

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΣΥΜΒΑΣΗ  
ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

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

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2019-2020

## **ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**



ΦΟΡΕΑΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ: ΔΗΜΟΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ



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



ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2020

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή .....	3
2. Περιοχή μελέτης.....	4
3. Μέθοδος .....	7
3.1. Σταθμοί δειγματοληψίας.....	7
3.2. Δειγματοληψίες .....	7
3.3. Παράμετροι παρακολούθησης .....	8
3.3.1. Μετρήσεις στο πεδίο .....	8
3.3.2. Μετρήσεις στο εργαστήριο.....	9
4. Αποτελέσματα - Συζήτηση .....	10
4.1. Διαφάνεια.....	10
4.2. Φυσικοχημικές παράμετροι .....	12
4.2.1. Θερμοκρασία .....	12
4.2.2. Αγωγιμότητα .....	15
4.2.3. pH.....	25
4.2.4. Διαλυμένο οξυγόνο .....	26
4.2.5. Θρεπτικά ιόντα .....	32
4.3. Βιολογικές παράμετροι .....	38
4.3.1. Χλωροφύλλη α.....	38
4.3.2. Φυτοπλαγκτό.....	41
4.3.3. Θαλάσσια μακρόφυτα.....	45
5. Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα .....	47
6. Βιβλιογραφία .....	48

## 1. Εισαγωγή

Το παρόν αποτελεί αναφορά αποτελεσμάτων των δειγματοληψιών και εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της Προγραμματικής Σύμβασης με Αρ. 270636/27.12.2019, η οποία αφορά 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 παρακολούθησης - έτος 2020).

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 τότε τρόπο παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων καθώς ιεραρχούν πρώτα τα βιολογικά ποιοτικά στοιχεία (π.χ. φυτοπλαγκτό, μακροφύκη και αγγειόσπερμα, ζωοβένθος, ψάρια κτλ) 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 επιβαρυνμένα 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 Περιβαλλοντικών Δράσεων του Δήμου Θεσσαλονίκης ώστε το

---

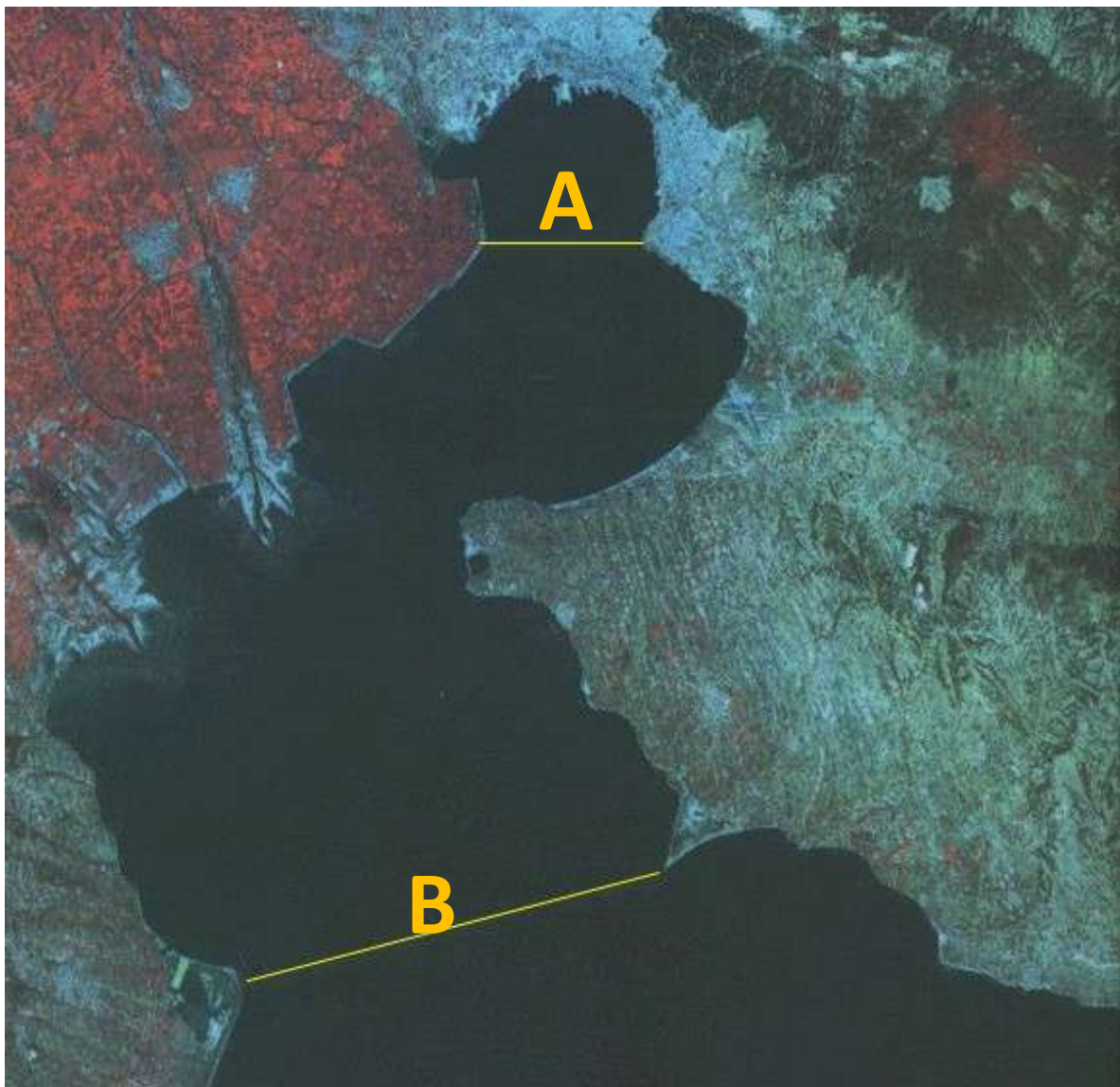
<sup>1</sup> Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (Οδηγία 2000/60/ΕΕ) έχει στόχο την επίτευξη της καλής οικολογικής κατάστασης όλων των επιφανειακών υδάτων (παράκτιων, μεταβατικών, λιμνών, ποταμών) των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το έτος 2015.

<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.

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

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

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

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

Τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα του πολεοδομικού ιστού της Θεσσαλονίκης και οι απορροές των γεωργικών εκτάσεων στις λεκάνες απορροής των ποταμών συνυπάρχουν με τις οικονομικές δραστηριότητες αναψυχής και αλιείας στον Θερμαϊκό κόλπο. Τα ανωτέρω έχουν άμεση επίδραση στην τροφική κατάσταση του θαλάσσιου οικοσυστήματος, η οποία

επιδεινώνεται από τα φυσικά γνωρίσματα του κόλπου (μικρό άνοιγμα, μικρό βάθος, κίνηση του νερού κ.λπ.).

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

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

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

Η εταιρεία λειτουργεί την Ε.Ε.Λ.Θ., η οποία βρίσκεται στη Σίνδο και δέχεται καθημερινά περί τις 150.000 - 160.000 m<sup>3</sup>/d λυμάτων, ενώ οι δυνατότητές της φτάνουν τις 296.000 m<sup>3</sup>/d.

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

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



### 3. Μέθοδος

#### 3.1. Σταθμοί δειγματοληψίας

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

Η επιλογή των σταθμών δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε με τρόπο, ώστε να υπάρχει συνέχεια στις πρόσφατες μετρήσεις (κοινά σημεία με το πρόγραμμα Black Sea Basin 2007-2013), 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.

Κατά τη φετινή περίοδο (έτος 2020), οι εργασίες πραγματοποιήθηκαν κανονικά, με μοναδικές εξαιρέσεις τους μήνες Ιανουάριο 2020 (κατά τον οποίο δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία λόγω επικράτησης αντίξοων καιρικών συνθηκών) και τον μήνα Απρίλιο 2020 (κατά τον οποίο κηρύχθηκε προσωρινή αναστολή εργασιών πεδίου λόγω Covid-19). Προκειμένου να καλυφθεί ο συνολικός αριθμός δειγματοληψιών (12 δειγματοληψίες) εντός της χρονικής περιόδου της Προγραμματικής Σύμβασης, αποφασίσθηκε η διενέργεια επιπλέον μετρήσεων κατά τους δύο τελευταίους μήνες της Σύμβασης, Νοέμβριο και Δεκέμβριο 2020, ανά δεκαπενθήμερο. Οι εν λόγω μήνες επιλέχθηκαν καθώς φαίνεται πως αποτελούν τους μήνες με τα λιγότερα δεδομένα, λόγω της επικράτησης δυσμενών καιρικών συνθηκών στην περιοχή, κατά την εν λόγω περίοδο.

Οι δειγματοληψίες για την καταγραφή της σύνθεσης της φωτόφιλης θαλάσσιας μακροχλωρίδας πραγματοποιήθηκαν σε τέσσερις θέσεις στην ευρύτερη περιοχή (Καλοχώρι, Θεσσαλονίκη-Θ. Σοφούλη, εμπορικό κέντρο Florida, Αγία Τριάδα), κατά τη διάρκεια της θερμής και ψυχρής περιόδου.

### **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 του pH, της αλατότητας και της αγωγιμότητας στην επιφάνεια της θάλασσας, και της θερμοκρασίας του νερού, της συγκέντρωσης (mg/L) και κορεσμού (%) του διαλυμένου οξυγόνου σε ολόκληρη τη στήλη του νερού (ανά μέτρο).
- Μέτρηση, με τη χρήση αυτογραφικού οργάνου CTD ((SBE 19plus V2 SeaCAT CTD), της θερμοκρασίας, αλατότητας, αγωγιμότητας και του βάθους σε ολόκληρη τη στήλη του νερού.
- Συλλογή ενιαίου δείγματος νερού (integrated sample) για τη μέτρηση χλωροφύλλης α και θρεπτικών ιόντων. Το δείγμα προέρχεται από ολόκληρη την εύφωτη ζώνη με αυτόματο δειγματολήπτη Hydrobios. Στους σταθμούς SP2 και SP3 όπου το βάθος είναι πολύ μικρό (<3m) λαμβάνονται αναμεμειγμένα δείγματα από την εύφωτη ζώνη.



- Συλλογή ενιαίου δείγματος νερού (ποσοτικό δείγμα – συντήρηση με Lugol) από την εύρωτη ζώνη για τον προσδιορισμό φυτοπλαγκτικών οργανισμών σε επίπεδο γένους τουλάχιστον και τη μέτρηση της αφθονίας, στο εργαστήριο.

- Συλλογή δειγμάτων μακροφυκών για τον προσδιορισμό της σύνθεσης της θαλάσσιας βλάστησης, από τέσσερις θέσεις στην ευρύτερη περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου. Τα δείγματα συλλέγονται είτε με μπότες (βάθη έως 1,5m) είτε με αυτόνομη κατάδυση (βάθη >1,5m) και συντηρούνται σε 3-5% φορμαλδεΰδη για 24 ώρες. Αφού ξεπλυθούν με διηθημένο θαλασσινό νερό μεταφέρονται σε 70% αιθανόλη, σε θερμοκρασία 4°C.

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.* (1974 & 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). Η χλωροφύλλη α στους παράκτιους σταθμούς προσδιορίζεται με φθορισμόμετρο τύπου Turner Trilogy, σύμφωνα με τη μέθοδο Holm-Hansen *et al.* (1965) (απευθείας μέτρηση μονάδων φθορισμού και μέτρηση συγκέντρωσης, μετά από εκχύλιση σε διάλυμα 90% ακετόνης).

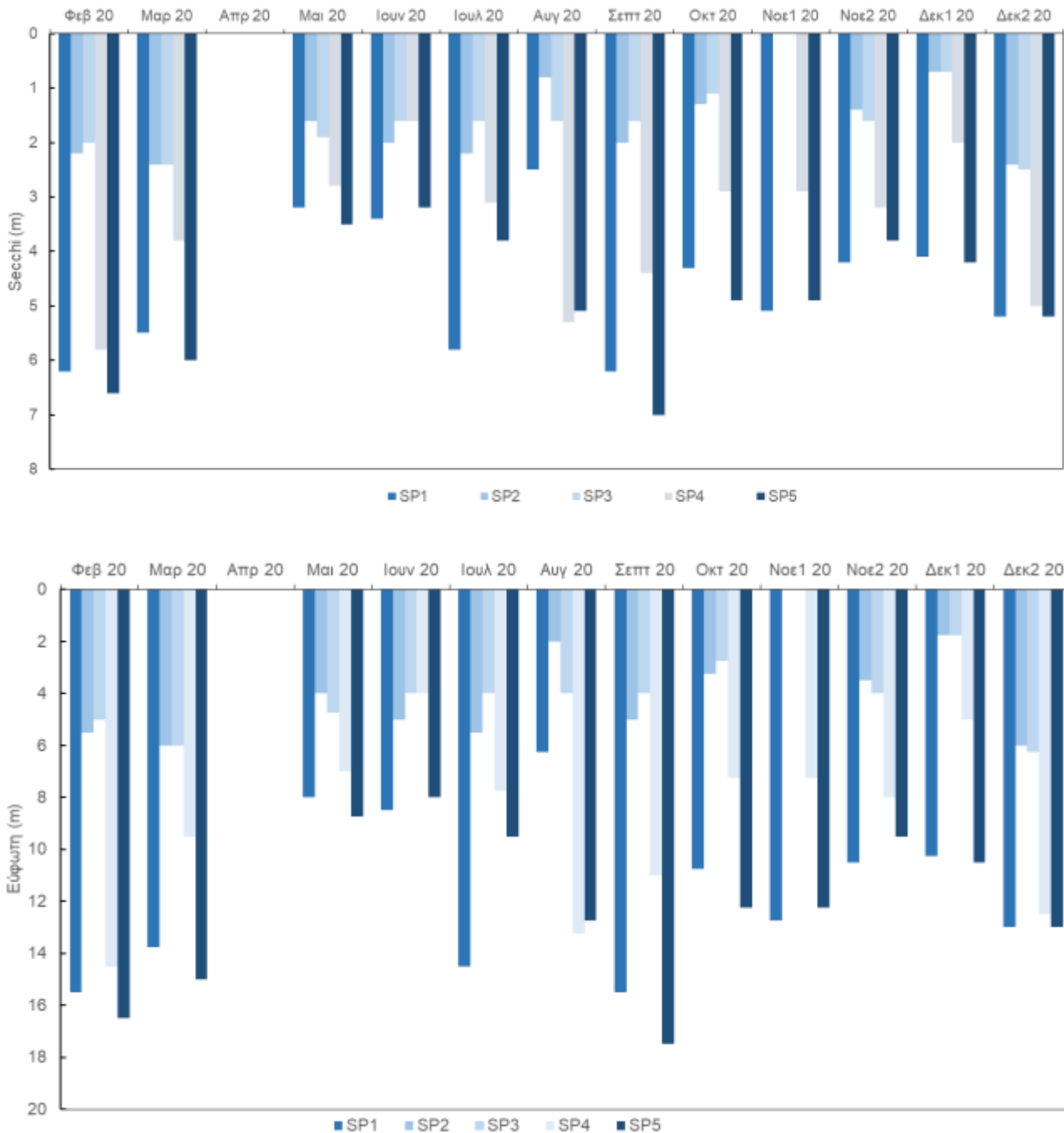
Η σύνθεση και η αφθονία του φυτοπλαγκτού προσδιορίζεται στο εργαστήριο, προσδιορίσθηκε σε ανάλυση μικροσκόπιο με τη μέθοδο Utermöhl (IOC-UNESCO 2010).

Η αναγνώριση των θαλάσσιων μακροφυκών (επικρατούσες ταξινομικές μονάδες σε κάθε περιοχή) πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο, σε στερεοσκόπιο Leica S9i και μικροσκόπιο Olympus BH2-RFCA. Για την αναγνώρισή τους χρησιμοποιήθηκαν χλωριδικοί κατάλογοι και προηγούμενες μελέτες για την περιοχή του Θερμαϊκού όπως Haritonidis S. & Tsekos I. 1975, Νικολαΐδης Γ. 1985, Coppejans E. 1983, Ορφανίδης κ.ά. 1997 κ.ά.

## 4. Αποτελέσματα - Συζήτηση

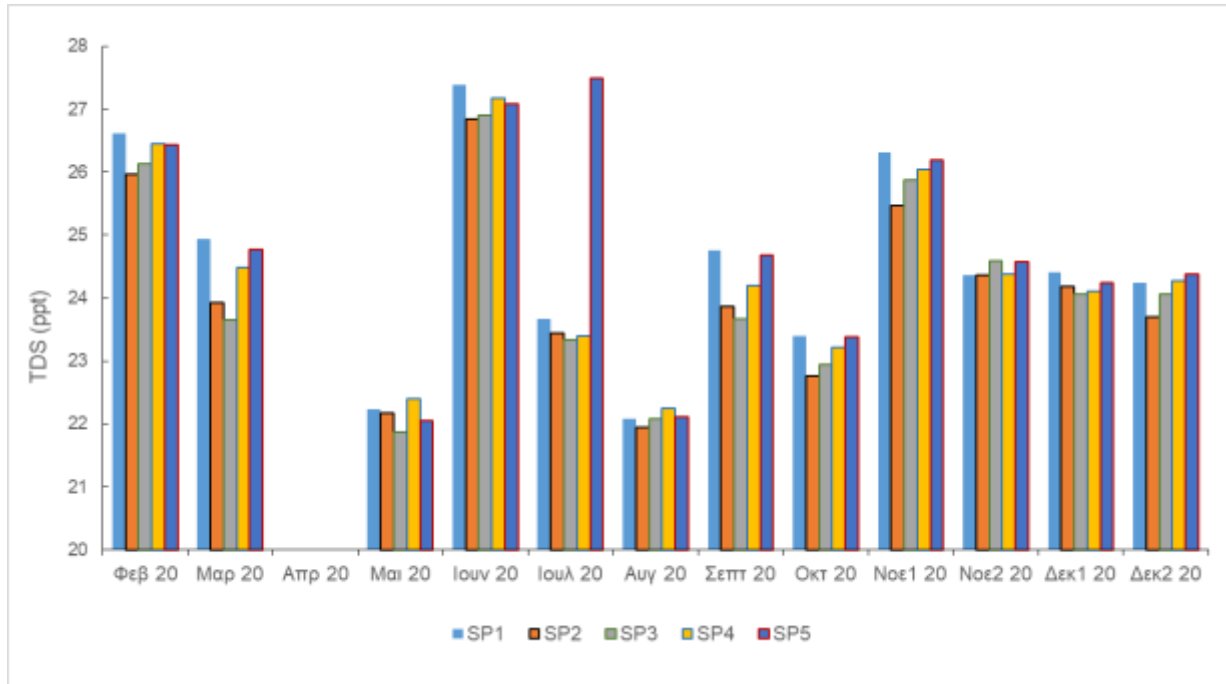
### 4.1. Διαφάνεια

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



**Εικόνα 3.** Μεταβολή της διαφάνειας της στήλης του νερού στους πελαγικούς σταθμούς (δίσκος Secchi) και του βάθους της εύφωτης ζώνης για το έτος 2020.

