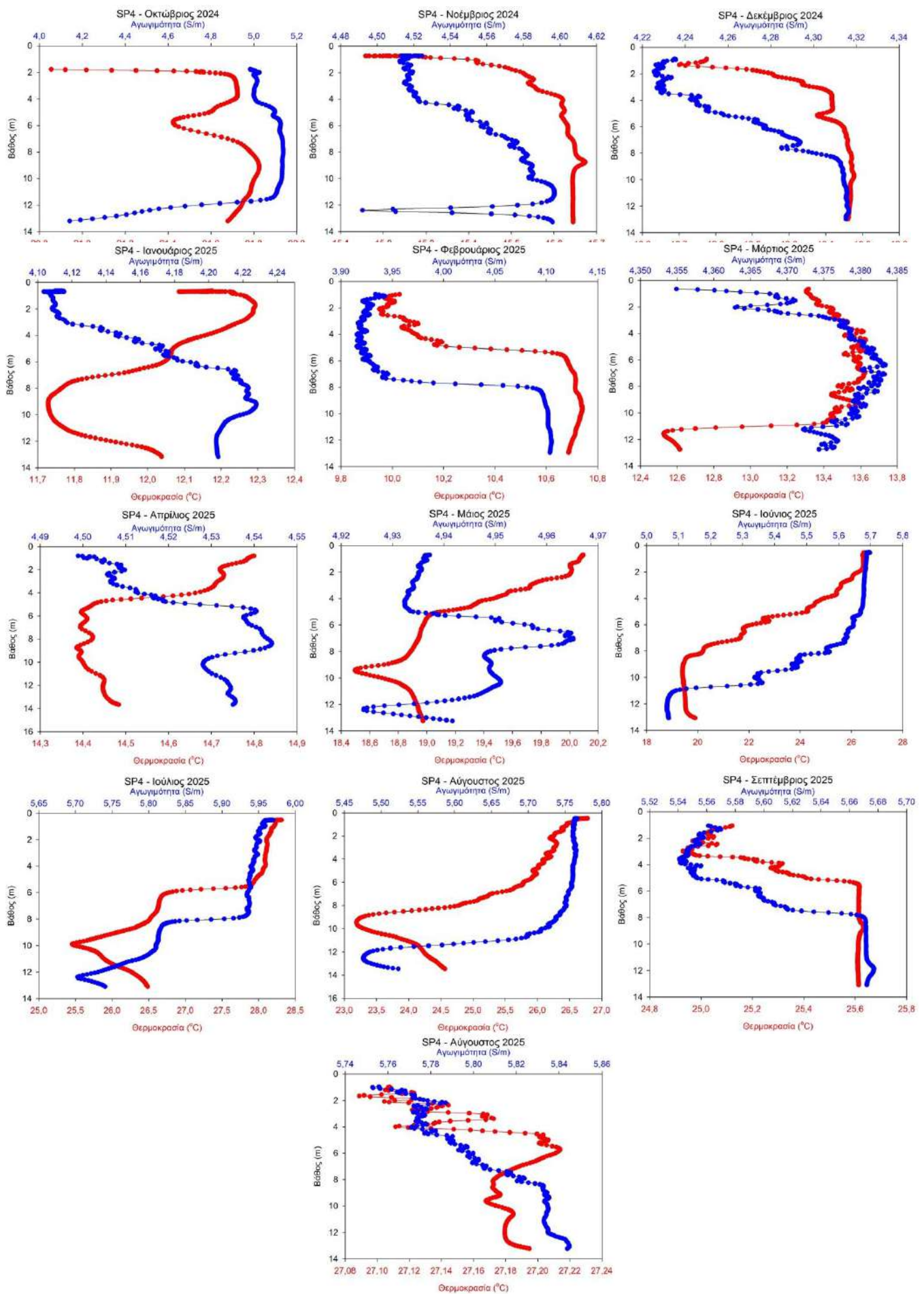
Εικόνα 10. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας στον σταθμό SP1.



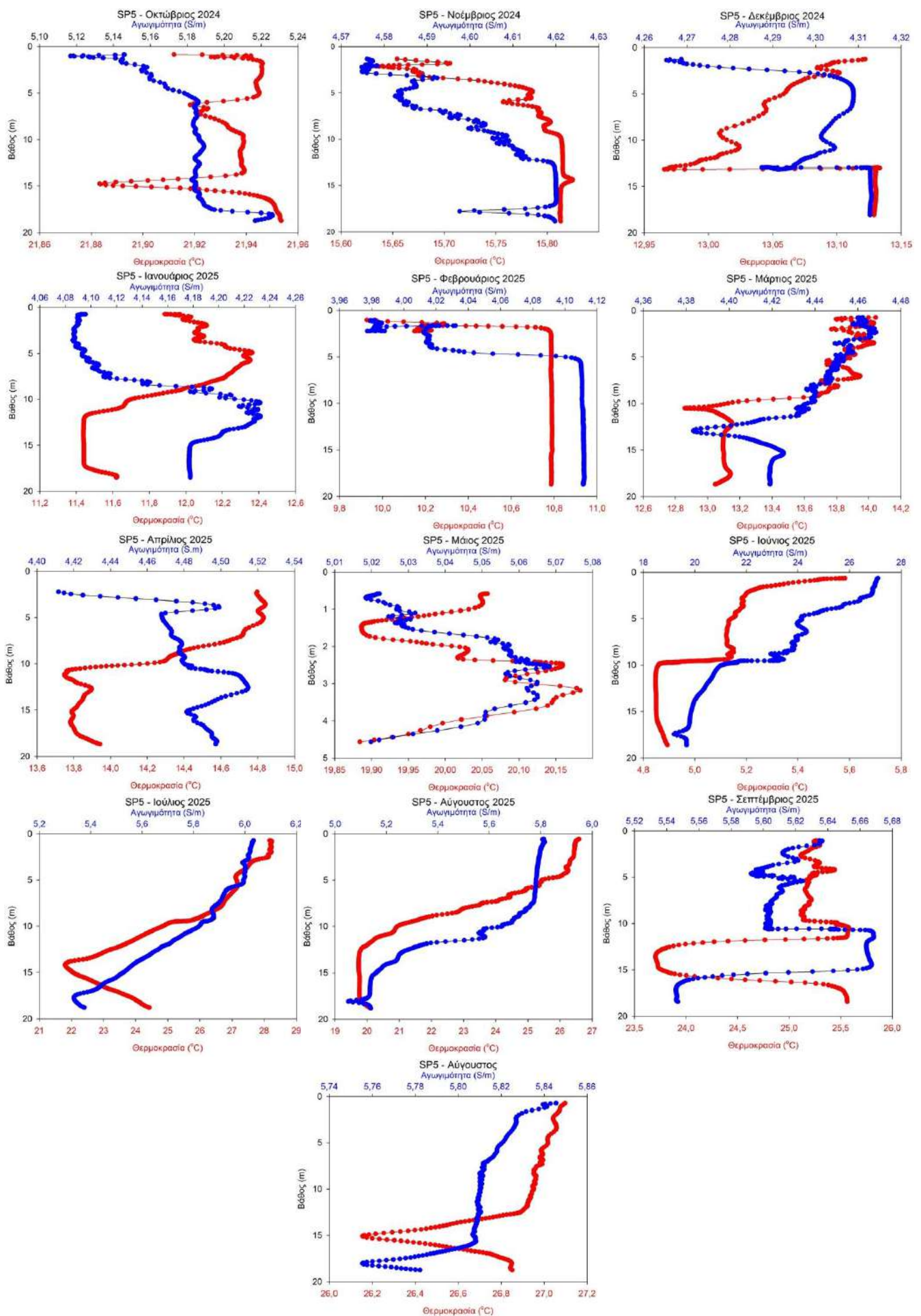
Εικόνα 11. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP2.



Εικόνα 12. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP3.



Εικόνα 13. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP4.



Εικόνα 14. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP5.

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 αγωγιμότητα και η θερμοκρασία παρουσίασαν παρόμοια κατανομή στη στήλη του νερού εκτός από τον Ιανουάριο, τον Απρίλιο και τον Μάιο. Τους μήνες αυτούς φαίνεται παρουσία έως τα 10m περίπου άναλου νερού, η οποία εξασθενεί έως τον πυθμένα. Τον Μάιο η επίδραση του άναλου νερού επανεμφανίζεται από τα δέκα μέτρα και βαθύτερα.

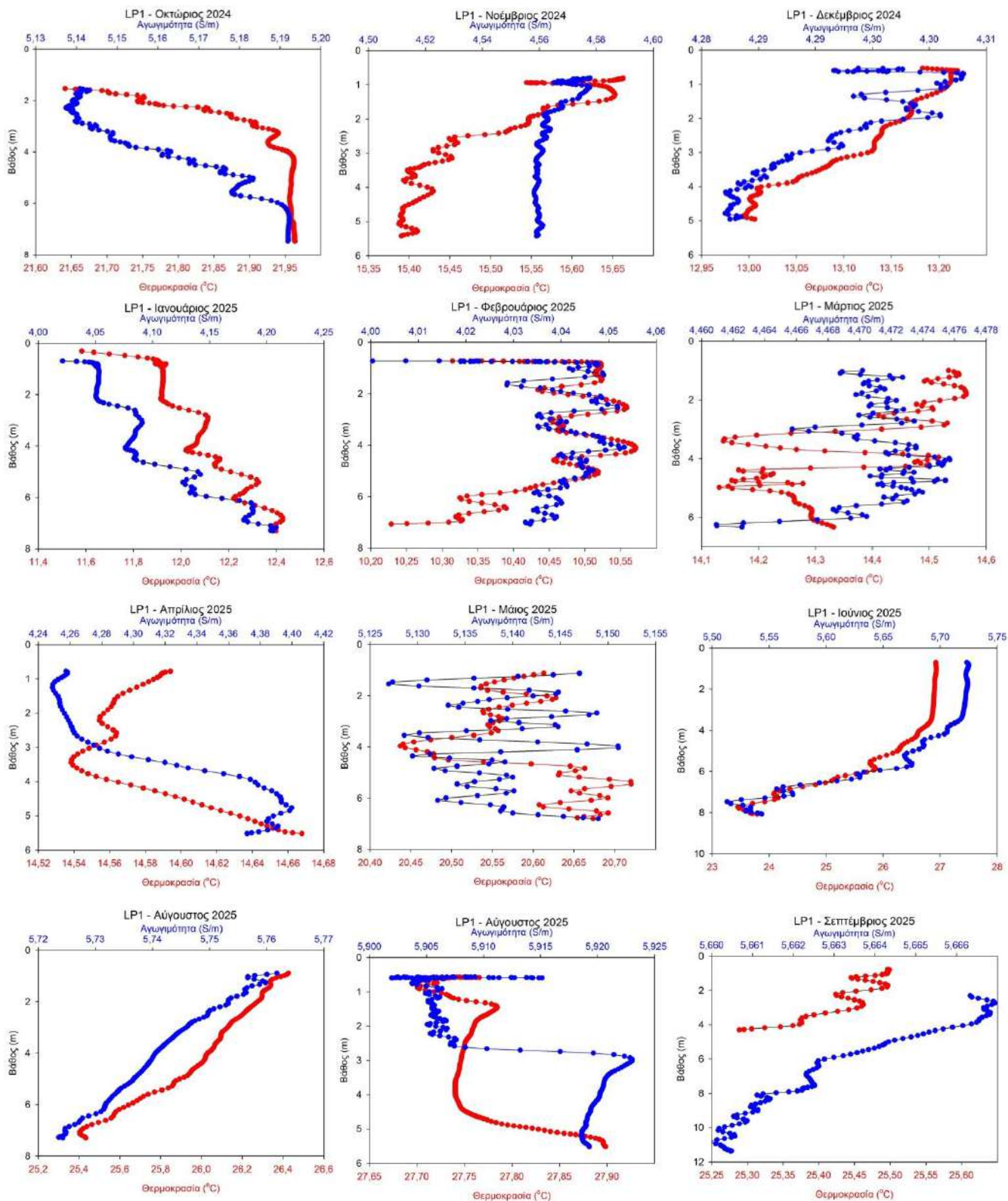
Στον σταθμό της δυτικής ακτής του όρμου SP2 (Εικ. 11), εξαιτίας του μικρού βάθους, η αγωγιμότητα και η θερμοκρασία παρουσιάζουν μικρή μεταβολή. Ο σταθμός, σε μικρή απόσταση από την έξοδο του Δυτικού Αντλιοστασίου, βρίσκεται υπό την άμεση επίδραση του άναλου νερού από τις αρδευόμενες εκτάσεις της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης.

Η κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας στον σταθμό SP3 (Εικ. 12) επηρεάζεται απευθείας κυρίως από το άναλο νερό του Γαλλικού ποταμού. Όπως και στον παρακείμενο σταθμό SP2, η μεταβολή των δύο παραμέτρων σε σχέση με το βάθος είναι πολύ μικρή εξαιτίας της πλήρους ανάμιξης.

