

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΣΥΜΒΑΣΗ  
ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

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

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2017-2019

## **ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**

ΦΟΡΕΑΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ: ΔΗΜΟΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ



ΦΟΡΕΑΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ: ΜΟΥΣΕΙΟ ΓΟΥΛΑΝΔΡΗ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ  
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΒΙΟΤΟΠΩΝ - ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ



ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2019

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 στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) .....	10
4.2. Φυσικοχημικές παράμετροι στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5).....	12
4.2.1. Θερμοκρασία .....	12
4.2.2. Αγωγιμότητα.....	17
4.2.3. pH.....	27
4.2.4. Κορεσμός σε διαλυμένο οξυγόνο (%) .....	29
4.2.5. Θρεπτικά ιόντα .....	34
4.2.6 Οργανικοί ρύποι .....	41
4.4. Βιολογικές παράμετροι στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5).....	44
4.4.1. Χλωροφύλλη α.....	44
5. Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα .....	46
6. Βιβλιογραφία .....	47

## 1. Εισαγωγή

Το παρόν αποτελεί αναφορά αποτελεσμάτων των δειγματοληψιών και εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της Προγραμματικής Συμβάσεων με Αρ. 81415/23.07.2018, οι οποίες αφορούν στη συνεργασία μεταξύ του Τμήματος Περιβαλλοντικών Δράσεων του Δήμου Θεσσαλονίκης και του Μουσείου Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας / Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων - Υγροτόπων (ΕΚΒΥ) για την υλοποίηση του Έργου «*Έλεγχος και Παρακολούθηση της ποιότητας της θάλασσας στον Όρμο της Θεσσαλονίκης*» (περίοδος Αύγουστος 2018 – Ιούλιος 2019). Συμπληρωματικά δίνονται αποτελέσματα της περιόδου Ιανουάριος 2017- Οκτώβριος 2017 από δειγματοληψίες που πραγματοποίησε το ΕΚΒΥ στον Όρμο Θερμαϊκού.

Τόσο η Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα<sup>1</sup> όσο και η Οδηγία για τη Θαλάσσια Στρατηγική<sup>2</sup> 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 πρότινος 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.λπ.) 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 ωστόσο, 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. Περαιτέρω, το Έργο έχει στόχο τη συνεργασία, τη μεταφορά τεχνογνωσίας και την εκπαίδευση των

---

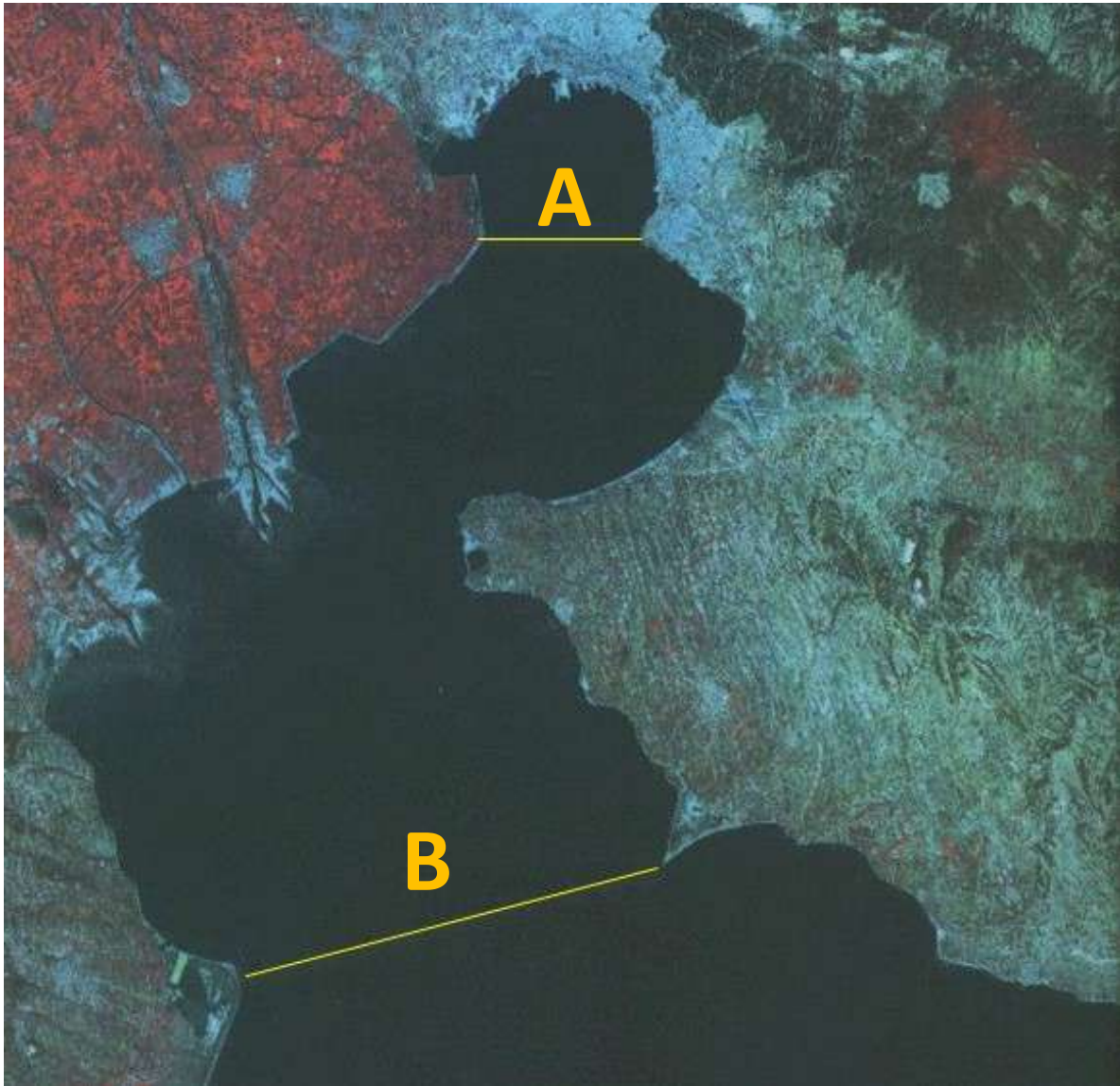
<sup>1</sup> Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (Οδηγία 2000/60/ΕΕ) έχει στόχο την επίτευξη της καλής οικολογικής κατάστασης όλων των επιφανειακών υδάτων (παράκτιων, μεταβατικών, λιμνών, ποταμών) των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το έτος 2015.

<sup>2</sup> 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.

στελεχών του Τμήματος Περιβαλλοντικών Δράσεων του Δήμου Θεσσαλονίκης ώστε το εργαστήριο που βρίσκεται στην αρμοδιότητα του Τμήματος να λειτουργεί αξιόπιστα και αποτελεσματικά.

## **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.



**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. Τα φαινόμενα αυτά συνδέονται με τις μεταβολές των φορτίων των θρεπτικών ουσιών, των ρύπων και των αιωρούμενων στερεών.

### 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 πρόσφατες μετρήσεις (κοινά σημεία με το πρόγραμμα Black Sea Basin 2007-2013, Προγραμματική Σύμβαση με Αρ. 20167), αλλά και από παλαιότερες μελέτες. 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 υπόλοιπα 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.

Πηγή: Google Earth, 2016

## **3.2. Δειγματοληψίες**

Οι δειγματοληψίες στα προκαθορισμένα σημεία μέτρησης υλοποιούνται από την επιστημονική ομάδα του ΕΚΒΥ σε συνεργασία με στελέχη του Τμήματος Περιβαλλοντικών Δράσεων. Τα δείγματα μεταφέρονται στο εργαστήριο του ΕΚΒΥ και στο εργαστήριο του Τμήματος Περιβαλλοντικών Δράσεων 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 σταθμούς (SP) πραγματοποιείται την ίδια μέρα. Η συλλογή των δειγμάτων από τους παράκτιους σταθμούς (LP) πραγματοποιείται συνήθως με διαφορά μίας έως δύο ημερών από τη δειγματοληψία των πελαγικών σταθμών, ώστε να περιορίζεται το στοιχείο της μεταβολής των επικρατούντων συνθηκών που είναι δυνατόν να επηρεάζουν κάποιες παραμέτρους π.χ. διαφάνεια στήλης νερού, κυματισμό κ.λπ.

## **3.3. Παράμετροι παρακολούθησης**

### **3.3.1. Μετρήσεις στο πεδίο**

Κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών πραγματοποιούνται τα ακόλουθα:

- Προσδιορισμός εύφωτης ζώνης με τον δίσκο του Secchi και μέγιστου βάθους σημείου δειγματοληψίας.
- Μέτρηση, με τη χρήση πολυπαραμετρικού οργάνου (Aquaread Aquameter AM-200), θερμοκρασίας του νερού, αλατότητας, αγωγιμότητας, pH, συγκέντρωσης (mg/L) και κορεσμού (%) διαλυμένου οξυγόνου σε ολόκληρη τη στήλη του νερού (ανά μέτρο). Από τον Ιούλιο έως το τέλος του έτους, λόγω βλάβης του πολυπαραμετρικού οργάνου, μετρήθηκαν ανά μέτρο μόνο ο κορεσμός και η συγκέντρωση του οξυγόνου. Οι υπόλοιπες παράμετροι μετρήθηκαν στην επιφάνεια (1,5-2 m).
- 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.
- Από κάθε πελαγικό σημείο συλλέγεται από την εύφωτη ζώνη ένα ενιαίο δείγμα νερού (ποσοτικό δείγμα – συντήρηση με Lugol) για τον προσδιορισμό φυτοπλαγκτικών οργανισμών σε επίπεδο γένους και τη μέτρηση της αφθονίας, στο εργαστήριο.

Η απουσία όποιων 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 σε κάθε σταθμό προσδιορίζονται οι ακόλουθες παράμετροι:

- 1) Τα ιόντα αζώτου νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ), νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) και αμμωνιακά ( $\text{NH}_4^+$ ), τα ορθοφωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{+3}$ ) και τα πυριτικά ιόντα ( $\text{SiO}_4^{-3}$ ).
- 2) Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α.
- 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.* (1975 & 1976) (αμμωνιακό άζωτο).

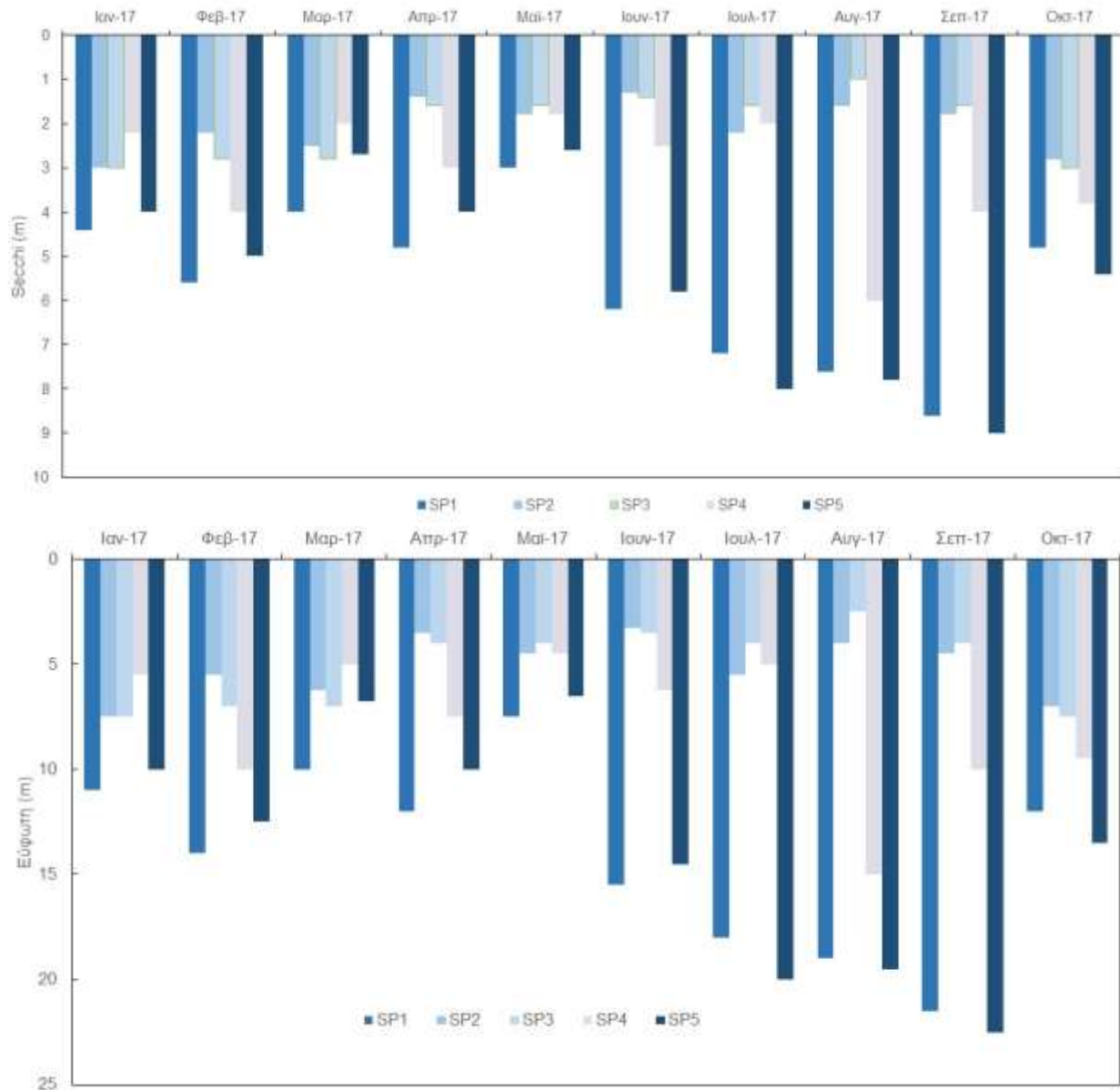
Ο προσδιορισμός της χλωροφύλλης α πραγματοποιείται με εκχύλιση από τους ηθμούς σε διάλυμα 90% ακετόνης με κορεσμένο διάλυμα  $\text{MgCO}_3$  (1% w/v) για 18-24 ώρες και χρήση τριχρωματικής εξίσωσης (Jeffrey & Humphrey 1975, HMSO 1980). Η χλωροφύλλη α στους παράκτιους σταθμούς προσδιορίζεται με φθορισμόμετρο 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 προσδιορίστηκε σε ανάστροφο μικροσκόπιο με τη μέθοδο Utermöhl (IOC-UNESCO 2010).

## 4. Αποτελέσματα-Συζήτηση

### 4.1. Διαφάνεια στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5)

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.

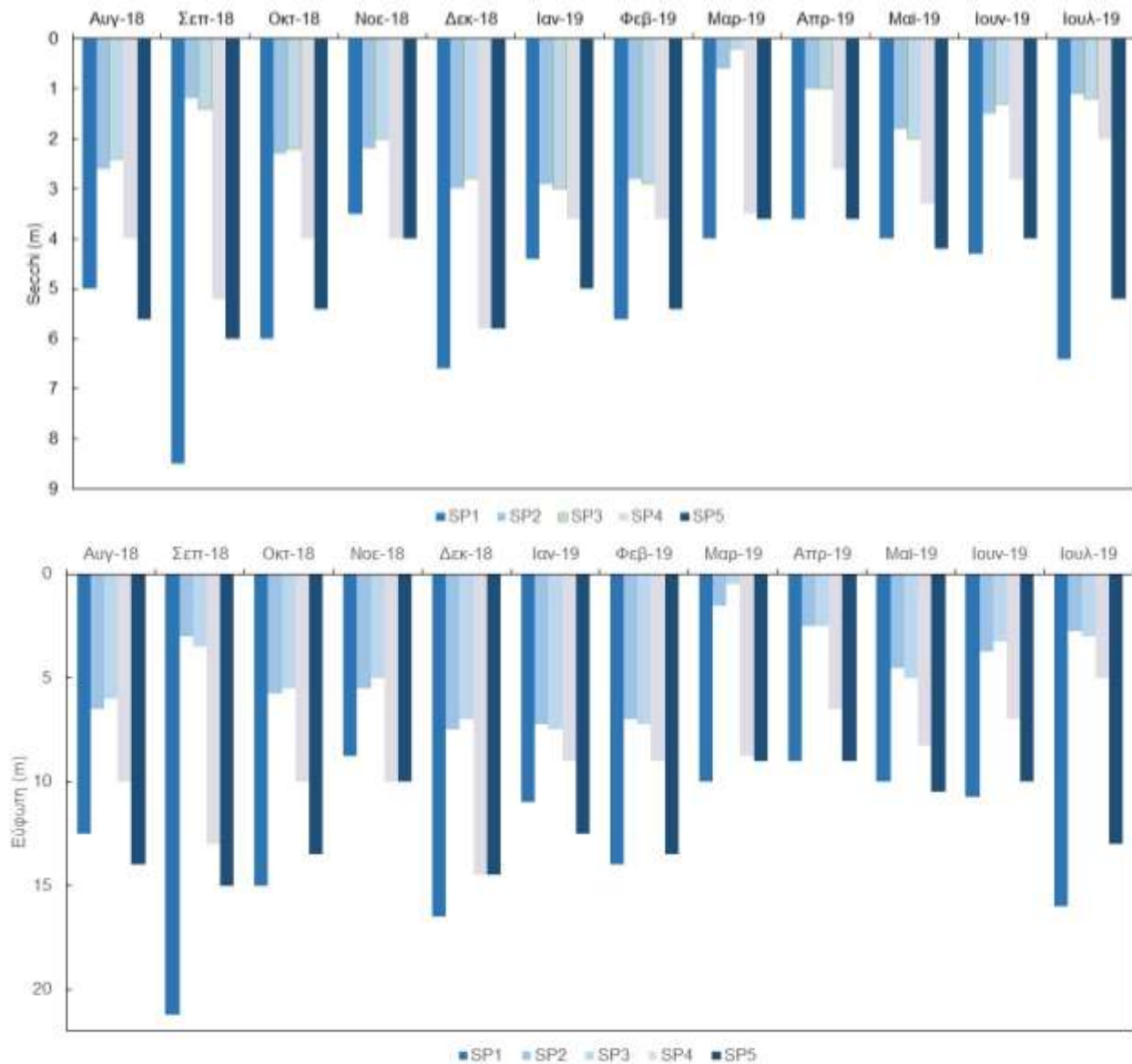


**Εικόνα 3.** Μεταβολή της διαφάνειας της στήλης του νερού στους πελαγικούς σταθμούς (δίσκος Secchi) και του βάθους της εύφωτης ζώνης για την περίοδο Ιαν-Οκτ. 2017.

Το 2017 η διαφάνεια παρουσίασε μέγιστες τιμές στους βαθείς πελαγικούς σταθμούς (SP1, SP4, SP5) κατά τους θερινούς μήνες (Εικ. 3). Οι σταθμοί SP2 και SP3 (σταθμοί με το μικρότερο μέγιστο βάθος, 2-3 m) βρίσκονται πολύ κοντά σε εισόδους άναλου νερού (αντλιοστάσιο Παλιομάνας και Γαλλικός), ωστόσο, λόγω του μικρού βάθους τους τις περισσότερες φορές η διαφάνεια του δίσκου Secchi διέφερε ελάχιστα από το μέγιστο βάθος. Έτσι, μόνο τον Αύγουστο Ιούνιο και τον Ιούλιο (2017) στους δύο σταθμούς παρατηρήθηκε

αξιοσημείωτη μείωση στη διαφάνεια (σχεδόν στο ήμισυ του μέγιστου βάθους) σε σχέση με το υπόλοιπο έτος.

Το 2018-2019 παρατηρήθηκε παρόμοιο σχήμα μεταβολής της διαφάνειας με το 2017, υψηλές τιμές κατά τους θερμούς και ψυχρούς μήνες, και χαμηλότερες στους ενδιάμεσους.