Στους ρηχούς σταθμούς, η εύφωτη ζώνη σε όλες τις δειγματοληψίες έφτασε έως το μέγιστο βάθος (~2,5 m). Μεταξύ των βαθέων σταθμών, μικρότερη διαφάνεια παρουσίασε ο SP4 που βρίσκεται κοντά στο εμπορικό λιμάνι. Πιθανώς αυτό οφείλεται στην ανάδευση που προκαλείται από την κίνηση μεγάλων και μικρότερων σκαφών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους στο τμήμα αυτό του όρμου (Εικ. 2, 3). Οι σταθμοί SP1 και SP5 (σταθμοί με το μεγαλύτερο βάθος) παρουσίασαν τις υψηλότερες τιμές διαφάνειας. Οι διαφορές αυτές μεταξύ των τιμών στους σταθμούς συνάδουν με τις συγκεντρώσεις των ολικών αιρούμενων στερεών στην επιφάνεια του νερού (Εικ. 4).

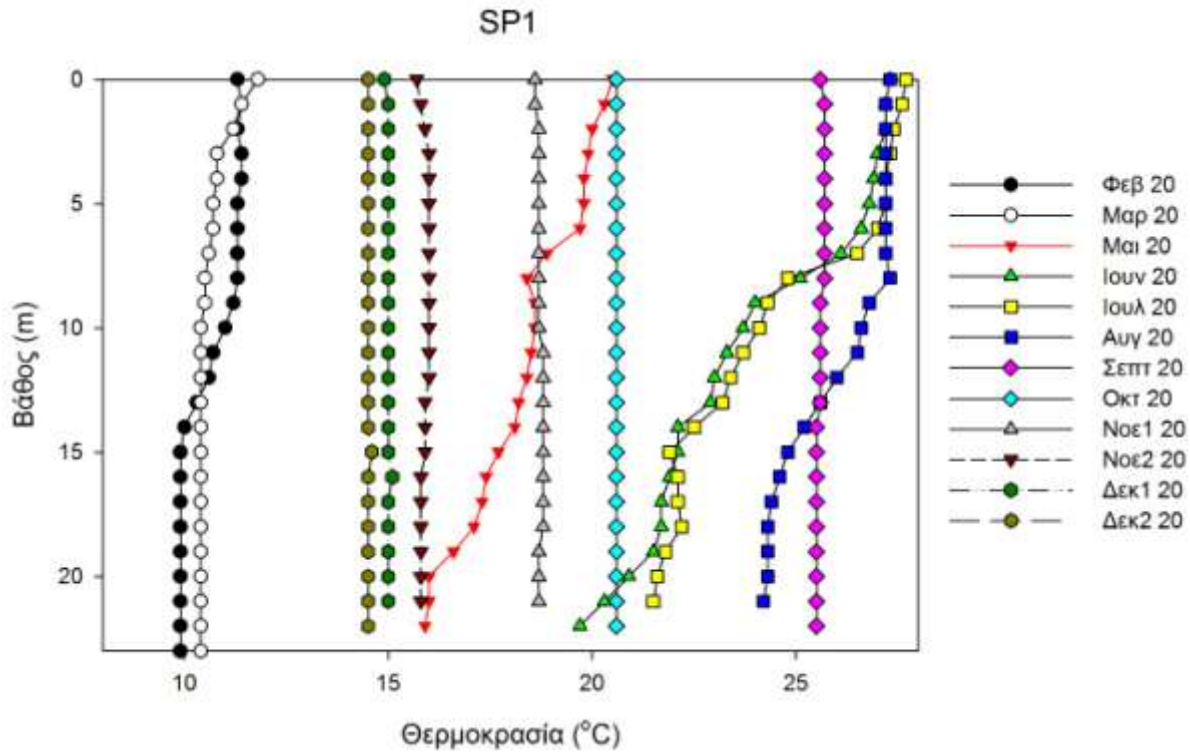


**Εικόνα 4.** Κατανομή των ολικών αιρούμενων στερεών σωματιδίων (TDS) στους πελαγικούς σταθμούς για το έτος 2020.

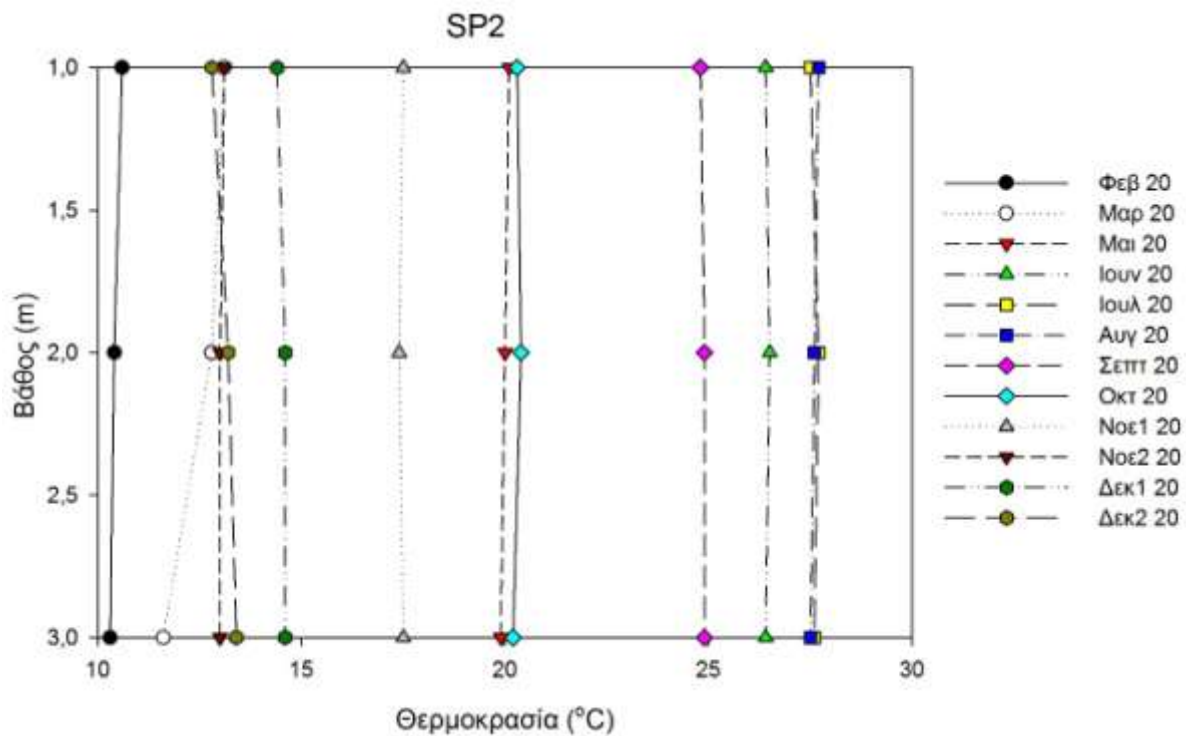
## 4.2. Φυσικοχημικές παράμετροι

### 4.2.1. Θερμοκρασία

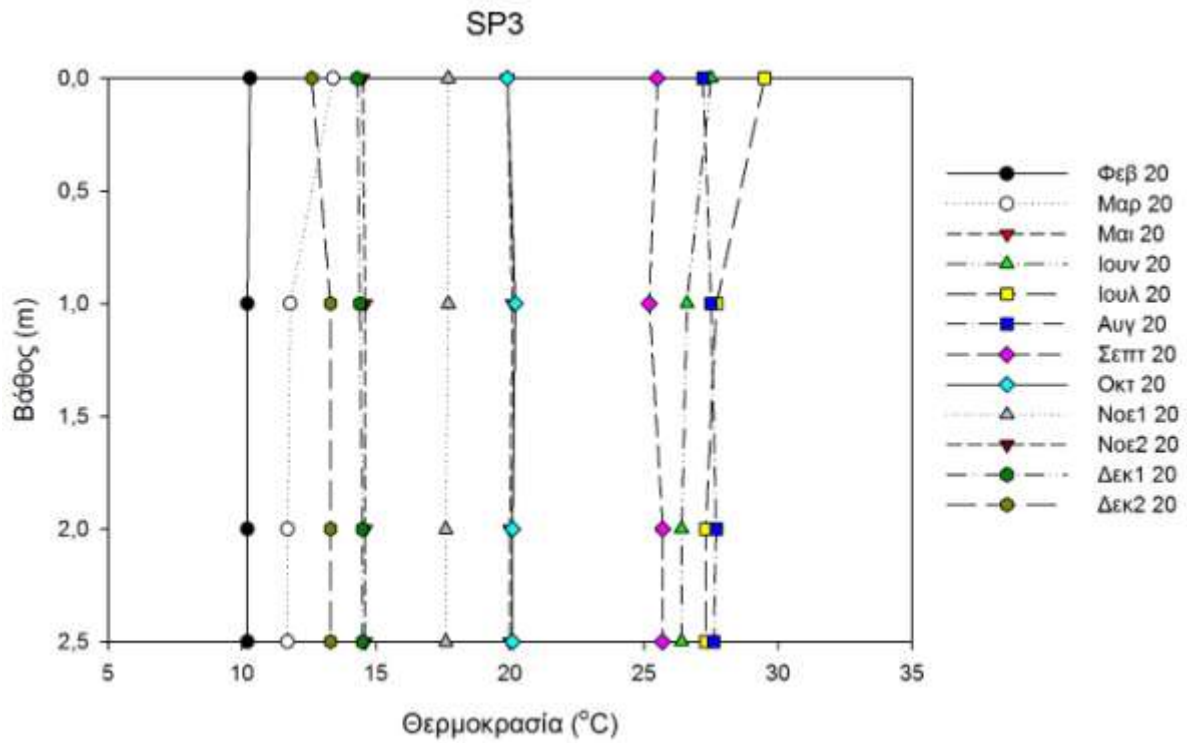
Η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας στους πέντε πελαγικούς σταθμούς για το 2020 φαίνεται στις Εικόνες 5-9.



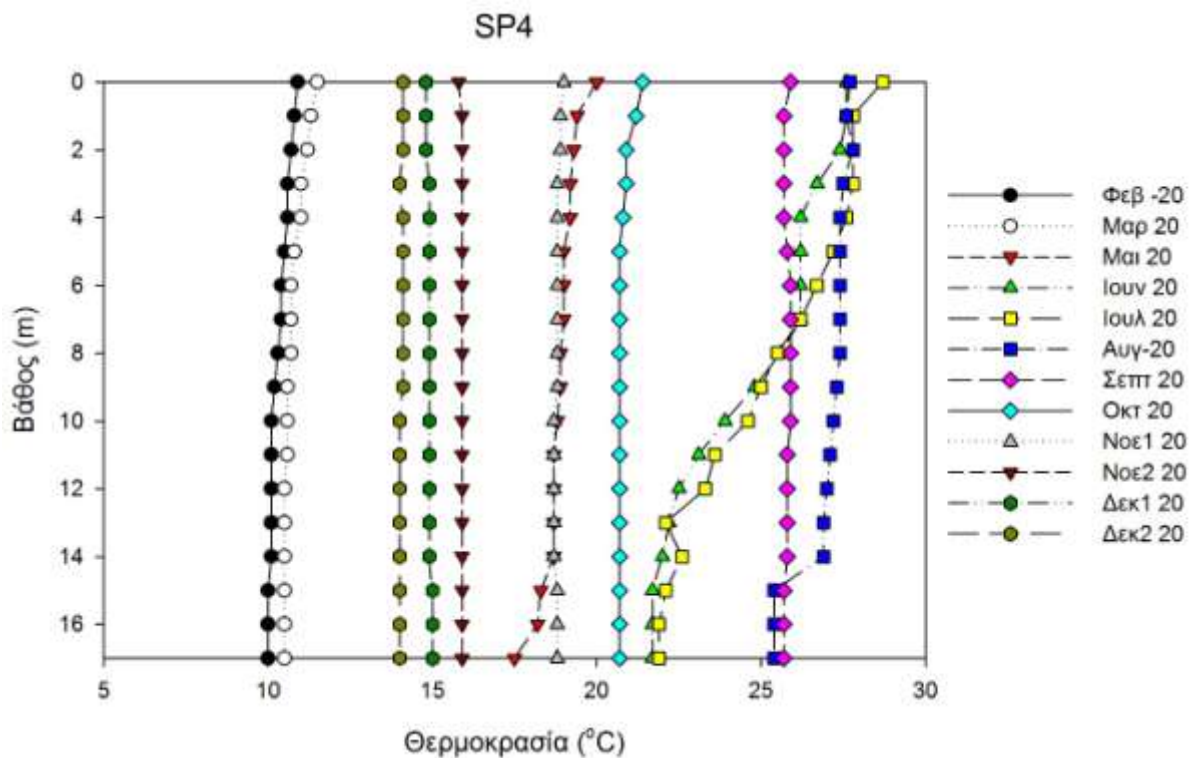
Εικόνα 5. Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP1 για το έτος 2020.



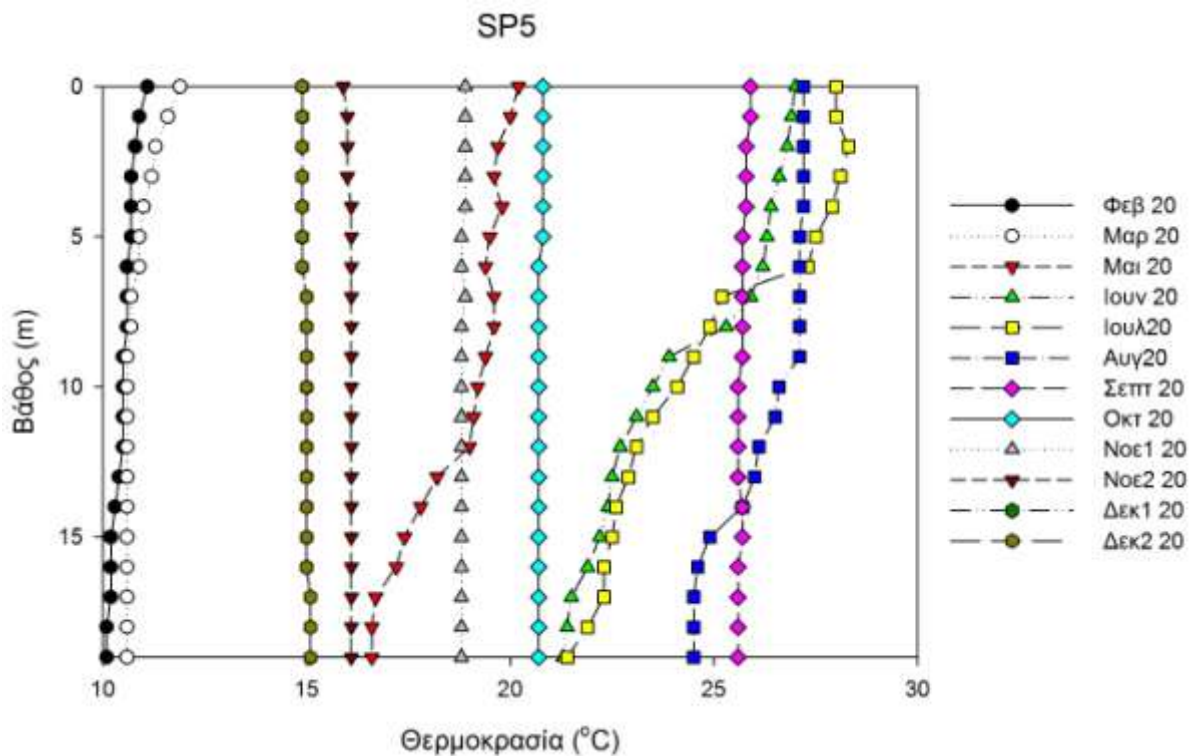
Εικόνα 6. Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP2 για το έτος 2020.



**Εικόνα 7.** Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP3 για το έτος 2020.



**Εικόνα 8.** Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP4 για το έτος 2020.



**Εικόνα 9.** Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του νερού στον σταθμό SP5 για το έτος 2020.

Στον σταθμό SP1 (Εικ. 5) η θερμοκρασία του νερού παρουσιάζει ομοιόμορφη κατανομή με το βάθος κατά τη ψυχρή περίοδο (Φεβ. – Μαρτ. 2020 και Σεπτ. - Δεκ. 2020). Στη διάρκεια των θερμών μηνών (Μάι. – Αύγ. 2020), η θερμοκρασία έως ~7m είναι σταθερή, μειώνεται έως >15m και στη συνέχεια παραμένει ξανά σταθερή έως τον πυθμένα.