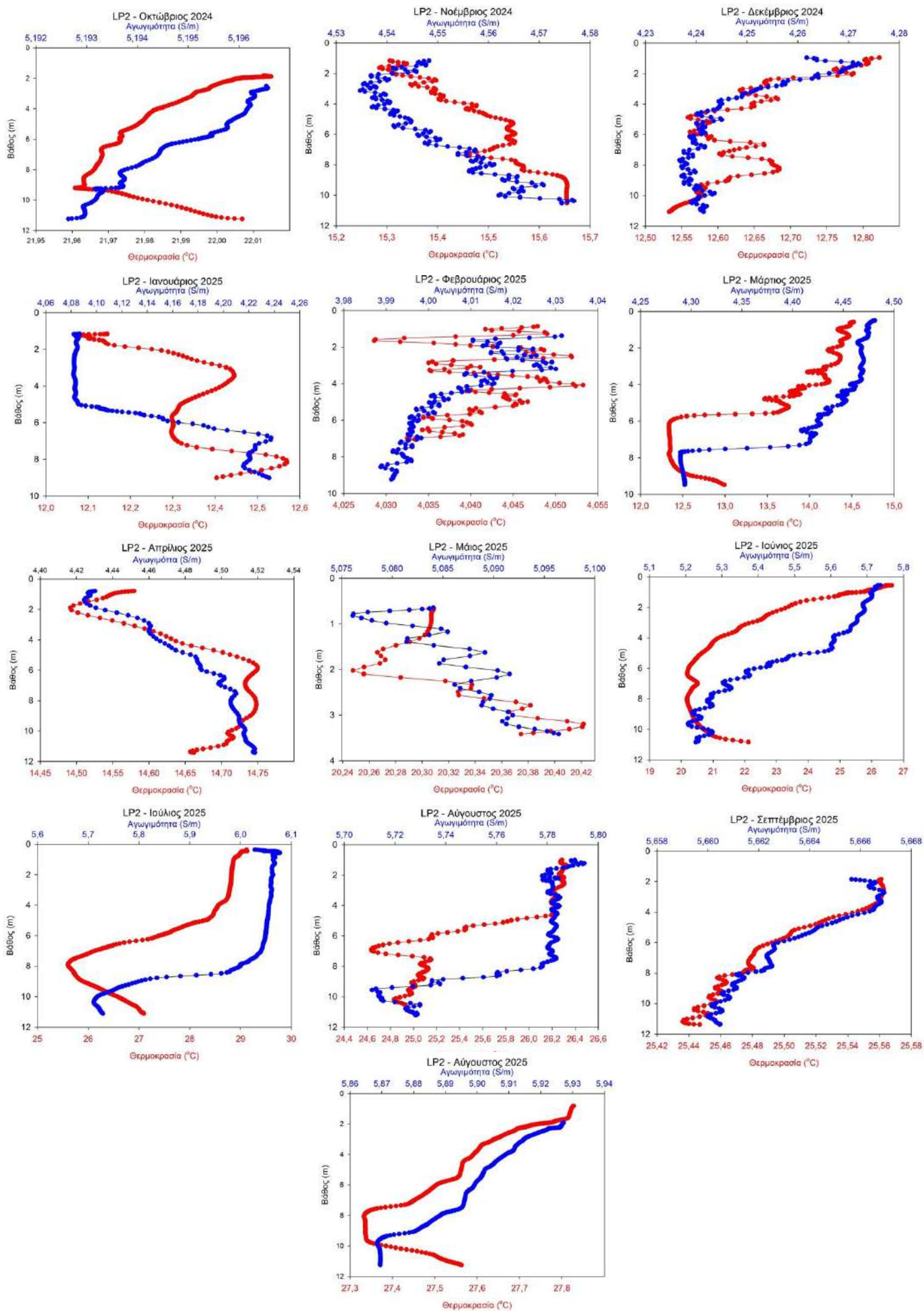
Στον σταθμό SP4 (Εικ. 13), η αγωγιμότητα και η θερμοκρασία παρουσίασαν παρόμοια κατανομή στη στήλη του νερού, εκτός από τον Ιανουάριο, τον Απρίλιο και τον Μάιο. Τους μήνες αυτούς φαίνεται παρουσία άναλου νερού στα 6-8m περίπου, η οποία εξασθενεί έως τον πυθμένα. Τον Μάιο η επίδραση του άναλου νερού επανεμφανίζεται από τα δέκα μέτρα και βαθύτερα. Τον Αύγουστο πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις, στην αρχή και στο τέλος του μήνα. Οι τάσεις των κατανομών της αγωγιμότητας/θερμοκρασίας ήταν αντίθετες για τις δύο χρονικές στιγμές, παρατήρηση που δείχνει τον ευμετάβλητο χαρακτήρα τόσο της περιοχής όσο και του όρμου γενικότερα.

Στον σταθμό που βρίσκεται στο κέντρο του όρμου SP5 (Εικ. 14), η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας, όπως και στους σταθμούς SP1 και SP4, παρουσίασε αντίθετο πρότυπο μεταβολής τον Ιανουάριο και τον Απρίλιο.

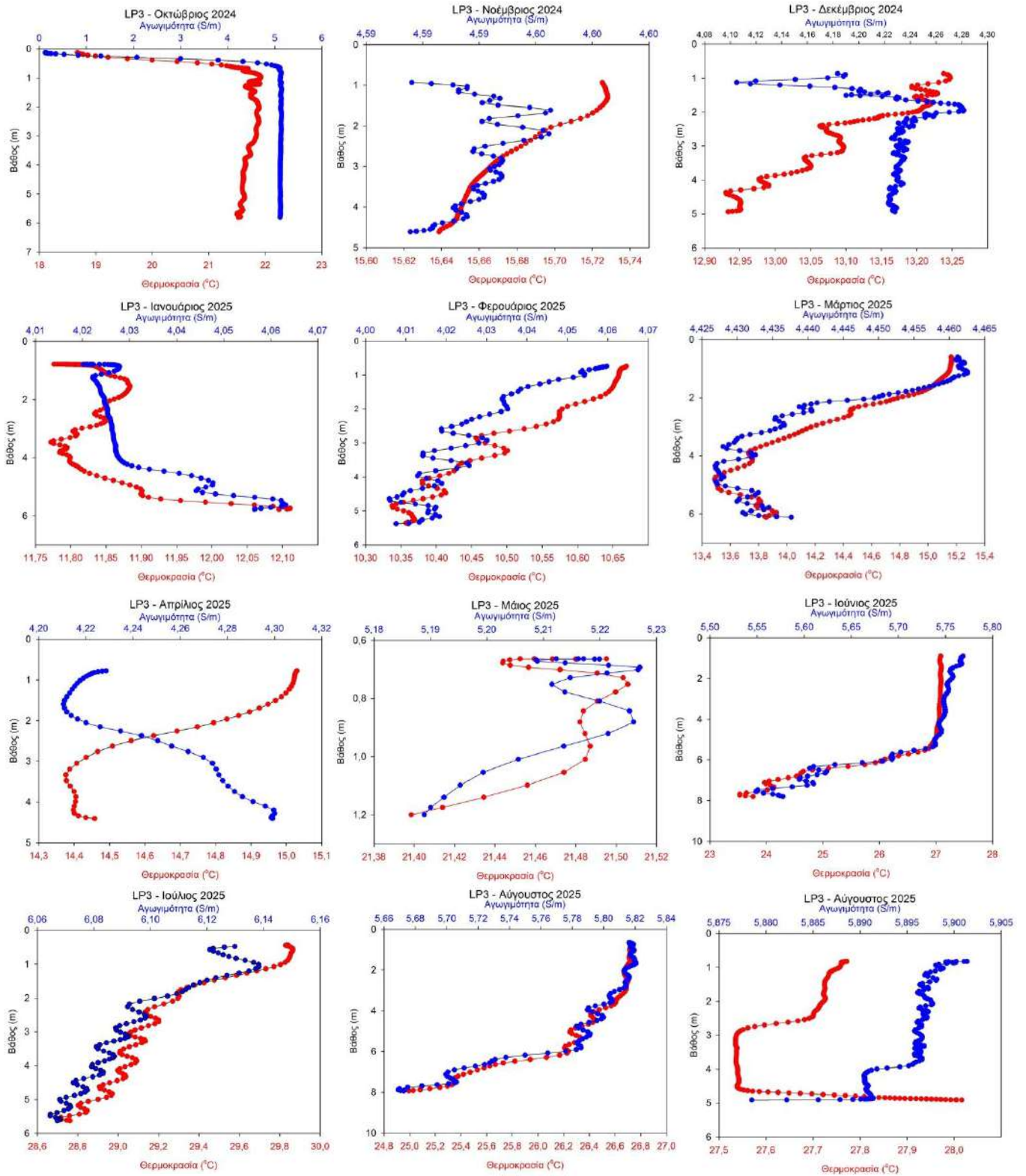
Η κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας στους παράκτιους σταθμούς (LP1 – LP5) φαίνεται στις Εικόνες 15-19.



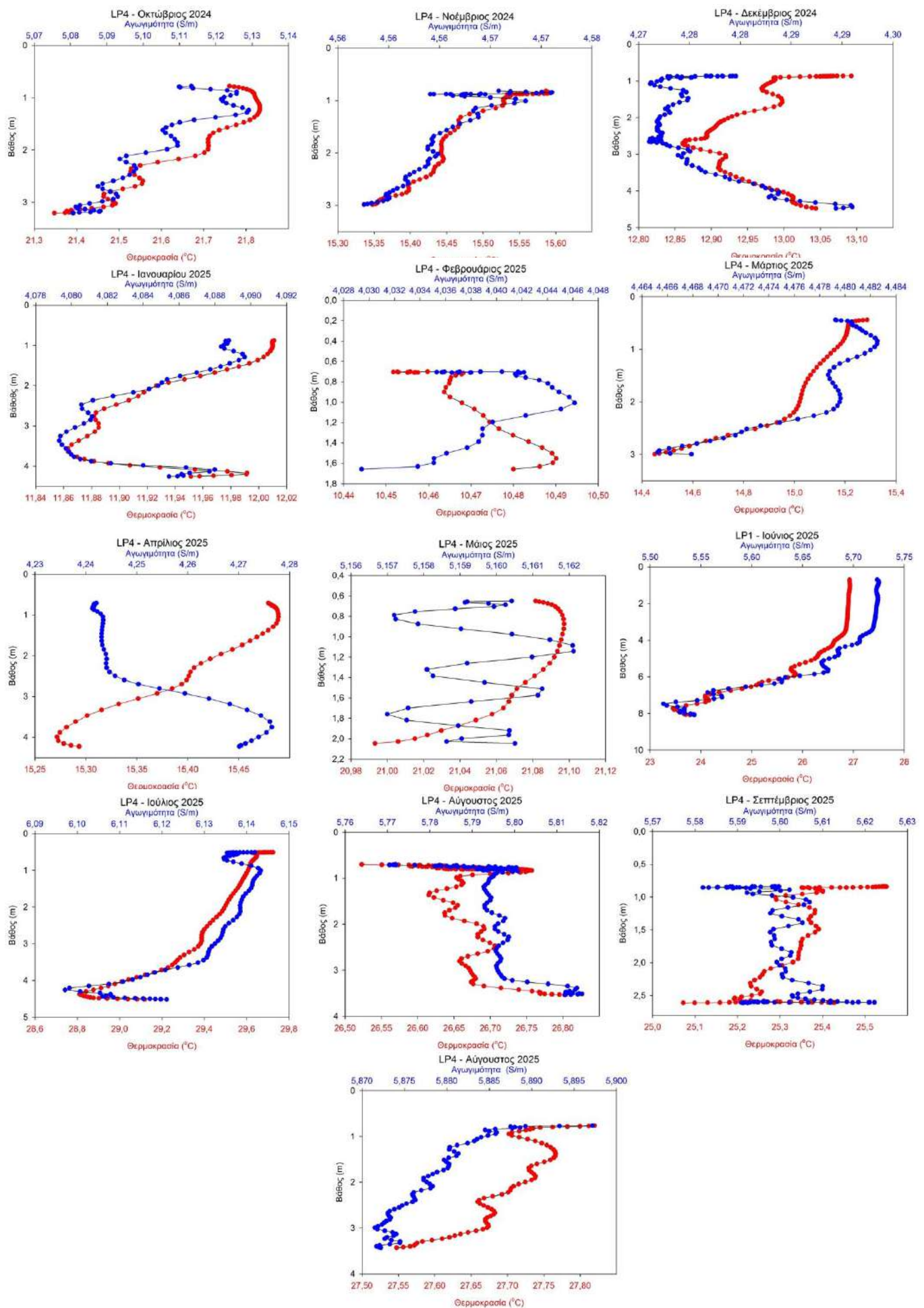
Εικόνα 15. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP1.