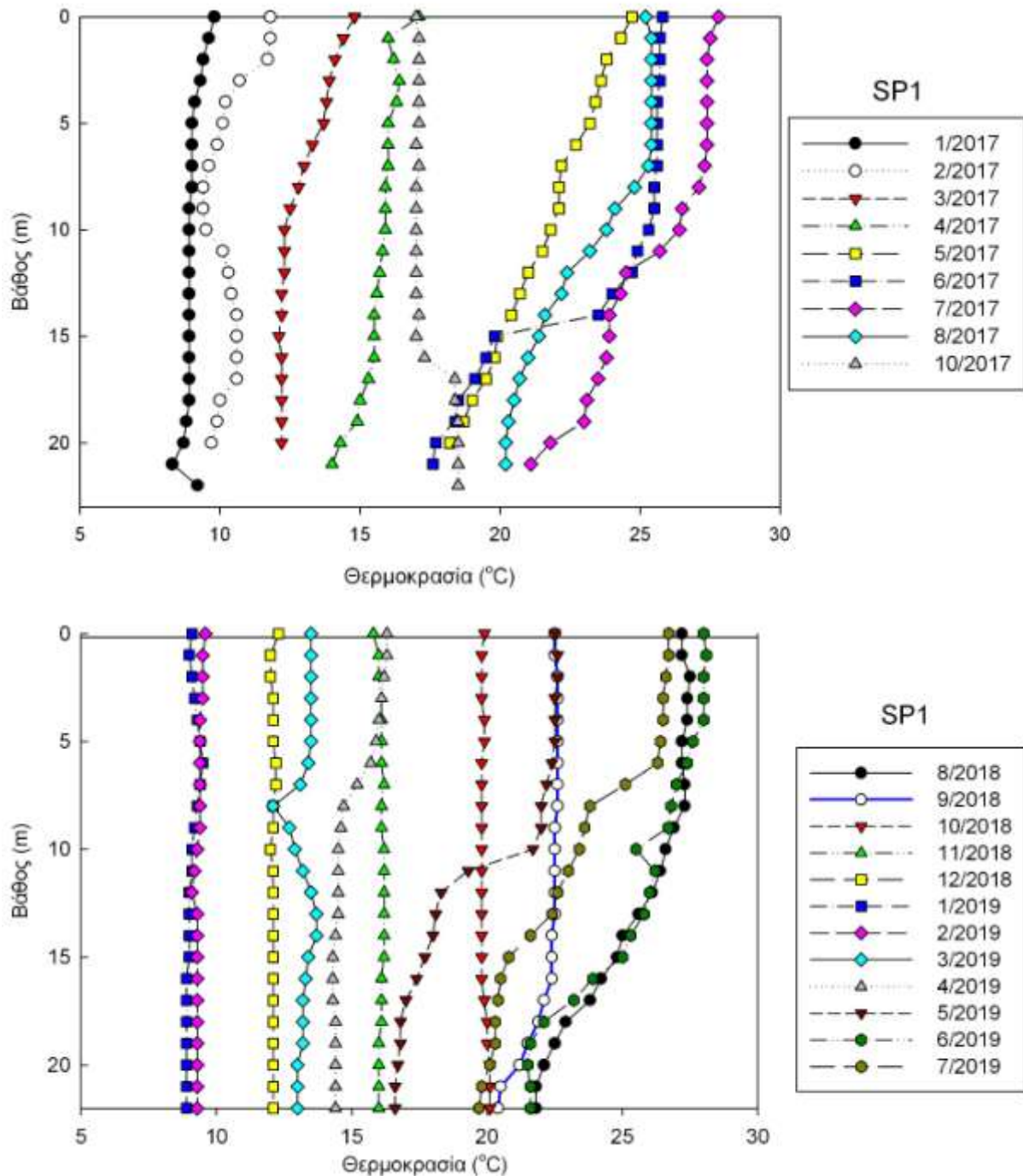
**Εικόνα 4.** Μεταβολή της διαφάνειας της στήλης του νερού στους πελαγικούς σταθμούς (δίσκος Secchi) και του βάθους της εύφωτης ζώνης, για την περίοδο Αυγ. 2018 – Ιουλ. 2019.

Σε όλους τους σταθμούς και τα δύο έτη (2017-2019) οι υψηλότερες τιμές διαφάνειας μετρήθηκαν κατά τη θερμή και τη χειμερινή περίοδο τους και οι χαμηλότερες την εαρινή.

## 4.2. Φυσικοχημικές παράμετροι στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5)

### 4.2.1. Θερμοκρασία

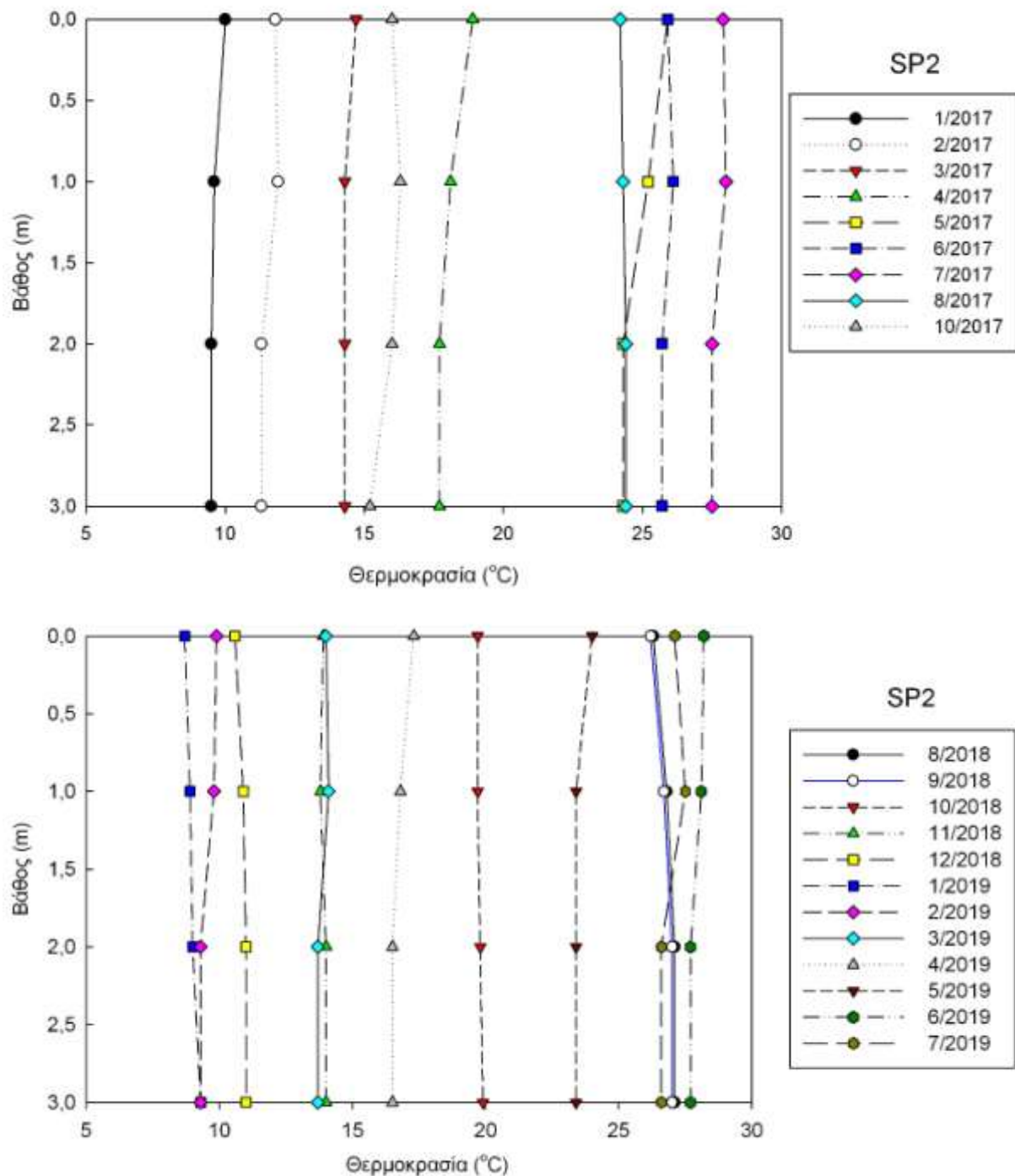
Η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας στους πελαγικούς σταθμούς (2017 και 2018-2019) φαίνεται στις Εικόνες 5 έως 9.



**Εικόνα 5.** Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP1 (2017 και 2018-2019).

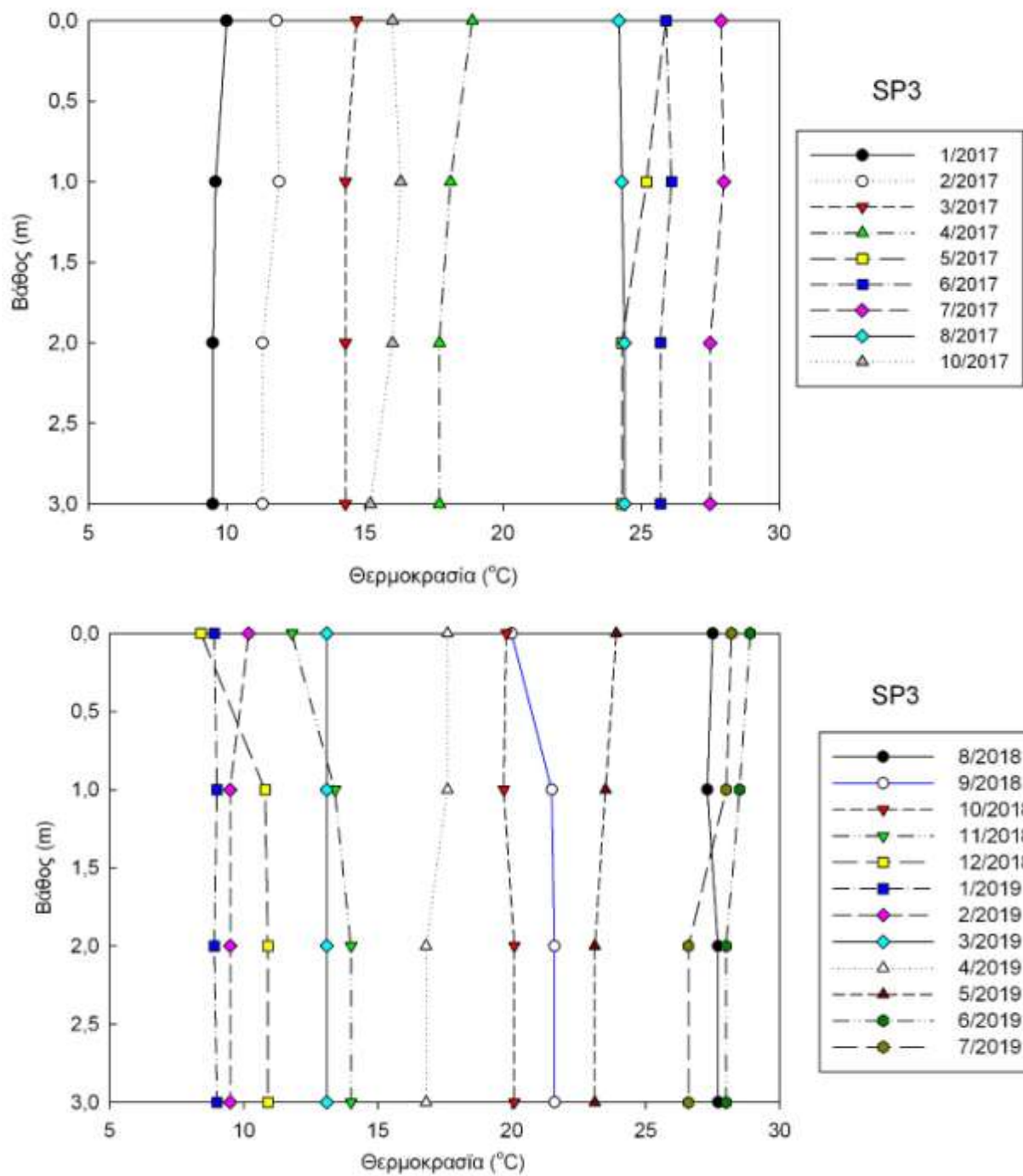
Στον σταθμό SP1 η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού παρουσιάζει τη μικρότερη μεταβολή κατά τους χειμερινούς μήνες (Εικ. 5). Έντονη θερμική στρωμάτωση εμφανίζεται τον Ιούνιο 2017 και τον Μάιο 2019. Τον Ιούνιο 2017 κάτω από τα 15 m

εντοπίσθηκε ψυχρότερη μάζα νερού σχεδόν κατά 5°C από το υπερκείμενο στρώμα (Εικ. 5). Το επόμενο έτος το φαινόμενο παρατηρήθηκε νωρίτερα, τον Μάιο, στα 10 m περίπου αλλά η διαφορά των δύο μαζών ήταν σχεδόν παρόμοια (5°C).



**Εικόνα 6.** Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP2 (2017 και 2018-2019).

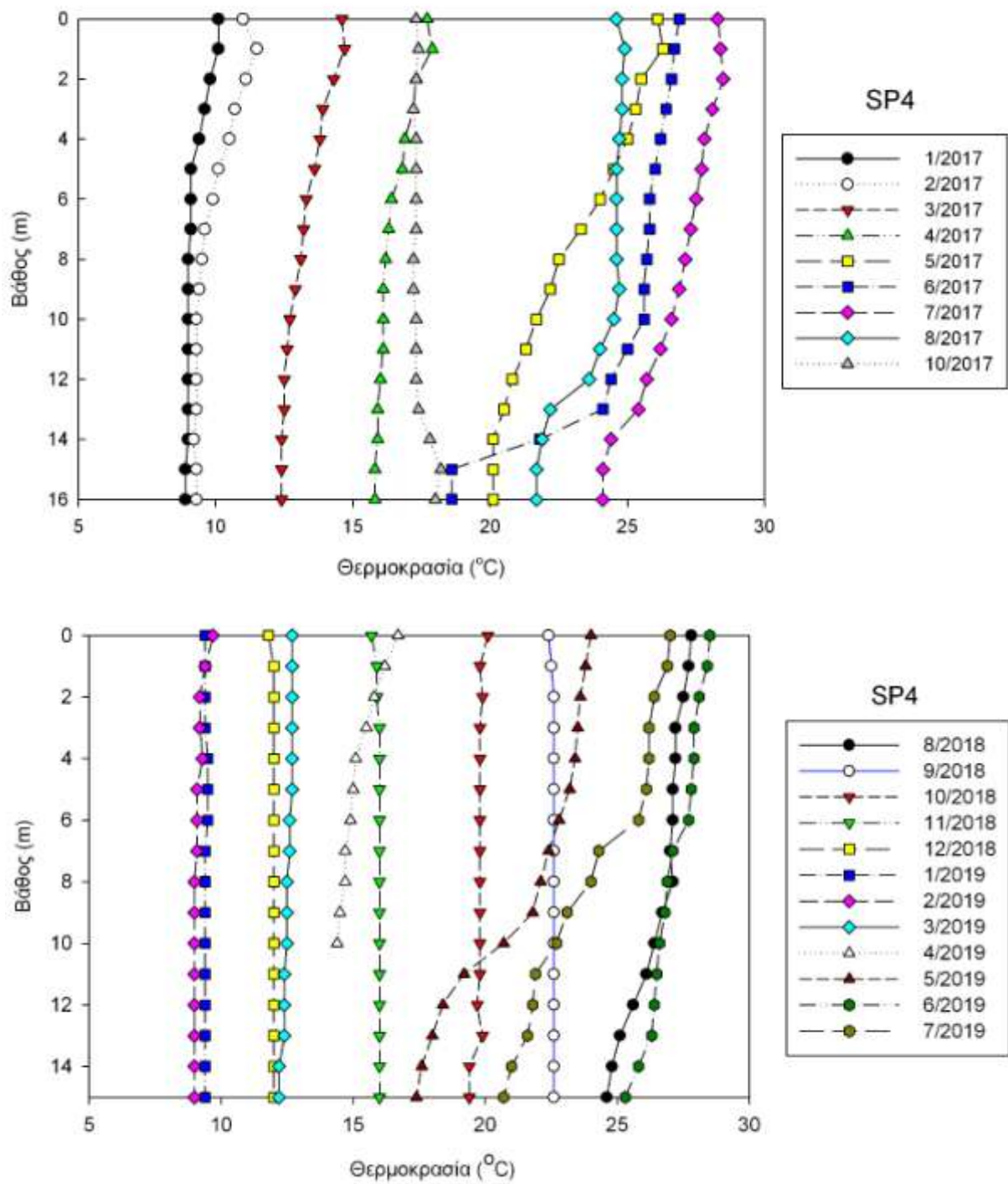
Στον ρηχό σταθμό SP2 η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας δεν παρουσίασε σημαντική μεταβολή ανά μήνα (Εικ. 6).



**Εικόνα 7.** Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP3 (2017 και 2018-2019).

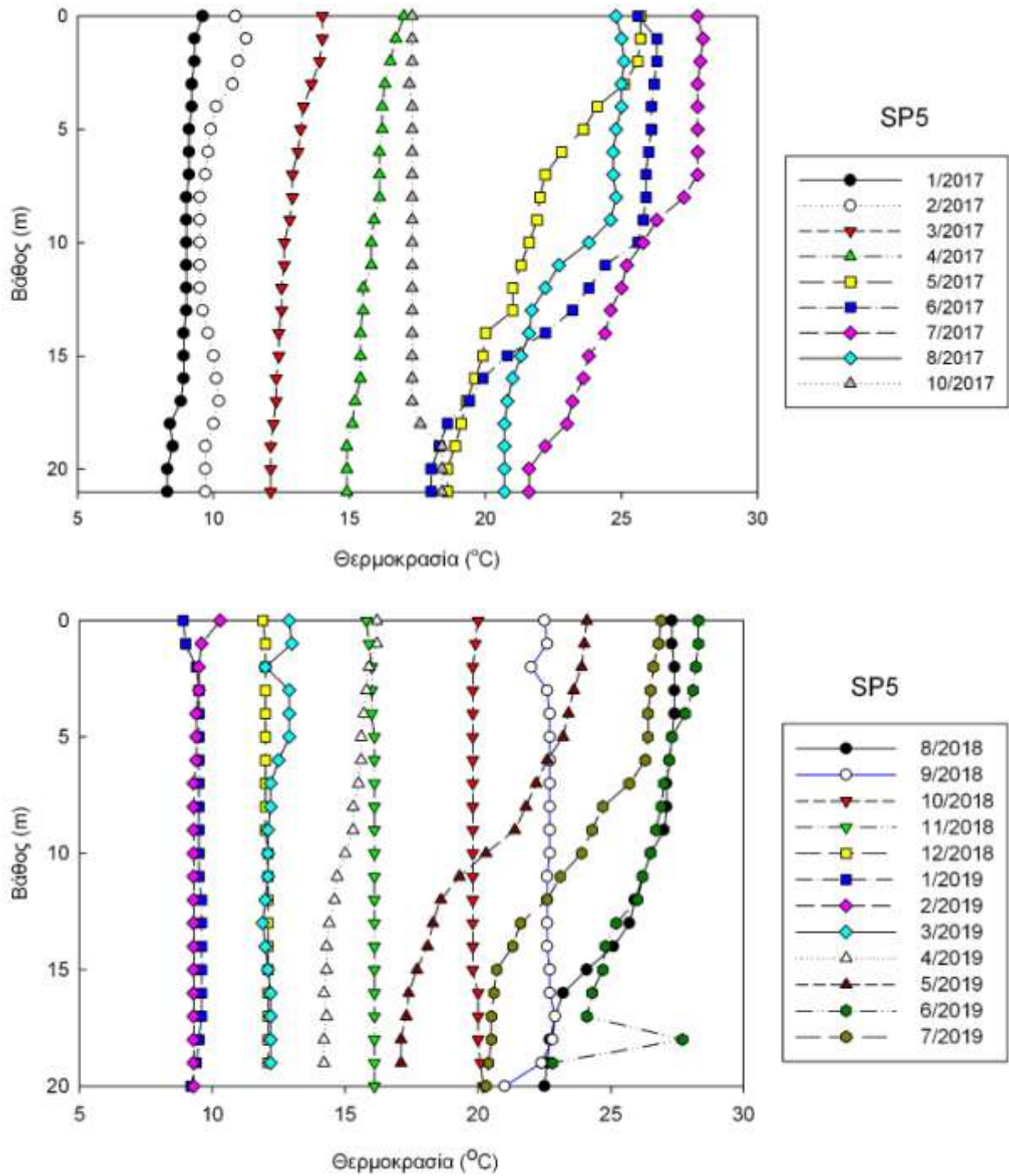
Παρομοίως στον παρακείμενο ρηχό σταθμό (SP3) η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας δεν παρουσίασε σημαντικές μεταβολές κατά τα δύο έτη (Εικ. 7).





**Εικόνα 8.** Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP4 (2017 και 2018-2019).

Παρομοίως με τον σταθμό SP1, έντονη μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής της θερμοκρασίας παρατηρήθηκε στους δύο άλλους βαθείς σταθμούς (SP4, SP5) (Εικ. 8, 9).