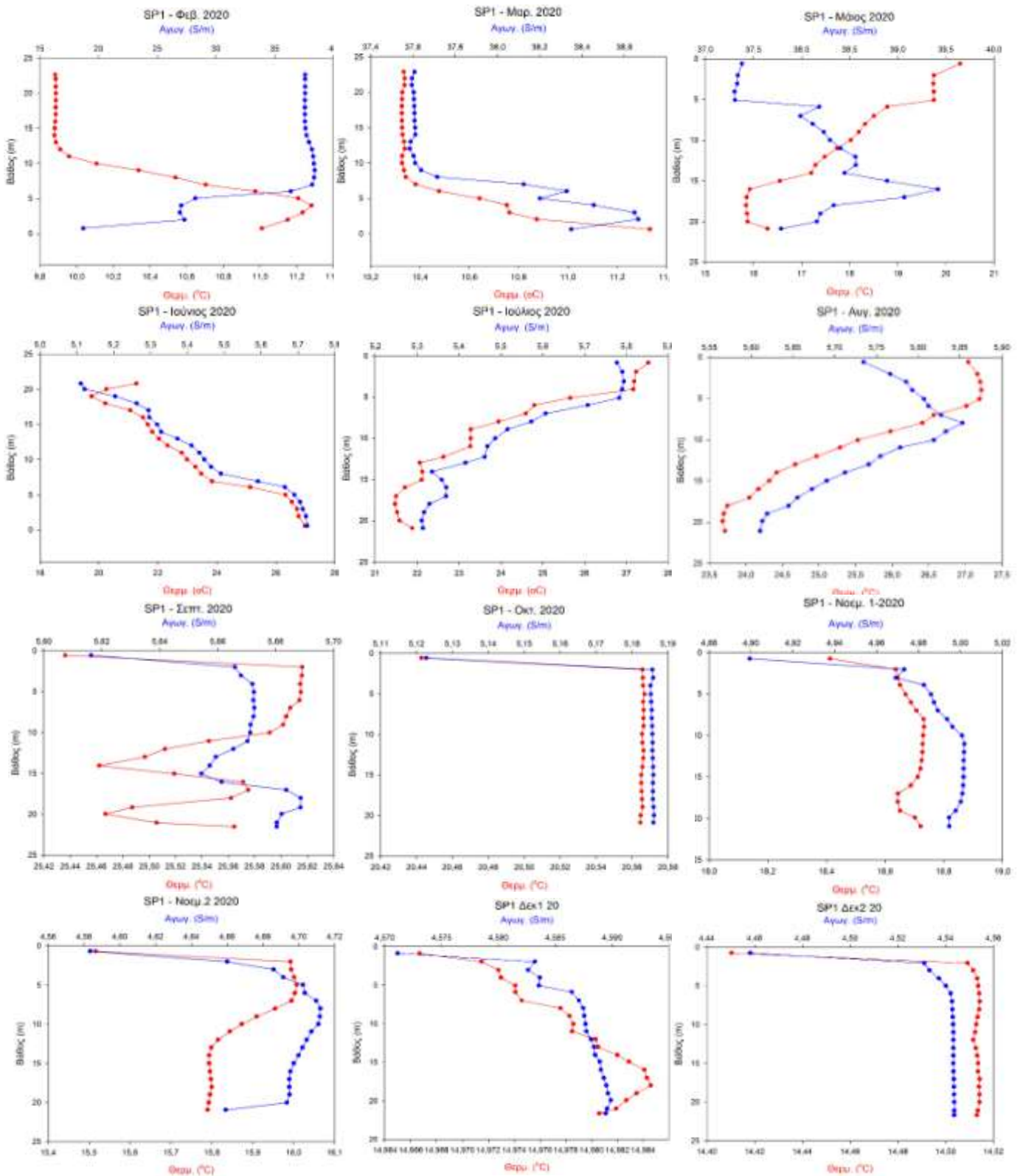
Παρόμοια με τον σταθμό SP1, έντονη μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής της θερμοκρασίας παρατηρήθηκε στους δύο άλλους βαθείς σταθμούς, SP4 και SP5 (Εικ. 7 και 8). Στους σταθμούς αυτούς, κατά τους μήνες Μάι. – Αυγ. 2020, ψυχρότερο νερό κυκλοφορούσε πλησιέστερα στον πυθμένα. Ιδιαίτερα τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο 2020, στους σταθμούς SP4 και SP5, παρατηρήθηκε στρωμάτωση. Γενικά, κατά τη διάρκεια του χειμώνα και την αρχή της άνοιξης δεν παρατηρήθηκε έντονη μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής της θερμοκρασίας.

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



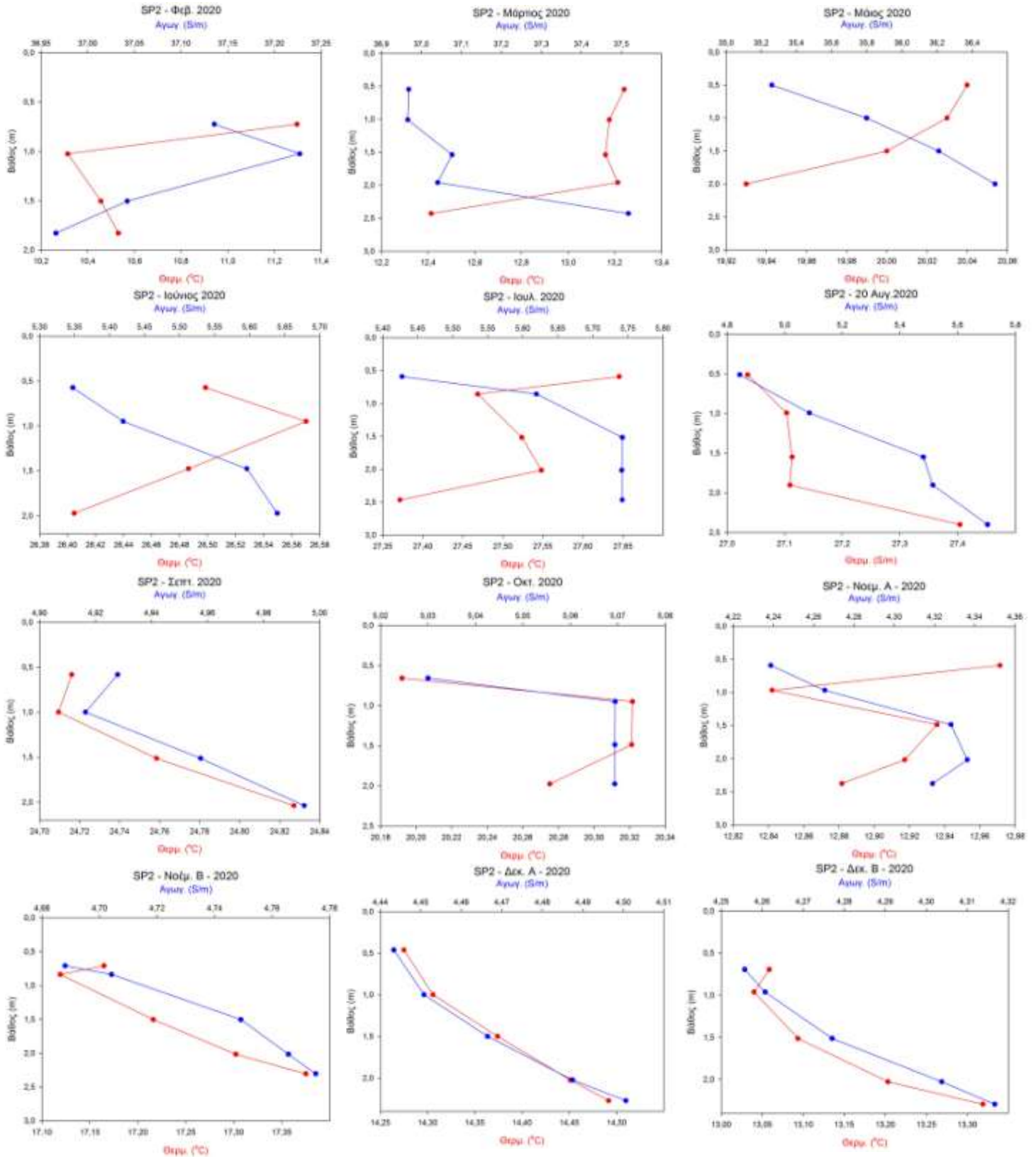
### 4.2.2. Αγωγιμότητα

Η κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας στους πέντε πελαγικούς σταθμούς για το 2020 φαίνεται στις Εικόνες 10-14.

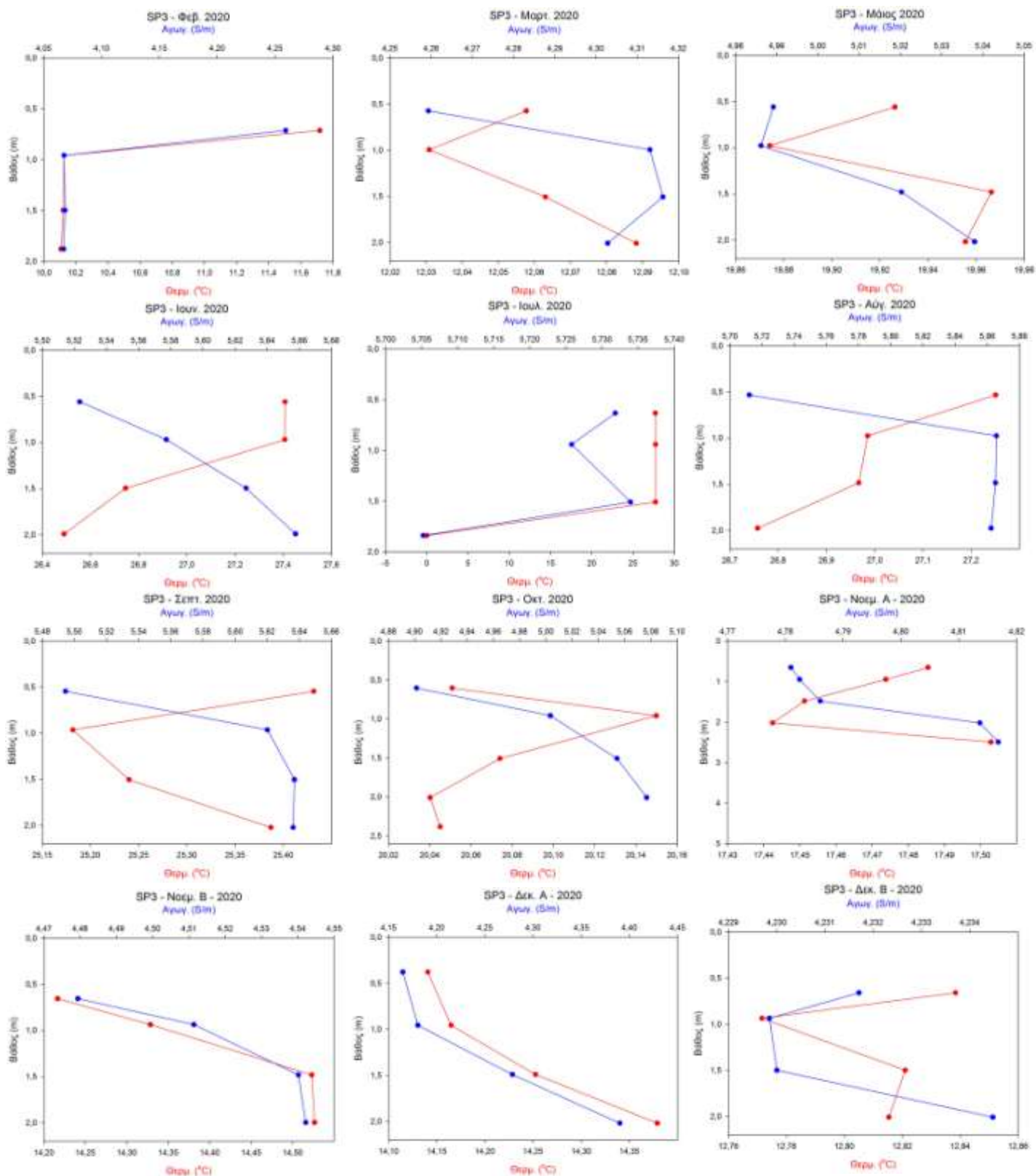


Εικόνα 10. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP1 το 2020.

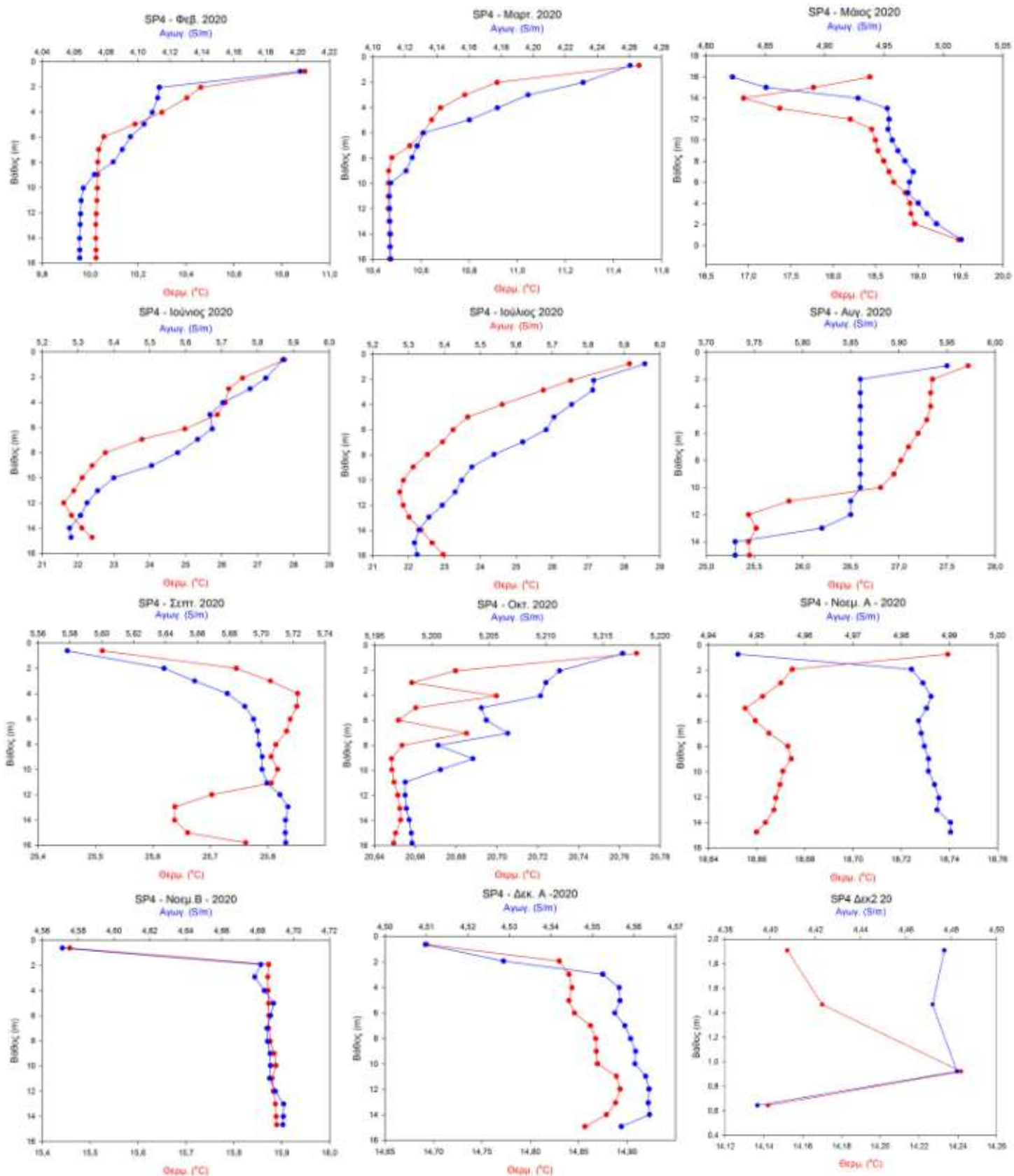




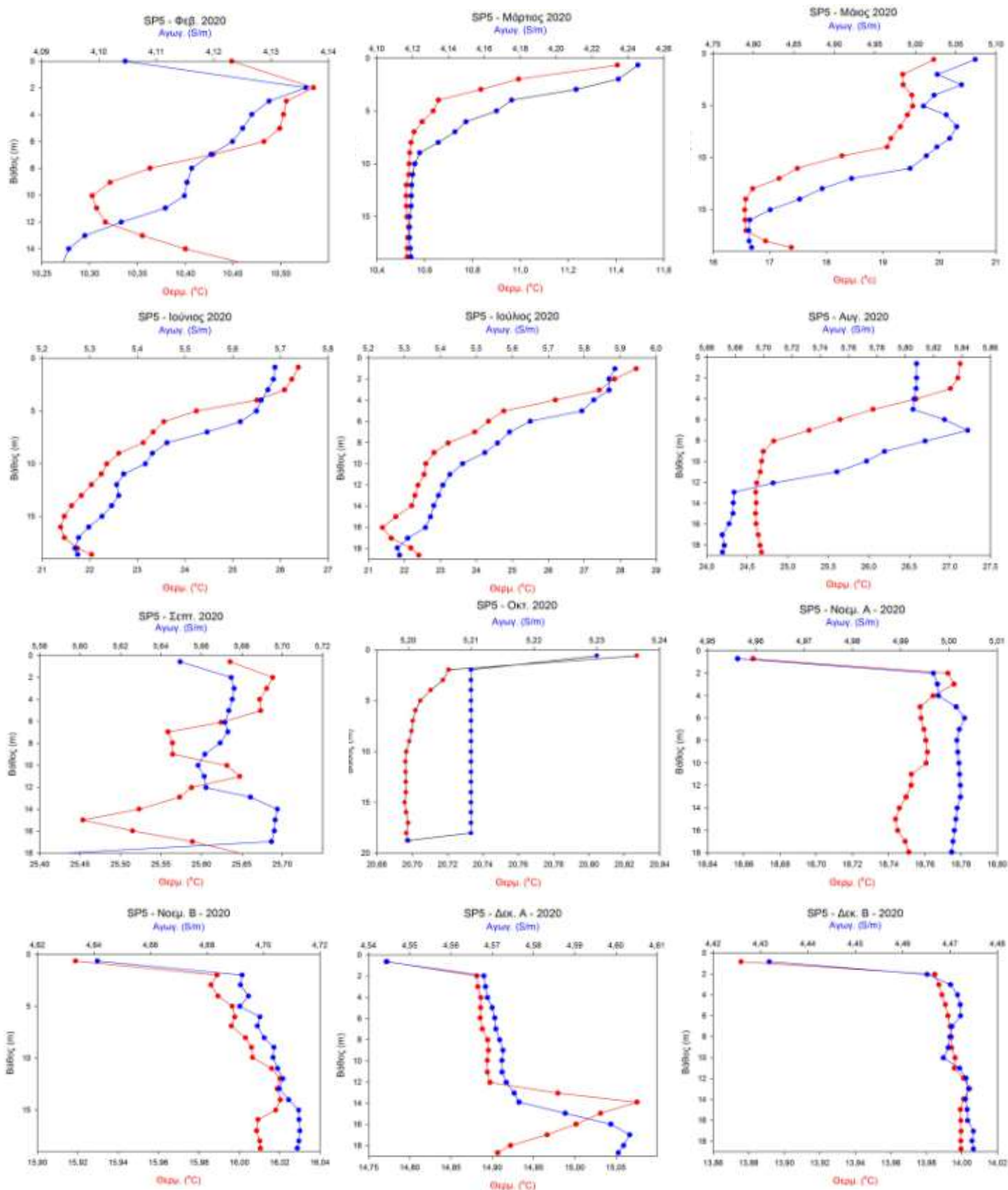
Εικόνα 11. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP2 το 2020.