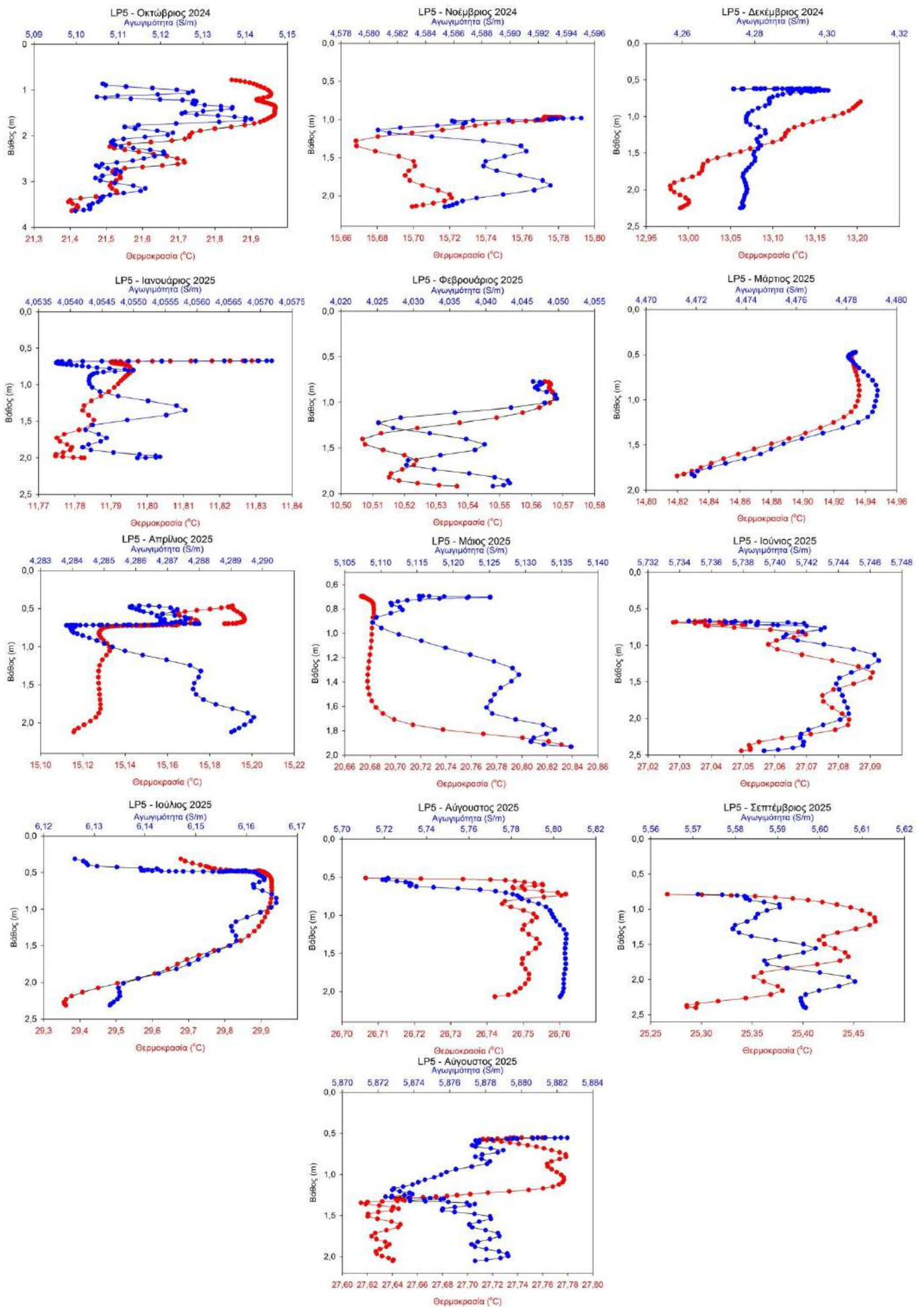
Εικόνα 16. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP2.



Εικόνα 17. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας - θερμοκρασίας στον σταθμό LP3.



Εικόνα 18. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP4.



Εικόνα 19. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP5.

Ο κυματισμός και κατ' επέκταση η ανάμιξη του νερού στους παράκτιους σταθμούς επηρεάζονται από το μικρό βάθος και τη μικρή απόσταση (λίγα μέτρα) από το κρηπίδωμα της πόλης. Παρόλο που η ανάμιξη του νερού αναμένεται πλήρης, παρατηρήθηκε, αν και μικρής κλίμακας, μεταβολή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος.

Στον σταθμό LP1 (Αριστοτέλους), η κατακόρυφη κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ακολούθησε την κατανομή της θερμοκρασίας. Τον Φεβρουάριο, τον Μάρτιο και τον Μάιο το πρότυπο της μεταβολής ήταν ακανόνιστο συγκρινόμενο με τους υπόλοιπους μήνες.

Παρόμοια παρατήρηση έγινε στον σταθμό LP2 (Λιμάνι), τον Φεβρουάριο και τον Μάιο (Εικ. 16).

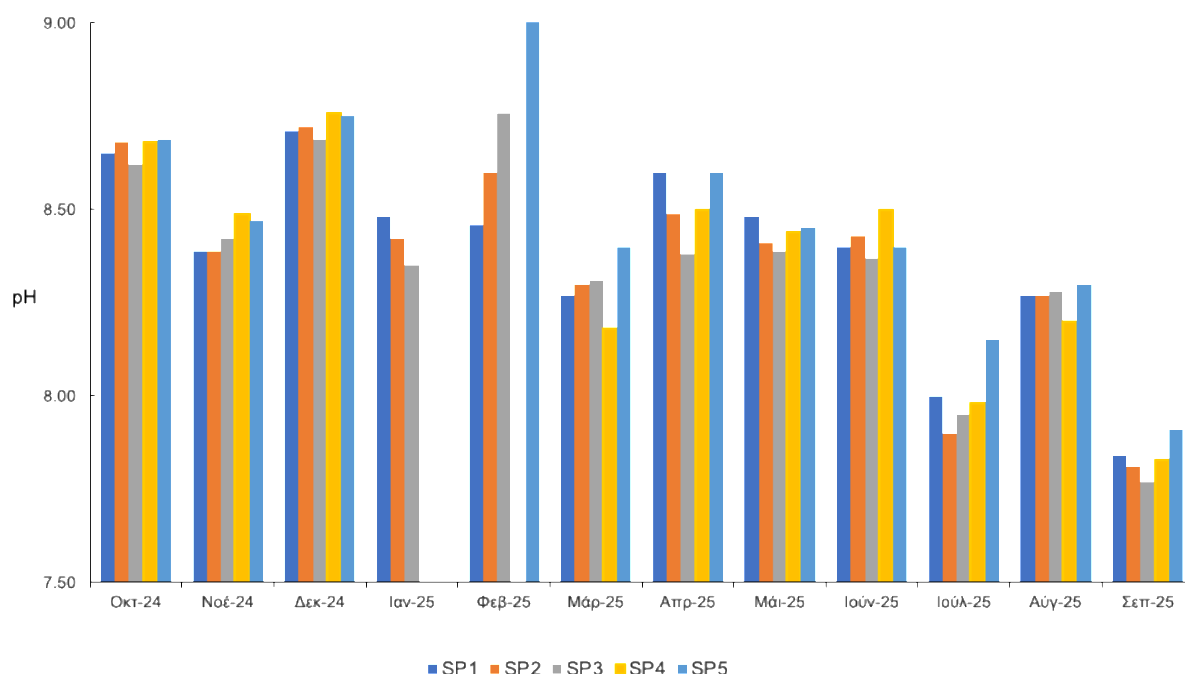
Στον ρηχό σταθμό LP3 (Μακεδονία Παλλάς), το πρότυπο της μεταβολής της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος ήταν παρόμοια εκτός από τον Απρίλιο (Εικ. 17).

Στον σταθμό LP4 (Μέγαρο Μουσικής), το πρότυπο της μεταβολής αγωγιμότητας και θερμοκρασίας ήταν αντίθετο τον Φεβρουάριο και τον Απρίλιο και ακανόνιστο μόνο της θερμοκρασίας τον Μάιο (Εικ. 18).

Στον ρηχό σταθμό LP5 (Ναυτικός Όμιλος), τα πρότυπα της μεταβολής της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας παρουσίασαν τις εντονότερες διαφορές σε σχέση με τους υπόλοιπους παράκτιους σταθμούς.

4.2.3. pH

Οι τιμές του pH στους πελαγικούς σταθμούς (Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025) φαίνονται στην Εικόνα 20.



Εικόνα 20. Μετρήσεις pH στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για την περίοδο Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025.

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).

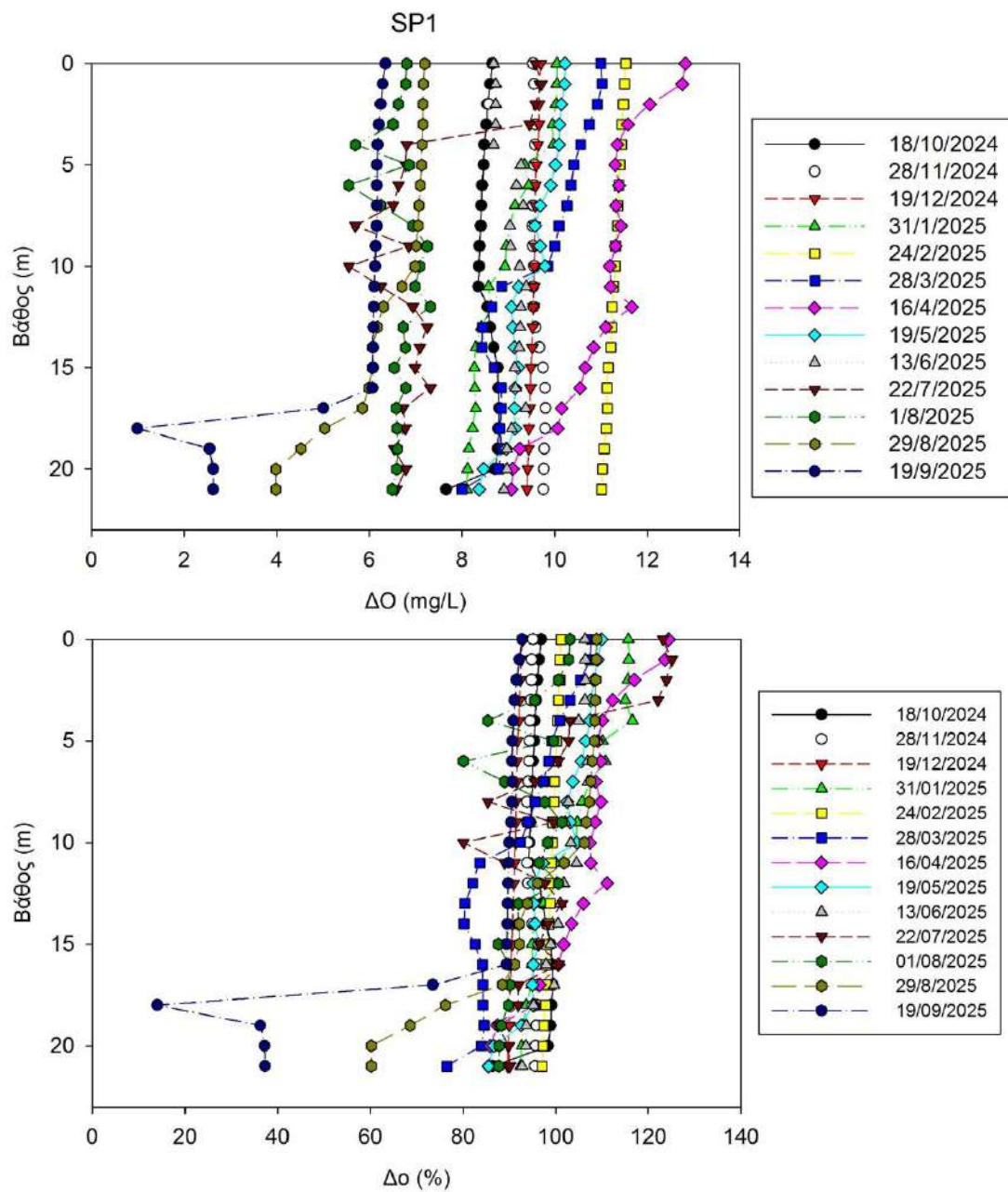
Για την εξεταζόμενη περίοδο, η οξύτητα του νερού στον όρμο κυμάνθηκε μεταξύ pH 6,96 (στον σταθμό SP4, Φεβρουάριος 2025) και 9,05 (στον σταθμό SP5, Φεβρουάριος 2025) και η μέση τιμή για όλους τους πελαγικούς σταθμούς ήταν 8,36. Στους σταθμούς SP1, SP2, SP3 η διαφορά μέγιστης και ελάχιστης τιμής δεν ξεπέρασε τη 1 μονάδα. Αντιθέτως, στους σταθμούς SP4 και SP5 η διαφορά αυτή ήταν 1,8 και 1,14 αντιστοίχως.

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.