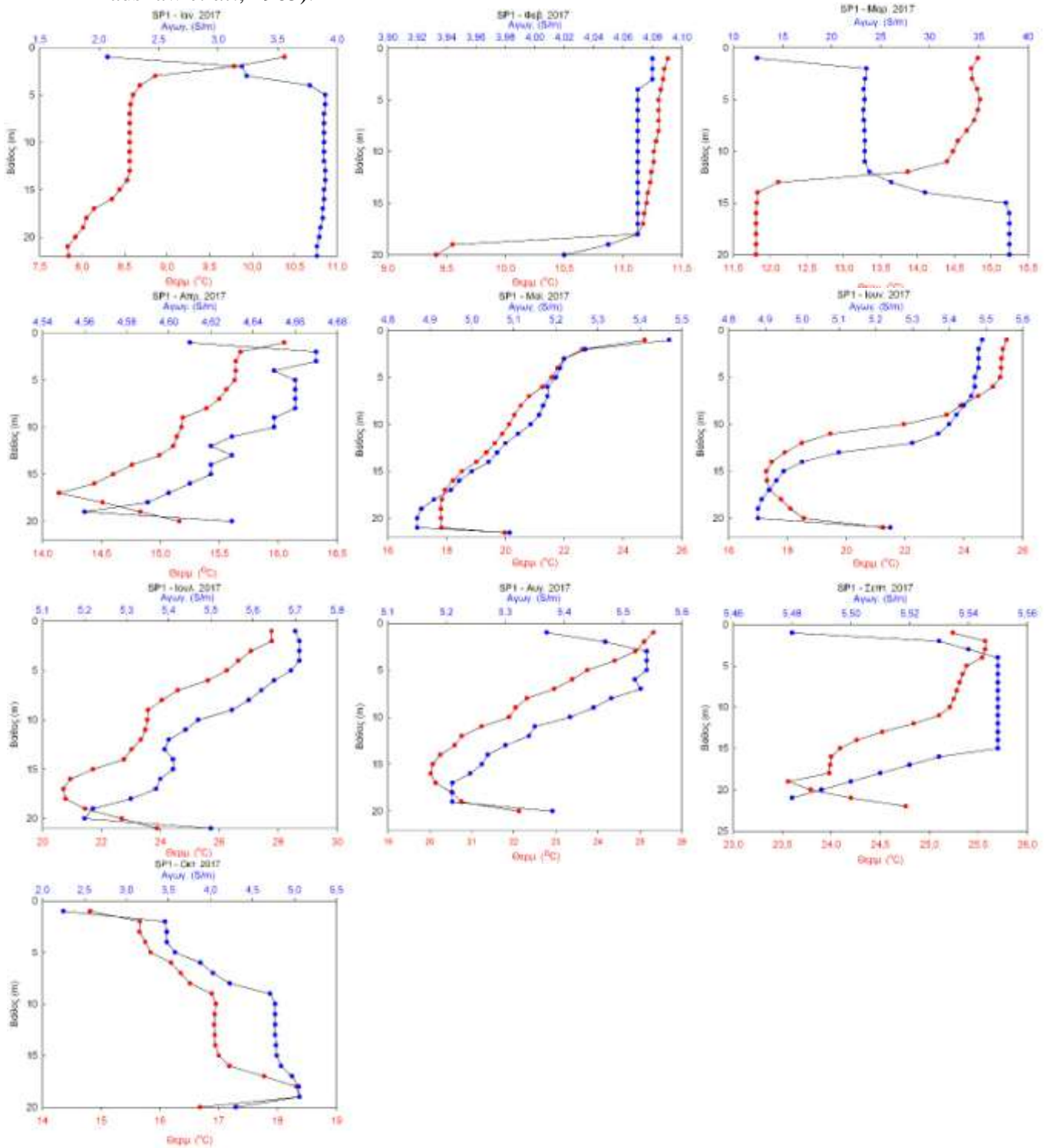
**Εικόνα 9.** Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP5 (2017 και 2018-2019).

Στους σταθμούς αυτούς, κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, ψυχρότερο νερό κυκλοφορούσε πλησιέστερα στον πυθμένα. Τον Ιούνιο, στους σταθμούς SP4 και SP5, παρατηρήθηκε ελαφρά στρωμάτωση. Γενικά, κατά τη διάρκεια του χειμώνα και την αρχή της άνοιξης δεν παρατηρήθηκε αξιόλογη μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής της θερμοκρασίας.

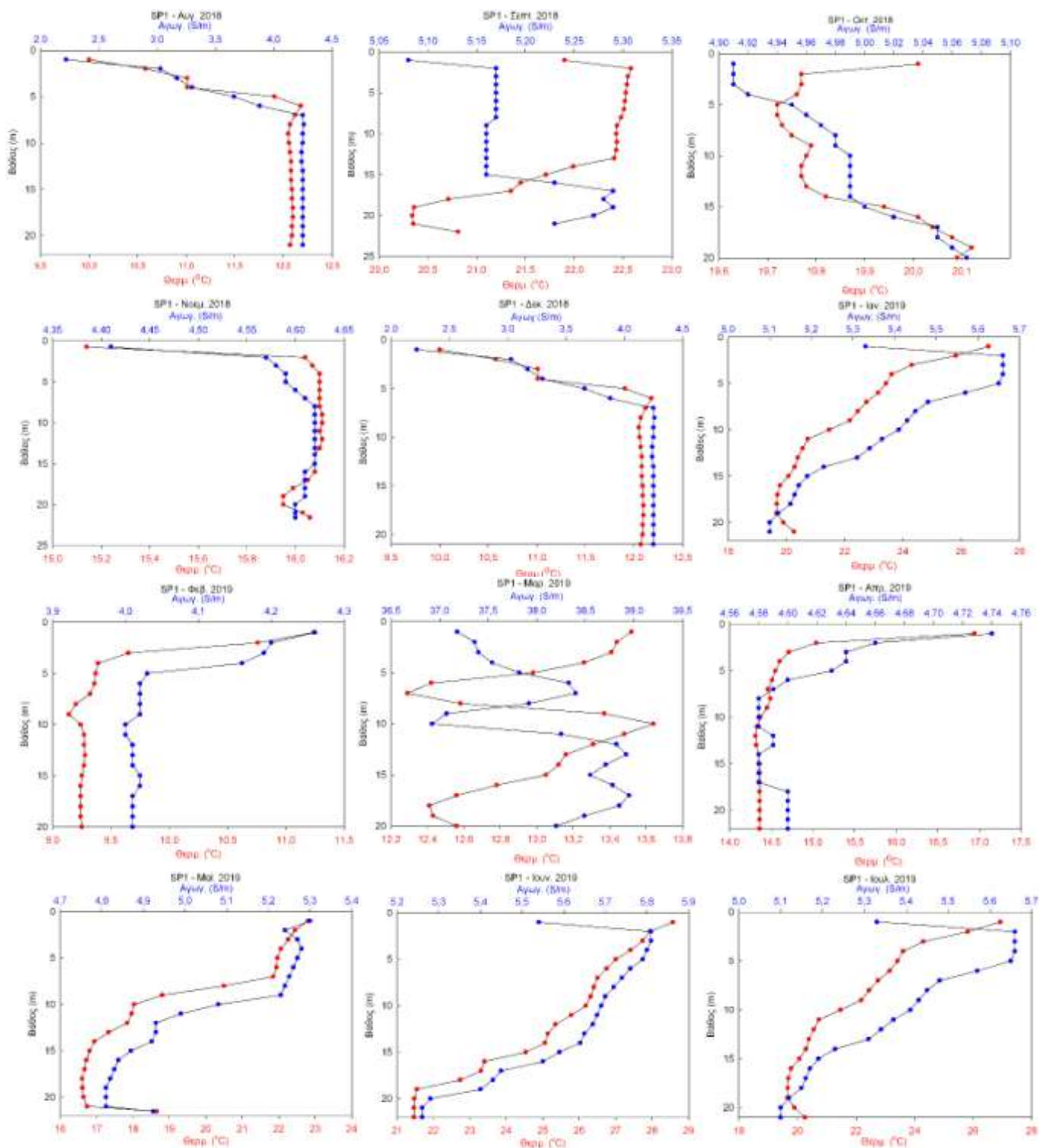


#### 4.2.2. Αγωγιμότητα

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 επίσης επηρεάζει την αγωγιμότητα μεταβάλλοντας την πυκνότητά του και επομένως τη συγκέντρωση των ιόντων στο νερό (Bradshaw *et al.*, 1965).

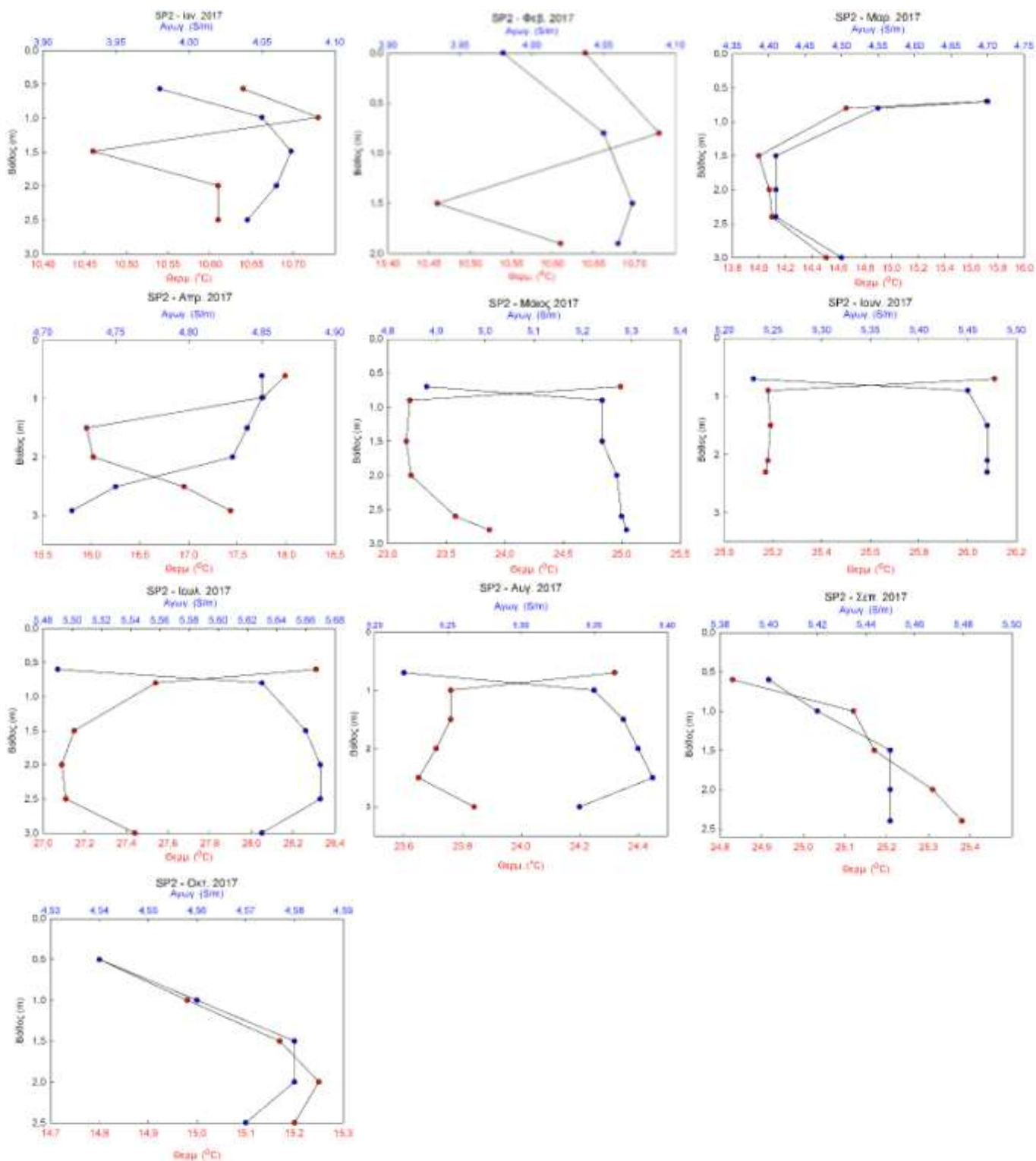


Εικόνα 10. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και θερμοκρασίας στον σταθμό SP1 (2017).



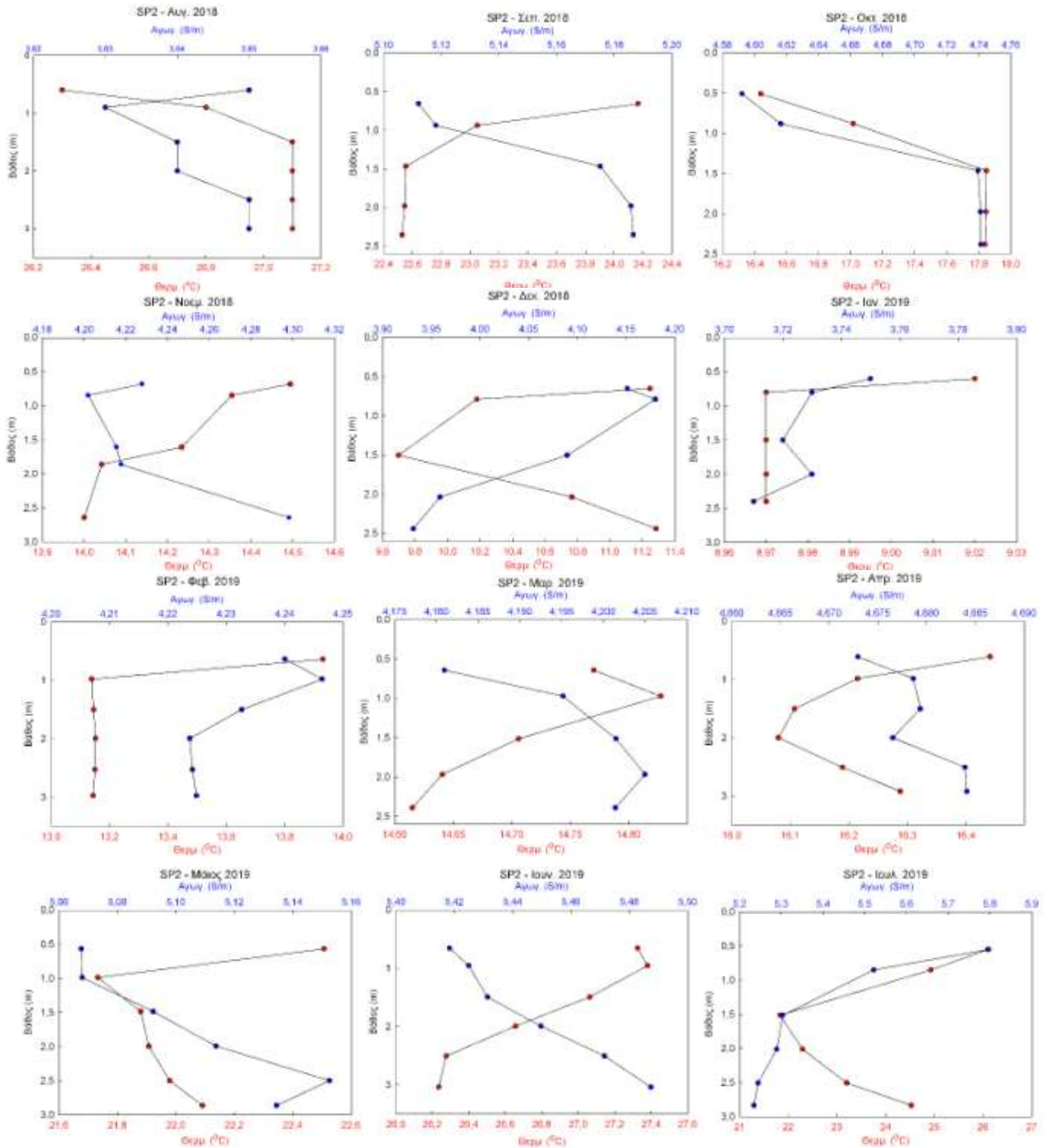
**Εικόνα 11.** Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και θερμοκρασίας στον σταθμό SP1 (2018-2019).

Στον σταθμό SP1, τον Ιανουάριο-17 και τον Μάρτιο-17 η κατακόρυφη διακύμανση της αγωγιμότητας ήταν αντίστροφη με της θερμοκρασίας (Εικ. 10). Τον Ιαν-17 υπήρξε λεπτό επιφανειακό (2-3m) στρώμα θερμού νερού στο SP1 ενώ τον Μάρτιο το στρώμα αυτό έφτανε μέχρι τα 15m περίπου βάθος. Το υπόλοιπο του έτους η κατακόρυφη κατανομή αγωγιμότητας και θερμοκρασίας ήταν παρόμοιες. Το επόμενο έτος των μετρήσεων η κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας ήταν παρόμοιες.



**Εικόνα 12.** Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και θερμοκρασίας στον σταθμό SP2 (2017).

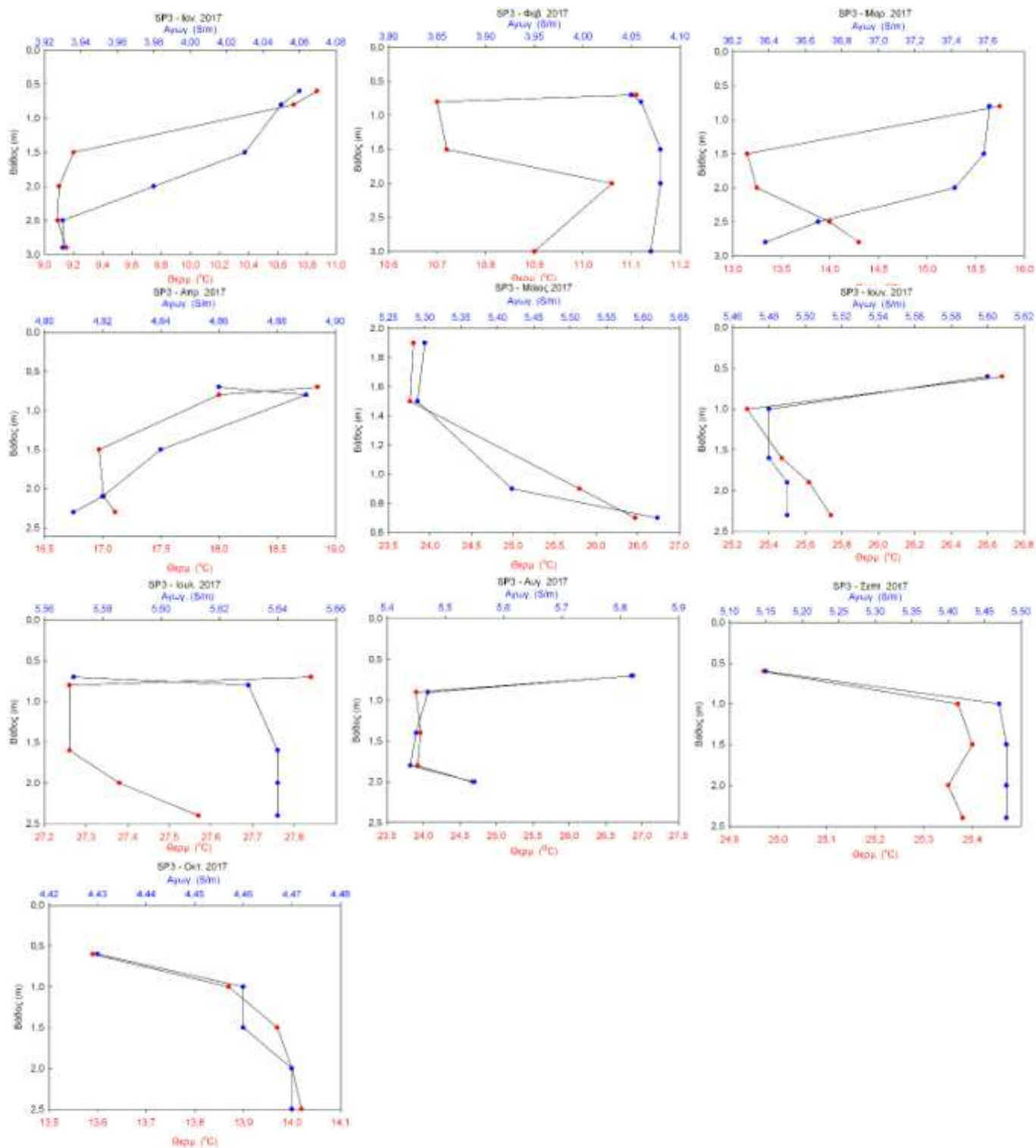
Στον αβαθή σταθμό της δυτικής ακτής (SP2) του όρμου οι μάζες ψυχρού νερού υψηλότερης αγωγιμότητας που εντοπίστηκαν κάτω από το 1m από τον Απρίλιο 2017 έως τον Αύγουστο 2017, πιθανώς προέρχονται από τα αντλιοστάσια της περιοχής και τις εκφορτίσεις των ποταμών (Εικ. 12).