Εικόνα 12. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP3 το 2020.



Εικόνα 13. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP4 το 2020.



Εικόνα 14. Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό SP5 το 2020.



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), με εξαίρεση τους μήνες Φεβρουάριο και Μάιο 2020, η κατανομή με το βάθος της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας εμφανίζει παρόμοιο πρότυπο. Τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο 2020, ψυχρότερο και πυκνότερο νερό κυκλοφορούσε κάτω από το βάθος του δίσκου Secchi, σε αντίθεση με τους ψυχρούς μήνες (Οκτώβριος-Δεκέμβριος 2020), κατά τους οποίους επικράτησε πλήρης ανάμιξη της στήλης του νερού.

Στον ρηχό σταθμό της δυτικής ακτής του όρμου SP2 (Εικ. 11), οι μάζες ψυχρότερου νερού και υψηλότερης αγωγιμότητας που εντοπίστηκαν κάτω από το 1m από τον Μάρτιο έως τον Ιούλιο 2020, πιθανώς προέρχονται από τα αντλιοστάσια της περιοχής και τις εκφορτίσεις των ποταμών. Το υπόλοιπο έτος, θερμότερο και πυκνότερο νερό κυκλοφορούσε βαθύτερα, κάτω από το 0,5 m περίπου.

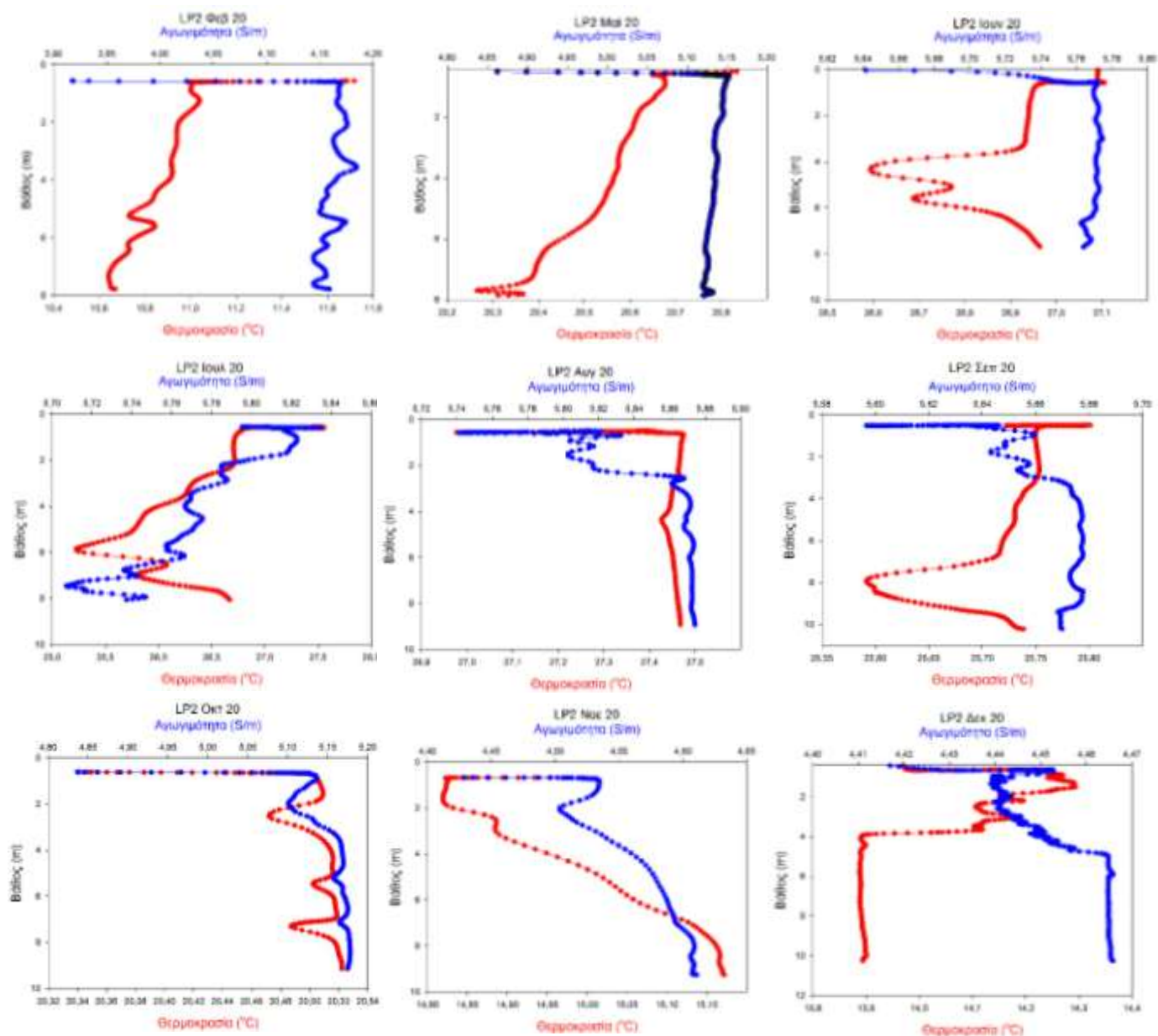
Η κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας στον σταθμό SP3 (Εικ. 12) επηρεάζεται απευθείας κυρίως από το άναλο νερό του Γαλλικού. Τους μήνες Ιούνιο και Νοέμβριο έως μέσα Δεκεμβρίου 2020, η κατανομή αυτή ήταν παρόμοια με τον γειτονικό ρηχό σταθμό SP2 ο οποίος επηρεάζεται κυρίως από τις εκφορτίσεις των παρακείμενων αντλιοστασίων.

Στον σταθμό SP4 (Εικ. 13), ο οποίος βρίσκεται κοντά στο λιμάνι, η μεταβολή με το βάθος της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας εμφάνισαν παρόμοιο πρότυπο, εκτός από τον μήνα Νοέμβριο 2020.

Στον σταθμό που βρίσκεται στο κέντρο του όρμου SP5 (Εικ. 14), η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας εμφανίζει παρόμοιο πρότυπο κατά το μεγαλύτερο μέρος του έτους 2020 συγκριτικά με τους υπόλοιπους σταθμούς, ένδειξη ότι στην περιοχή εκείνη η επίδραση της εισροής υδάτινων μαζών από τη χέρσο είναι η ασθενέστερη.

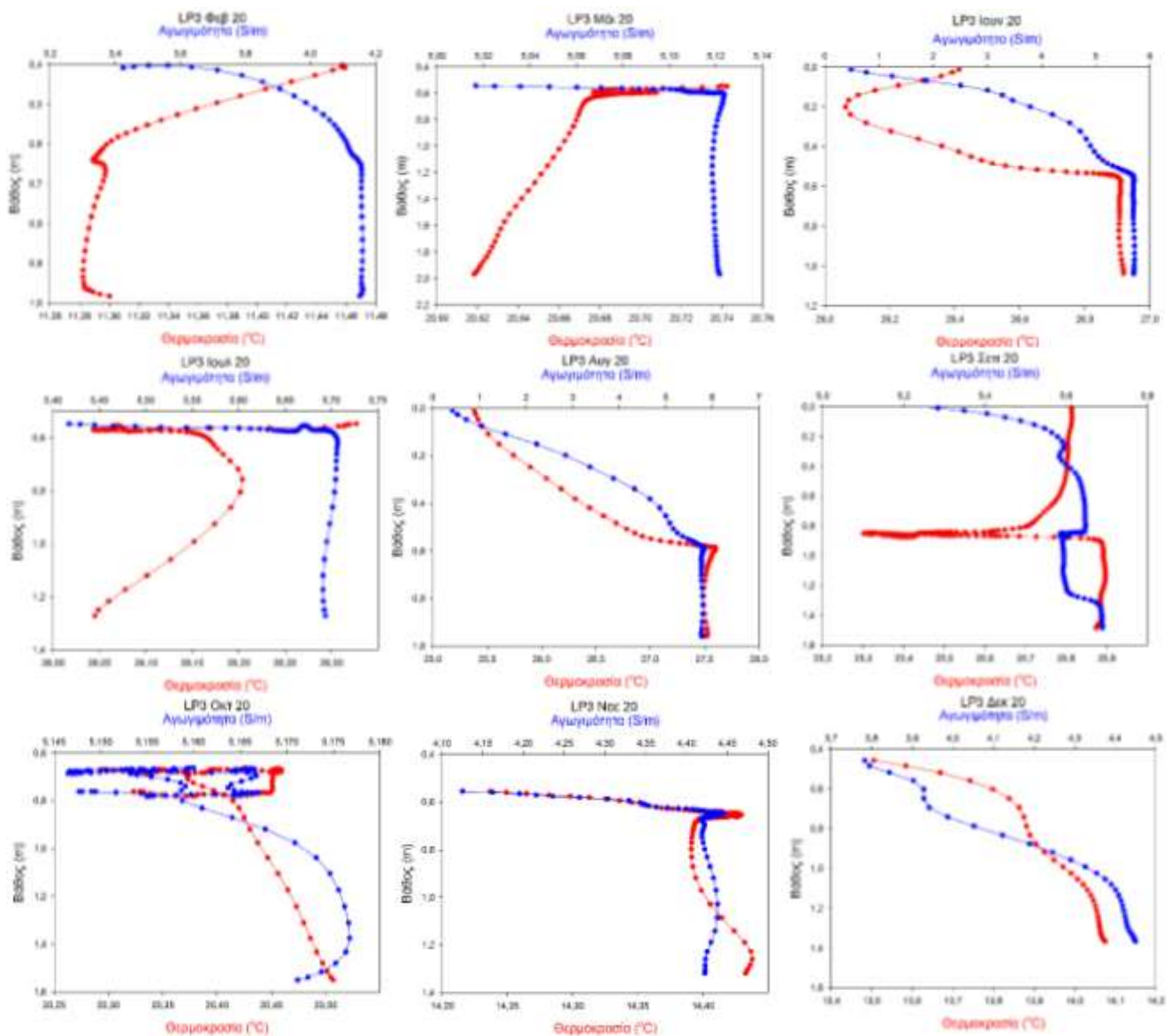
Γενικώς, στους τρεις βαθείς σταθμούς (SP1, SP4 και SP5), τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο 2020, η κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας εμφανίζει παρόμοιο πρότυπο, με θερμές υδάτινες μάζες στην επιφάνεια έως το βάθος του δίσκου Secchi και ψυχρότερες με μεγαλύτερη αγωγιμότητα προς τον πυθμένα. Ωστόσο, στους δύο ρηχούς σταθμούς (SP2 και SP3), η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας δεν παρουσίασαν συγκεκριμένη τάση, γεγονός που πιθανώς να οφείλεται στο μικρό βάθος της δυτικής ακτής και στην είσοδο άναλου νερού από τα αντλιοστάσια και τους ποταμούς.

Η κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας στους παράκτιους σταθμούς φαίνεται στις Εικόνες 15-18 που ακολουθούν.



**Εικόνα 15.** Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP2 (Λιμάνι) το 2020.

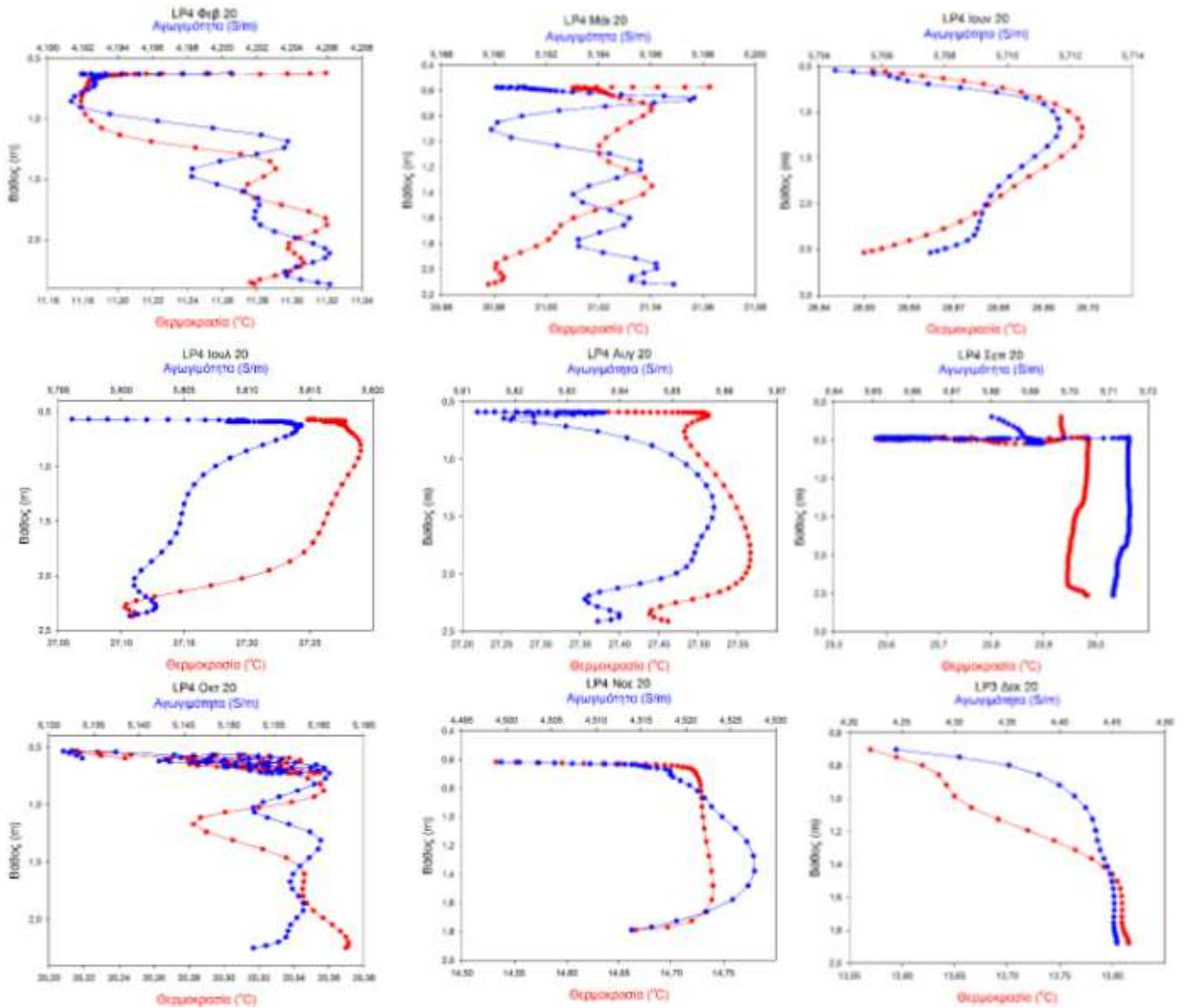
Στον σχετικά βαθύ σταθμό LP2 (Λιμάνι), τους μήνες Ιούνιο, Σεπτέμβριο και Δεκέμβριο 2020, η κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας παρουσίασαν διαφορετική μορφή (Εικ. 15). Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία αυξανόταν από την επιφάνεια έως τα 4-6 m και στη συνέχεια παρέμεινε σταθερή. Τον Ιούνιο και τον Σεπτέμβριο 2020, νερό χαμηλότερης αγωγιμότητας υπήρχε στα 4-8 m. Τους υπόλοιπους μήνες, η κατακόρυφη κατανομή των δύο παραμέτρων ήταν παρόμοια.