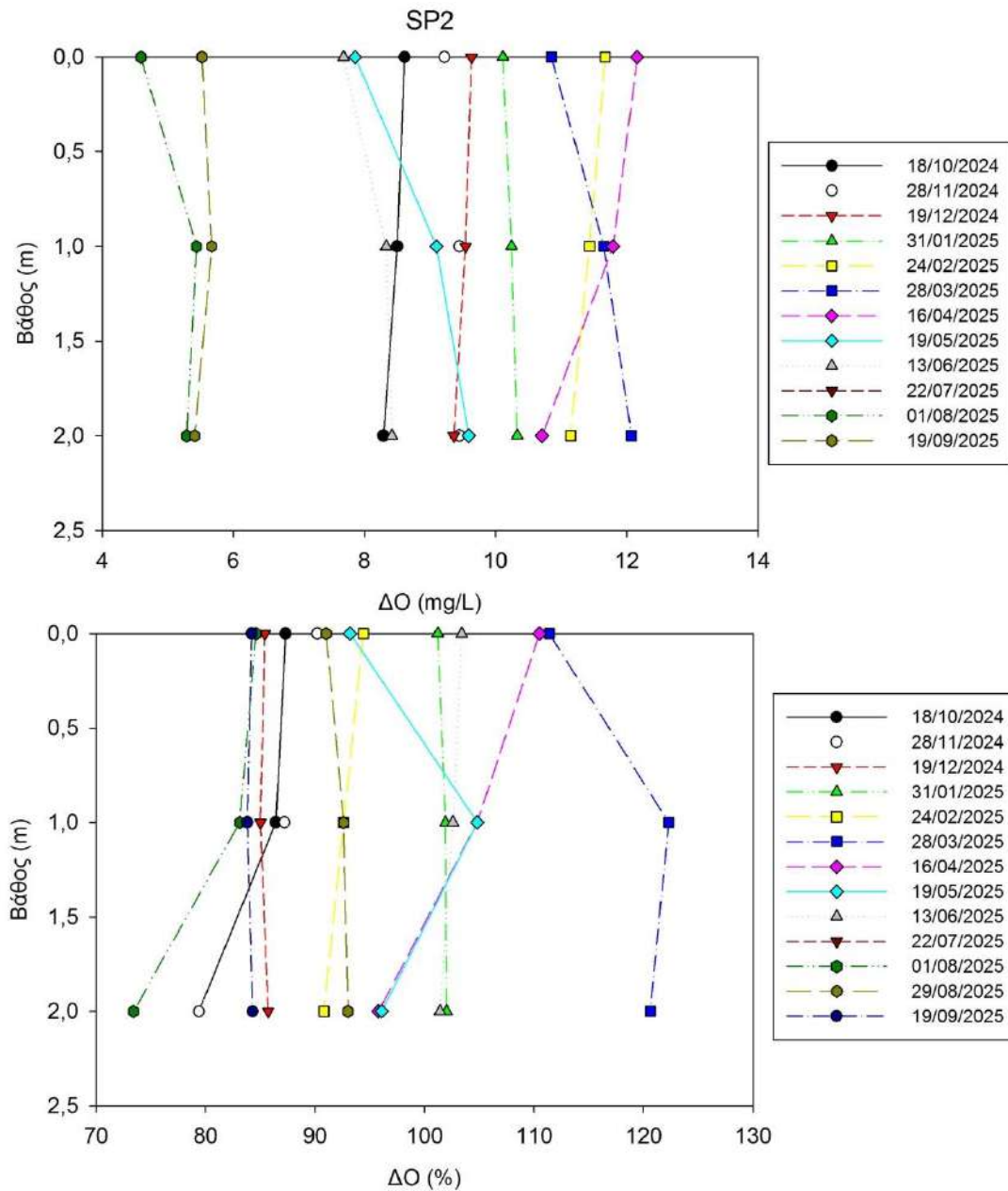
Δύο μάζες νερού έχουν ανιχνευθεί αναλόγως με την εποχή στον Όρμο του Θερμαϊκού: άναλο νερό από τους ποταμούς στο επιφανειακό στρώμα και αλμυρό νερό του Βόρειου Αιγαίου στα μεγαλύτερα βάθη (Kombiadou & Krestenitis 2012). Το εισερχόμενο άναλο νερό στην περιοχή, μαζί με την κυκλοφορία και τη στρωμάτωση,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

Ακολουθούν οι κατακόρυφες κατανομές της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στους πελαγικούς σταθμούς SP1- SP5, για την περίοδο Οκτώβριος 2024- Σεπτέμβριος 2025.



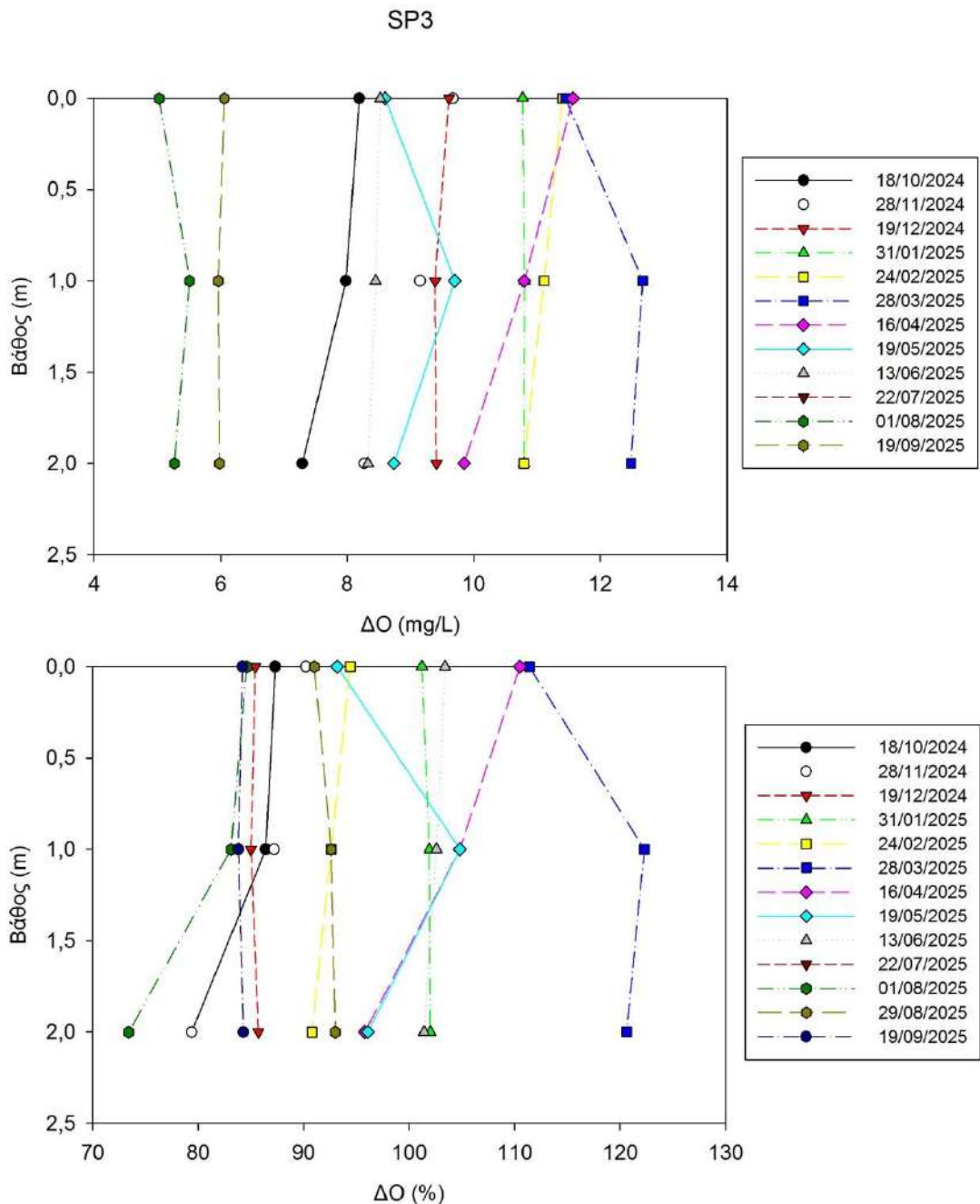
Εικόνα 21. Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP1.

Στον σταθμό SP1 τον Σεπτέμβριο 2025, ο κορεσμός % σε οξυγόνο μειώθηκε αξιοσημείωτα (<50%) στα βαθύτερα στρώματα.



Εικόνα 21. Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP2.

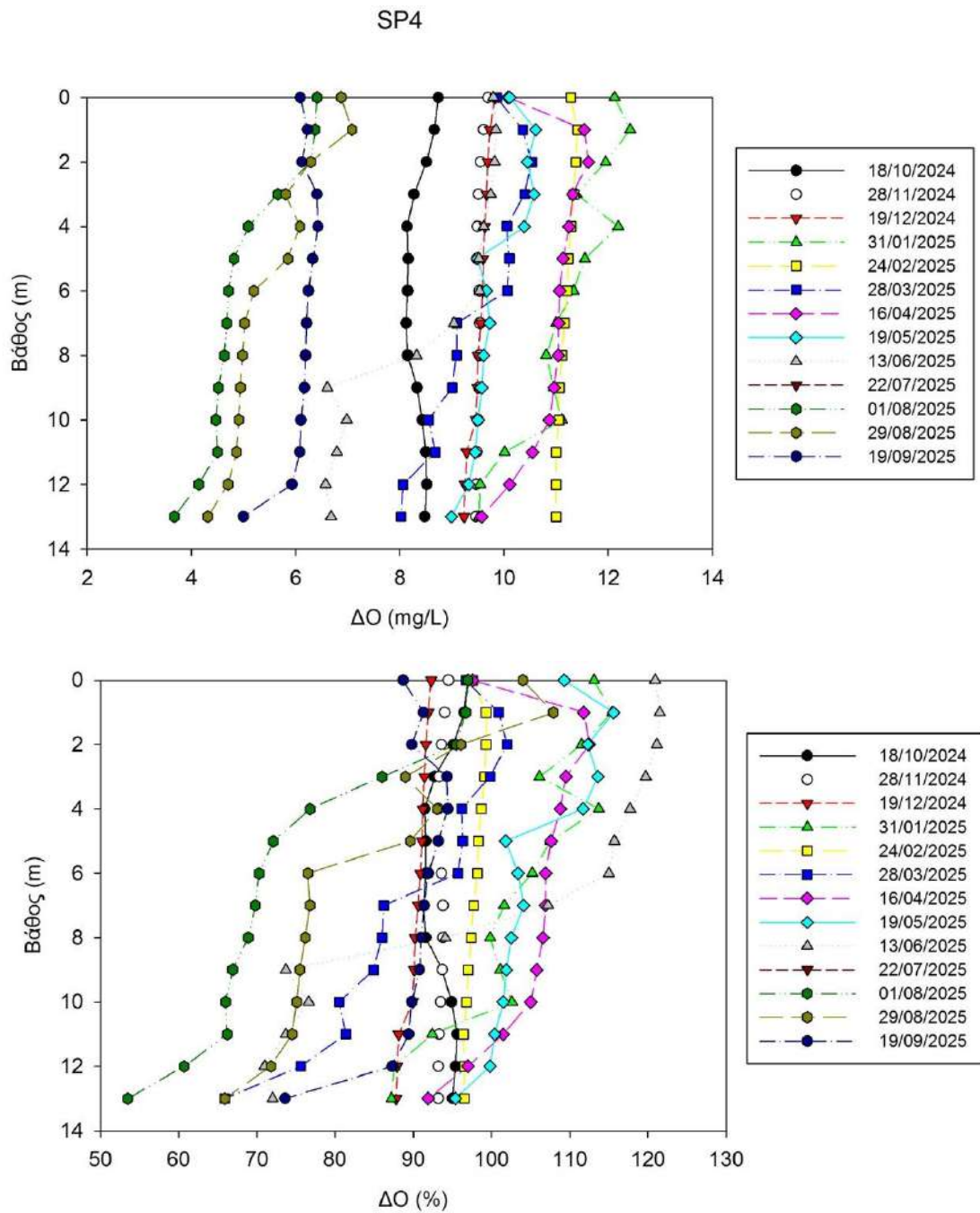
Στον ρηχό σταθμό απέναντι από τα αντλιοστάσια (SP2), οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις μετρήθηκαν τους θερμούς μήνες (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο).