**Εικόνα 13.** Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και θερμοκρασίας στον σταθμό SP2 (2018-2019).

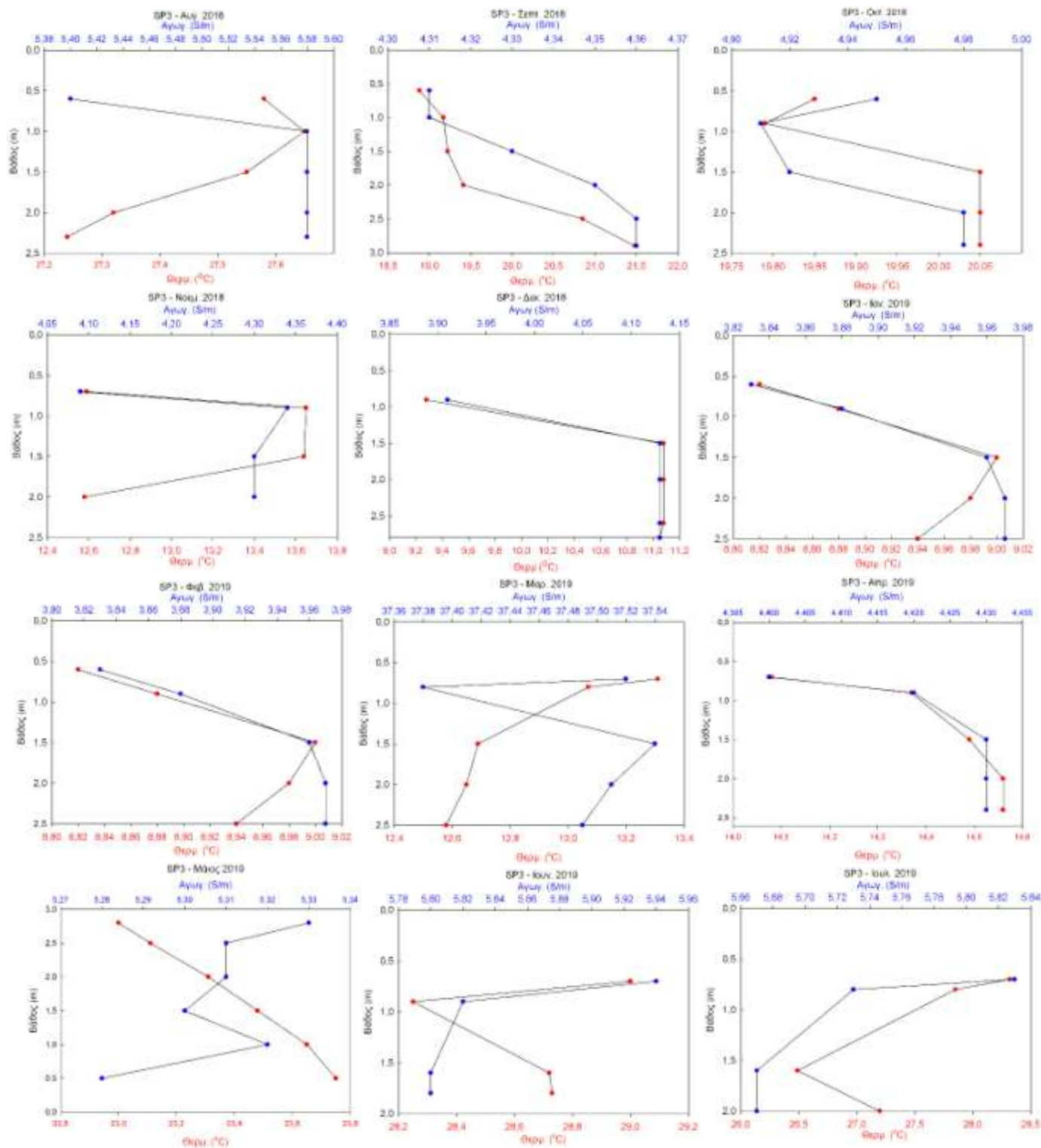
Το επόμενο έτος στρώμα νερού χαμηλότερης θερμοκρασίας από το επιφανειακό (0-1m) και υψηλότερης αγωγιμότητας ανιχνεύθηκε τον Σεπτέμβριο, Μάρτιο και Ιούνιο οπότε και παρατηρήθηκε εκφόρτιση των δύο αντλιοστασίων που στραγγίζουν τις καλλιεργούμενες εκτάσεις τις περιοχής.





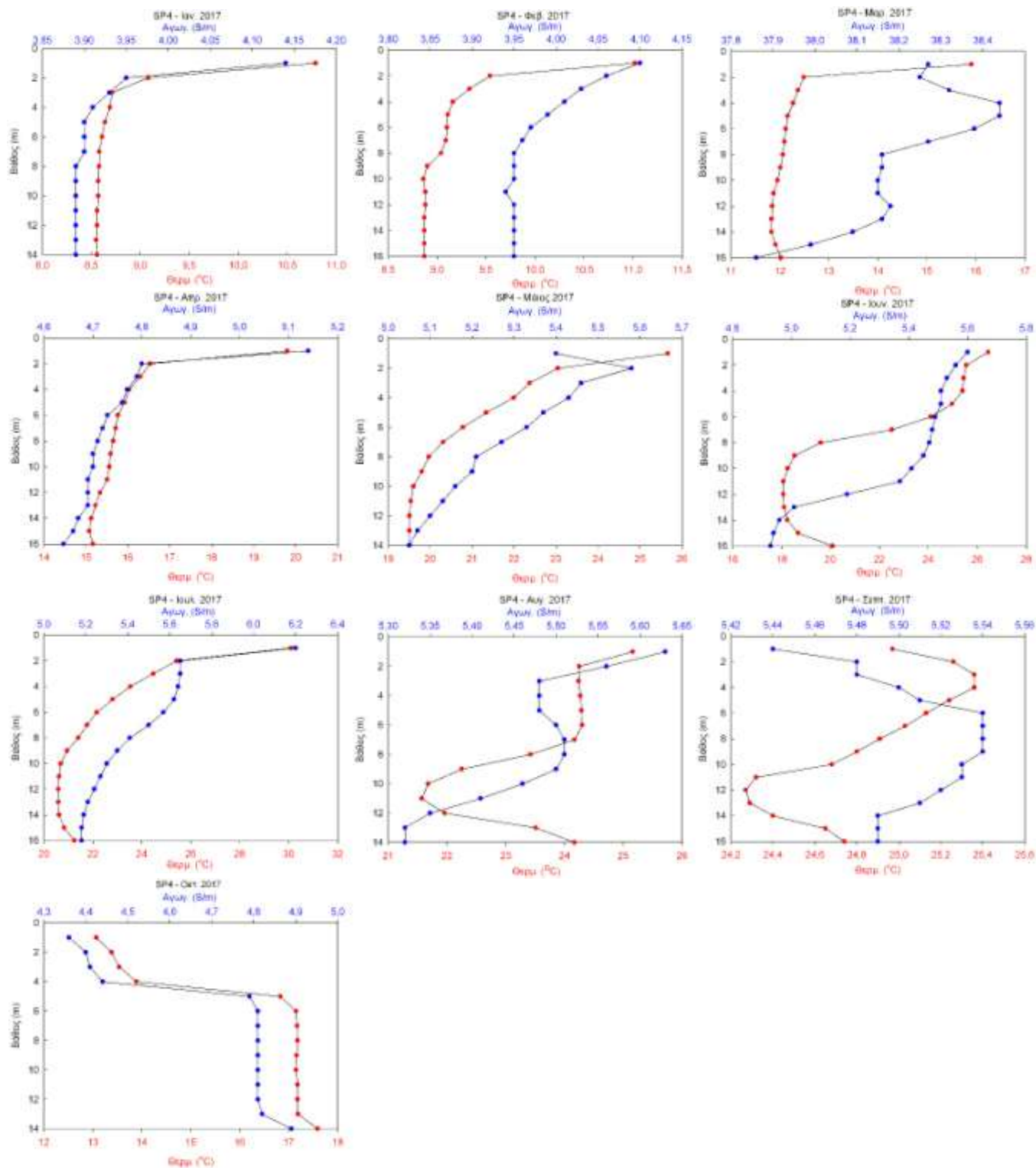
**Εικόνα 14.** Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και θερμοκρασίας στον σταθμό SP3 (2017).

Στον επόμενο αβαθή σταθμό (SP3) δεν παρατηρήθηκε φαινόμενο παρόμοιο (ψυχρότερο στρώμα νερού - υψηλότερης αγωγιμότητας) με τον σταθμό SP2. Πιθανώς αυτό να οφείλεται στη θέση του σταθμού αφού αυτός βρίσκεται βορειότερα από τα στόμια των αντλιοστασίων.

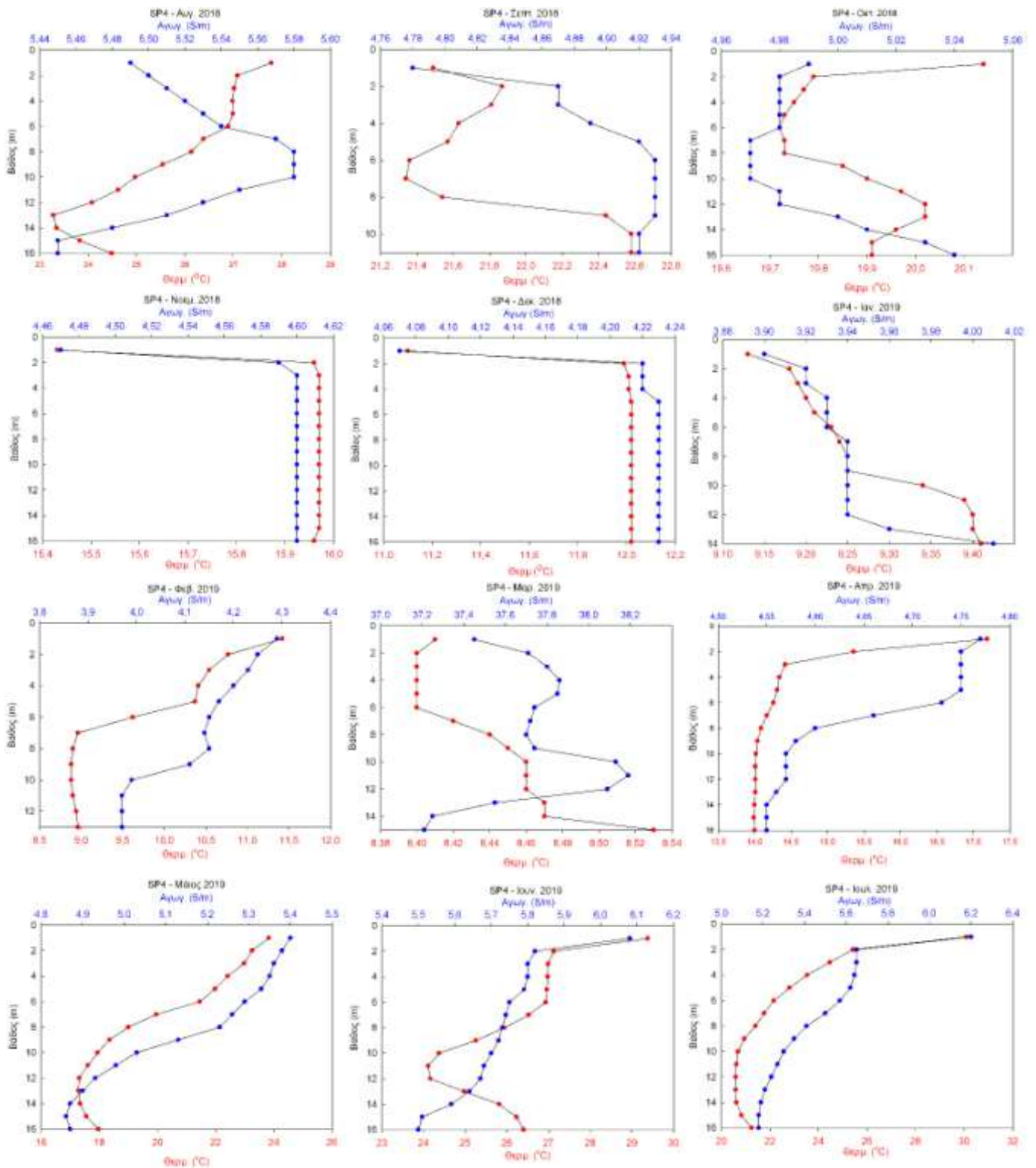


**Εικόνα 15.** Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και θερμοκρασίας στον σταθμό SP3 (2018-2019).

Γενικότερα, η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας στους δύο ρηχούς σταθμούς δεν παρουσίασαν συγκεκριμένη τάση γεγονός που πιθανώς να οφείλεται στο μικρό βάθος της δυτικής ακτής και την είσοδο άναλου νερού.



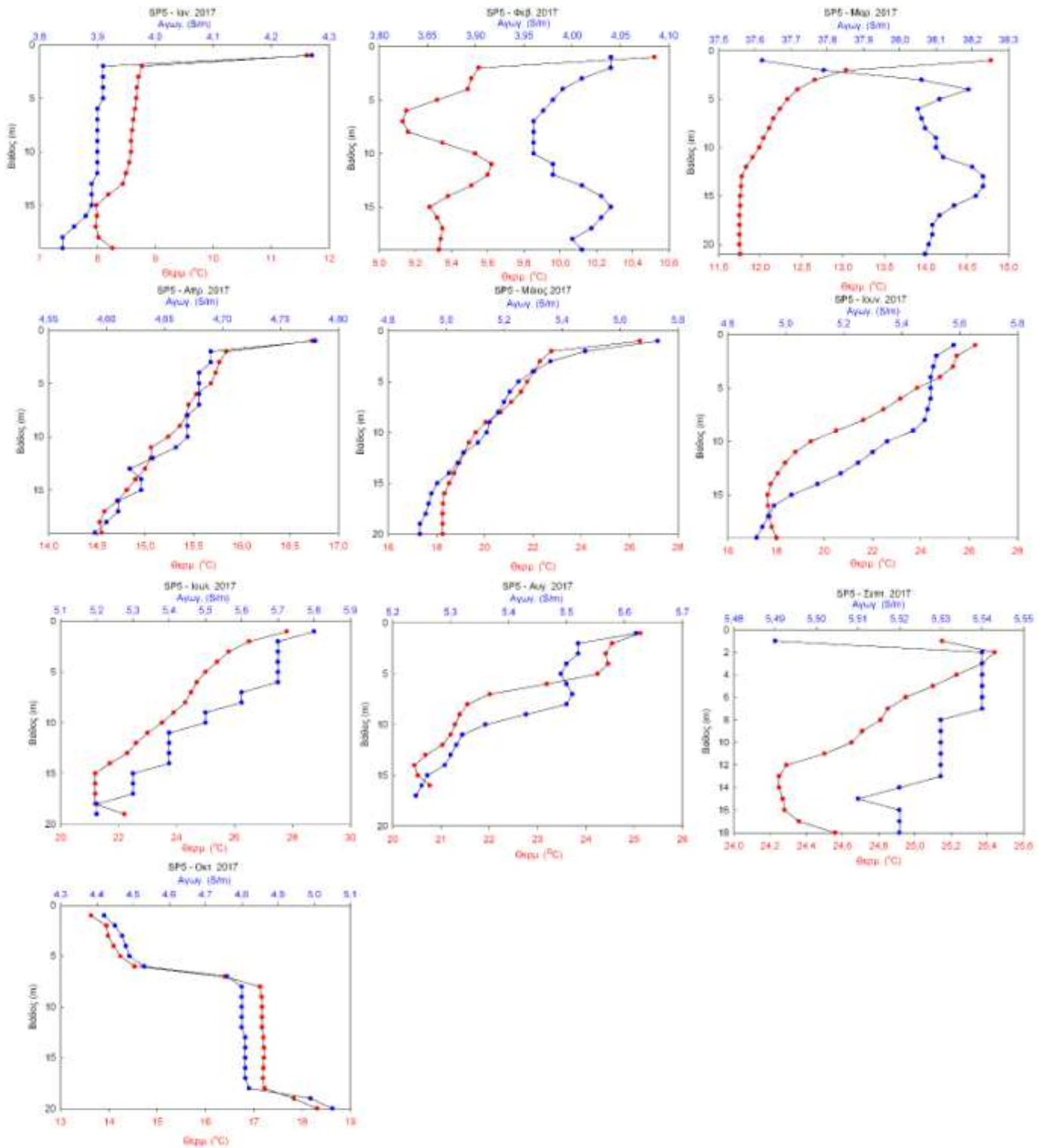
Εικόνα 16. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και θερμοκρασίας στον σταθμό SP4 (2017).



**Εικόνα 17.** Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και θερμοκρασίας στον σταθμό SP4 (2018-2019).

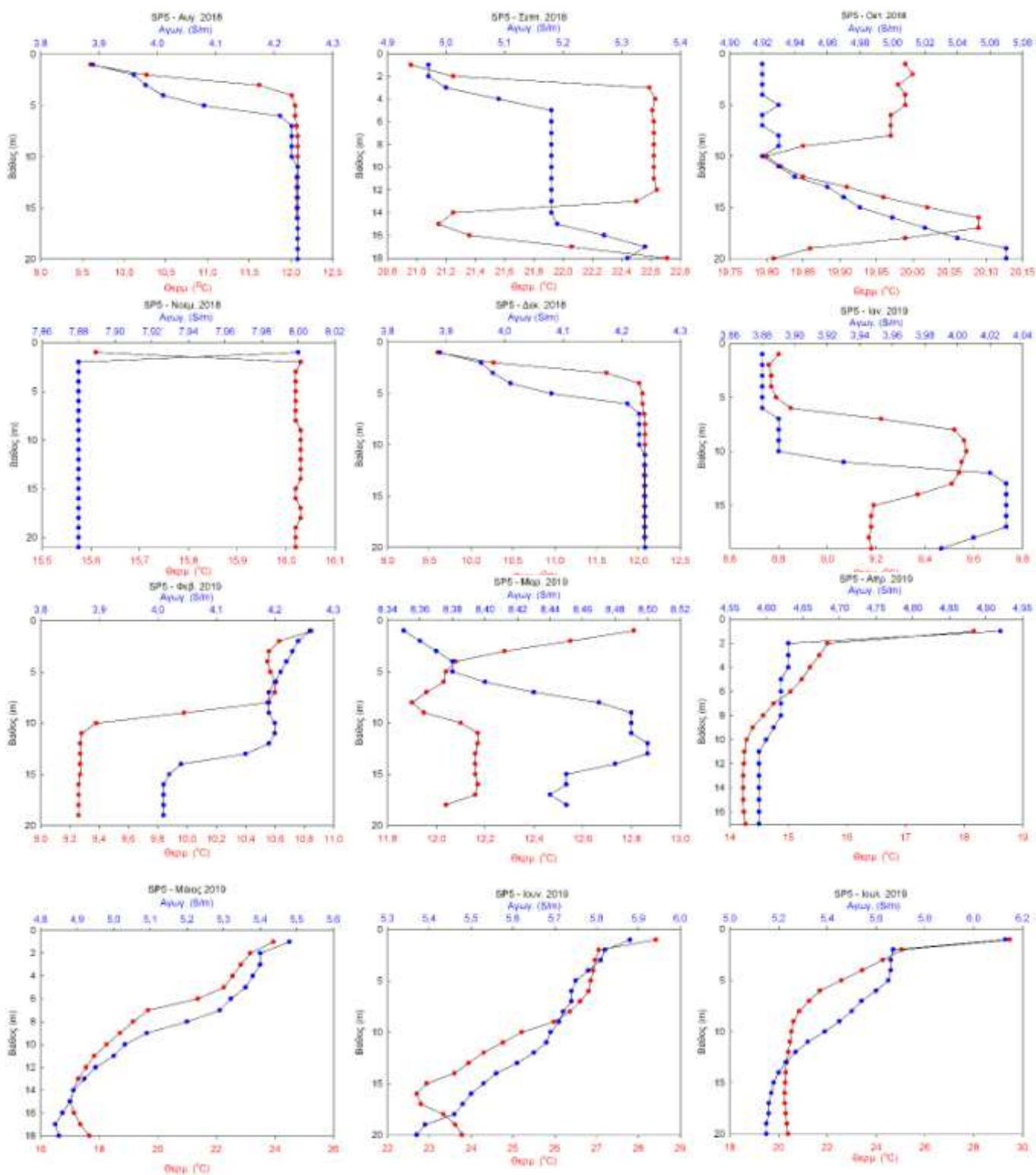
Στον σταθμό SP4, η κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας ήταν παρόμοιες στις περισσότερες δειγματοληψίες με εξαίρεση τον Σεπτέμβριο και τον Μάρτιο (Εικ. 16-17).





**Εικόνα 18.** Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και θερμοκρασίας στον σταθμό SP5 (2017).

Στον σταθμό που βρίσκεται στο κέντρο του Όρμου (SP5), η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας είναι παρόμοιες κατά το μεγαλύτερο μέρος του έτους συγκριτικά με τους υπόλοιπους σταθμούς, ένδειξη ότι στην περιοχή εκείνη η επίδραση της εισροής υδάτινων μαζών από τη χέρσο είναι η ασθενέστερη (Εικ. 18-19).