**Εικόνα 16.** Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP3 (Μακεδονία Παλλάς) το 2020.

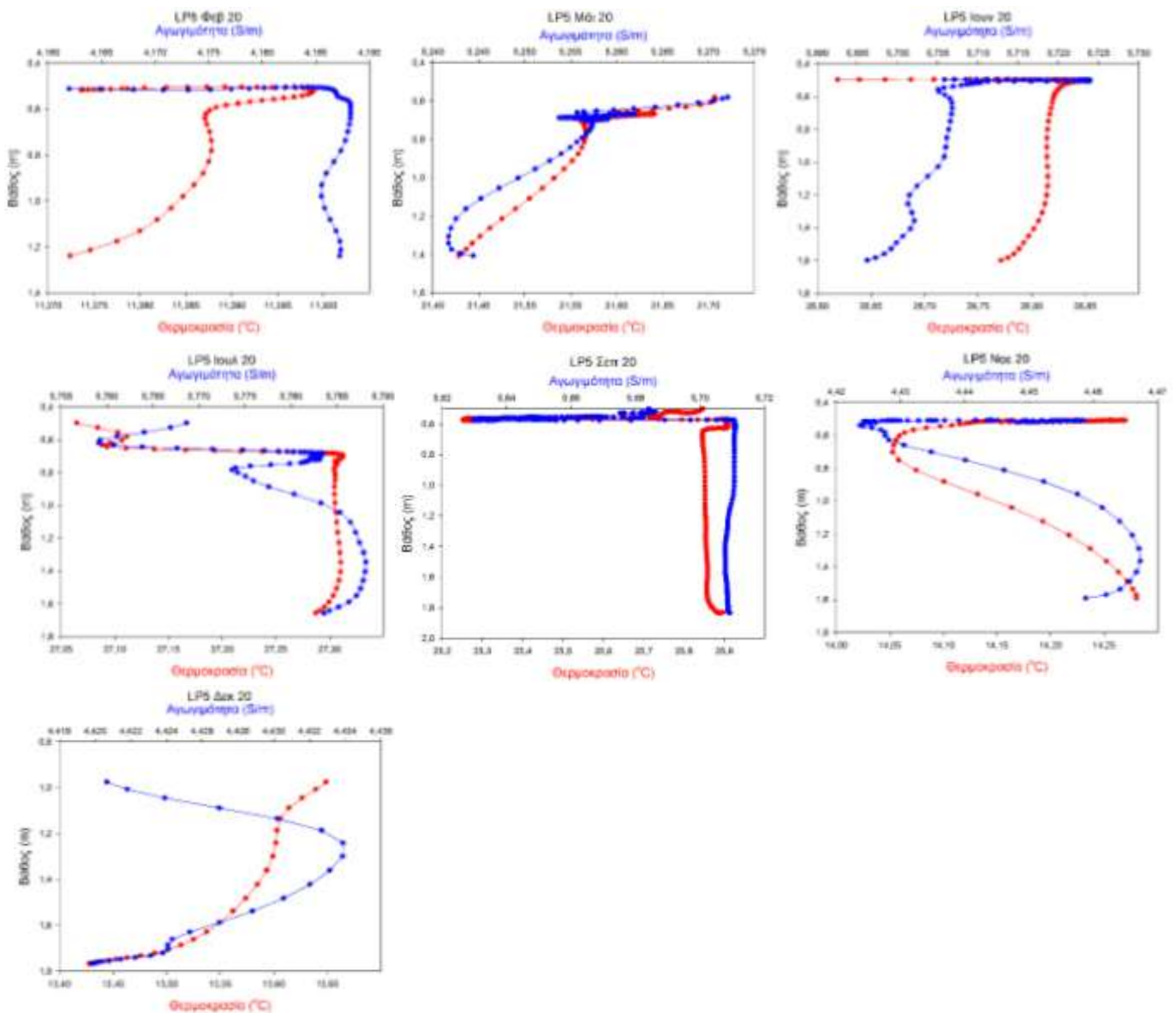
Στον ρηχό σταθμό LP3 (Μακεδονία Παλλάς), η μεταβολή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος ήταν παρόμοιες εκτός από τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο 2020 (Εικ. 16). Τους δύο αυτούς μήνες, στο ανώτερο στρώμα νερού (0,8 m), η θερμοκρασία μειωνόταν, ενώ η αγωγιμότητά του αυξανόταν.





**Εικόνα 17.** Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP4 (Μέγαρο Μουσικής) το 2020.

Στον σταθμό LP4 (Μέγαρο Μουσικής), φαίνεται ότι η κατανομή αγωγιμότητας και θερμοκρασίας ήταν παρόμοιες όλους τους μήνες του έτους 2020, το οποίο πιθανώς οφείλεται στην κλειστή μορφολογία της περιοχής (Εικ. 17).

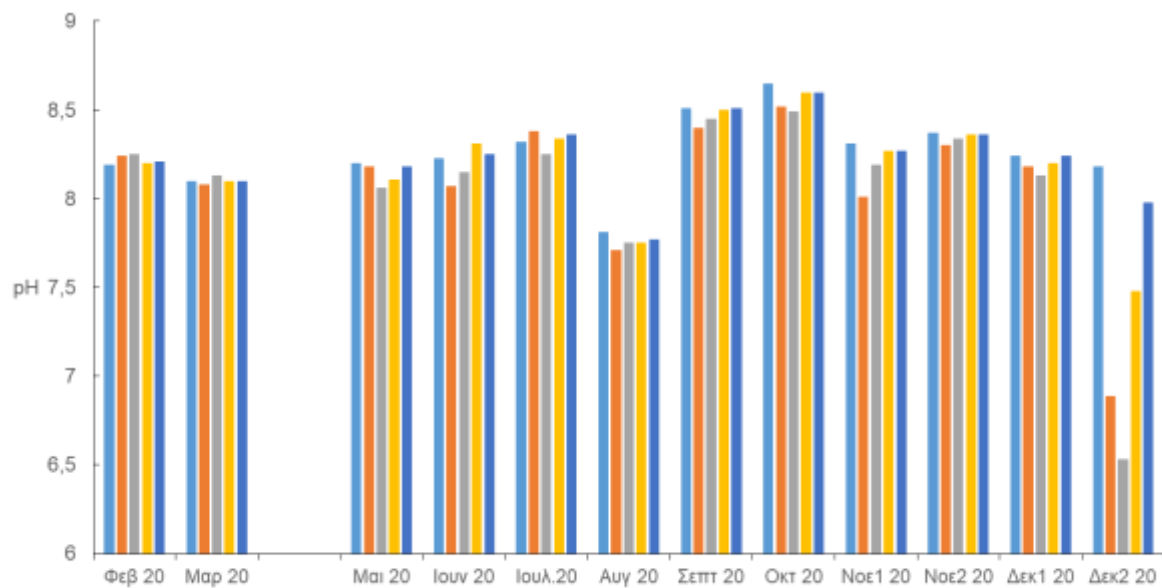


**Εικόνα 18.** Κατακόρυφη κατανομή της αγωγιμότητας (και θερμοκρασίας) στον σταθμό LP5 (Κελλάριος όρμος) το 2020.

Στον ρηχό σταθμό LP5 (Κελλάριος όρμος), η αγωγιμότητα και η θερμοκρασία είχαν παρόμοια κατακόρυφη κατανομή. Η θερμοκρασία όσο και η αγωγιμότητα τους θερμούς μήνες ήταν σταθερές σε σχέση με το βάθος. Όμως, παρά το μικρό βάθος, τον Δεκέμβριο 2020 παρατηρήθηκε μείωση της θερμοκρασίας κάτω από τα 0,5-0,8 m βάθος με παρόμοια μείωση των διαλυμένων ιόντων.

### 4.2.3. pH

Οι τιμές του pH στους πελαγικούς σταθμούς (2020) φαίνονται στην Εικόνα 19.



**Εικόνα 19.**

σταθμούς (SP1-SP5) για το έτος

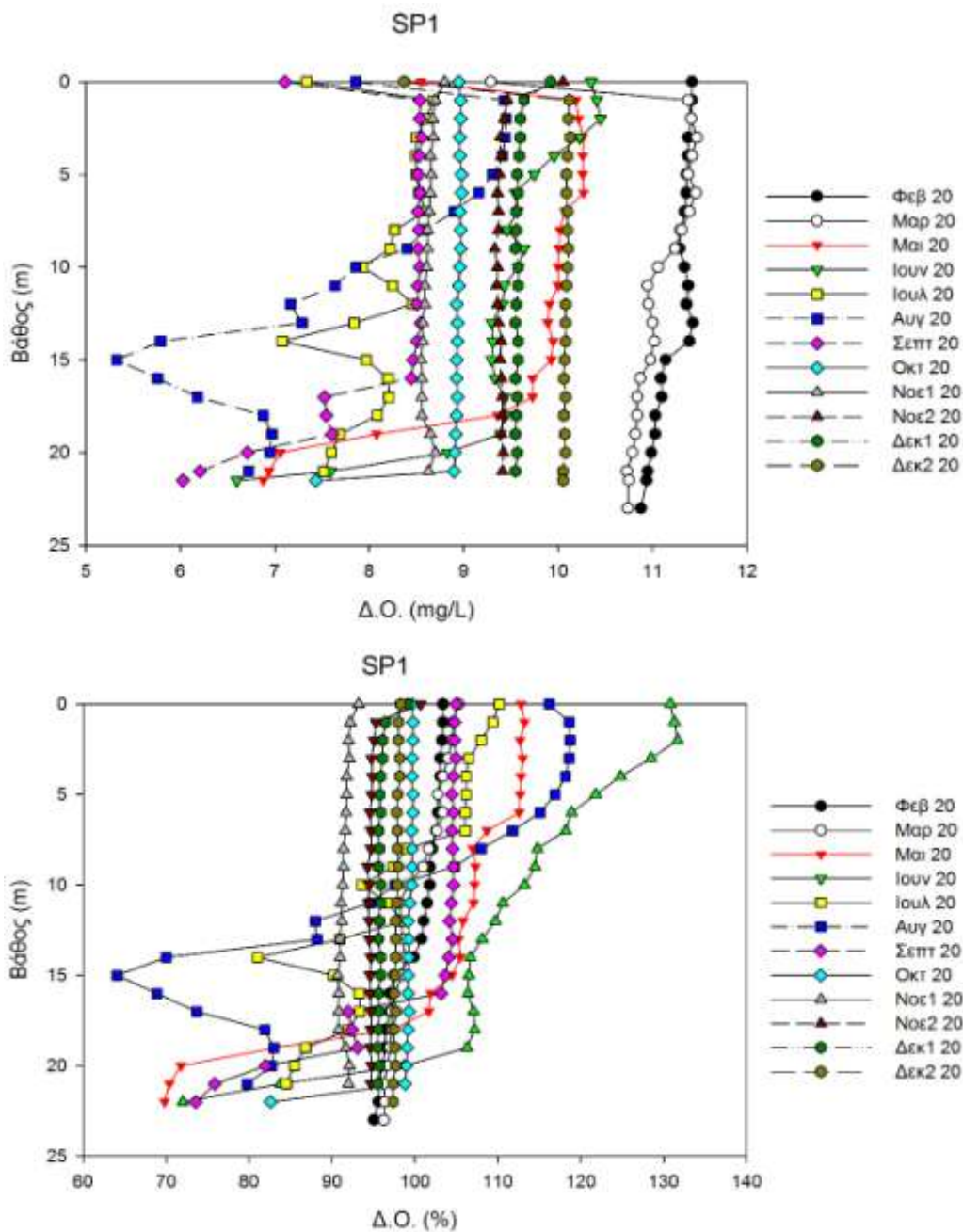
■ SP1 ■ SP2 ■ SP3 ■ SP4 ■ SP5

Μετρήσεις pH στους πελαγικούς  
2020.

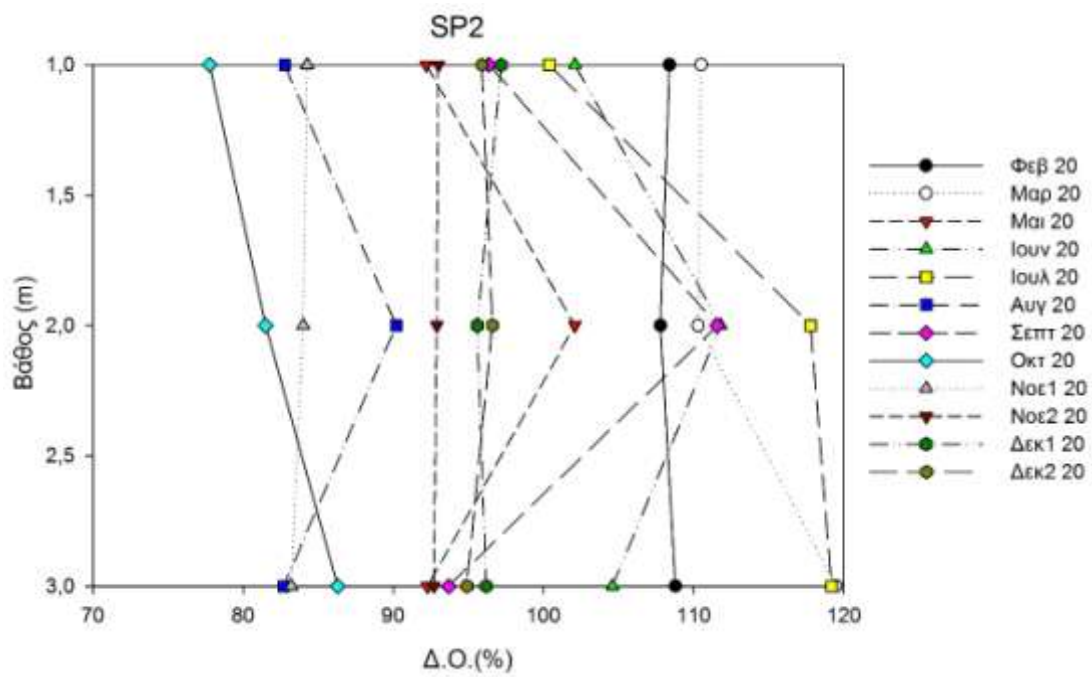
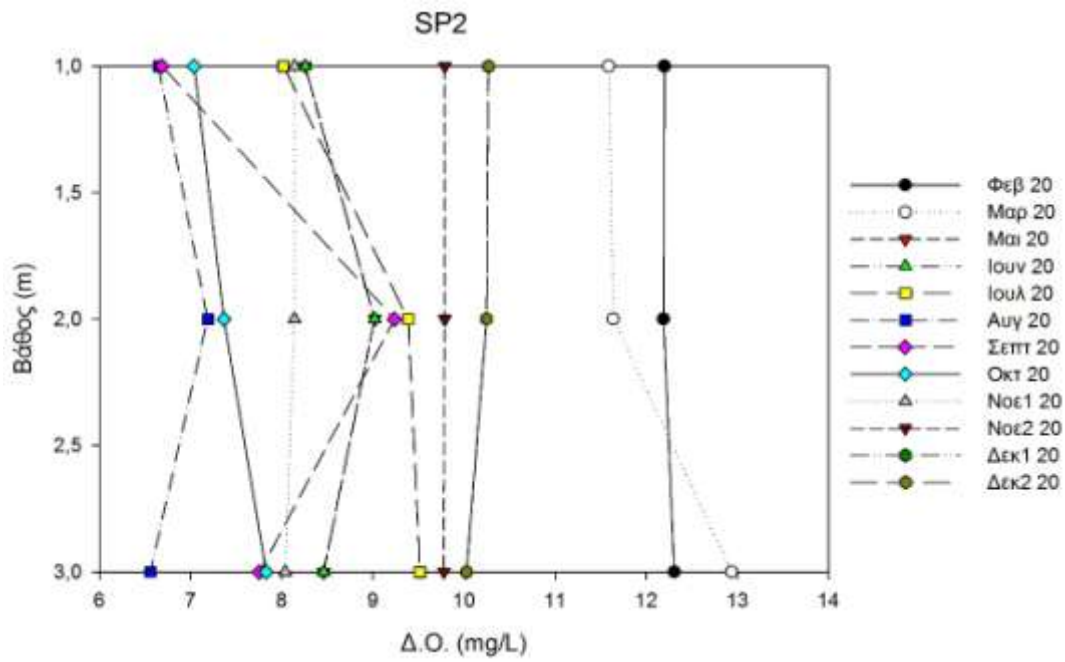
Σε μια θαλάσσια περιοχή, η υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών αυξάνει τη βιομάζα του φυτοπλαγκτού και η αντίστοιχη δέσμευση του ανόργανου άνθρακα κατά την ενισχυμένη φωτοσυνθετική δραστηριότητα αυξάνει το pH στη στήλη του νερού (Wei-Jun Cai *et al.* 2011, Flynn *et al.* 2015). Το έτος 2020, η οξύτητα του νερού στον όρμο κυμάνθηκε μεταξύ pH 6,53 και 8,65 και η μέση τιμή για όλους τους πελαγικούς σταθμούς ήταν 8,14. Τον Αύγουστο μετρήθηκε η υψηλότερη οξύτητα (pH 7,7) σε όλους τους σταθμούς. Τον Δεκέμβριο 2020, στους δυο αβαθείς σταθμούς (SP2, SP3) που επηρεάζονται απευθείας, ο πρώτος από τα αποστραγγιστικά ύδατα των καλλιεργούμενων εκτάσεων της περιοχής και ο δεύτερος από την εισροή του Γαλλικού, ανιχνεύθηκαν εισροές με πολύ χαμηλή οξύτητα (pH 6,89 και 6,53 αντιστοίχως).