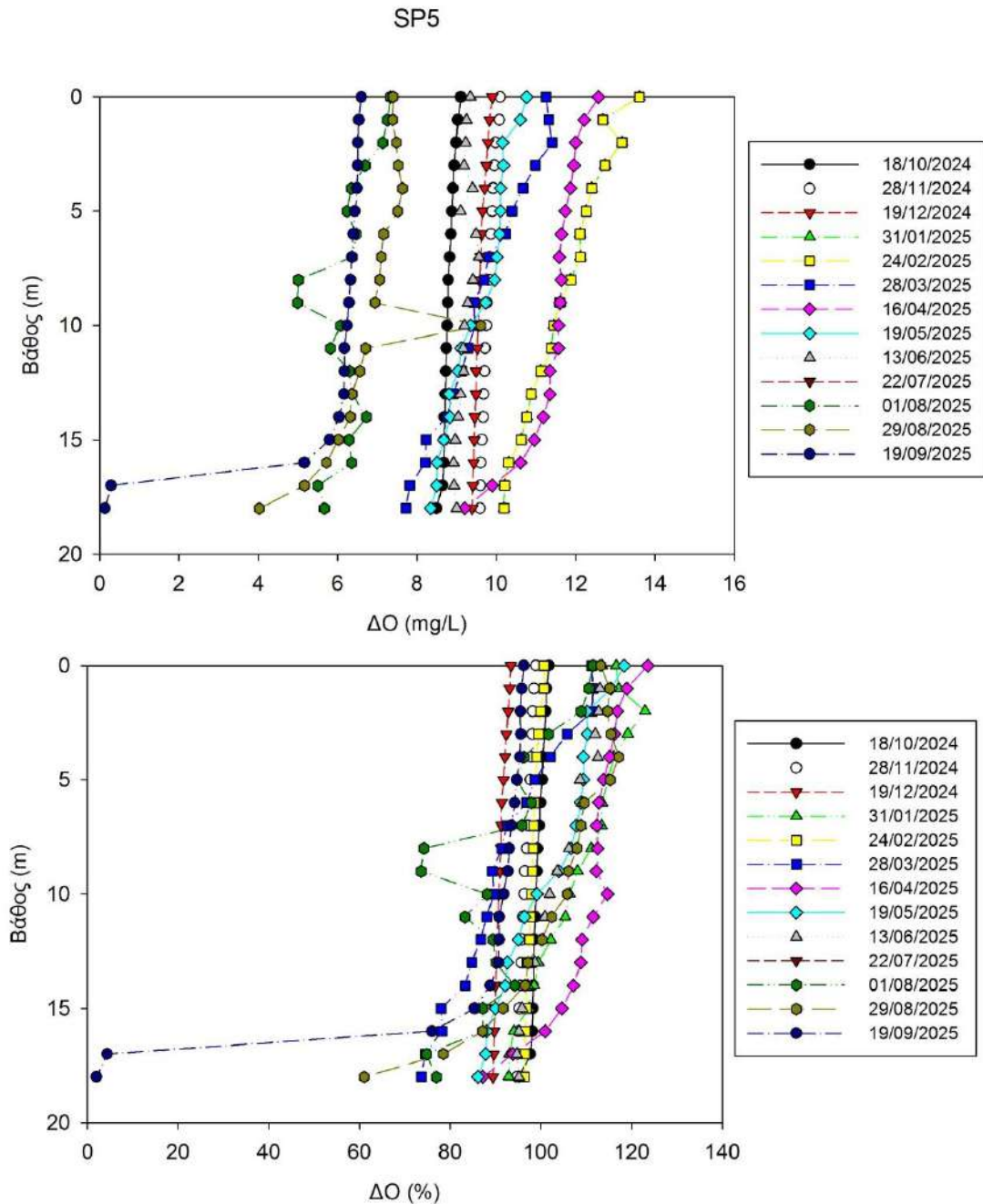
Εικόνα 23. Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP3.

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.

Στον σταθμό που βρίσκεται εντός του εμπορικού λιμανιού (SP4), τον Ιούλιο και τον Αύγουστο του 2025 η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου παρουσίασε έντονη μείωση στα βαθύτερα στρώματα.



Εικόνα 24. Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP4.



Εικόνα 25. Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP5.

Στον σταθμό που βρίσκεται στο κέντρο του όρμου της Θεσσαλονίκης (SP5), οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν τον Αύγουστο 2025 και τον Σεπτέμβριο 2025. Η μείωση ήταν εντονότερη βαθύτερα από τα 10m, με τιμές αρκετά οριακές για την υδάτινη πανίδα.

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 εμφάνισης θερμοκλινούς) και της αποικοδόμησης οργανικής ύλης, καθώς αυτή καθιζάνει από τα ανώτερα στρώματα. Στην περίπτωση του Όρμου της

Θεσσαλονίκης πιθανώς ο συνδυασμός των δύο αιτίων να προκαλεί την κατανάλωση των αποθεμάτων του διαλυμένου οξυγόνου.

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.

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.

4.2.5. Θρεπτικά ιόντα

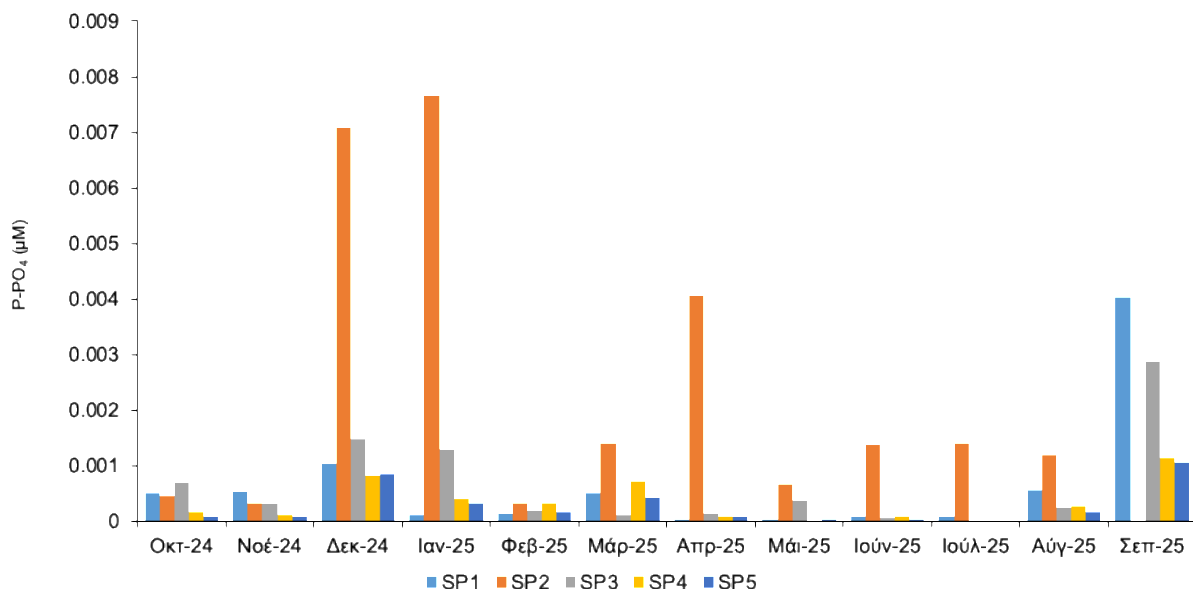
Για τη μελέτη της πρωτογενούς παραγωγικότητας μιας θαλάσσιας περιοχής, είναι αναγκαία η συλλογή δεδομένων για τα διαλυμένα ανόργανα άλατα (βλ. παλαιότερες τελικές εκθέσεις από το παρόν πρόγραμμα).

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 ένδειξη οργανικής ρύπανσης σε παράκτιες αστικές περιοχές. Η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών στους πελαγικούς σταθμούς (Εικ. 26) κυμάνθηκε από μη ανιχνεύσιμες τιμές (Ιούλιος 2025) έως 0,007 μM (Δεκέμβριος 2024, σταθμός SP2) και η μέση ετήσια τιμή στον όρμο ήταν 0,0008 μM . Η χαμηλότερη μέση μηνιαία για όλους τους σταθμούς ήταν 0,0002 μM (Μάιος 2025) και η υψηλότερη μέση μηνιαία ήταν 0,0023 μM , (Δεκέμβριος 2024).

Συγκρίνοντας το εύρος της συγκέντρωσης του φωσφόρου, ανεξαρτήτως σταθμού και εποχής, με προγενέστερες μετρήσεις, επιβεβαιώνονται οι ευμετάβλητες συνθήκες που επικρατούν στον Θερμαϊκό. Στο τέλος της δεκαετίας του '70 η συγκέντρωση του φωσφόρου (Friligos & Kousouris 1984) κυμάνθηκε σε 0,11-0,33 μM . Μια δεκαετία περίπου αργότερα οι Gotsis-Skretas & Friligos (1990) δημοσίευσαν για το 1984 συγκεντρώσεις που κυμάνθηκαν μεταξύ 0,10-3,71 μM (Δεκέμβριος 1984: 0,10-1,03 μM , Μάιος 1985: 0,18-3,71 μM , Σεπτέμβριος 1985: 0,14-0,88 μM) και στον Όρμο η μέγιστη συγκέντρωση των φωσφορικών ήταν 1,03 μM . Στη μελέτη του ΕΛΚΕΘΕ (1994) το εύρος συγκεντρώσεων ήταν 0,04-1,33 μM ενώ στην τελευταία μελέτη του (ΕΛΚΕΘΕ 2015) οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών στον Όρμο της Θεσσαλονίκης κυμάνθηκαν μεταξύ 0,112-0,336 μM (μέσες τιμές από τα 0, 10, 18 m βάθος).



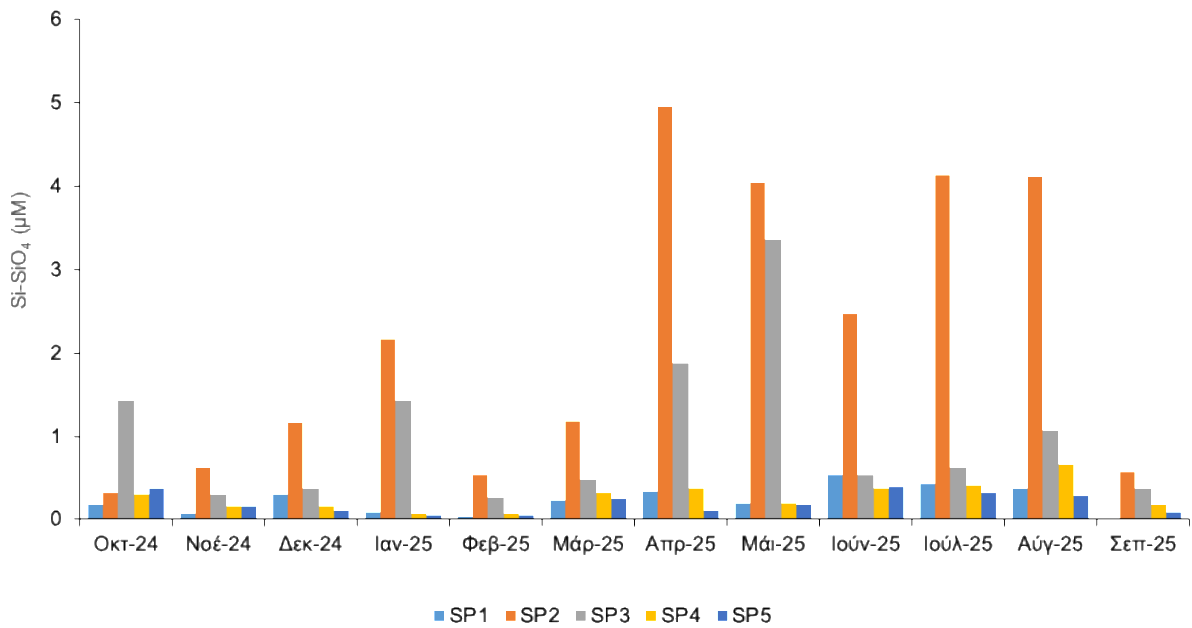
Εικόνα 26. Συγκέντρωση (μM) φωσφόρου (P-PO₄) στους πελαγικούς σταθμούς SP1-SP5 για την περίοδο Οκτώβριος 2024- Σεπτέμβριος 2025.

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 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 μεταξύ ήταν 0,018 και 4,95 μM (Εικ. 27). Η μέγιστη τιμή (4,95 μM) μετρήθηκε τον Απρίλιο 2025 στον ρηχό σταθμό που βρίσκεται στο Αντλιοστάσιο (SP2) και η ελάχιστη τον Σεπτέμβριο 2025 στον βαθύ σταθμό SP1. Γενικώς, η συγκέντρωση των πυριτικών ιόντων ήταν υψηλότερη κοντά στους ρηχούς σταθμούς, όπου διαχέονται οι εισροές άναλου νερού από το αντλιοστάσιο της Παλιομάννας (SP2) και τον Γαλλικό (SP3).

Η συγκέντρωση των πυριτικών ιόντων στον Θερμαϊκό, πριν από περίπου 40 έτη, κυμαινόταν μεταξύ 1,29-3,28 μM (Friligos & Kousouris 1984). Στα μέσα της δεκαετίας του '80 η συγκέντρωση μεταβλήθηκε από 0,39 έως 9,54 μM (Gotsis-Skretas & Friligos 1990). Την επόμενη δεκαετία, η συγκέντρωση των πυριτικών ιόντων στον Όρμο της Θεσσαλονίκης κυμάνθηκε μεταξύ 0,32-1,93 μM (ΕΛΚΕΘΕ 1994). Σε πιο πρόσφατη μελέτη του ΕΛΚΕΘΕ (2015), τα πυριτικά ιόντα στον Όρμο κυμάνθηκαν μεταξύ 2,6-10,6 μM (μέσες τιμές από 0, 10, 18 m βάθος).