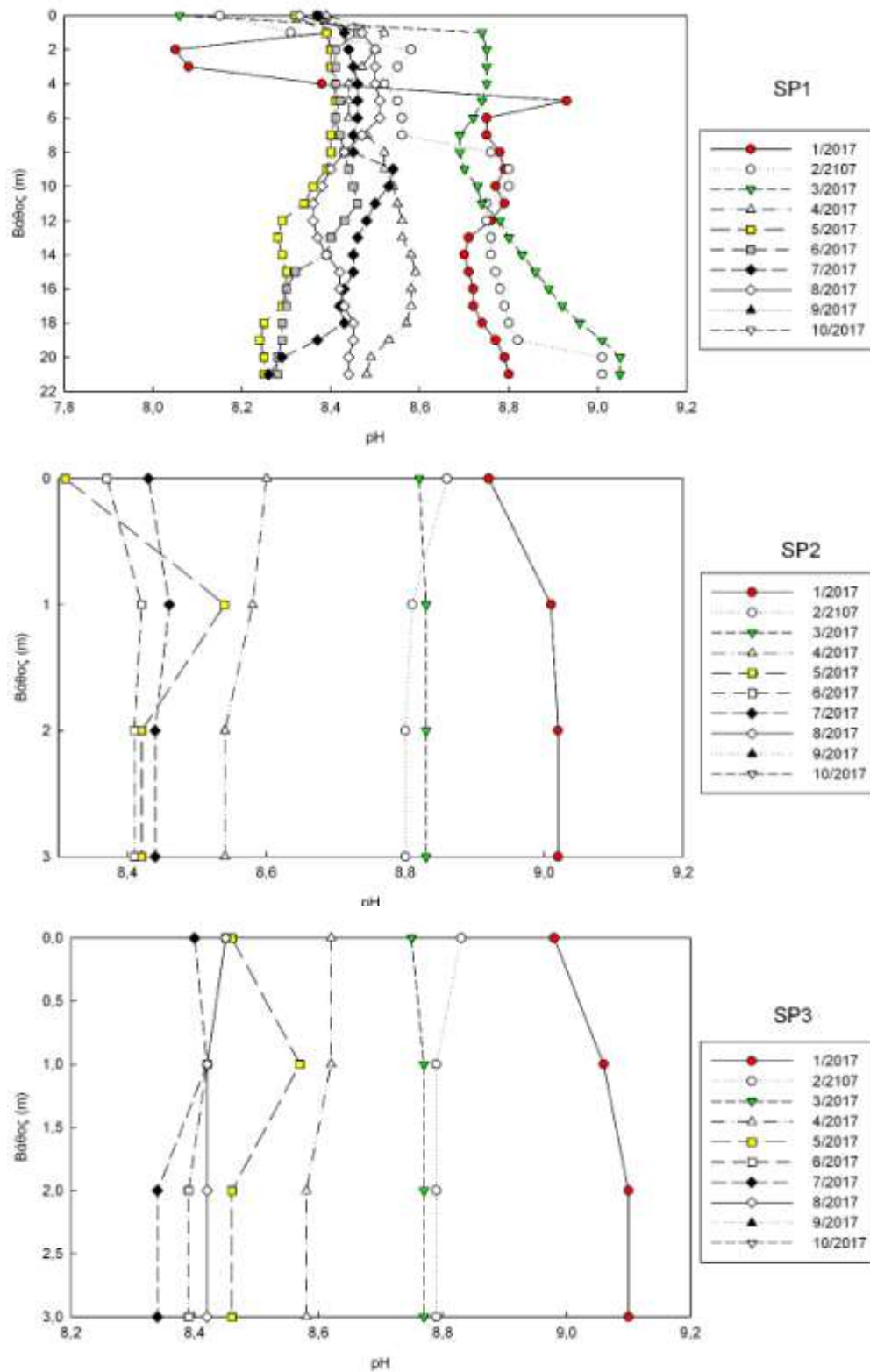


**Εικόνα 19.** Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και θερμοκρασίας στον σταθμό SP5 (2018-2019).

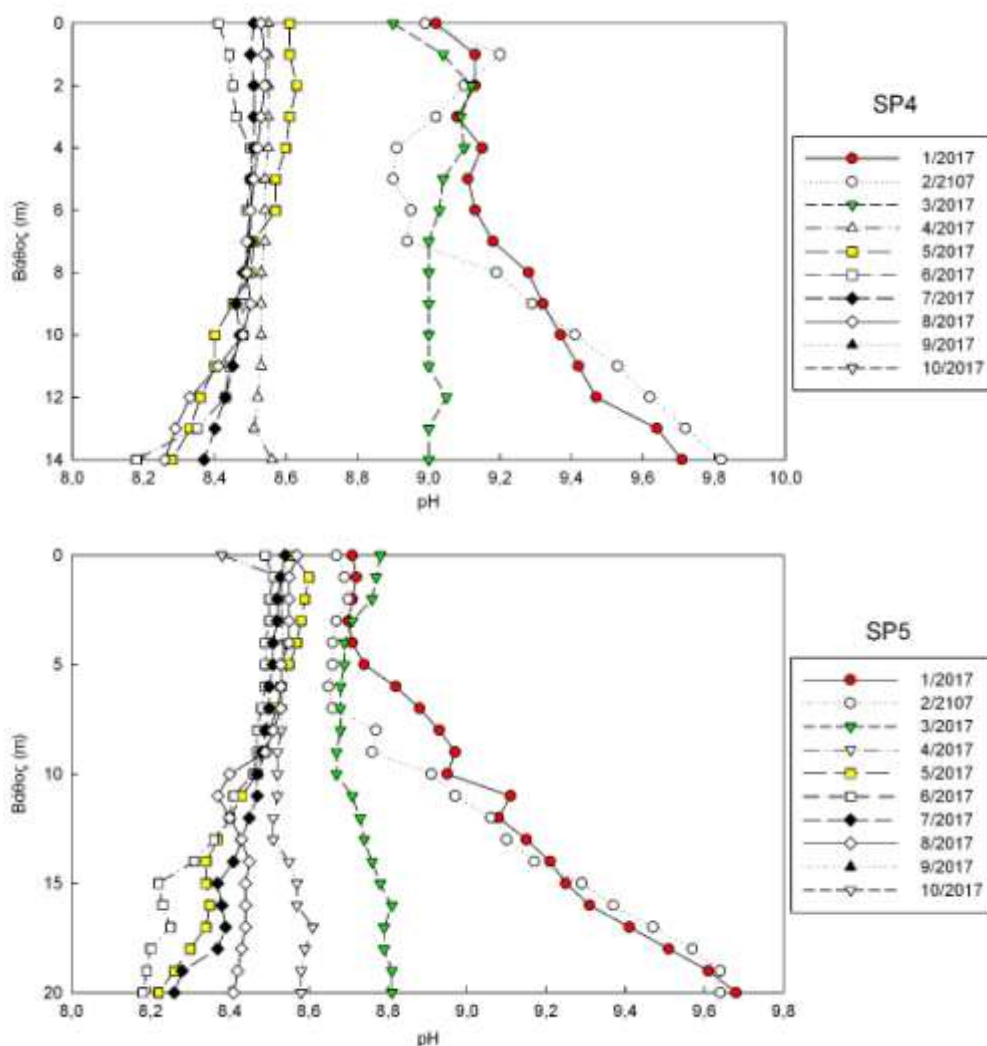
Η παρουσία ψυχρότερου νερού υψηλότερης συγκέντρωσης ιόντων βαθύτερα των 5 m εντοπίστηκε επίσης τον Μάρτιο 2017 και τον Μάρτιο 2019 και στον σταθμό SP5.

### 4.2.3. pH

Η κατακόρυφη κατανομή pH στους πελαγικούς σταθμούς (2017) φαίνεται στην Εικ. 20-21.



Εικόνα 20. Κατακόρυφη κατανομή του pH στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP3), για την περίοδο Ιαν.-Οκτ. 2017.

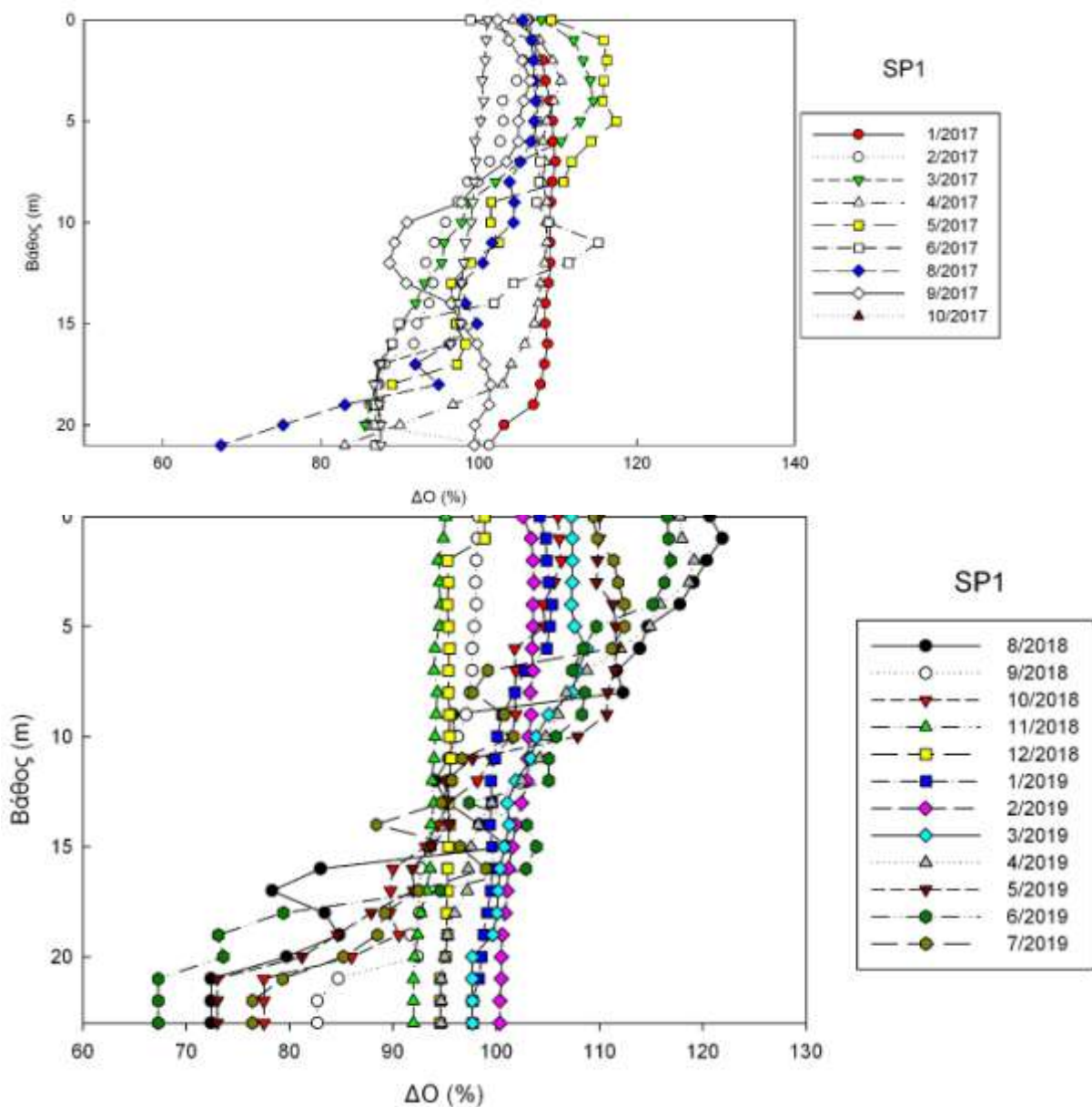


**Εικόνα 21.** Κατακόρυφη κατανομή του pH στους πελαγικούς σταθμούς (SP4-SP5), για την περίοδο Ιαν.-Οκτ. 2017.

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). Οι τιμές του pH κυμάνθηκαν μεταξύ 8,05 και 9,88 και η μέση τιμή για όλους τους πελαγικούς σταθμούς ήταν 8,62. Στους δύο βαθείς σταθμούς SP1, SP4 και SP5 παρατηρήθηκε αύξηση του pH από τα 10 m περίπου από τον Ιανουάριο έως τον Μάρτιο 2017.

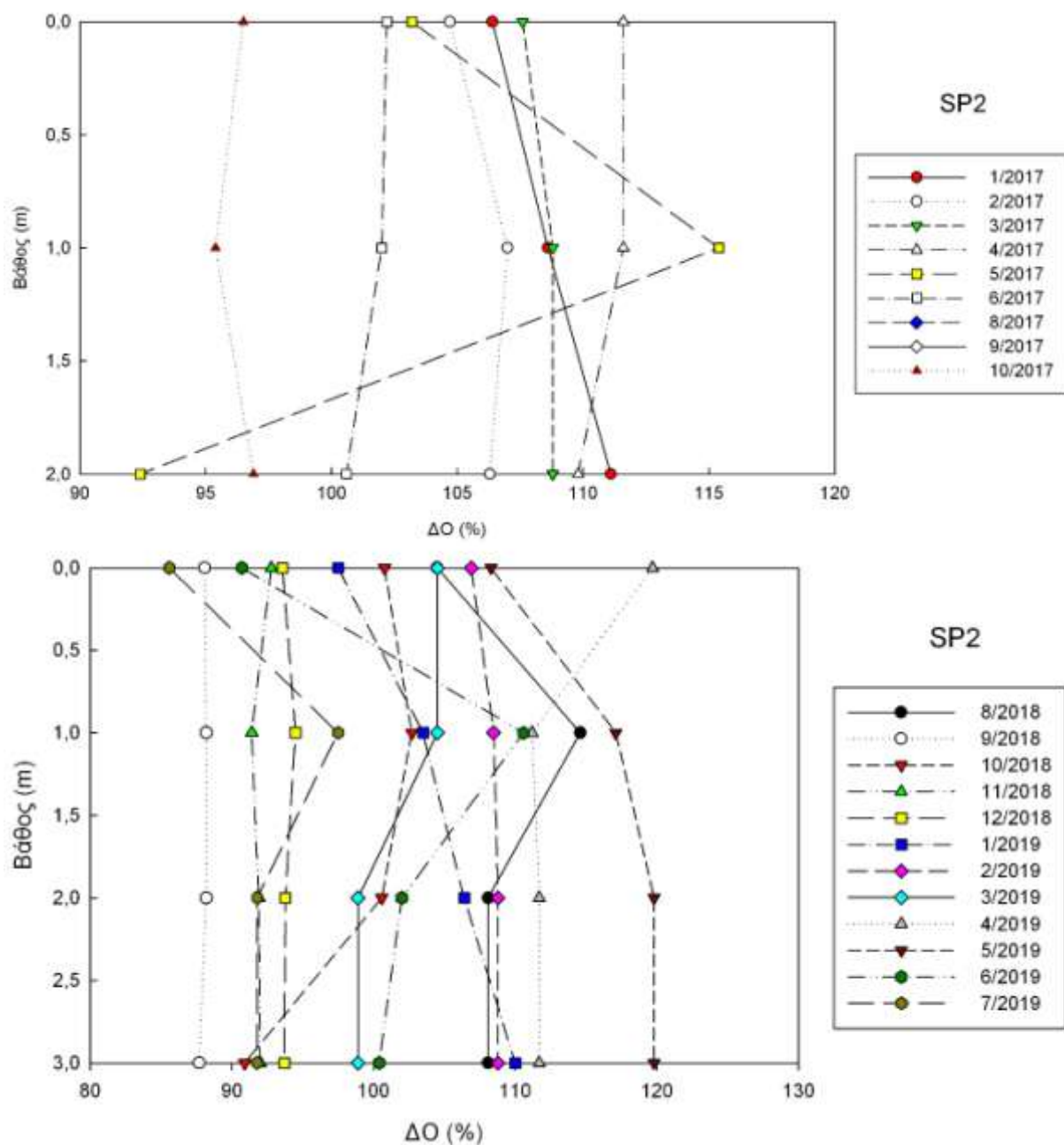
#### 4.2.4. Κορεσμός σε διαλυμένο οξυγόνο (%)

Δύο διαφορετικές 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 (Kombiadiou & Krestenitis, 2012). Το εισερχόμενο άναλο νερό στην περιοχή, μαζί με την κυκλοφορία και τη στρωμάτωση, πιθανώς επηρεάζουν τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, ιδιαιτέρως κατά την υγρή περίοδο οπότε και επικρατούν υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου. Η αντίθετη εικόνα παρατηρείται κατά την ξηρή περίοδο (καλοκαίρι και φθινόπωρο). Στην περίπτωση του Θερμαϊκού κόλπου πιθανώς ο συνδυασμός των δύο αιτιών να προκαλεί την κατανάλωση των αποθεμάτων του διαλυμένου οξυγόνου, σε επίπεδα ωστόσο που δεν είναι ανησυχητικά (50-60% είναι η χαμηλότερη συγκέντρωση που παρατηρείται στα μεγαλύτερα βάθη των σταθμών SP1, SP4 και SP5).



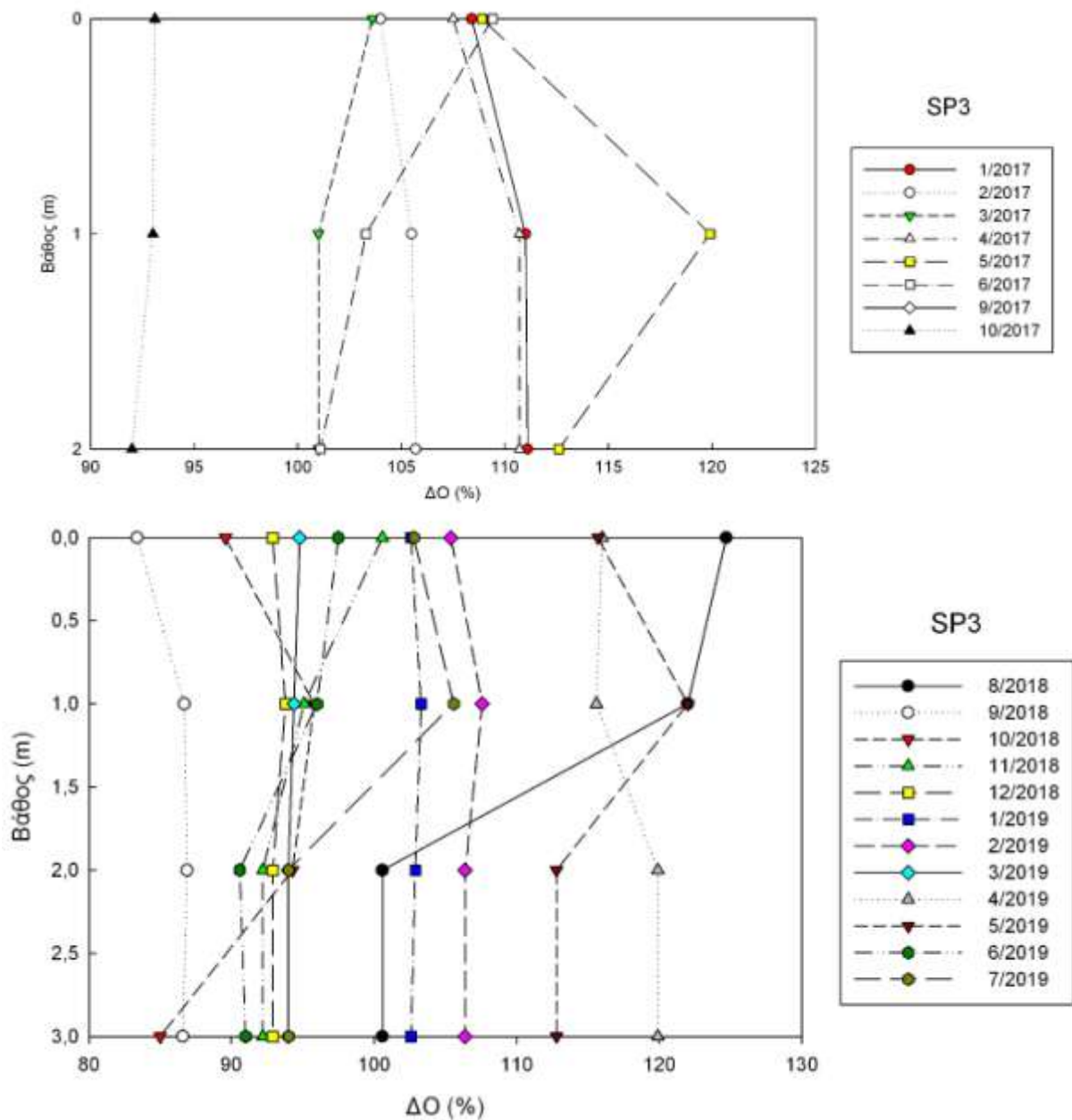
**Εικόνα 22.** Κατακόρυφη κατανομή του κορεσμού σε οξυγόνο (%) στον σταθμό SP1 (2017 και 2018-2019).