#### 4.2.4. 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). Η κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στους πελαγικούς σταθμούς για το έτος 2020 παρουσιάζεται στις Εικόνες 20-24).

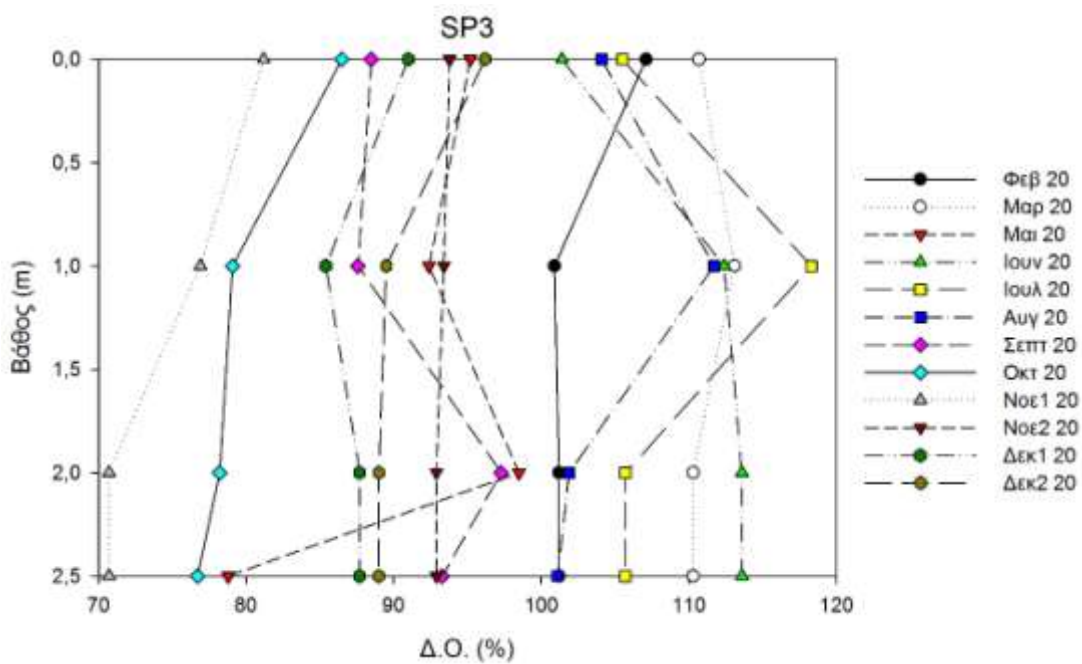
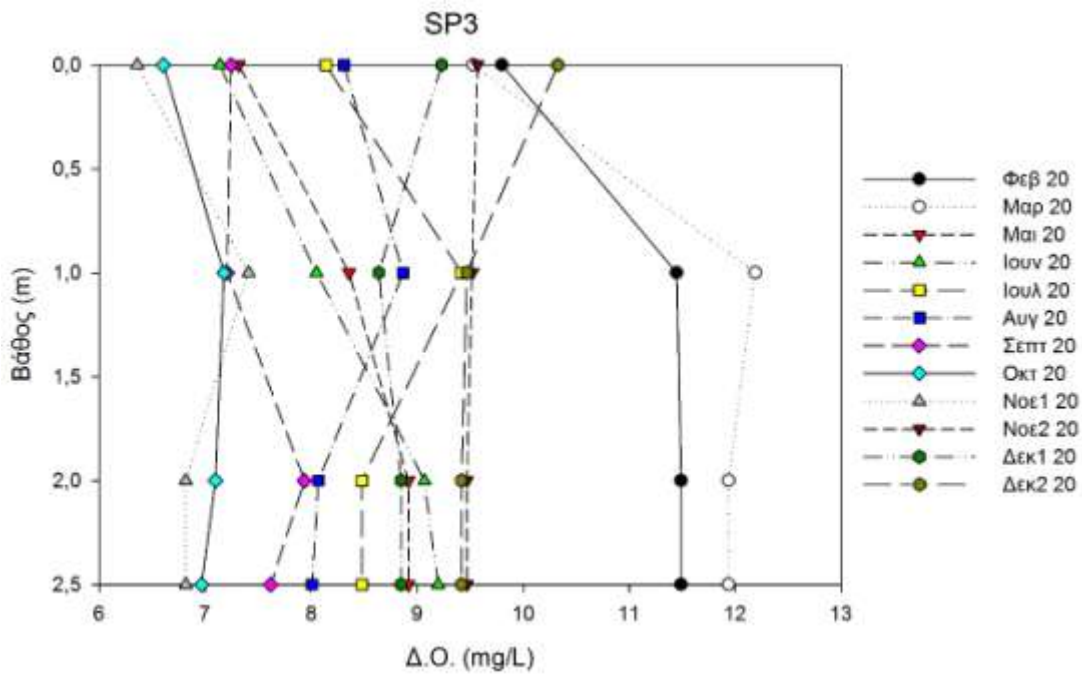


**Εικόνα 20.** Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP1 για το έτος 2020.

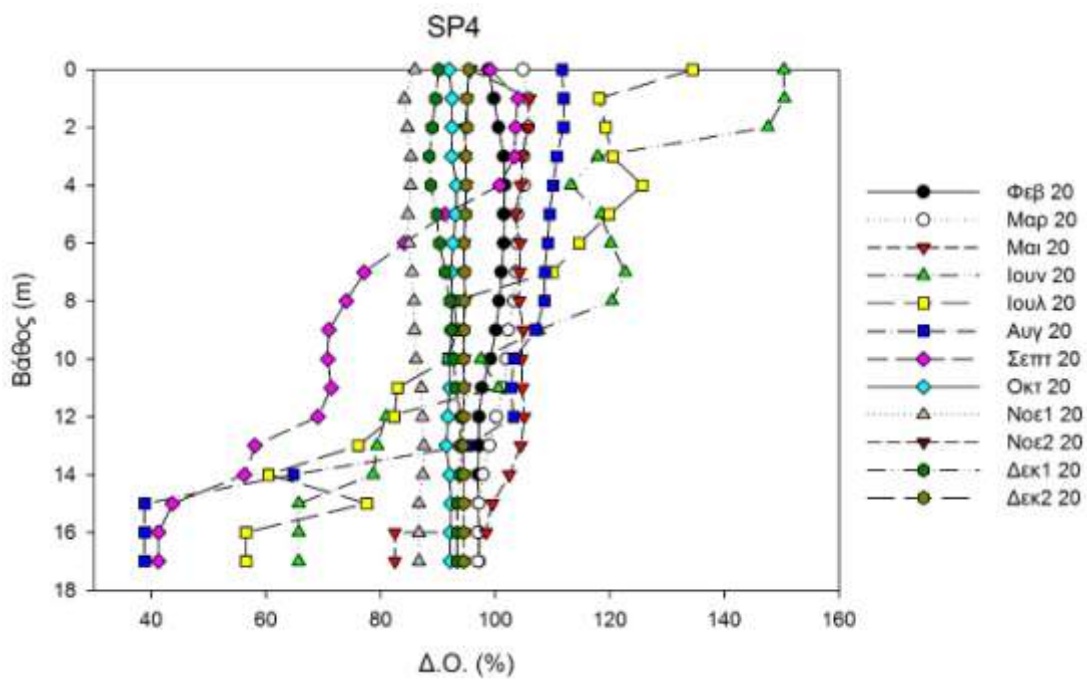
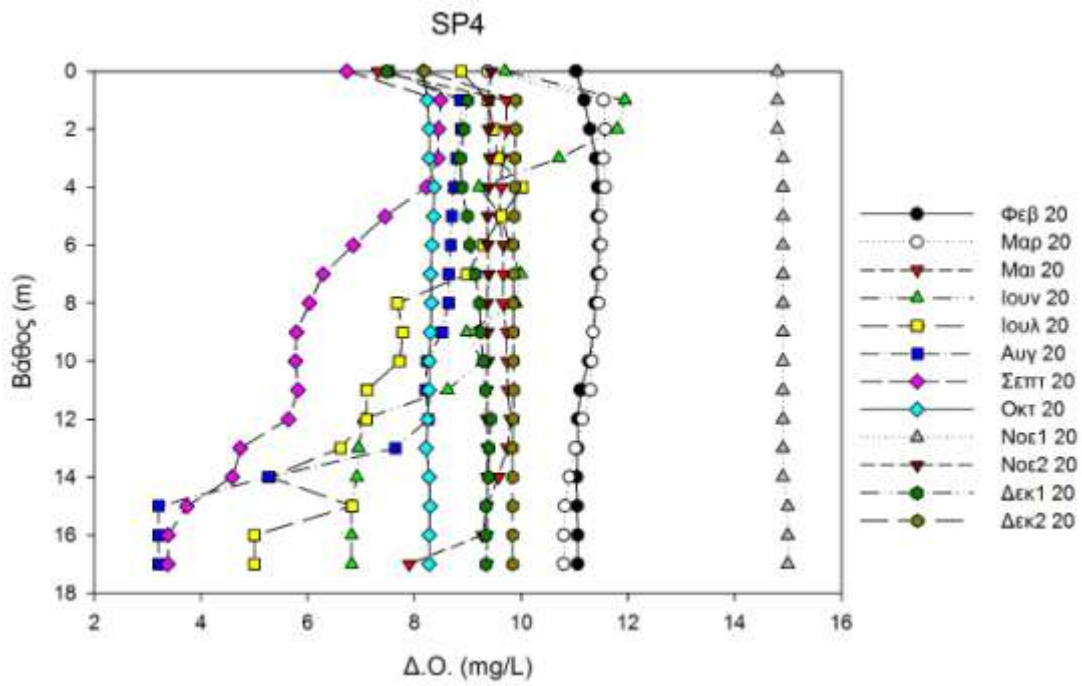


**Εικόνα 21.** Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP2 για το έτος 2020.



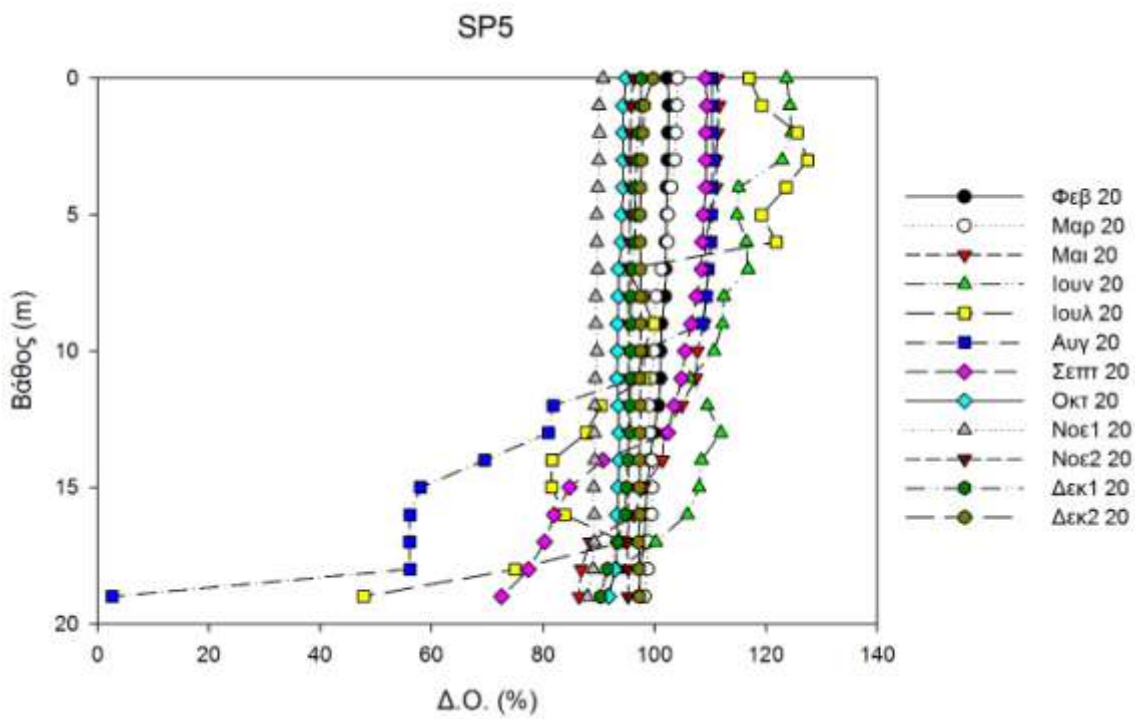
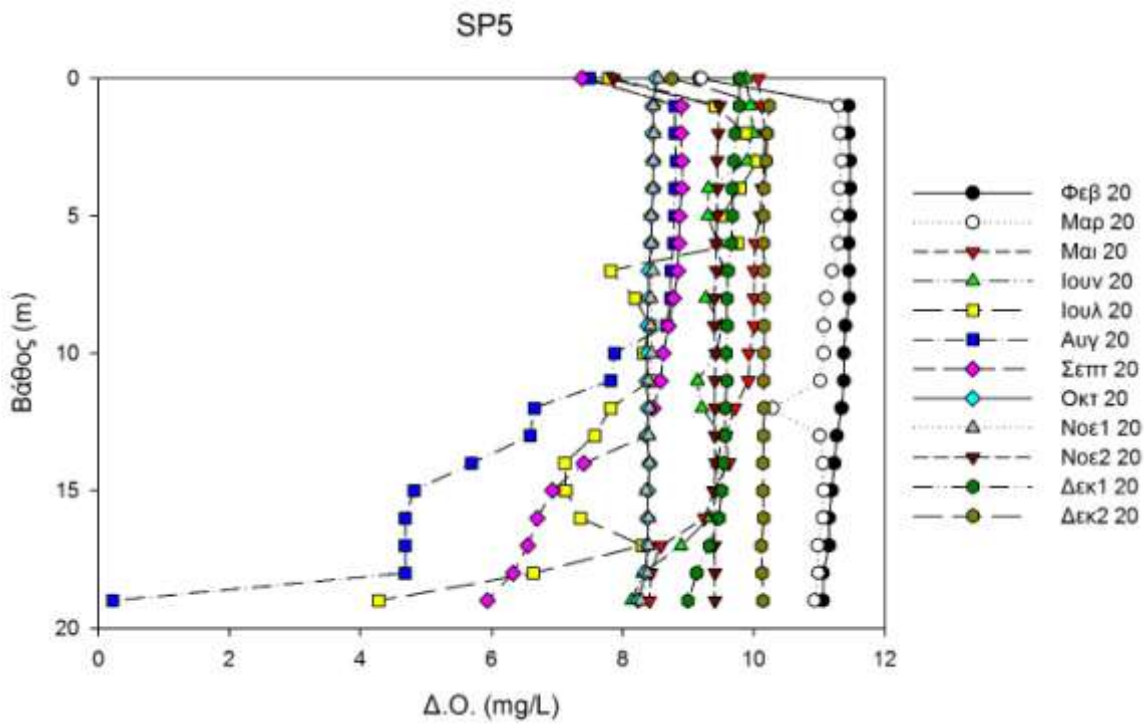


**Εικόνα 22.** Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP3 για το έτος 2020.



**Εικόνα 23.** Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP4 για το έτος 2020.





**Εικόνα 24.** Κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης (mg/L) και του κορεσμού (%) σε οξυγόνο στον σταθμό SP5 για το έτος 2020.

Συνθήκες έλλειψης διαλυμένου οξυγόνου είναι δυνατό να επικρατήσουν σε μια κλειστή θάλασσα, όπως ο Θερμαϊκός κόλπος, όταν οι βιολογικές διεργασίες με τις οποίες αυτό καταναλώνεται (αναπνοή, βιο-αποικοδόμηση) υπερτερούν εκείνων της εισόδου του στο νερό. Η έλλειψη οξυγόνου είναι δυνατό να προκληθεί από τον συνδυασμό της περιορισμένης κυκλοφορίας του νερού (εξαιτίας της μορφολογίας της ακτής και της στρωμάτωσης της θερμοκρασίας) και της αποικοδόμησης οργανικής ύλης καθώς αυτή καθιζάνει από τα ανώτερα στρώματα. 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.

Στους βαθύτερους σταθμούς του όρμου SP1, SP4 και SP5 (Εικ. 20, 23 και 24), έντονη ήταν η μείωση του κορεσμού από την επιφάνεια προς τον πυθμένα (σε βάθη >15m) κατά τις θερινές δειγματοληψίες (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος 2020). Σε αυτούς τους 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.

Στους ρηχούς σταθμούς SP2 και SP3 (Εικ. 21 και 22), ενδεχομένως λόγω του μικρού βάθους, η κατανομή της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου και του κορεσμού δεν παρουσιάζουν έντονες μεταβολές. Σε καμία περίπτωση δεν σημειώθηκε ποσοστό ένδειξης ανοξίας.

Στον σταθμό SP4 (Εικ. 23), ο οποίος βρίσκεται κοντά στο λιμάνι, από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο 2020 και από το βάθος 4-5 m, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μειωνόταν έως τις χαμηλές τιμές που μετρήθηκαν κοντά στον πυθμένα (3-6 mg/L). Παρόμοιο φαινόμενο παρατηρήθηκε και στον σταθμό SP5 κατά τους θερινούς μήνες. Το μέγιστο βάθος στον σταθμό αυτό είναι κατά σχεδόν 5m μεγαλύτερο από τον SP4 και το χαμηλότερο ποσοστό κορεσμού παρατηρήθηκε κάτω από τα τελευταία 5m. Μόνο τον Αύγουστο 2020 ανιχνεύθηκε ανοξικό (0,2 mg/L) στρώμα νερού στον σταθμό SP5 κοντά στον πυθμένα (19m), γεγονός που μπορεί να οφείλεται ωστόσο στην πόντιση του ηλεκτροδίου του πολυπαραμετρικού οργάνου σε σημείο όπου ερχόταν σε επαφή με το ίζημα.