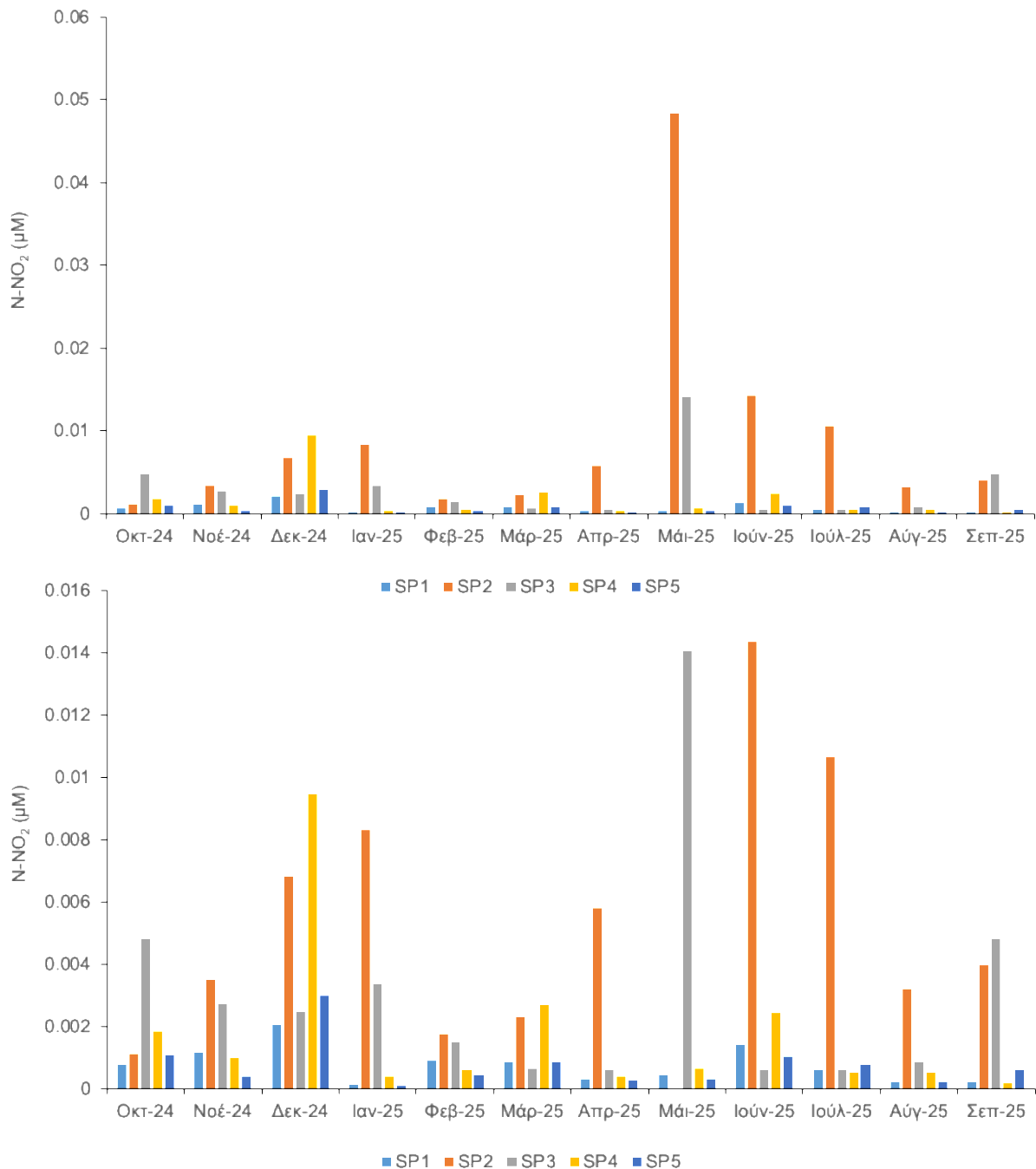


Εικόνα 27. Συγκέντρωση (μM) των πυριτικών ιόντων (SiO_4) στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για την περίοδο Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025.

Κατά τα τελευταία σαράντα έτη φαίνεται ότι η συγκέντρωση των πυριτικών στον Θερμαϊκό παρουσίασε πτωτική τάση, χωρίς όμως συγκεκριμένη χωρική και χρονική κατανομή. Η διαθεσιμότητα του πυριτίου επηρέαζε σε μεγάλο βαθμό την αύξηση και ανάπτυξη των διατόμων (Tréguer *et al.* 1995). Τα πυριτικά ιόντα προέρχονται από τη διάβρωση των πυριτικών ορυκτών και εισέρχονται στη θάλασσα κυρίως διαμέσου της παροχής των ποταμών και δευτερευόντως δια μέσου της αερομεταφερόμενης σκόνης (Parush & Danielsson 2006). Κατ' επέκταση, η πτωτική τάση στον Θερμαϊκό πιθανώς οφείλεται στη μείωση των φορτίων των ποταμών, ως αποτέλεσμα της λειτουργίας των φραγμάτων ή/και στην άνοδο του ευτροφισμού (τροφικού επιπέδου) του Θερμαϊκού.

4.2.5.3. Άζωτο: νιτρώδη - νιτρικά - αμμωνιακά

Η υψηλότερη συγκέντρωση νιτρωδών (0,049 μM) μετρήθηκε τον Μάιο 2025 στον ρηχό σταθμό SP2, ενώ η χαμηλότερη (0,000103 μM) τον Ιανουάριο 2025 στον βαθύ σταθμό SP5 (Εικ. 28). Η υψηλή τιμή 0,048 μM του σταθμού SP2 (άναλο νερό Αντλιοστασίου) επηρεάζει τη γενική εικόνα του όρμου αναφορικά με τη συγκέντρωση των νιτρωδών ιόντων.



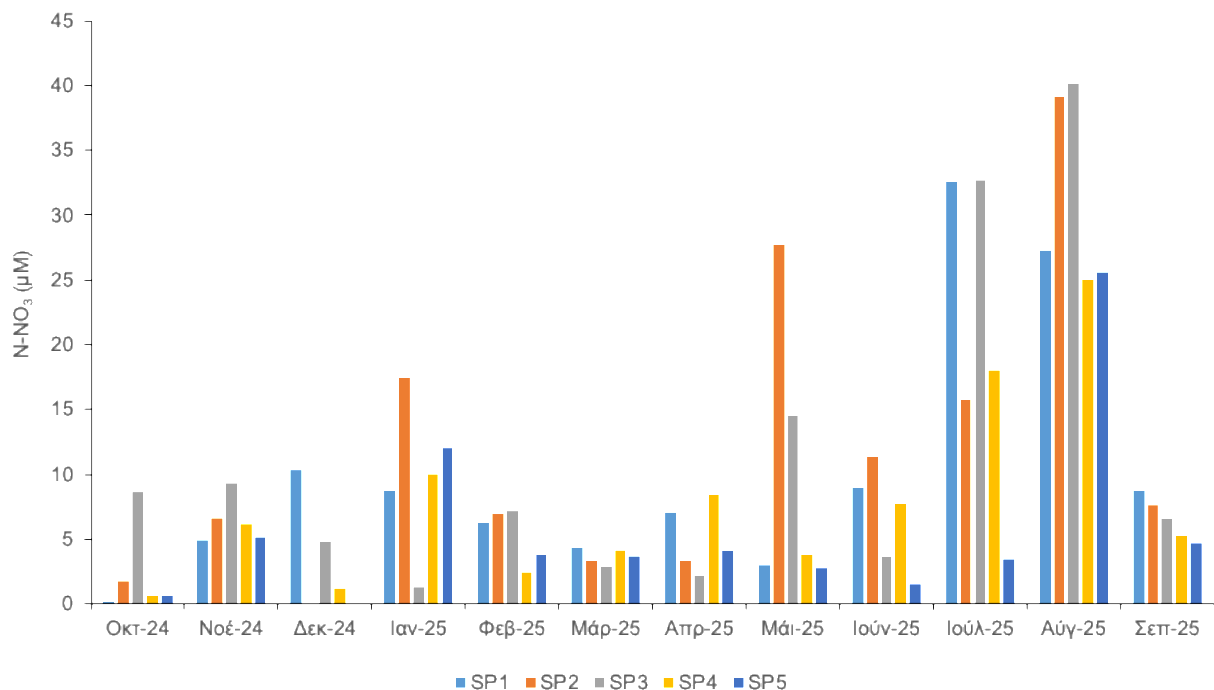
Εικόνα 28. α) Κατανομή της συγκέντρωσης (μM) αζώτου νιτρικών ιόντων στους πελαγικούς σταθμούς. β) Η κατανομή χωρίς την υψηλή τιμή στο SP2-Μάιος (περίοδος Οκτώβριος 2024-Σεπτέμβριος 2025)

Στους σταθμούς SP2, SP2 και SP4 παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις καθ' όλο το έτος. Στους σταθμούς αυτούς αναγνωρίζονται βασικές πηγές νιτρικών, όπως οργανικά απόβλητα, λιπάσματα, αμμωνία. Τα νιτρικά καταστρέφονται πρώτον από την οξείδωση σε νιτρικά ή την αναγωγή σε αμμωνία από την ηλιακή ακτινοβολία και το βακτηριακό μεταβολισμό, και δεύτερον, μεταβολίζονται από το φυτοπλαγκτό. Έτσι, η κατανομή τους στον Θερμαϊκό μπορεί να συνδεθεί με παράγοντες όπως βακτήρια, φυτοπλαγκτό, ζωοπλαγκτό, τη θερμοκρασία, την ηλιακή ακτινοβολία, τη συγκέντρωση του οξυγόνου, την πυκνότητα και κυκλοφορία του νερού κλπ.

Η συγκέντρωση των νιτρικών στο τέλος της δεκαετίας του '70 κυμάνθηκε μεταξύ 0,06-0,31 μM (Friligos & Koussouris 1984), ενώ την επόμενη δεκαετία, σύμφωνα με τους Gotsis-Skretas, Friligos

(1990), παρατηρήθηκε μικρή αύξηση: τον Δεκέμβριο 1984 ήταν 0,04-1,02 μM , τον Μάιο 1985 ήταν 0,06-0,57 μM και τον Σεπτέμβριο 1985 ήταν 0,01-0,26 μM . Στον Όρμο της Θεσσαλονίκης η υψηλότερη συγκέντρωση ήταν 1,02 μM . Κατά την ωκεανογραφική μελέτη του ΕΛΚΕΘΕ (1994), η συγκέντρωση των νιτρικών στον βόρειο Θερμαϊκό κυμάνθηκε μεταξύ 0,03-0,43 μM και την επόμενη δεκαετία η συγκέντρωση κυμάνθηκε μεταξύ 0,12-2,104 μM (μέσες τιμές από 0, 10, 18 m βάθος) (ΕΛΚΕΘΕ 2015). Παρατηρείται γενικά μείωση στη συγκέντρωση των νιτρικών, με εξαίρεση το έτος 2015.

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων για την περίοδο Οκτώβριο 2024 – Σεπτέμβριο 2025 (Εικ. 29) παρουσίασε έντονη μεταβολή από 0,16 μM έως 40,11 μM , με την υψηλότερη τιμή του έτους να παρατηρείται τον Αύγουστο 2025 στον σταθμό SP3 και τη χαμηλότερη τον Οκτώβριο 2025 στον σταθμό SP1 (Εικ. 29).