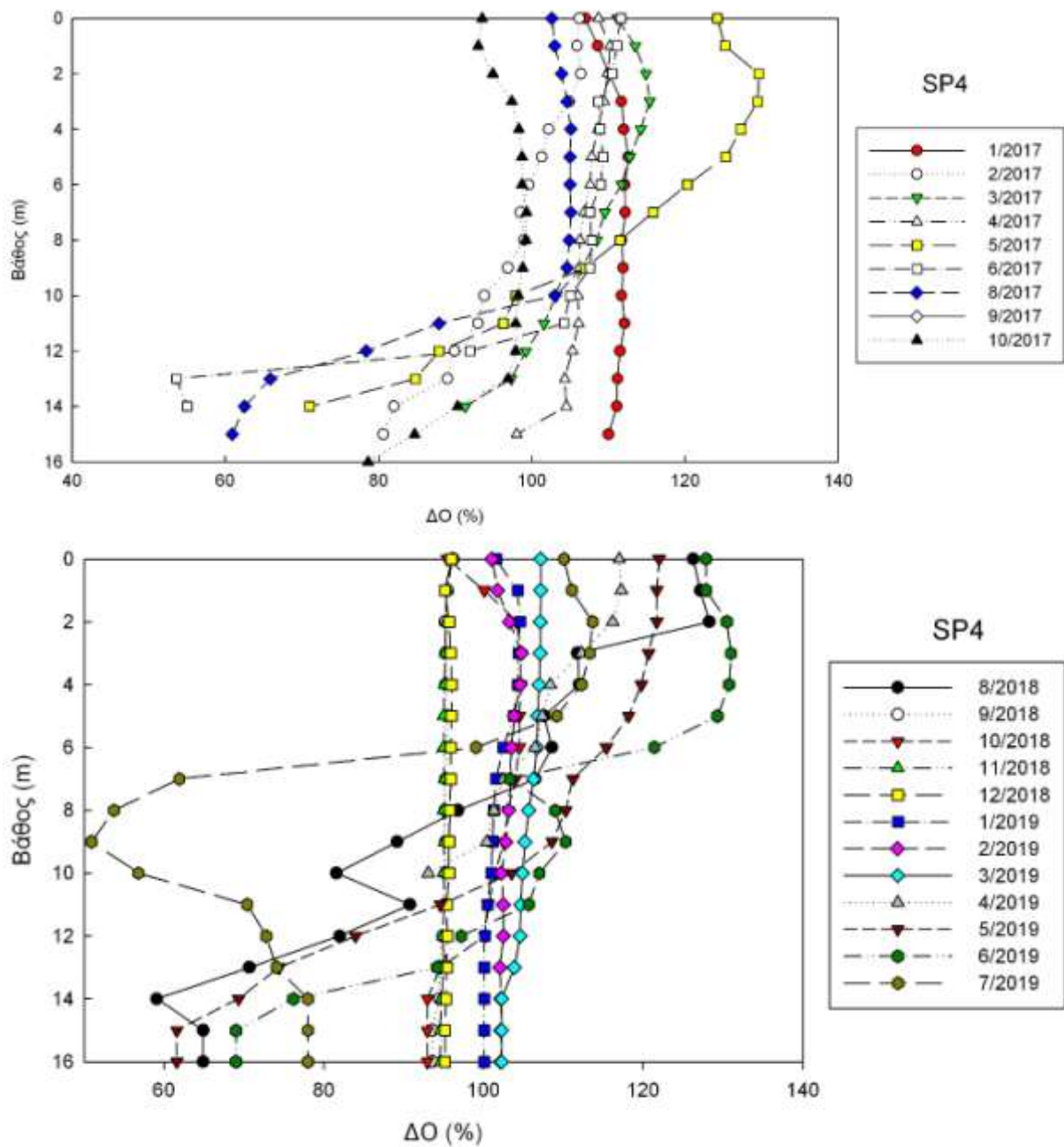
**Εικόνα 23.** Κατακόρυφη κατανομή του κορεσμού σε οξυγόνο (%) στον πελαγικό σταθμό SP2 (2017 και 2018-2019).

Στους βαθύτερους σταθμούς (SP1, SP4 και SP5) έντονη ήταν η μείωση του κορεσμού από την επιφάνεια προς τον πυθμένα (>15m) στις θερινές δειγματοληψίες (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος). Στους ανωτέρω σταθμούς, κατά τις χειμερινές δειγματοληψίες, παρατηρήθηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις οξυγόνου στην επιφάνεια (υπερκορεσμός). Μια από τις πιθανές αιτίες για αυτό μπορεί να είναι ο έντονος κυματισμός που αυξάνει την ανάμειξη του νερού με τον αέρα (Εικ. 22, 25, 26).



**Εικόνα 24.** Κατακόρυφη κατανομή του κορεσμού σε οξυγόνο (%) στον πελαγικό σταθμό SP3 (2017 και 2018-2019).

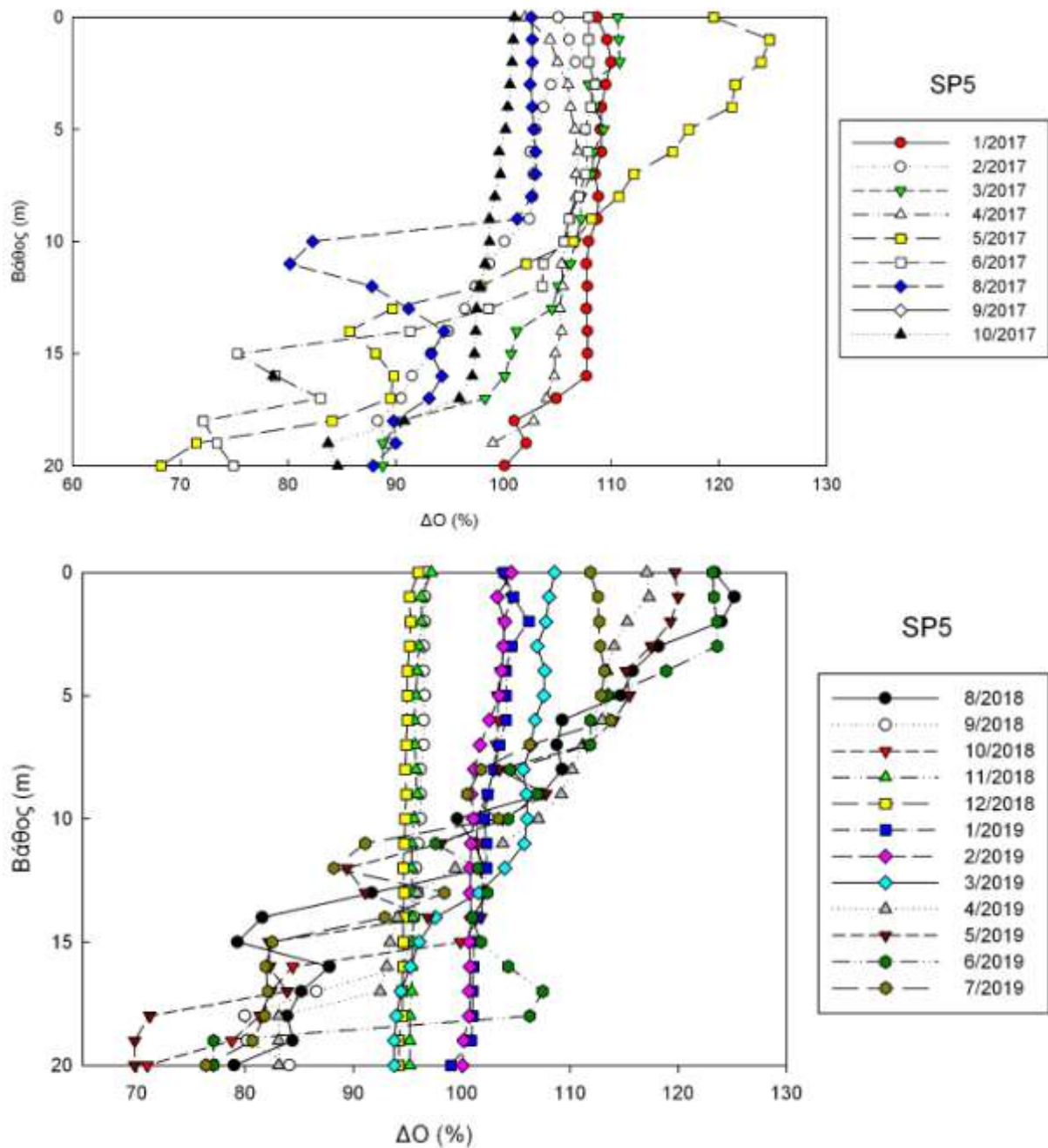
Στους ρηχούς σταθμούς (SP2, SP3) ενδεχομένως λόγω του μικρού βάθους η κατανομή του κορεσμού δεν παρουσιάζει έντονες μεταβολές. Σε καμία περίπτωση δεν σημειώθηκε ποσοστό ένδειξης ανοξίας.



**Εικόνα 25.** Κατακόρυφη κατανομή του κορεσμού σε οξυγόνο (%) στον πελαγικό σταθμό SP4 (2017 και 2018-2019).

Στον σταθμό SP4 παρατηρήθηκε στρώμα νερού με χαμηλότερο ποσοστό κορεσμού (6 m - ~10m) στο οποίο και η θερμοκρασία ήταν χαμηλότερη από το υπερκείμενο (Εικ. 8 και Εικ. 25).





**Εικόνα 26.** Κατακόρυφη κατανομή του κορεσμού σε οξυγόνο (%) στον πελαγικό σταθμό SP5 (2017 και 2018-2019).

Παρόμοιο φαινόμενο με τον σταθμό SP4 παρατηρήθηκε και στον σταθμό SP5 κατά τους θερινούς μήνες. Το μέγιστο βάθος στον σταθμό αυτό είναι σχεδόν 5m μεγαλύτερο από τον SP4 και το χαμηλότερο ποσοστό κορεσμού παρατηρήθηκε κάτω από τα τελευταία 5m.

#### 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 με τη χρονική περίοδο του έτους. Τέλος, ορισμένες κατηγορίες οργανισμών απαιτούν πυρίτιο για την ανάπτυξη του σκελετού τους.

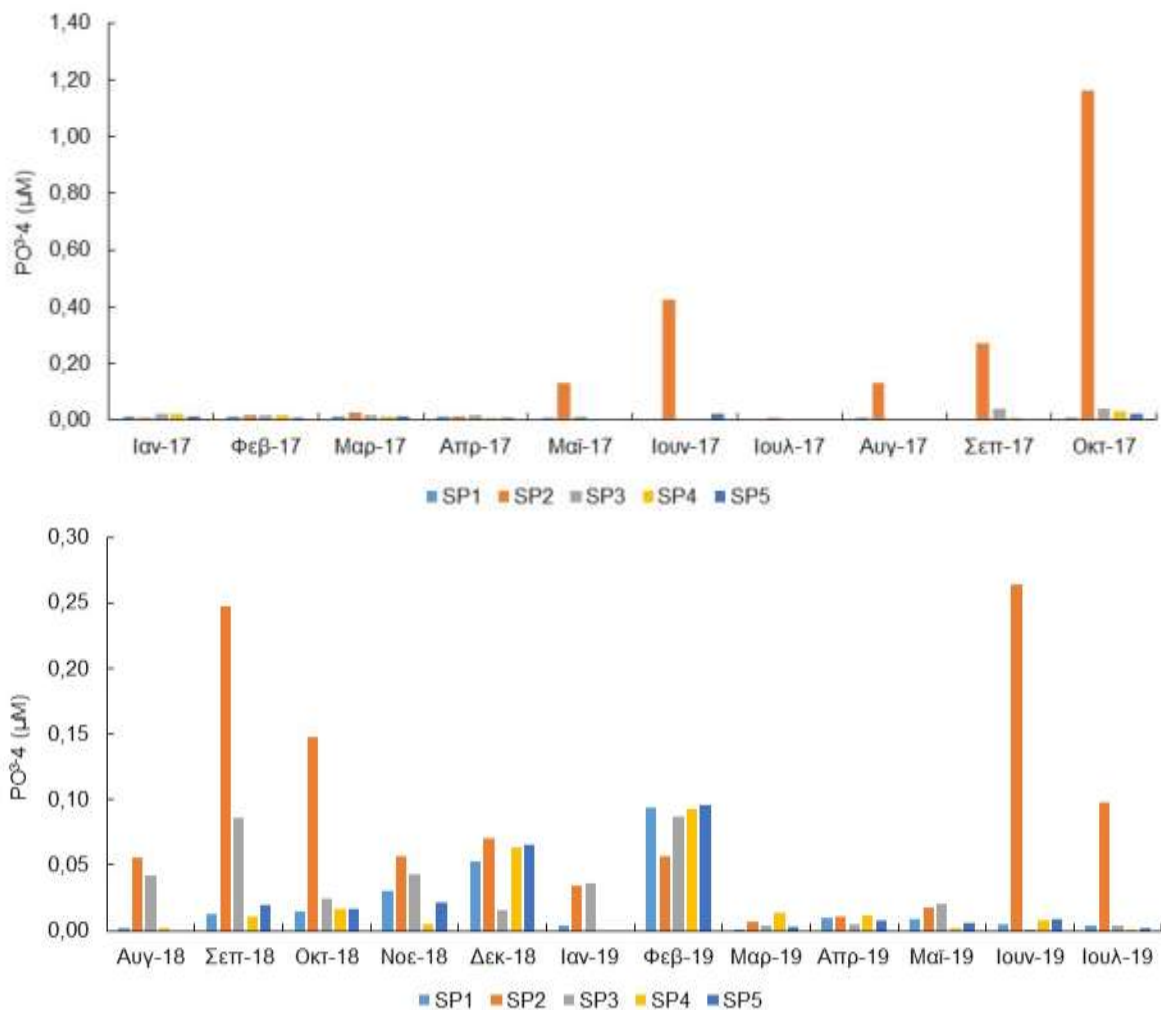
Τα αμμωνιακά, τα νιτρώδη και τα νιτρικά ιόντα αντιπροσωπεύουν τις τρεις κυριότερες διαλυμένες ανόργανες μορφές αζώτου στις παράκτιες περιοχές, με τα νιτρικά να απαντούν στις υψηλότερες συγκεντρώσεις. Μελετώντας τον κύκλο του αζώτου στη θάλασσα, η εξέταση των νιτρωδών είναι χρήσιμη καθώς τα ιόντα αυτά 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  $\mu\text{M}$  ( $=\mu\text{g-at/L}$ ) ενώ των ορθοφωσφορικών σπανίως ξεπερνούν τα 2-3  $\mu\text{M}$  (Μουστάκα-Γούνη 1997, Kennish 1997, Pinet 1998).

Περιοχές εκβολών και γενικά η παράκτια ζώνη συχνά δέχεται υψηλά φορτία θρεπτικών ουσιών από σημειακές και μη σημειακές πηγές (αγροτικές, βιομηχανικές, αστικές, ατμόσφαιρα κλ.π.). 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 για το 2017 στους πελαγικούς σταθμούς κυμάνθηκε από 0.008  $\mu\text{M}$  (SP1) έως 0.22  $\mu\text{M}$  (SP2) και η μέση τιμή ήταν 0,05  $\mu\text{M}$ . Η χαμηλότερη μέση ετήσια συγκέντρωση ήταν 0,07  $\mu\text{M}$  στον SP1 και η μέση υψηλότερη συγκέντρωση ήταν 0,22  $\mu\text{M}$  στον SP2. Η χαμηλότερη μέση μηνιαία ήταν 0,01  $\mu\text{M}$  (Απρίλιος) και η υψηλότερη μέση μηνιαία ήταν 0,25  $\mu\text{M}$  τον Οκτώβριο. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σε όλους τους σταθμούς μετρήθηκαν τον Οκτώβριο (Εικ. 27). Κατά τον επόμενο κύκλο (2018-2019) παρακολούθησης το εύρος της συγκέντρωσης ήταν από 0,02  $\mu\text{M}$  (SP1) έως 0,09  $\mu\text{M}$  (SP2) και η μέση τιμή ήταν 0,036  $\mu\text{M}$ . Η χαμηλότερη μέση ετήσια συγκέντρωση ήταν 0,02  $\mu\text{M}$  στους βαθείς σταθμούς (SP1, SP2, SP5) και η μέση υψηλότερη συγκέντρωση ήταν 0,09  $\mu\text{M}$  στον SP2. Η χαμηλότερη μέση μηνιαία ήταν 0,0051  $\mu\text{M}$  (Μάρτιος) και η υψηλότερη μέση μηνιαία ήταν 0,075  $\mu\text{M}$  τον Σεπτέμβριο. Η κατανομή τόσο μεταξύ των σταθμών όσο και τη διάρκεια της παρακολούθησης ήταν παρόμοιες τα δύο έτη 2017-2019 (Εικ. 27).

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 1982) κυμάνθηκε σε 0,11-0,33  $\mu\text{M}$ . Μια δεκαετία περίπου αργότερα οι Gotsis-Skretas & Friligos (1990) δημοσίευσαν για το 1984 συγκεντρώσεις που κυμάνθηκαν μεταξύ 0,10-3,71  $\mu\text{M}$  (Δεκέμβριος 1984: 0,10-1,03  $\mu\text{M}$ , Μάιος 1985: 0,18-3,71  $\mu\text{M}$ , Σεπτέμβριος 1985: 0,14-0,88  $\mu\text{M}$ ) και στον Όρμο η μέγιστη συγκέντρωση των φωσφορικών ήταν 1,03  $\mu\text{M}$ . Στη μελέτη του ΕΛΚΕΘΕ (1994) το εύρος συγκεντρώσεων ήταν 0,04-1,33  $\mu\text{M}$  ενώ στην τελευταία μελέτη του (ΕΛΚΕΘΕ 2015) οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών στον Όρμο της Θεσσαλονίκης κυμάνθηκαν μεταξύ 0,112-0,336  $\mu\text{M}$  (μέσες τιμές από 0, 10, 18 m βάθος).



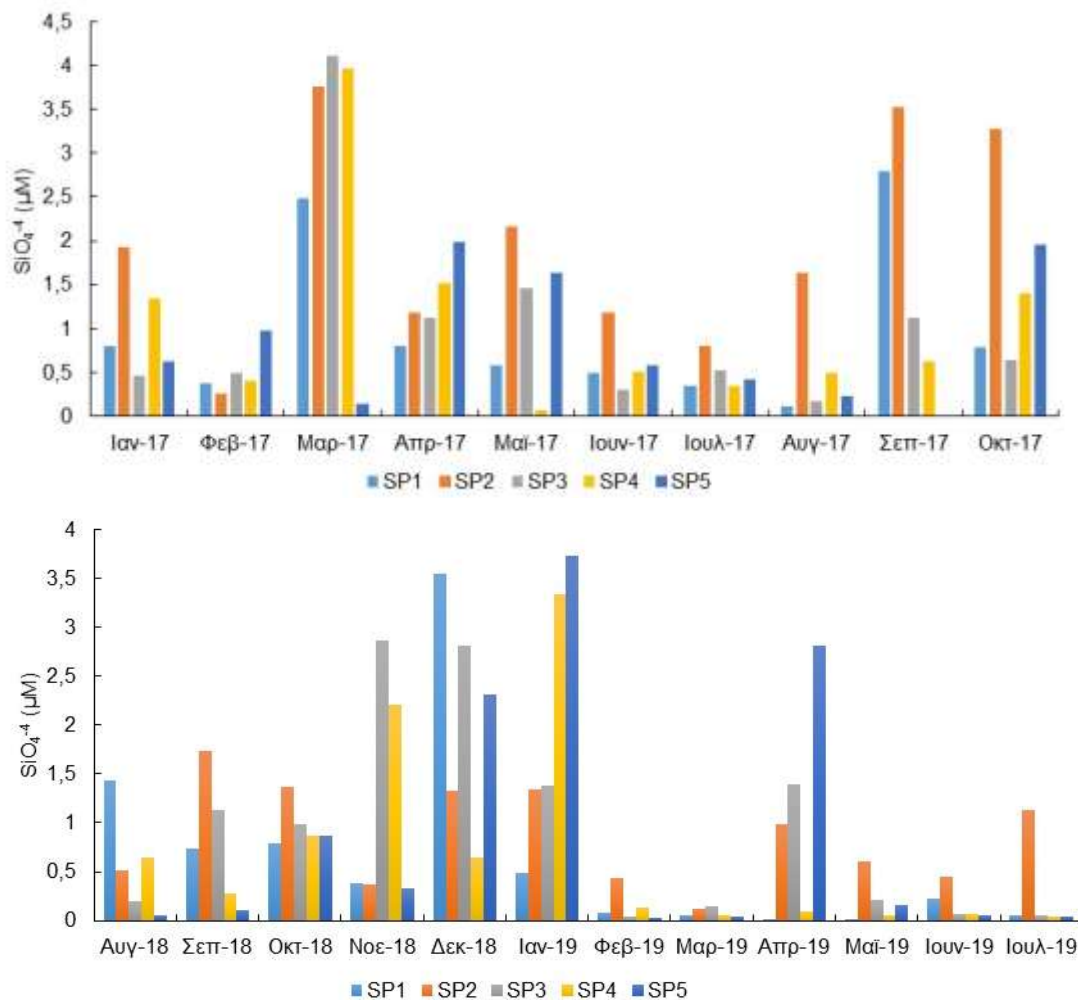
**Εικόνα 27.** Συγκέντρωση ( $\mu\text{M}$ ) των ορθοφωσφορικών ιόντων στους πελαγικούς σταθμούς (2017 και 2018-2019).

Ενδεχομένως οι παλαιότερες χαμηλότερες συγκεντρώσεις να οφείλονται στην αναπτυσσόμενη τότε γεωργική δραστηριότητα της λεκάνης απορροής του Θερμαϊκού και στον αρκετά χαμηλότερο πληθυσμό της Θεσσαλονίκης. Η αυξητική τάση των επόμενων δεκαετιών αποδίδεται στην εντατικοποίηση της γεωργικής δραστηριότητας με την ταυτόχρονη εφαρμογή λιπασμάτων, στη μεταβολή της σύνθεσης και στην αύξηση της κατανάλωσης απορρυπαντικών οικιακής χρήσης.