#### 4.2.5. Θρεπτικά ιόντα

Για τη μελέτη της πρωτογενούς παραγωγικότητας (πλαγκτό 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).

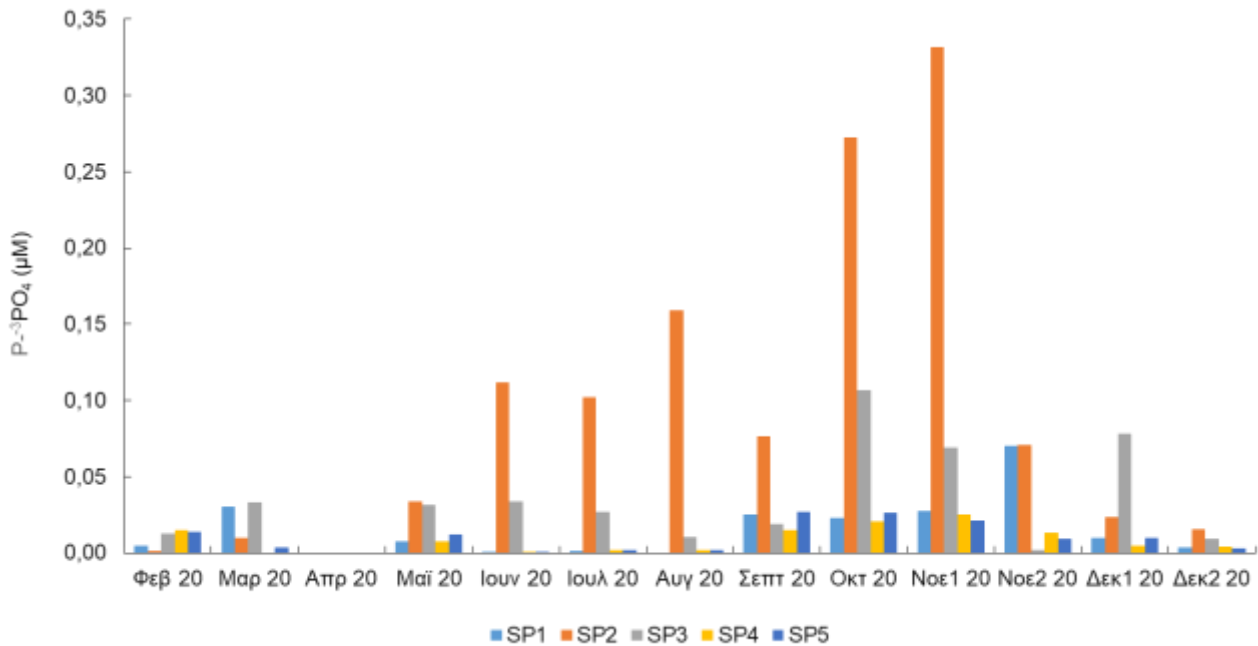
Περιοχές εκβολών και γενικά η παράκτια ζώνη συχνά δέχεται υψηλά φορτία θρεπτικών ουσιών από σημειακές και μη σημειακές πηγές (αγροτικές, βιομηχανικές, αστικές, ατμόσφαιρα κλ.π.). Σε παγκόσμια κλίμακα, η ατμόσφαιρα και οι ποταμοί συνεισφέρουν περίπου ίσα ποσοστά θρεπτικών στη θάλασσα (ΑΠΘ 1993, Φυτιάνος 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 2020 στους πελαγικούς σταθμούς κυμάνθηκε από 0,001  $\mu\text{M}$  (SP5) έως 0,33  $\mu\text{M}$  (SP2) και η μέση τιμή για όλους τους σταθμούς ήταν 0,04  $\mu\text{M}$ . Η χαμηλότερη μέση ετήσια συγκέντρωση ήταν 0,09  $\mu\text{M}$  στον SP4 και η μέση υψηλότερη συγκέντρωση ήταν 0,10  $\mu\text{M}$  στον SP2. Η χαμηλότερη μέση μηνιαία ήταν 0,01  $\mu\text{M}$  (Ιανουάριος 2020) και η υψηλότερη μέση μηνιαία ήταν 0,095  $\mu\text{M}$  τον Νοέμβριο 2020 (πρώτο δεκαπενθήμερο). Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σε όλους τους σταθμούς μετρήθηκαν την ψυχρή περίοδο (Εικ. 25).

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  $\mu\text{M}$ . 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).



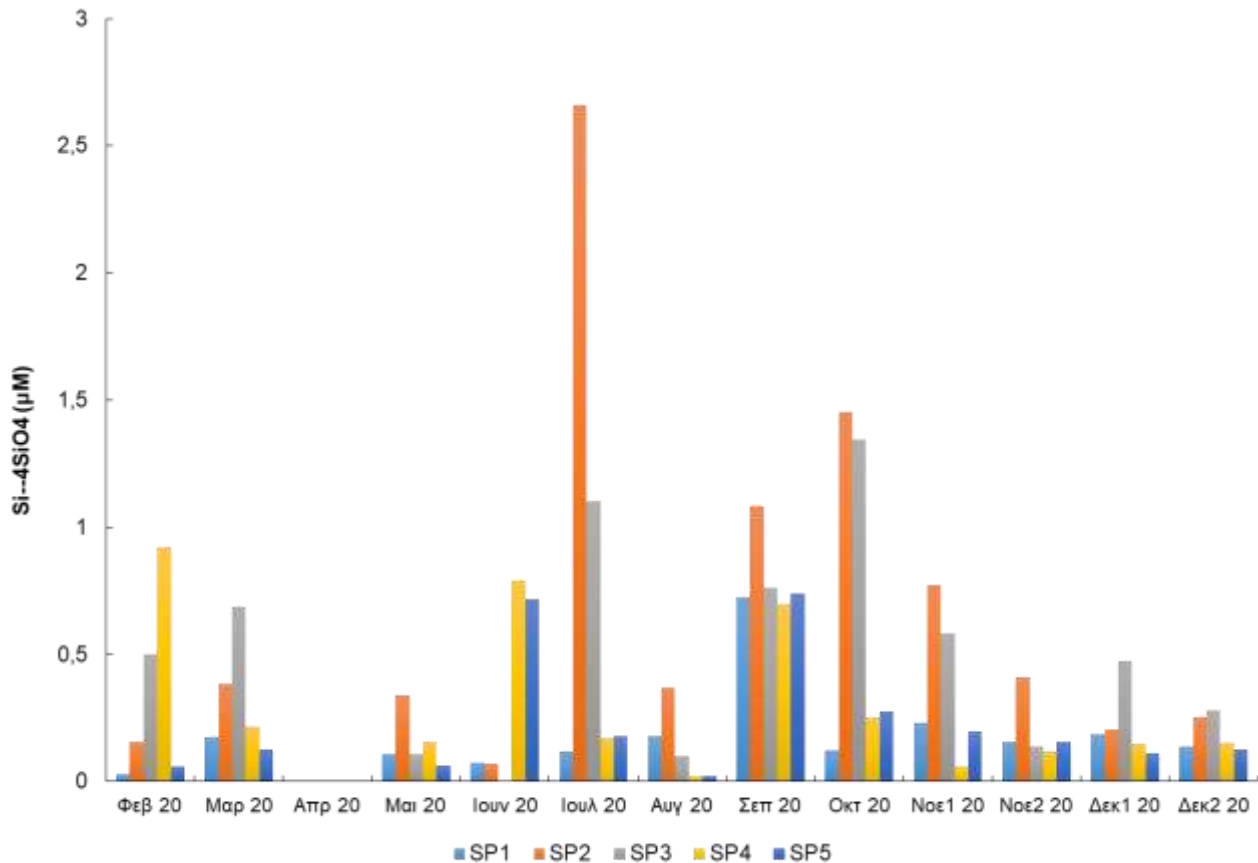
**Εικόνα 25.** Συγκέντρωση ( $\mu\text{M}$ ) των ορθοφωσφορικών ιόντων στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για το έτος 2020.

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 0,02-2,66  $\mu\text{M}$  (Εικ. 26). Η μέγιστη τιμή (2,66  $\mu\text{M}$ ) μετρήθηκε τον Ιούλιο στον σταθμό που βρίσκεται στην έξοδο του Αντλιοστασίου (SP2). Γενικότερα, οι υψηλές συγκεντρώσεις παρουσίασαν μέγιστες τιμές τον Ιούλιο και στο τέλος της θερμής περιόδου (Σεπτέμβριο και Οκτώβριο). Γενικότερα, οι υψηλές συγκεντρώσεις μετρήθηκαν τον Ιούλιο και στο τέλος της θερμής περιόδου. 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 1984). 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 26.** Συγκέντρωση ( $\mu\text{M}$ ) των πυριτικών ιόντων στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για το έτος 2020.

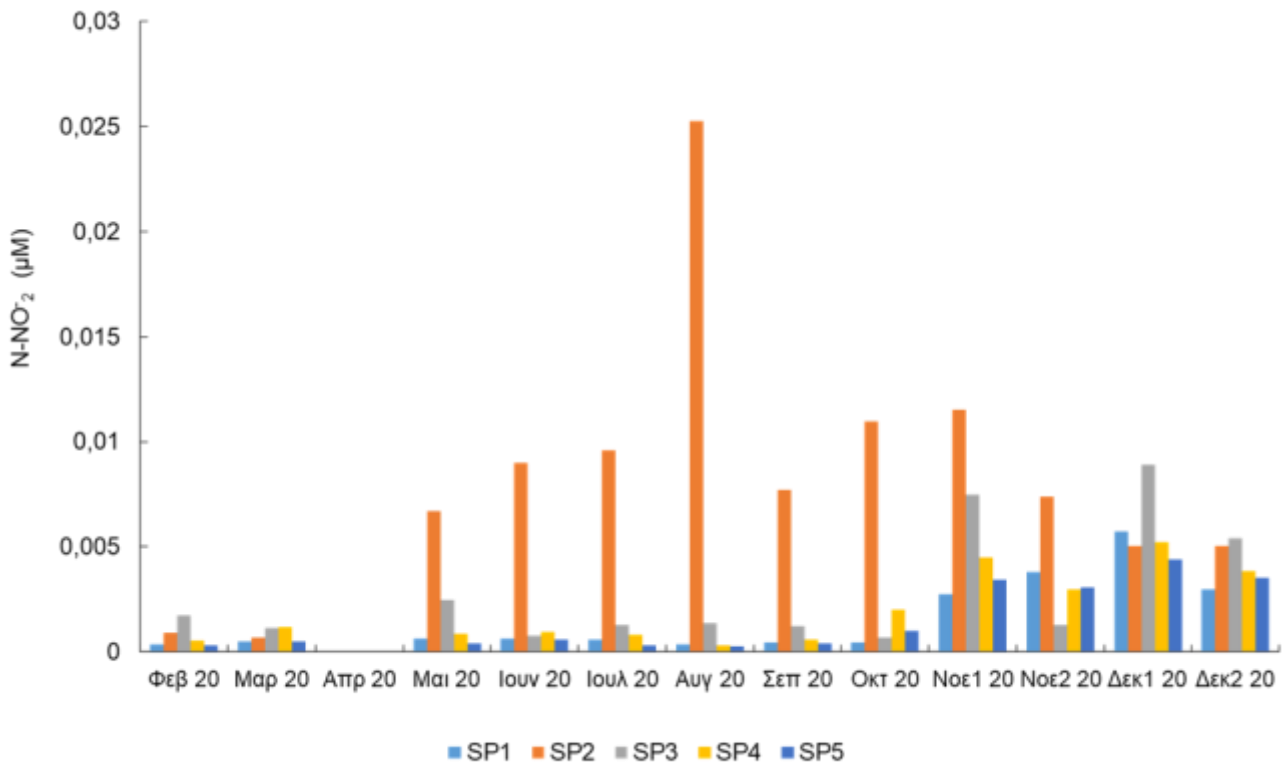
Κατά τα τελευταία σαράντα έτη φαίνεται ότι η συγκέντρωση των πυριτικών στον Θερμαϊκό παρουσίασε πτωτική τάση χωρίς όμως συγκεκριμένη χωρική και χρονική κατανομή. Η διαθεσιμότητα του πυριτίου επηρέαζε σε μεγάλο βαθμό την αύξηση και ανάπτυξη των διατόμων (Tréguer *et al.* 1995). Τα πυριτικά ιόντα προέρχονται 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 & Niellson 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. Αζωτο: νιτρώδη - νιτρικά - αμμωνιακά

Η μεταβολή της συγκέντρωσης των νιτρωδών, νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων στη στήλη του νερού για το 2020 φαίνεται στις Εικόνες 27, 28 και 29.

Η υψηλότερη συγκέντρωση νιτρωδών (0,025  $\mu\text{M}$ ) μετρήθηκε τον Αύγουστο 2020 στον σταθμό SP2 (αντλιοστάσιο), ενώ η χαμηλότερη τον ίδιο μήνα στον SP5 (κέντρο Όρμου). Γενικά υψηλές συγκεντρώσεις νιτρωδών για το έτος 2020 μετρήθηκαν τους θερμούς μήνες στον σταθμό SP2 ενώ οι υπόλοιποι σταθμοί παρουσίασαν υψηλές συγκεντρώσεις κατά τους ψυχρούς μήνες (Εικ. 27).

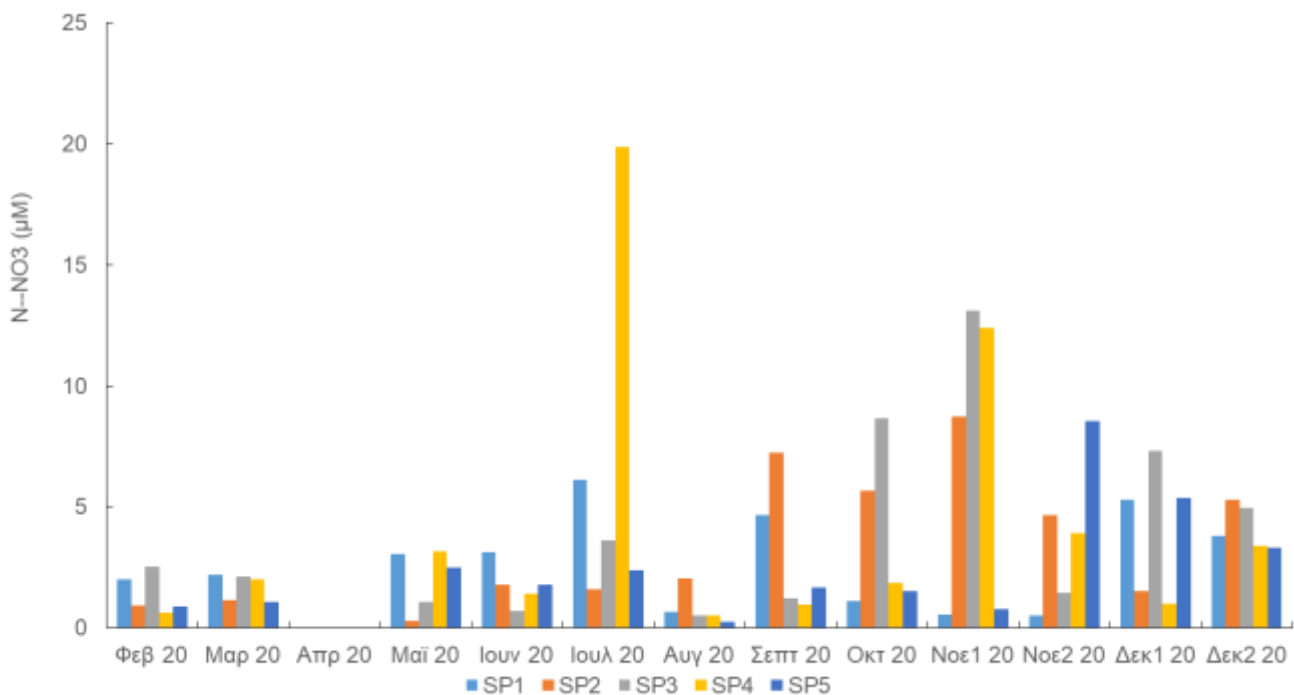
Η συγκέντρωση των νιτρωδών στο τέλος της δεκαετίας του 1970 κυμάνθηκε μεταξύ 0,06-0,31  $\mu\text{M}$  (Friligos & Koussouris 1984) ενώ την επόμενη δεκαετία σύμφωνα με τους Gotsis-Skretas, Friligos (1990) παρατηρήθηκε μικρή αύξηση: τον Δεκέμβριο 1984 ήταν 0,04-1,02  $\mu\text{M}$ , τον Μάιο 1985 ήταν 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 νιτρωδών 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 νιτρωδών με εξαίρεση το έτος 2015.



**Εικόνα 27.** Συγκέντρωση ( $\mu\text{M}$ ) αζώτου νιτρωδών ιόντων στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για το έτος 2020.

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων παρουσίασε έντονη μεταβολή (0,24-19,85  $\mu\text{M}$ ) με την υψηλότερη τιμή του έτους να παρατηρείται τον Ιούλιο 2020 στον σταθμό SP4 (Εικ. 28). Γενικά οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μετρήθηκαν κατά τους ψυχρούς μήνες.