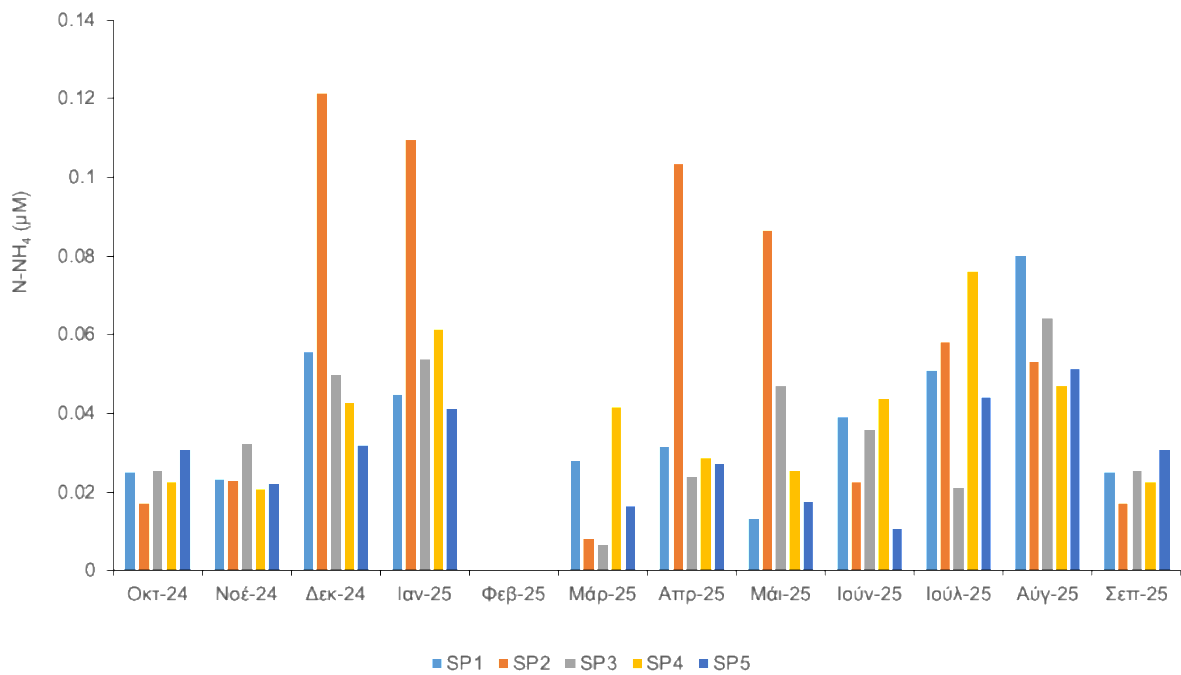


Εικόνα 29. Συγκέντρωση (μM) αζώτου νιτρικών (N-NO_3) στους πελαγικούς σταθμούς για την περίοδο Οκτώβριος 2024- Σεπτέμβριος 2025.

Πριν σχεδόν σαράντα έτη (Σεπτέμβριος 1977, Friligos & Kousouris, 1984), οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στο εσωτερικό του Θερμαϊκού κυμαίνονταν σε ένα μεγάλο εύρος μεταξύ 0,40-2,92 μM . Στη συνέχεια, οι Gotsis-Skretas & Friligos 1990 καθόρισαν ακόμα μεγαλύτερο εύρος συγκεντρώσεων και συγκεκριμένα τον Δεκέμβριο 1984 η συγκέντρωση μεταβλήθηκε μεταξύ 0,11-6,70 μM , τον Μάιο 1985 μεταξύ 0,07-5,80 μM και τον Σεπτέμβριο 1985 0,11-1,00 μM . Η έντονη διακύμανση των συγκεντρώσεων των νιτρικών, όπως και των λοιπών θρεπτικών ιόντων φαίνεται ακόμα καλύτερα στις μετρήσεις του ΕΛΚΕΘΕ (1994), οπότε το εύρος ήταν μεταξύ 0,06-3,50 μM ενώ 20 έτη αργότερα (ΕΛΚΕΘΕ 2015) οι συγκεντρώσεις εμφανίστηκαν χαμηλότερες (0,25-0,976 μM).

Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών (Εικ. 30) κυμάνθηκαν μεταξύ 0,0068 (SP3, Μάρτιος 2025) και 0,12 μM , (SP2, Δεκέμβριο 2024) (Εικ. 30).

Πριν σαράντα σχεδόν έτη (Σεπτέμβριος 1977) το εύρος των συγκεντρώσεων των αμμωνιακών ιόντων στον εσωτερικό Θερμαϊκό ήταν σχεδόν οκτώ φορές υψηλότερο, συγκεκριμένα κυμάνθηκε μεταξύ 0,40-5,00 μM (Friligos *et al.* 1984). Την επόμενη δεκαετία (Gotsis-Skretas & Friligos 1990) παρατηρήθηκε επίσης μεγάλη διακύμανση οπότε το εύρος των συγκεντρώσεων στο έτος ήταν από 0,20 έως 1,83 μM τον Δεκέμβριο (1984), τον Μάιο (1985) από 0,49 έως 16,7 μM και τον Σεπτέμβριο (1985) από 0,06 έως 1,52 μM . Η συγκέντρωση των αμμωνιακών στο μέσο της δεκαετίας του '90 προσδιορίστηκε από 0,09 έως 2,88 μM (ΕΛΚΕΘΕ 1994). Εικοσιπέντε έτη από τη λειτουργία της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, η ελάχιστη (0,012 μM) και η μέγιστη (0,71 μM) τιμή ήταν από τις χαμηλότερες που έχουν ανιχνευθεί.



Εικόνα 30. Συγκέντρωση (μM) αζώτου αμμωνιακών στους πελαγικούς σταθμούς για την περίοδο Οκτώβριος 2024- Σεπτέμβριος 2025.

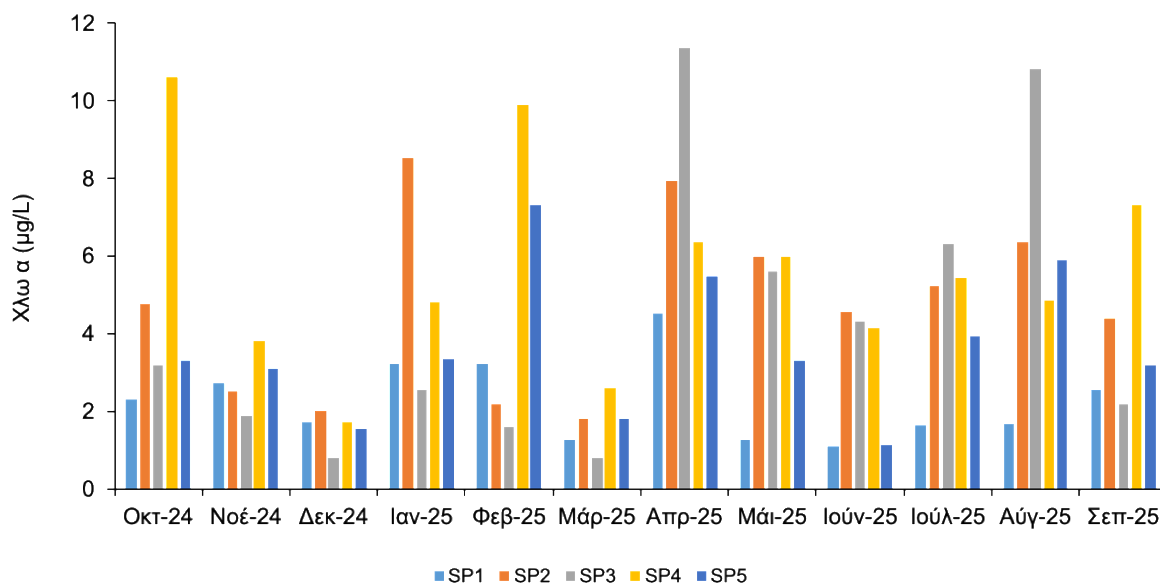
4.3. Βιολογικές παράμετροι

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).

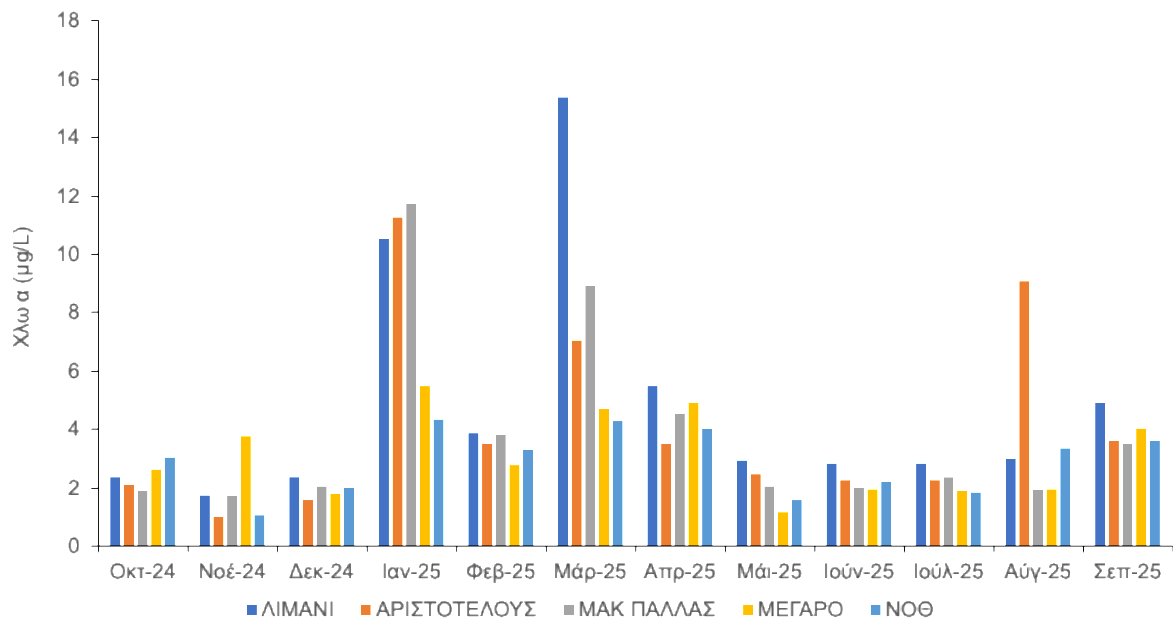
Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5), κυμάνθηκε από 0,81 (SP3) έως 11,38 μg/L (SP3). Η χαμηλότερη τιμή μετρήθηκε τον Δεκέμβριο 2024 και η υψηλότερη τον Απρίλιο 2025.

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 Απρίλιο 2025 (7,15 μg/L) και η χαμηλότερη τον Δεκέμβριο 2024 (1,59 μg/L).



Εικόνα 31. Συγκέντρωση χλωροφύλλης α (μg/L) στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για την περίοδο Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025.

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 Οκτώβριος 2024 - Σεπτέμβριος 2025.

Στους παράκτιους σταθμούς η μεταβολή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης α δεν παρουσιάζει σταθερή χρονική και χωρική τάση, λόγω του μικρού βάθους και της υδροδυναμικής των παράκτιων σταθμών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι υψηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης α που μετρήθηκαν στους παράκτιους σταθμούς είναι τυπικές ευτροφικών υδάτων, ενώ ορισμένες τιμές αναφέρονται και σε υψηλά μεσότροφα νερά.

4.3.2. Φυτοπλαγκτό

Καταγράφηκαν 38 γένη διατόμων (Baccillariophyceae) και 36 δινοφυκών (Dinophyceae), επίσης γένη ευγληνοφυκών (Euglenophyceae), κρυπτοφυκών (Cryptophyceae), δικτυοχοφυκών (Dictyochophyceae) και κυανοβακτηρίων (Cyanobacteria).

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

Baccillariophyceae

Asterionellopsis spp.
Asteromphalus spp.
Bacillaria spp.
Bacteriastrum spp. (cells)
Chaetoceros spp.
Coscinodiscus spp.
Cylindrotheca closterium/ Nitzschia longissima
Dactyliosolen spp.
Dactyliosolen spp./ Guinardia spp.
Ditylum spp.
Eucampia spp.
Fragilaria spp.
Guinardia flaccida
Guinardia spp.
Guinardia spp.
Helicotheca spp.
Hemiaulus spp.
Leptocylindrus spp.
Lioloma spp.
Meuniera membranacea
Navicula spp.
Naviculales
Nitzschia spp./ Pseudo-nitzschia spp.
Nitzschia spp./Pseudo-nitzschia spp.
Odontella spp./ Trieres spp.
Pleurosigma spp.
Proboscia spp.
Proboscia spp. (big)
Pseudo-nitzschia spp.
Pseudosolenia calcar-avis
Rhizosolenia spp.
Rhizosolenia spp. (big)
Skeletonema spp.
Striatella spp.
Thalassionema spp.
Thalassiosira spp./ Stephanodiscaceae