#### 4.2.5.3. Πυριτικά

Οι συγκεντρώσεις των πυριτικών κυμάνθηκαν μεταξύ 0,003 (SP4) και 4,11  $\mu\text{M}$  (SP3) το 2017 ενώ το 2018-2019 από 0,009  $\mu\text{M}$  (SP1) και 3,7  $\mu\text{M}$  (SP5) (Εικ. 28). Η μέγιστη τιμή του 2017 (4,11  $\mu\text{M}$ ) μετρήθηκε τον Μάρτιο στον σταθμό που βρίσκεται στην εκβολή του Γαλλικού (SP3) ενώ το 2018-2019 τον Ιανουάριο στον SP5 (3.73  $\mu\text{M}$ ). Γενικότερα, οι υψηλές συγκεντρώσεις μετρήθηκαν την άνοιξη και τις αρχές του καλοκαιριού. Η συγκέντρωση των πυριτικών ιόντων ήταν υψηλότερη κοντά στους σταθμούς όπου διαχέονται οι εισροές άναλου νερού από το αντλιοστάσιο της Παλιομάνας (SP2) και τον Γαλλικό (SP3).

Η συγκέντρωση των πυριτικών ιόντων πριν από περίπου 40 έτη κυμαινόταν μεταξύ 1,29-3,28  $\mu\text{M}$  (Friligos & Kousouris 1982). Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 η συγκέντρωση μεταβλήθηκε από 0,39 έως 9,54  $\mu\text{M}$  (Gotsis-Skretas & Friligos 1990). Την επόμενη δεκαετία η συγκέντρωση των πυριτικών ιόντων στον Όρμο της Θεσσαλονίκης κυμάνθηκε μεταξύ 0,32-1,93  $\mu\text{M}$  (ΕΛΚΕΘΕ 1994). Στην πρόσφατη μελέτη του ΕΛΚΕΘΕ (2015) τα πυριτικά ιόντα στον Όρμο κυμάνθηκαν μεταξύ 2,6-10,6  $\mu\text{M}$  (μέσες τιμές από 0, 10, 18 m βάθος).

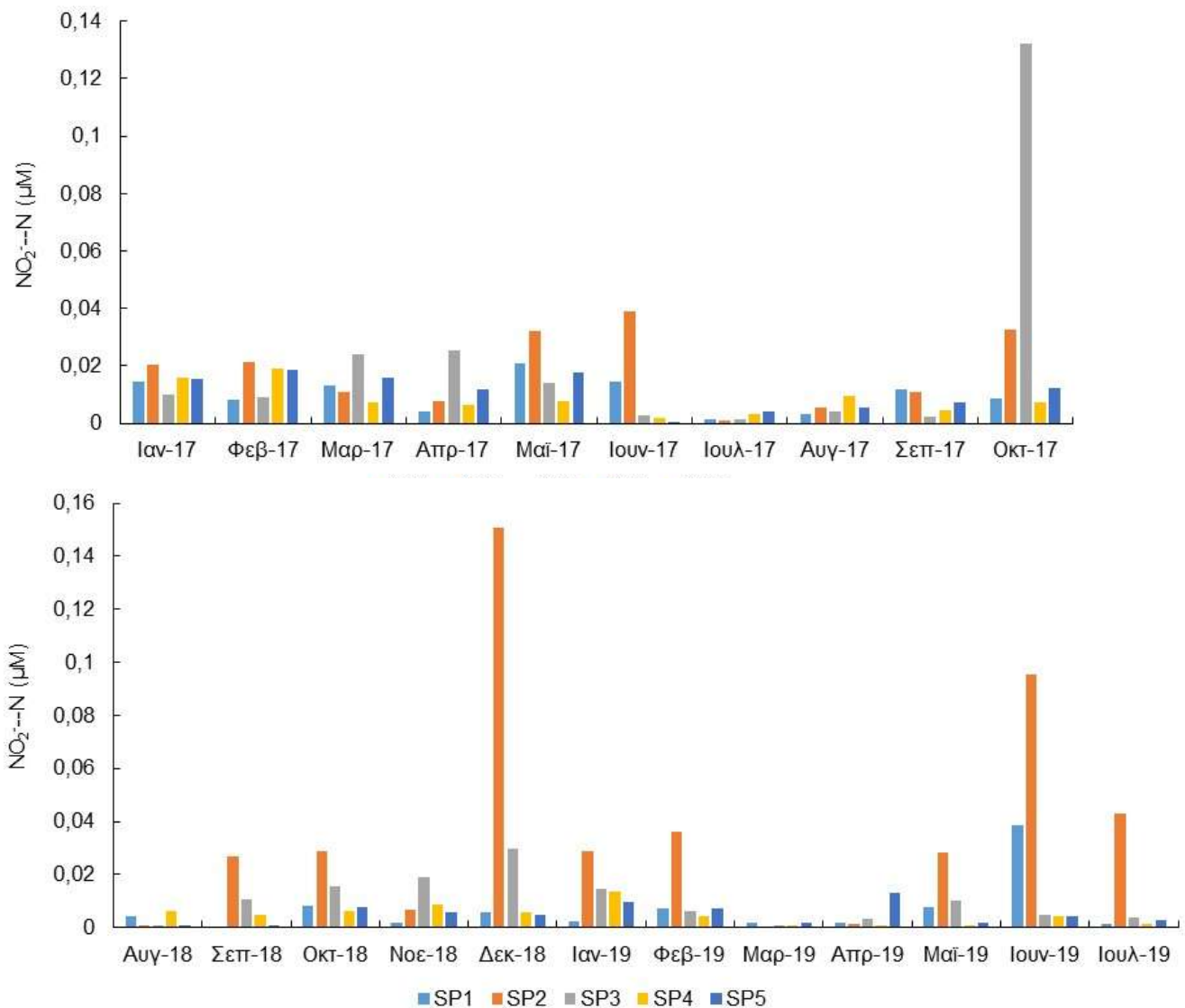


**Εικόνα 28.** Συγκέντρωση ( $\mu\text{M}$ ) των πυριτικών ιόντων στους πελαγικούς σταθμούς (2017 και 2018-2019).

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 δια μέσου 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.

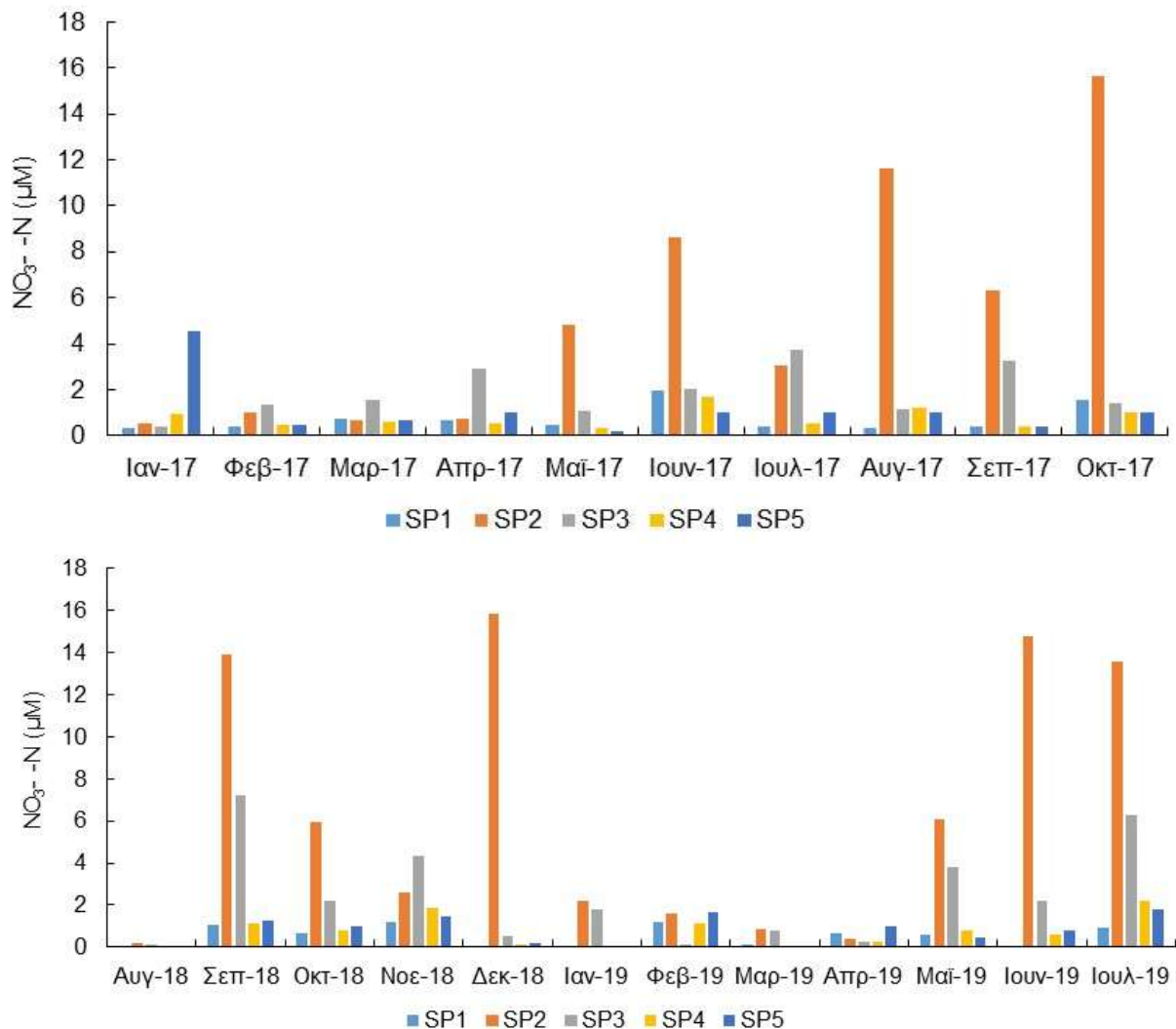
#### 4.3.5.3. Άζωτο: νιτρικά - νιτρικά - αμμωνιακά

Το 2017 (Οκτ.) στον σταθμό SP3 (αβαθή εκβολής Γαλλικού) μετρήθηκε η υψηλότερη συγκέντρωση (0,13  $\mu\text{M}$ ) από όλους τους σταθμούς ενώ για το 2018-2019 (Δεκ.) ήταν 0,15  $\mu\text{M}$  στον SP2. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νιτρικών για το 2017 σε όλους τους σταθμούς μετρήθηκαν τον μήνες Μάιο και Οκτώβριο ενώ για το 2018-2019 (τον Δεκέμβριο (Εικ. 29).



**Εικόνα 29.** Συγκέντρωση ( $\mu\text{M}$ ) αζώτου νιτρικών ιόντων στους πελαγικούς σταθμούς (2017 και 2018-2019).

Η συγκέντρωση των νιτρικών στο τέλος της δεκαετίας του 1970 κυμάνθηκε μεταξύ 0,06-0,31  $\mu\text{M}$  (Friligos & Koussouris 1982) ενώ την επόμενη δεκαετία σύμφωνα με τους Gotsis-Skretas, Friligos (1990) παρατηρήθηκε μικρή αύξηση: τον Δεκέμβριο 1984 ήταν 0,04-1,02  $\mu\text{M}$ , τον Μάιο 1985 ήταν 0,06-0,57  $\mu\text{M}$  και τον Σεπτέμβριο 1985 ήταν 0,01-0,26  $\mu\text{M}$ . Στον Όρμο η υψηλότερη συγκέντρωση ήταν 1,02  $\mu\text{M}$ . Κατά την ωκεανογραφική μελέτη του ΕΛΚΕΘΕ (1994), η συγκέντρωση των νιτρικών στον βόρειο Θερμαϊκό κυμάνθηκε μεταξύ 0,03-0,43  $\mu\text{M}$  και την επόμενη δεκαετία η συγκέντρωση κυμάνθηκε μεταξύ 0,12-2,104  $\mu\text{M}$  (μέσες τιμές από 0, 10, 18 m βάθος) (ΕΛΚΕΘΕ 2015). Παρατηρήθηκε γενικά μείωση στη συγκέντρωση των νιτρικών με εξαίρεση το έτος 2015.

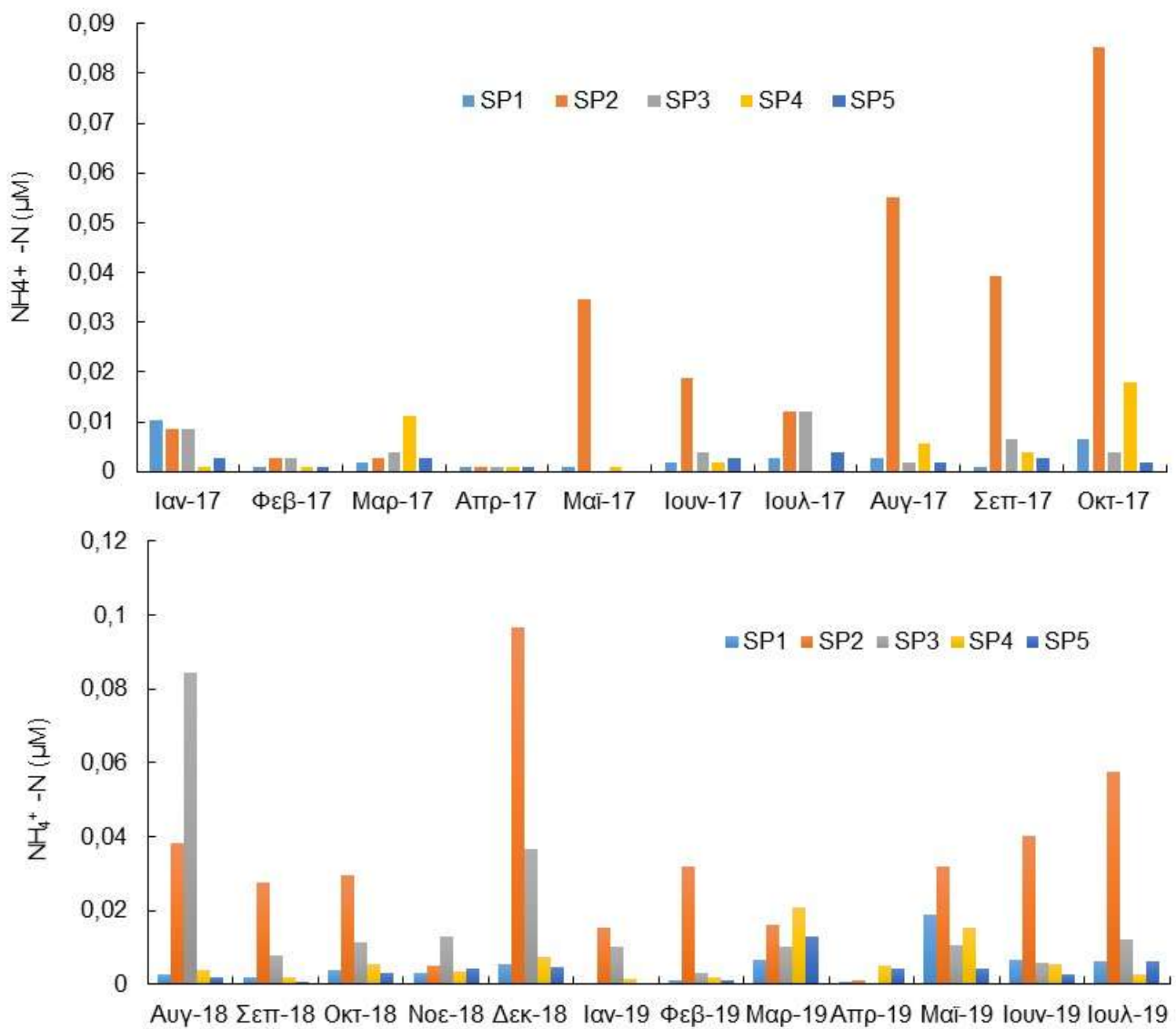


**Εικόνα 30.** Συγκέντρωση ( $\mu\text{M}$ ) αζώτου νιτρικών στους πελαγικούς σταθμούς (2017 και 2018-2019).

Το εύρος της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων για το 2017 ήταν 0,17  $\mu\text{M}$  και 15,63  $\mu\text{M}$ . Η ελάχιστη συγκέντρωση αφορούσε στον σταθμό SP3 (εκβολή Γαλλικού) τον Μάιο και η μέγιστη στον σταθμό SP2 (εκβολή Αντλιοστασίου) τον Οκτώβριο. Σε όλους τους σταθμούς η γενική τάση ήταν οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις να παρατηρούνται κατά τους ψυχρούς μήνες και στα δύο έτη και οι υψηλές με την άνοδο της θερμοκρασίας (Εικ. 30).



Πριν σχεδόν σαράντα έτη (Σεπτέμβριος 1977, Friligos & Kousouris 1982) οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στο εσωτερικό του Θερμαϊκού κυμαίνονταν σε ένα μεγάλο εύρος μεταξύ 0,40-2,92  $\mu\text{M}$ . 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  $\mu\text{M}$ , τον Μάιο 1985 μεταξύ 0,07-5,80  $\mu\text{M}$  και τον Σεπτέμβριο 1985 0,11-1,00  $\mu\text{M}$ . 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  $\mu\text{M}$ . Είκοσι έτη αργότερα αν και οι συγκεντρώσεις εμφανίστηκαν χαμηλότερες (0,25-0,976  $\mu\text{M}$ ) αυτές αναφέρονται σε σταθμούς στον ευρύτερο Θερμαϊκό και όχι στον Όρμο της Θεσσαλονίκης (ΕΛΚΕΘΕ 2015).



**Εικόνα 31.** Συγκέντρωση ( $\mu\text{M}$ ) αζώτου αμμωνιακών στους πελαγικούς σταθμούς (2017 και 2018-2019).

Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών κυμάνθηκαν το 2017 μεταξύ του ορίου ανίχνευσης και 0,085  $\mu\text{M}$ , με την υψηλότερη τιμή να σημειώνεται στον σταθμό SP2 (αντλιοστάσιο Παλιομάνας) τον Οκτώβριο (Εικ. 31). Το ίδιο έτος η χαμηλότερη συγκέντρωση η οποία ήταν στο όριο ανίχνευσης της μεθόδου παρατηρήθηκε στους δύο βαθείς σταθμούς (SP4 και SP5). Οι δύο αβαθείς σταθμοί (SP2, SP3) εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις από τους υπόλοιπους. Όσον αφορά τη χρονική κατανομή, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίστηκαν τους θερμούς μήνες (Εικ. 31). Το επόμενο έτος (2017-2018) το εύρος των συγκεντρώσεων ήταν μεταξύ του ορίου ανίχνευσης και 0,096  $\mu\text{M}$  με την υψηλότερη τιμή να σημειώνεται όπως και το 2017 στον σταθμό SP2 τον Δεκέμβριο. Η χαμηλότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στον σταθμό SP5. Με εξαίρεση τον Δεκ-2018 όπως και το προηγούμενο έτος, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις γενικά παρατηρήθηκαν κατά τους θερμότερους μήνες (Εικ. 31).

Πριν σαράντα σχεδόν έτη (Σεπτέμβριος 1977) το εύρος των συγκεντρώσεων στον εσωτερικό Θερμαϊκό ήταν πολύ υψηλότερο, συγκεκριμένα κυμάνθηκε μεταξύ 0,40-5,00  $\mu\text{M}$  (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  $\mu\text{M}$  τον Δεκέμβριο (1984), τον Μάιο (1985) από 0,49 έως 16,7  $\mu\text{M}$  και τον Σεπτέμβριο (1985) από 0,06 έως 1,52  $\mu\text{M}$ . Η συγκέντρωση των αμμωνιακών στο μέσο της δεκαετίας του 1990 προσδιορίστηκε από 0,09 έως 2,88  $\mu\text{M}$  (ΕΛΚΕΘΕ 1994). Εικοσιπέντε έτη από τη λειτουργία της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, η ελάχιστη τιμή (0,311  $\mu\text{M}$ ) ήταν σχεδόν τριπλάσια από αυτή του 1994, ενώ η μέγιστη τιμή (1,382  $\mu\text{M}$ ) ήταν σχεδόν μισή από αυτή του 1994.



#### 4.2.6 Οργανικοί ρύποι

Στο πλαίσιο του έργου της παρακολούθησης παραμέτρων ποιότητας του Όρμου της Θεσσαλονίκης εξετάστηκε το νερό και το ίζημα του Όρμου για πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ, PAHs-polycyclic aromatic hydrocarbons).

Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) αποτελούν μεγάλη ομάδα οργανικών ενώσεων με δύο ή περισσότερους ενωμένους αρωματικούς δακτυλίους. Η διαλυτότητά τους στο νερό είναι χαμηλή και παρουσιάζουν έντονα λιποφιλικά χαρακτηριστικά. Διαλυμένοι στο νερό ή προσροφημένοι σε σωματιδιακή ύλη είναι δυνατόν να υποστούν φωτοδιάσπαση εάν εκτεθούν στην υπεριώδη φως που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Δεσμευμένοι στη σωματιδιακή ύλη η οποία στη συνέχεια κατακρημνίζεται στη στήλη του νερού συσσωρεύονται στο ίζημα. Συνέπεια του υδροφοβικού χαρακτήρα τους στη θάλασσα οι ΠΑΥ συσσωρεύονται κυρίως στους οργανισμούς, στη σωματιδιακή ύλη και στο ίζημα (Blasco *et al.*, 2016).

Στην ατμόσφαιρα οι ΠΑΥ είναι δυνατόν να αντιδράσουν με άλλες ενώσεις και ρύπους όπως το όζον, τα οξείδια του αζώτου και του θείου παράγοντας δικετόνες, άζωτο- και θείο-ΠΑΥ και σουλφονικά οξέα. ΠΑΥ είναι δυνατόν να απελευθερωθούν από κάποιους οργανισμούς στο έδαφος (ΠΟΥ 2000).

Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) είναι από τις σοβαρότερες κατηγορίες ρύπων και αποτελούν δευτερογενή προϊόντα της καύσης διαφόρων ενώσεων. Φυσική πηγή ΠΑΥ αποτελούν η δασικές πυρκαγιές και τα ηφαίστεια. Το μεγαλύτερο ποσοστό όμως στο περιβάλλον προέρχεται από ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η επεξεργασία του άνθρακα, των πετρελαιοειδών, η καύση φυσικού αερίου, τα καύσιμα των αυτοκινήτων, ακόμα και το κάπνισμα (ΠΟΥ 2000).

Τα πρώτα δεδομένα για την παρουσία πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (ΠΑΥ) σε πελαγικές περιοχές της Ελλάδας δημοσιεύτηκαν περί το τέλος της δεκαετίας 1990 (Hatzianestis *et al.*, 1998) και η συγκέντρωσή τους ήταν μεταξύ 31,0 και 176,3 ng/g. Στη συνέχεια αρκετοί ερευνητές δημοσίευσαν δεδομένα τόσο για παράκτιες όσο και πελαγικές περιοχές (Gogou *et al.*, 2000, Hatzianestis *et al.*, 1998, 2001, Papadopoulou *et al.*, 2001, Καβάλα: 44 - 166 ng/g, Tsapakis *et al.*, 2010 Κρήτη: 6 - 7,6 ng/g, Kapsimalis *et al.*, 2010 Θερμαϊκός: 404 - 747 ng/g, Botsou *et al.*, 2012 Θερμαϊκός: 145 - 943 ng/g, Sklivagou *et al.*, 2015 Σαρωνικός: 214 - 11181 ng/g).

Πίνακας 2. Συγκέντρωση πολυκυκλικών αρωματικών υδρογοναθράκων (mg/kg ξ.β.) στο ίζημα των πελαγικών σταθμών (SP1-SP5).

Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάθρακες	Όριο αναφ. (ng/g ξ.β.)	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	Βασικές χρήσεις/πηγές <sup>1</sup>
Napthalene	10	<10	<10	<10	<10	<10	Πίσσα, χρωστικές, εντομοκτόνα, τσιμεντοβιομηχανία
Acenaphthylene	10	<10	<10	<10	<10	<10	2% της πίσσας
Acenaphthene	10	<10	<10	<10	<10	<10	Παρασκευή βαφών και γυαλιστικών
Fluorene	10	<10	<10	<10	<10	<10	Βιομηχανία φθοριζουσών επιφανειών, επιφανειών LED
Phenathrene	10	<b>18</b>	<10	<10	<10	<b>23</b>	Βιομηχανία χρωστικών, πλαστικών, αγροχημικών, εκρηκτικών και φαρμάκων (χοληστερόλης, στεροειδών)
Anthracene	10	<10	<10	<10	<10	<10	Πίσσα
Fluoranthene	10	<b>28</b>	<10	<10	<10	<b>22</b>	Πίσσα/ανήκει στους 16 ΠΑΥ προτεραιότητας κατά EPA-USA
Pyrene	10	<b>25</b>	<10	<10	<10	<b>19</b>	Πίσσα/1μg/km από τα οχήματα
Benz(a)anthracene	10	<b>11</b>	<10	<10	<10	<10	Καρκινογόνο συστατικό του καπνού τσιγάρων
Chrysene	10	<b>12</b>	<10	<10	<10	<10	Συστατικό του καπνού τσιγάρων/πιθανώς καρκινογόνο
Benzo(b)fluoranthene	10	<b>16</b>	<10	<10	<10	<b>11</b>	Καύση άνθρακα/πετρελαιοειδών/πιθανώς καρκινογόνο
Benzo(k)fluoronathene	10	<10	<10	<10	<10	<10	Καυσαέρια βενζίνης, καπνός τσιγάρων, πίσσα, λιπαντικών/αναμενόμενο καρκινογόνο
Benzo(a)pyrene	10	<b>11</b>	<10	<10	<10	<10	Καυσαέρια βενζίνης, καπνός τσιγάρων, πίσσα, λιπαντικών, κάπνισμα & ψήσιμο τροφών/αναμενόμενο καρκινογόνο
Indeno(1.2.3.cd)pyrene	10	<10	<10	<10	<10	<10	Καυσαέρια βενζίνης, καπνός τσιγάρων, πίσσα, λιπαντικών, κάπνισμα & ψήσιμο τροφών/αναμενόμενο καρκινογόνο
Benzo(g,h,i)perylene	10	<b>11</b>	<10	<10	<10	<10	Άγνωστη πηγή/ισχυρό τοξικό για την υδρόβια ζωή με έμμονη δράση
Dibenz(a,h)anthracene	10	<10	<10	<10	<10	<10	Καυσαέρια βενζίνης, καπνός τσιγάρων, πίσσα, λιπαντικών, κάπνισμα & ψήσιμο τροφών/αναμενόμενο καρκινογόνο
Σύνολο 16 ΠΑΥ	10	<160	<160	<160	<160	<160	

1: US National Institutes of Health (NIH), European Chemical Agency (ECHA)

Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες που ανιχνεύθηκαν στο ίζημα του Όρμου της Θεσσαλονίκης ήταν συνολικά 16 (Πιν. 2). Οι κυριότερες πηγές και χρήσεις τους αφορούν στην ατελή καύση άνθρακα, πετρελαιοειδών, επεξεργασία τροφίμων, καπνοβιομηχανία κ.λπ.

Αν και ελάχιστες ενώσεις αναφέρονται ως βεβαιωμένα καρκινογόνο εντούτοις όλες αναφέρονται ως πιθανές καρκινογόνες.

Οι περιοχές που φαίνονται πιο επιβαρυνμένες στον όρμο (σταθμοί SP1 και SP5) βρίσκονται στο κέντρο του Όρμου και πλησίον της ανατολικής ακτής. Αν και οι δύο περιοχές βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από την παράκτια βιομηχανική δραστηριότητα πιθανώς αυτό να οφείλεται στην μεταφορά των ελαφρότερων ιζημάτων από τα ρεύματα του Όρμου. Συγκρινόμενες αυτές οι συγκεντρώσεις με άλλες από βιομηχανικές περιοχές στην Ελλάδα και στον ευρύτερο Θερμαϊκό είναι χαμηλότερες (Πιν. 2).

Για την χημική οξείδωση οργανικών ρύπων (πετρελαιοειδή, οργανικοί διαλύτες, απορρυπαντικά κα) και ανόργανων στο υδάτινο περιβάλλον καταναλώνεται οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand - COD) από το διαλυμένο στο νερό. Αυτό δεσμεύει από τη διαθέσιμη για την αναπνοή των οργανισμούς ποσότητα οξυγόνου οδηγώντας σε ανοξικές συνθήκες.

Αντιστοίχως το οξυγόνο που καταναλώνεται για τη βιολογική αερόβια διάσπαση οργανικού φορτίου (αστικά λύμματα, κτηνοτροφικά κοκ) αναφέρεται ως Βιοχημικός Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand - BOD). Έτσι οι δύο παράμετροι χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού.

**Πίνακας 3.** Συγκέντρωση BOD<sub>5</sub> (mg/L), COD (mg/L) λιπών/ελαίων (mg/L) και πετρελαϊκών υδρογονανθράκων (mg/L) στα ιζήματα του όρμου της Θεσσαλονίκης.

	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	Όριο αναφοράς
Λίπη & έλαια	MA	MA	MA	MA	MA	3
Πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες	MA	MA	MA	MA	MA	2
COD	7200	1300	1650	30950	9750	33
SOD	1800	500	500	4000	2000	6

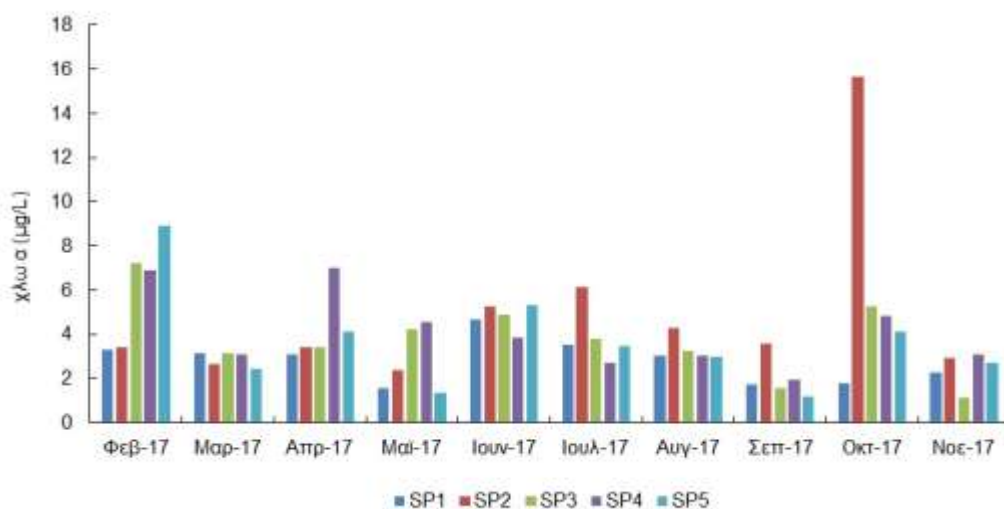
\*SOD: Sediment Oxygen Demand

Οι περιοχές που φαίνεται (Πιν. 3) περισσότερο επιβαρυνμένες με οργανικό φορτίο είναι στους σταθμούς SP1, SP4 και SP5 ενώ σε καμιά περίπτωση δεν ανιχνεύθηκαν επίπεδα υδρογονανθράκων υψηλότερα από τα όρια ανίχνευσης των μεθόδων (Μη ανιχνεύσιμη – MA).

#### 4.4. Βιολογικές παράμετροι στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5)

##### 4.4.1. Χλωροφύλλη α

Βιολογικές παράμετροι όπως η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α και η βιομάζα, 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 αποτελεί εκτιμήτρια παράμετρο 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).

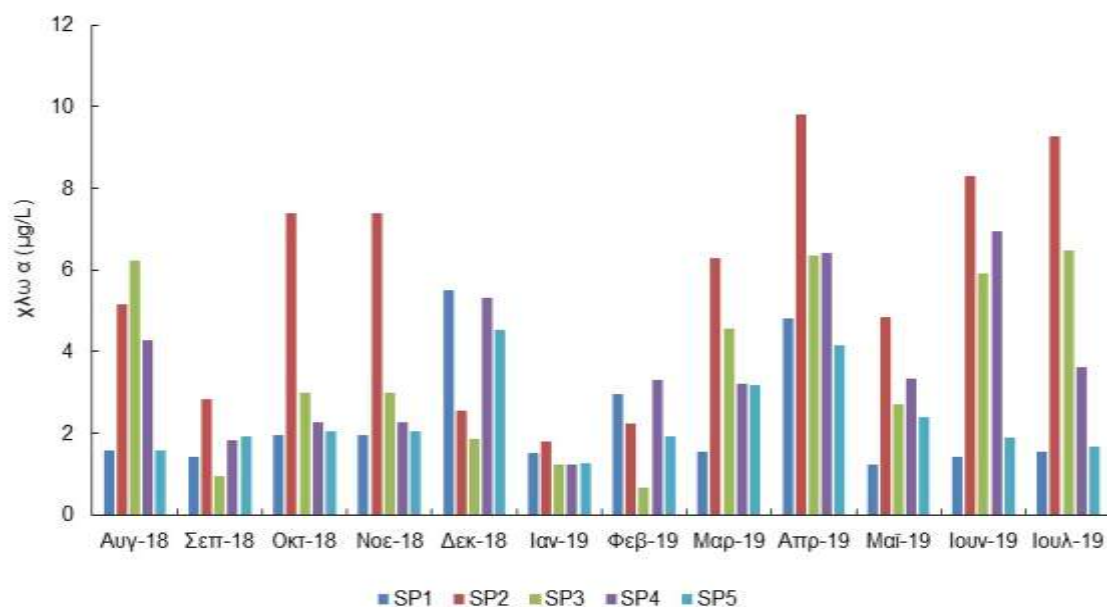


**Εικόνα 32.** Συγκέντρωση χλωροφύλλης α (µg/L) στους πελαγικούς σταθμούς (2017).

Το 2017 στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5), η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α κυμάνθηκε από 1,12 έως 15,64 µg/L και η υψηλότερη μέση ετήσια μετρήθηκε στον σταθμό SP2 (4,97 µg/L) και η χαμηλότερη στον SP1 (2,80 µg/L) (Εικ. 32).

Η χρονική κατανομή της συγκέντρωσης παρουσίασε την αναμενόμενη εποχική διακύμανση. Έτσι, παρατηρήθηκε σταδιακή αύξηση από το τέλος του χειμώνα έως το μέσο της θερμής περιόδου (Ιούλιος-Αύγουστος) (Εικ. 32). Η υψηλότερη μέση μηνιαία τιμή από όλους τους σταθμούς υπολογίσθηκε τον Οκτώβριο (6,32 µg/L) και η χαμηλότερη (1,99 µg/L) τον Σεπτέμβριο.

Το επόμενο έτος της παρακολούθησης (2018-2019) η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α κυμάνθηκε από 0,66 έως 9,79 µg/L και η υψηλότερη μέση ετήσια μετρήθηκε στον σταθμό SP2 (5,65 µg/L) και η χαμηλότερη στον SP1 (2,28 µg/L) (Εικ. 33).



**Εικόνα 33.** Συγκέντρωση χλωροφύλλης α (µg/L) στους πελαγικούς σταθμούς (2018-2019).

Εκτός από τους χειμερινούς μήνες οι υψηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν στον σταθμό SP2.

Πρέπει να σημειωθεί ότι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης α της τάξης 10-40 µg/L είναι τυπικές φυτοπλαγκτονικών μεγίστων (blooms) σε εύτροφα παράκτια νερά (Riley & Chester 1971), 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 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).

## 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.

Συγκεκριμένα:

Η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας δεν παρουσίασε αξιόλογη μεταβολή κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου (χειμώνας και αρχή άνοιξης).

Οι μεγαλύτερες διαφορές στην κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας σημειώθηκαν στους σταθμούς SP2 και SP3 και αποδίδονται κυρίως στο μικρό βάθος (>3m) και τη μικρή απόσταση από την έξοδο των στραγγιστικών αντλιοστασίων (σταθμοί πλησίον της εκβολής του ποταμού Γαλλικού).

Σε όλους τους σταθμούς και σε όλα τα βάθη, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου παραμένει κοντά στο όριο του κορεσμού και αυτό σημαίνει ότι δεν υπήρξαν συνθήκες έλλειψης οξυγόνου.

Η συγκέντρωση των φωσφορικών και των πυριτικών παρουσιάζει μείωση από τη δεκαετία του '90 έως το 2016. Οι σταθμοί στα δυτικά και κοντά στην εκβολή του Γαλλικού ποταμού (αβαθή) εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές και μοιάζουν να επηρεάζονται από την είσοδο του εμπλουτισμένου άναλου νερού του ποταμού.

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων ήταν υψηλότερες στους αβαθής σταθμούς, και κυρίως στον σταθμό που βρίσκεται κοντά στην εκβολή του Γαλλικού ποταμού, πιθανότατα εξαιτίας της εισόδου εμπλουτισμένου νερού.

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α παρουσίασε την αναμενόμενη εποχιακή διακύμανση (αύξηση από το τέλος του χειμώνα έως τον Ιούλιο-Αύγουστο), με τη μεγαλύτερη διακύμανση να παρατηρείται στους αβαθής σταθμούς (γεγονός που ενισχύει την άποψη ότι η φυσιογνωμία της περιοχής πλησίον της εκβολής του Γαλλικού ποταμού είναι περισσότερο ασταθής σε σύγκριση με τους υπόλοιπους σταθμούς).

Το ίζημα του Όρμου της Θεσσαλονίκης συγκρινόμενο με άλλες θαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας στις οποίες υπάρχει έντονη παράκτια βιομηχανική δραστηριότητα (π.χ. Σαρωνικός, Καβάλα) είναι λιγότερο επιβαρυσμένο από πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες.



## 6. Βιβλιογραφία

- 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.
- Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 2000. Air Quality Guidelines 2nd edition, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- Φυτιάνος Κ. 1996. Η ρύπανση των θαλασσών. University Studio Press, Β' έκδοση.
- Bienfang P.J. and K. Gundersen. 1977. Light effect on nutrient-limited oceanic primary production. *Mar. Biol.*, 43: 187-191.
- Botsou, F., I. Hatzianestis, 2012. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in marine sediments of the Hellenic coastal zone, eastern Mediterranean: levels, sources and toxicological significance. *J. Soils Sediments* 12:265-277.
- Bradshaw, A. & Schleicher, K. E. The effect of pressure on the electrical conductance of sea water. *Deep Sea Research & Oceanographic Abstracts* 12, 151–162 (1965).
- Cooper L.H.N. 1933. Chemical constituents of biological importance in the English Channel, November 1930 to January 1932. Part I. Phosphate, silicate, nitrate, nitrite, ammonia. *J. of Mar. Biol. Ass.*, Vol. XVIII, No. 2, p 677.
- Dauphinee, T. M. & Klein, H. P. The effect of temperature on the electrical conductivity of seawater. *Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography* 24, 891–902 (1977).
- Ehrhard, M. A new method for the automatic measurement of dissolved organic carbon in sea water. *Deep Sea Research & Oceanographic Abstracts* 16, 393–397 (1969).
- 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. 1982. Preliminary observations on sewage nutrient enrichment and phytoplankton ecology in the Thermaikos Gulf, Thessaloniki, Greece. *Vie et Milieu*, 34 (1), pp 35-39.
- Gogou, A.I, Bouloubassi, I. & Stephanou, 2000. Marine organic geochemistry of the eastern Mediterranean: 1. Aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in Cretan Sea surficial sediments. *Marine Chemistry*, 68: 265-282
- Gotsis-Skretas, O. and N. Friligos. 1990. Contribution to eutrophication and phytoplankton ecology in the Thermaikos Gulf. *Thalassographica*, Vol. 13, suppl. 1.

- Hatzianestis, J., E. Sklivagou and N. Friligos, 1998. Hydrocarbons in surface sediments from the Northern Aegean Sea. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 35.
- Hatzianestis, I., Sklivagou, E. and Georgakopoulou, E., 2001. Hydrocarbons, pesticides and PCBs in sediments from the Thermaikos gulf. *Fresenius Environmental Bulletin*, 10: 63-68.
- HMSO. 1980. Methods for the examination of waters and associated materials. The determination of chlorophyll a in aquatic environments.
- 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.
- Kapsimalis, V., I. Panagiotopoulos, T. Kanellopoulos, I. Hatzianestis, P. Antoniou and C. Anagnostou, 2010. A multi-criteria approach for the dumping of dredged material in the Thermaikos Gulf, Northern Greece. *J. of Environm. Management* 91, 2455-2465.
- Karleskint G. 1998. Introduction to marine biology. Harcourt Brace & Company. p.378
- 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.
- Marine Ecotoxicology. Ed. Blasco, J., P. M. Chapman, O. Campana, M. Hampel. 2016. Elsevier.
- 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](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)
- Papadopoulou, D., C. Samara, 2001. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Contamination and Lumistox\_ Solvent Extract Toxicity of Marine Sediments in the north Aegean Sea, Greece.
- Papush L. and Å. Daniellson. 2006. Silicon in the marine environment: Dissolved silica trends in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 67: 53-66.
- Pawlowicz, R. The electrical conductivity of seawater at high temperatures and salinities. *Desalination* 300, 32–39 (2012).
- Paytan, A. and K. McLaughlin. 2007. The oceanic phosphorus cycle. *Chem. Rev.*, 107, 503-576.

- 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.
- Riley J.P. and R. Chester. 1971. Introduction to marine chemistry. Academic Press, London and New York.
- Sklivagou, E., S. P. Varnavas, I. Hatzianestis & G. Kaniias, 2015. Assessment of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements in coastal sediments of the Saronikos Gulf, Greece (Eastern Mediterranean). Marine Georesources & Geotechnology, 26:4, 372-393.
- 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.
- Tréguer P., Nelson D.M., Van Bennekom A.J., DeMaster D.J., Leynaert A., Quequiner B. 1995. The silica balance in the world ocean: a re-estimate. Science 268: 375-379.
- Tsapakis, M., E. Dakanali, E.G. Stephanou & I. Karakassis, 2010. PAHs and n-alkanes in Mediterranean coastal marine sediments: aquaculture as a significant point source. J of Environm. Monitoring, 12, 958-963.
- 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.