Dinophyceae

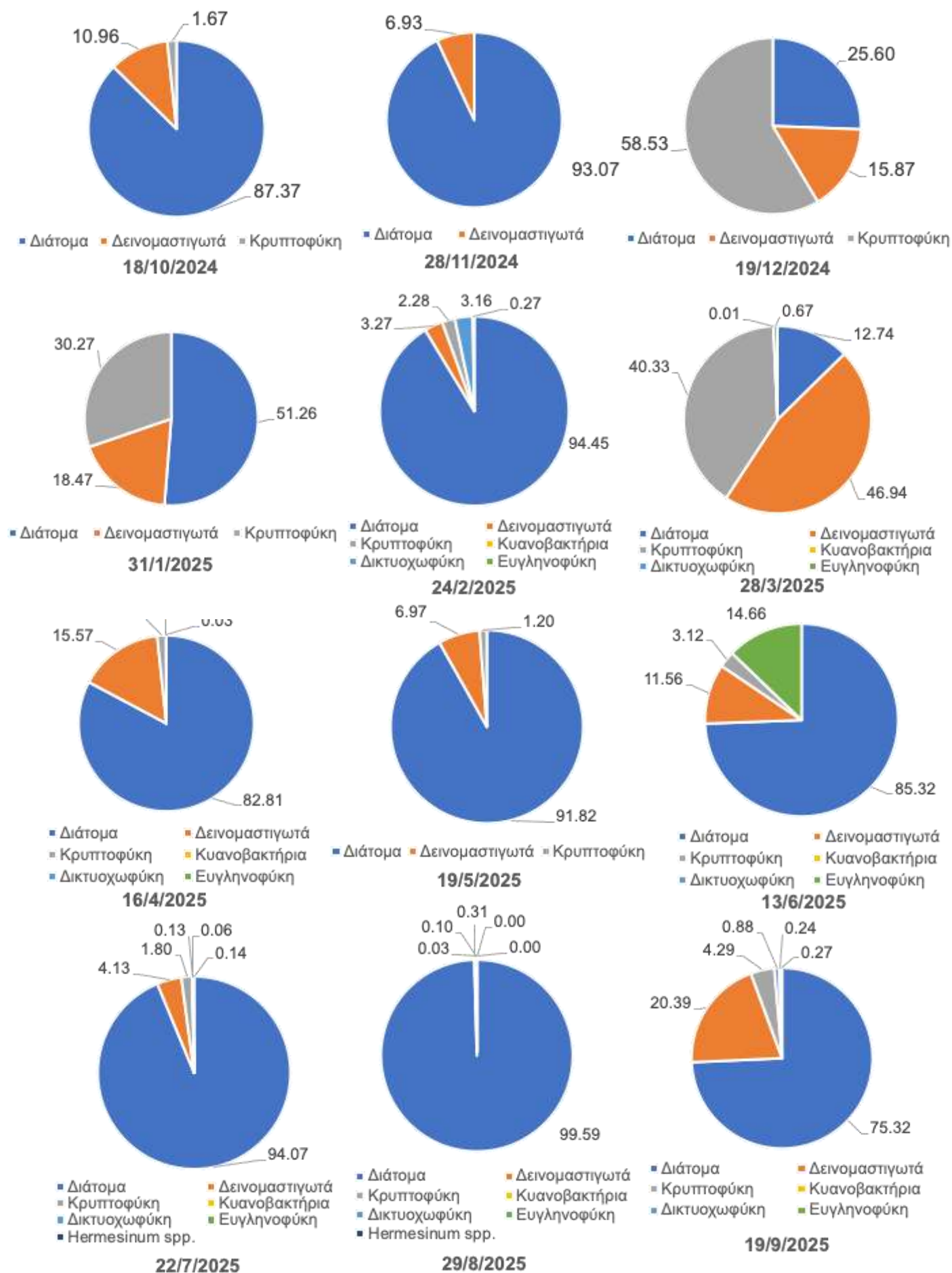
Akashiwo sanguinea
Ceratoperidinium falcatum
Dinophysis caudata
Brachidinium spp.
Dinophysis spp.
Diplopsalidae
Gonyaulax spp.
Gymnodinium spp.
Gyrodinium spp.
Heterocapsa spp.
Karenia spp.
Karlodinium spp.
Katodinium spp.
Lessardia spp.
Noctiluca scintillans
Oxyphysis spp.
Oxytoxum spp.
Phalacroma rotundata
Phalacroma rotundatum
Podolampas spp.
Polykrikos spp.
Prorocentrum compressum
Prorocentrum dentatum
Prorocentrum micans/gracile
Prorocentrum rathymum
Prorocentrum triestinum
Proto-peridinium spp.
Roscoffia spp.
Scrippsiella spp.
Torodinium spp.
Tripos spp.
Warnowia spp.

Euglena spp.

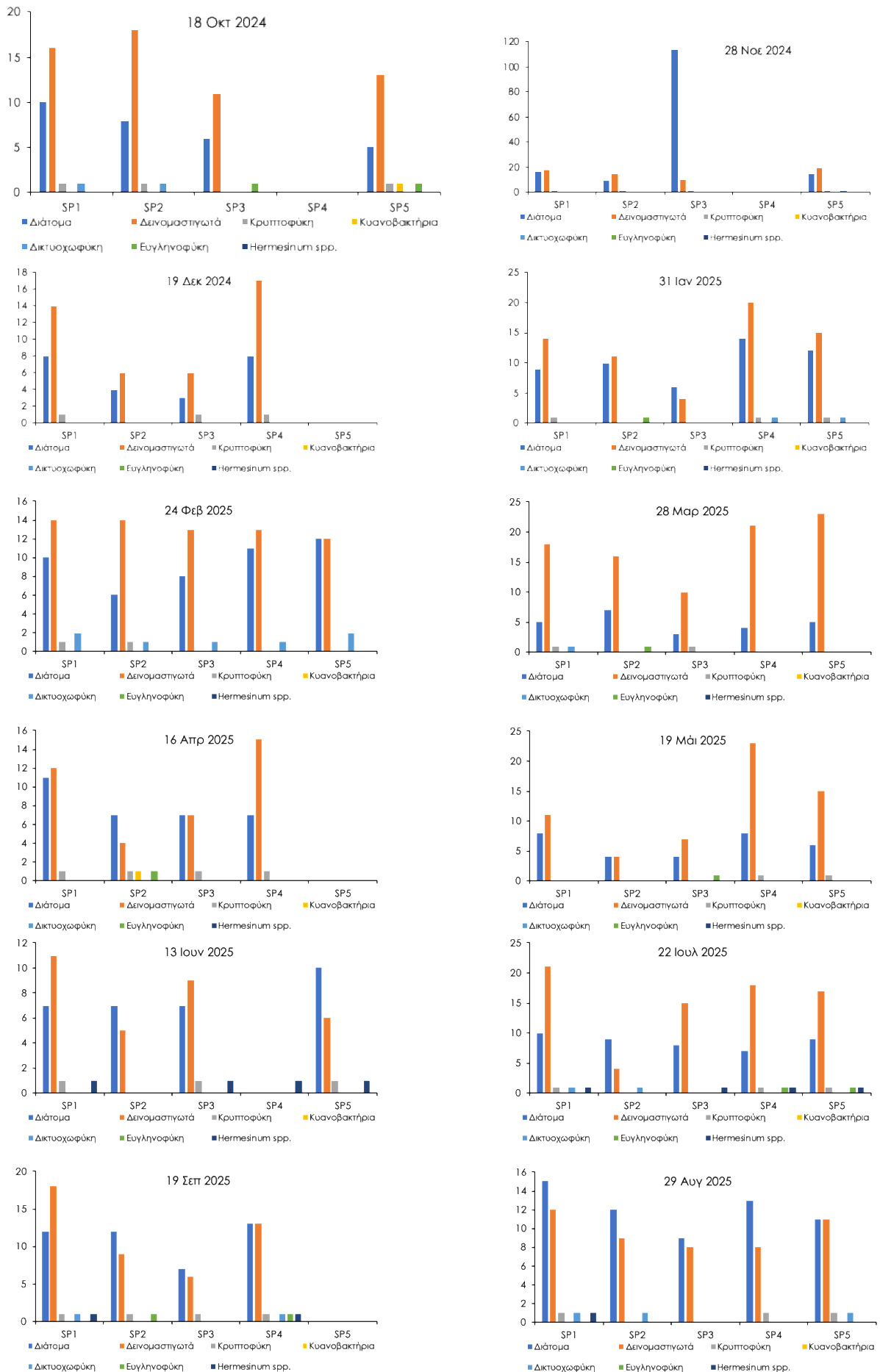
Hermesinum spp.

Cyanobacteria

Dictyochophyceae



Εικόνα 34. Κατανομή της αφθονίας (%) επικρατουσών κλάσεων.



Εικόνα 35. Κατανομή του πλήθους taxa ανά σταθμό.

Η συνολική αφθονία των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών στον όρμο της Θεσσαλονίκης (πελαγικοί σταθμοί), κυμάνθηκε μεταξύ $1,5 \times 10^5$ και 73×10^6 κύτταρα/L. Η χαμηλότερη τιμή συνολικής αφθονίας από όλους τους σταθμούς καταγράφηκε τον Δεκέμβριο 2024 και η υψηλότερη τον Αύγουστο 2025. Η χρονική κατανομή της αφθονίας παρουσίασε μέγιστη αύξηση κατά τη θερμή περίοδο. Το ποσοστό συμμετοχής των διατόμων στη συνολική βιομάζα παρουσίασε μέγιστη τιμή (99,59%) τον Αύγουστο 2025 και ελάχιστη τον Μάρτιο 2025 (12,74%) (Εικ. 34). Η ελάχιστη αφθονία των δεινομαστιγωτών προσδιορίστηκε τον Δεκέμβριο 2024 (18,87%) και η μέγιστη τον Μάρτιο 2025 (46,93%) (Εικ. 33). Εκτός από τα δείγματα του Δεκεμβρίου 2024 και του Μαρτίου 2025, οπότε και κυριάρχησαν τα κρυπτοφύκη, τα διάτομα ήταν η πολυπληθέστερη κλάση σε όλα τα υπόλοιπα δείγματα.

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, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες εμφανίστηκε το φαινόμενο του θερμοκλινούς, με τη διαφορά θερμοκρασίας στη στήλη του νερού (μεταξύ της επιφάνειας και των βαθύτερων στρωμάτων) να φτάνει μεταξύ $6,5^\circ \text{C} - 8^\circ \text{C}$. Στους δύο ρηχούς σταθμούς (SP2 και SP3), αλλά και στους παράκτιους (LP1- LP5), η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας δεν παρουσίασαν συγκεκριμένη τάση, γεγονός που πιθανώς να οφείλεται στο μικρό βάθος τους.

Στη στήλη του νερού, σε όλους τους σταθμούς, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου παραμένει σε ικανοποιητικές συγκεντρώσεις και δεν παρατηρήθηκαν συνθήκες έλλειψης οξυγόνου. Με εξαίρεση σε βάθη πολύ κοντά ή στην επιφάνεια του πυθμένα, στους βαθύτερους σταθμούς SP1, SP4 και SP5, κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο του 2025, καταγράφηκαν χαμηλές τιμές οξυγόνου ($<5 \text{mg/l}$), ενώ τον Σεπτέμβριο του 2025 στο SP1 και SP5 μετρήθηκαν οριακές τιμές διαλυμένου οξυγόνου ($<3 \text{mg/l}$) στα δύο τελευταία μέτρα κοντά στον πυθμένα. Τα φυσιολογικά επίπεδα επανήλθαν στις επόμενες μετρήσεις, οπότε και δεν αποτελούν ένδειξη επικίνδυνων συνθηκών, χρήζουν ωστόσο παρακολούθησης.

Ως προς τη συγκέντρωση των φωσφορικών και των πυριτικών, στους δυτικούς σταθμούς κοντά στο αντλιοστάσιο και στην εκβολή του Γαλλικού ποταμού (αβαθή SP2 και SP3) παρουσιάζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις, ενδεχομένως λόγω των απορροών των ποταμών και εκπτώσεων των καλλιεργούμενων εδαφών. Ωστόσο, κατά την τρέχουσα περίοδο καταγράφηκαν και ορισμένες υψηλές τιμές και στους υπόλοιπους 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 Μάρτιο 2025 στο κέντρο του όρμου της Θεσσαλονίκης.

Καταγράφηκαν περισσότερα από 90 γένη θαλάσσιων φυτοπλαγκτονικών οργανισμών. Τα δινοφύκη επικρατούν στον αριθμό taxa ενώ τα διάτομα σε αφθονία, τους περισσότερους μήνες.

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

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

Παράμετρος	Ολιγοτροφική	Κατώτερη μεσοτροφική	Υψηλή μεσοτροφική	Ευτροφική	1975-1976 (Frigios <i>et al.</i> 1982)	1984-1985 (Gotsis-Scretas <i>et al.</i> 1990)	1992-1993 (ΕΛΚΕΘΕ 1994)	2024-2025
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	4,5 – 18,0
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	1,2 - 34,7
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	0,015 - 0,058
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	0,0002-0,002
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 Societ.*
- Friligos N and T. Kousouris. 1984. Preliminary observations on sewage nutrient enrichment and phytoplankton ecology in the Thermaikos Gulf, Thess., 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.
- Kim, H.-G., Park, J.-S. & Lee, S.-G. (1990). Coastal Algal Blooms Caused by the Cyst-Forming Dinoflagellates. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 23(6), pp. 468-474.
- 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.
- Ruiz, G.M., Carlton J.T., Grosholz, E.D., & Hines A.H. (1997). Global Invasions of Marine and Estuarine Habitats by Non-Indigenous Species: Mechanisms, Extent, and Consequences. *American Zoologist*, 37, 621–32.
- Shin, H.H., Yoon, Y.H., Kim, Y.O., & Matsuoka, K. (2011). Dinoflagellate Cysts in Surface Sediments from Southern Coast of Korea. *Estuaries and Coasts*, 34 (4), 712–725. <http://dx.doi.org/10.1007/s12237-011-9373-y>
- 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, Xiping 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.
- 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.