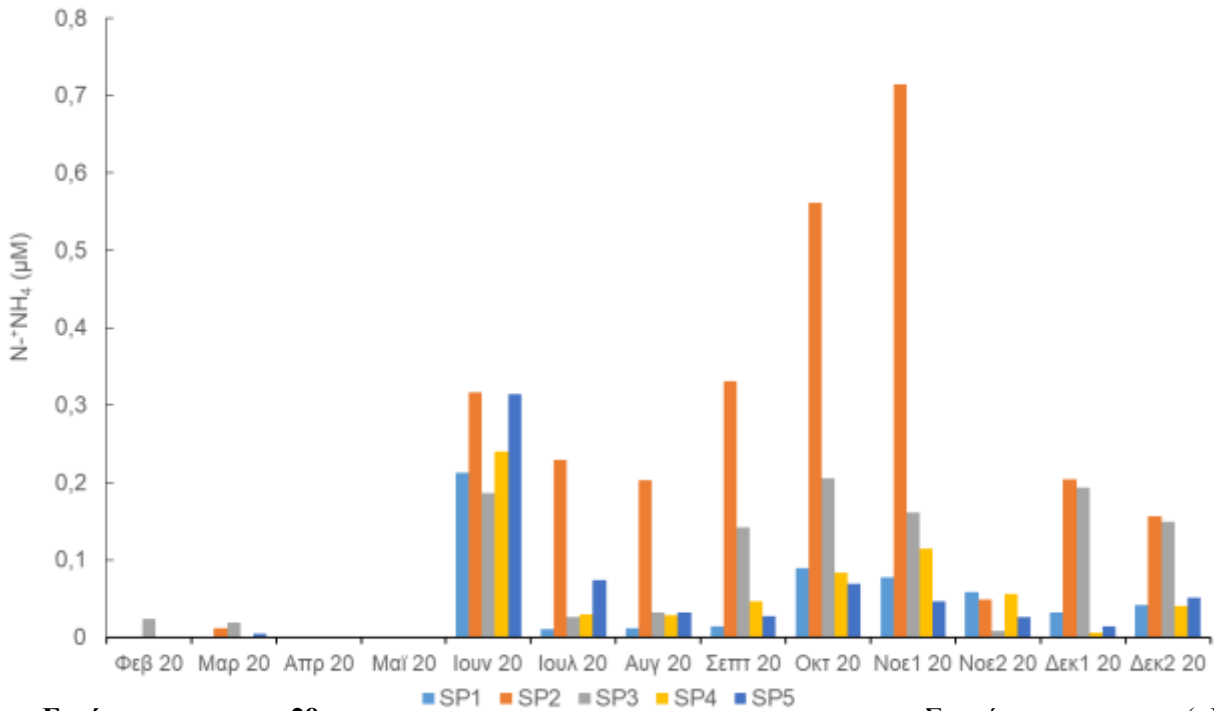
Πριν σχεδόν σαράντα έτη (Σεπτέμβριος 1977, Friligos & Kousouris, 1984) οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στο εσωτερικό του Θερμαϊκού κυμαίνονταν σε ένα μεγάλο εύρος μεταξύ 0,40-2,92  $\mu\text{M}$ . Στη συνέχεια, οι Gotsis-Skretas & Friligos 1990 καθόρισαν ακόμα μεγαλύτερο εύρος συγκεντρώσεων και συγκεκριμένα 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  $\mu\text{M}$  ενώ 20 έτη αργότερα (ΕΛΚΕΘΕ 2015) οι συγκεντρώσεις εμφανίστηκαν χαμηλότερες (0,25-0,976  $\mu\text{M}$ ) οι οποίες συμβαδίζουν με αυτές της παρούσας παρακολούθησης.



**Εικόνα 28.** Συγκέντρωση ( $\mu\text{M}$ ) αζώτου νιτρικών στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για το έτος 2020.

Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών κυμάνθηκαν μεταξύ μη ανιχνεύσιμων συγκεντρώσεων και 0,67  $\mu\text{M}$ , με την υψηλότερη τιμή να σημειώνεται στον σταθμό SP2 (αντλιοστάσιο Παλιομάνας) τον Νοέμβριο 2020 (Εικ. 29). Γενικώς, οι δύο αβαθείς σταθμοί (SP2, SP3) εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις από τους υπόλοιπους. Όσον αφορά τη χρονική κατανομή, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μετρήθηκαν τους θερμούς μήνες και στην αρχή της ψυχρής εποχής (Εικ. 25).





**Εικόνα 29.** Συγκέντρωση (μM) αζώτου αμμωνιακών στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για το έτος 2020.

Πριν σαράντα σχεδόν έτη (Σεπτέμβριος 1977) το εύρος των συγκεντρώσεων στον εσωτερικό Θερμαϊκό ήταν σχεδόν δέκα 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 1990 προσδιορίστηκε από 0,09 έως 2,88 μM (ΕΛΚΕΘΕ 1994). Εικοσιπέντε έτη από τη λειτουργία της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, η ελάχιστη τιμή (0,311 μM) ήταν σχεδόν τριπλάσια από αυτή του 1994, ενώ η μέγιστη τιμή (1,382 μM) ήταν σχεδόν μισή από αυτή του 1994.

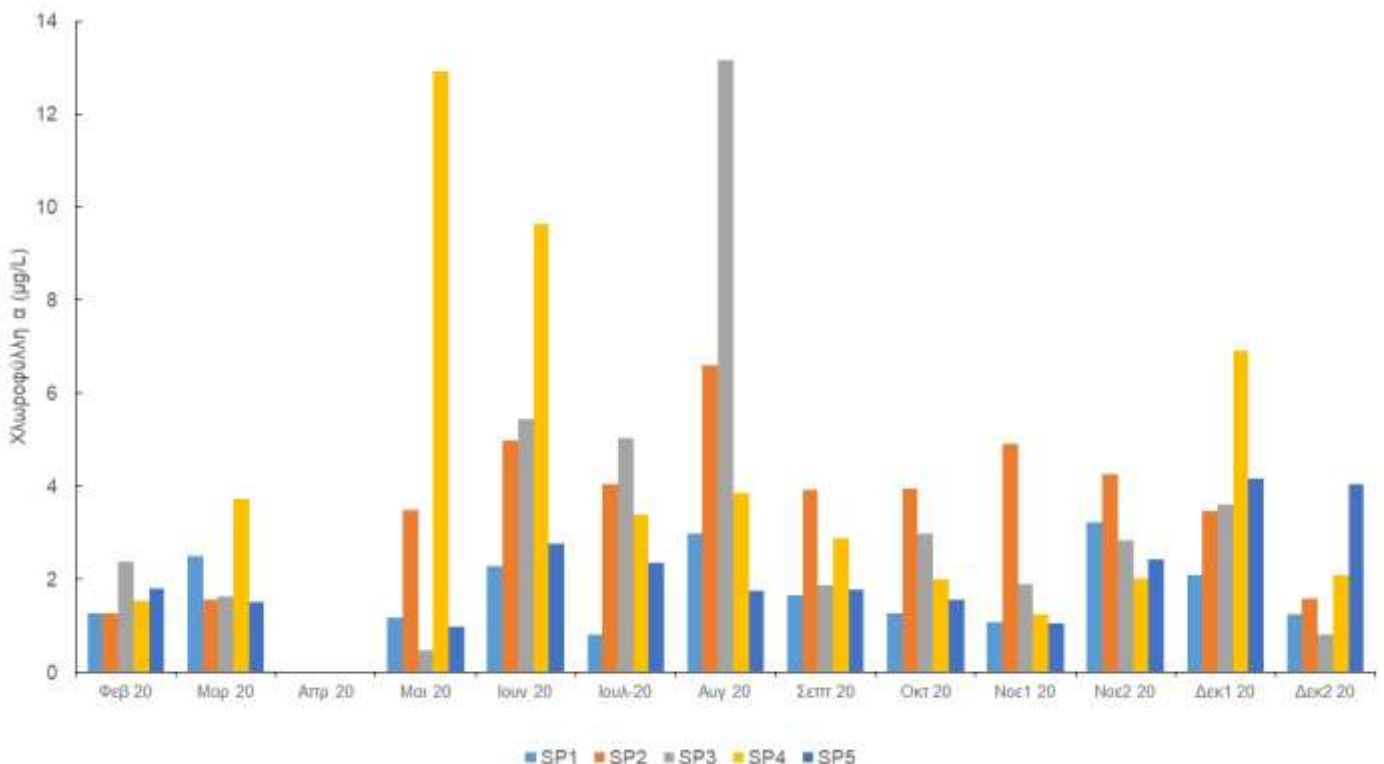
### 4.3. Βιολογικές παράμετροι

#### 4.3.1. 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 επιτολασμού του νερού, β) την αναγνώριση εποχικών τάσεων σε μεγάλες χρονοσειρές βιομάζας φυτοπλαγκτού και γ) την παρακολούθηση του τροφικού επιπέδου (OSPAR 2012).

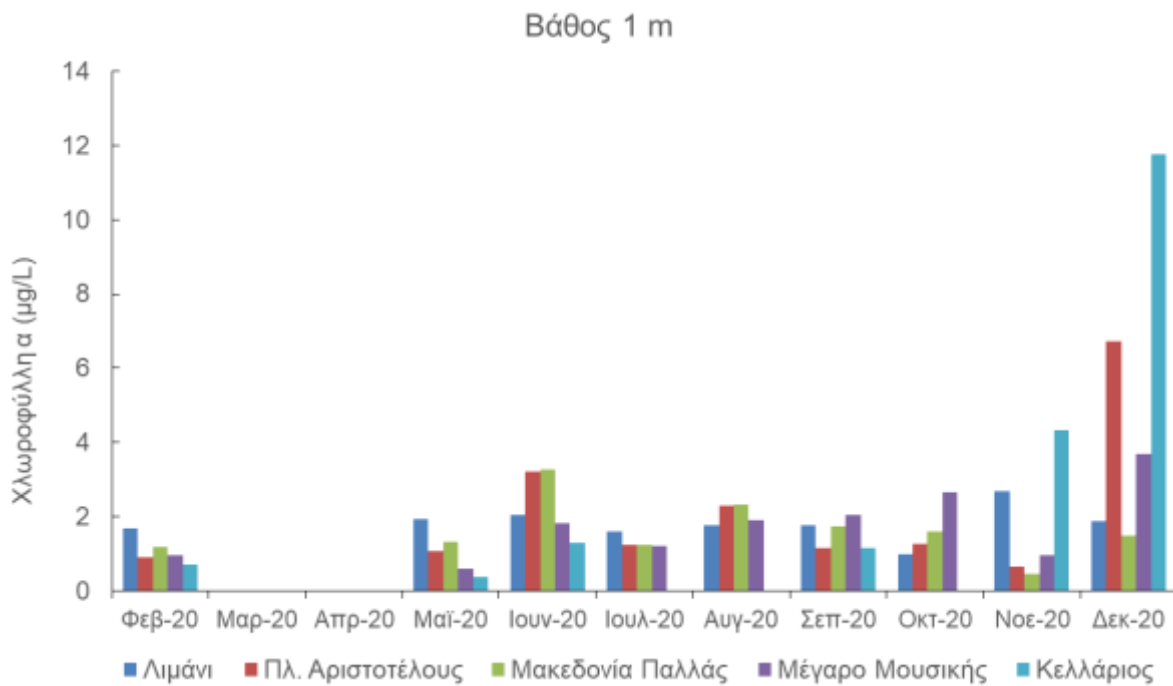
Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5), κυμάνθηκε από 0,48 (SP3) έως 12,91  $\mu\text{g/L}$  (SP4) και η υψηλότερη μέση ετήσια μετρήθηκε στον σταθμό SP4 (4,34  $\mu\text{g/L}$ ) ενώ η χαμηλότερη στον SP1 (1,78  $\mu\text{g/L}$ ).

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. 30). Η υψηλότερη μέση μηνιαία τιμή από όλους τους σταθμούς υπολογίστηκε τον Αύγουστο (5,67  $\mu\text{g/L}$ ) και η χαμηλότερη (1,64  $\mu\text{g/L}$ ) τον Φεβρουάριο.

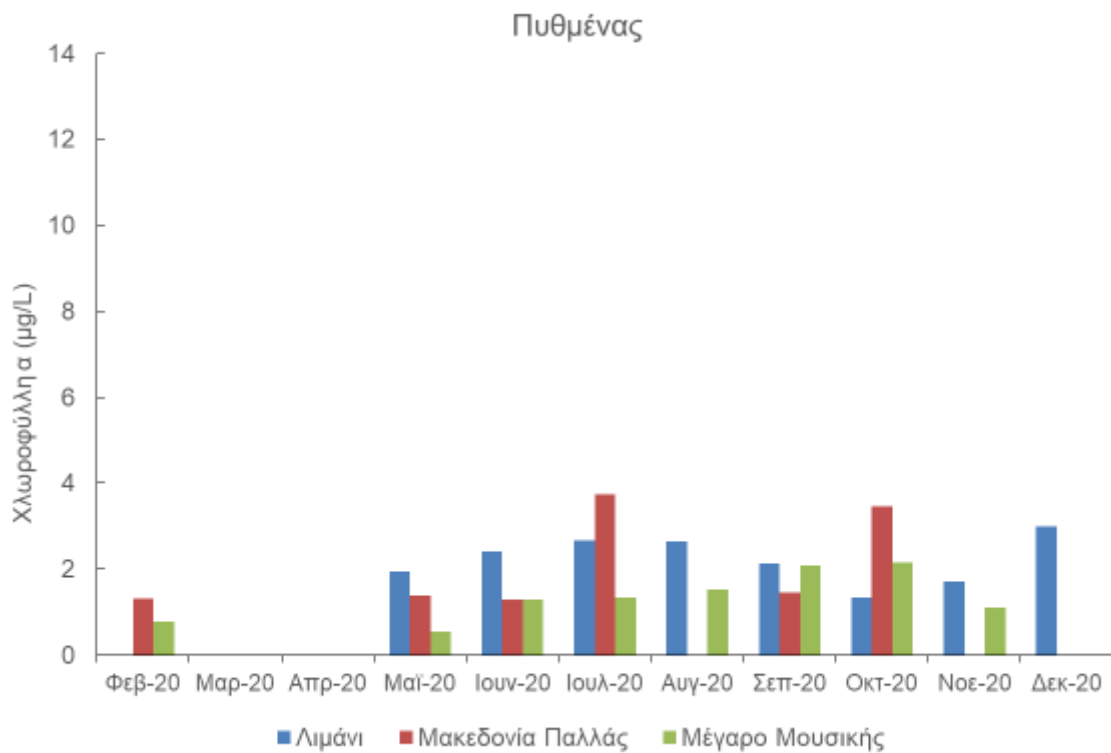


Εικόνα 30. Συγκέντρωση χλωροφύλλης α ( $\mu\text{g/L}$ ) στους πελαγικούς σταθμούς (SP1-SP5) για το 2020.

Στους παράκτιους σταθμούς (LP1-LP5), η κατανομή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης α παρουσιάζεται στις Εικόνες 31 και 32.



**Εικόνα 31.** Συγκέντρωση χλωροφύλλης α (µg/L), σε βάθος 1m, στους παράκτιους σταθμούς LP1-LP5 για το 2020.



**Εικόνα 32.** Συγκέντρωση χλωροφύλλης α (µg/L), στον πυθμένα, στους παράκτιους σταθμούς LP1-LP5 για το 2020.

Τους μήνες Νοέμβριο (Λιμάνι και Κελλάριος) και Δεκέμβριο 2020 (Λιμάνι), η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α ήταν κατά πολύ υψηλότερη απ' ό τι στους υπόλοιπους σταθμούς για την ίδια εποχή. Κατά τους υπόλοιπους μήνες, η συγκέντρωσή της παρουσίασε μικρή διακύμανση. Στους σταθμούς όπου λόγω του ικανού βάθους έγινε συλλογή δειγμάτων τόσο από την επιφάνεια όσο και από τον πυθμένα, δεν διαπιστώθηκαν ιδιαίτερες διαφορές στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης α μεταξύ των δύο βαθών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης α της τάξης 10-40  $\mu\text{g/L}$  είναι τυπικές φυτοπλαγκτονικών μεγίστων (blooms) σε εύτροφα παράκτια νερά (Riley & Chester 1971), ενώ συγκεντρώσεις της τάξης των 0,05  $\mu\text{g/L}$  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  $\mu\text{g/L}$  τον Μάιο 1985) και στον Όρμο της Θεσσαλονίκης (8,70  $\mu\text{g/L}$  τον Δεκέμβριο 1984) από τους Gotsis-Skretas & Friligos (1990).

### 4.3.2. Φυτοπλαγκτό

Το σύνολο των κλάσεων και γενών που επικρατούν και αναγνωρίστηκαν στον εσωτερικό Θερμαϊκό παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Καταγράφηκαν 34 γένη που ανήκουν στην κλάση των διατόμων (Baccillariophyceae) και 53 στην κλάση των δινοφυκών (Dinofhyceae). Τα υπόλοιπα ανήκουν στην κλάση των πυριτιομαστιγωτών (Dictyochophyceae), των ευγληνοφυκών (Euglenophyceae), των βλεφαριδωτών (Litostomatae), των κρυπτοφυκών (Cryptophyceae), των κοκκολιθοφόρων (Coccolithophorids), και σε κλάσεις εσωτερικών υδάτων. Καταγράφηκαν επίσης κάποια κύτταρα γλυκού νερού και κάποια κυανοβακτηρίων. Τα κύτταρα των εσωτερικών υδάτων καταγράφηκαν στους σταθμούς που είναι κοντά στη δυτική ακτή του Θερμαϊκού.

**Πίνακας 2.** Επικρατούσες κλάσεις και γένη φυτοπλαγκτού που αναγνωρίστηκαν στον Όρμο της Θεσσαλονίκης.

#### **Baccillariophyceae**

*Asterionellopsis* spp.  
*Asteromphalus* sp.  
*Bacillaria* sp.  
*Bacteriastrium* spp.  
*C. closterium/ N. longissima*  
*Chaetoceros* spp.  
*Coscinodiscus* sp.  
*Dactyliosolen* spp.  
*Diploneis* sp.  
*Ditylum* sp.  
*Eucampia* sp.  
*Fragilaria* spp.  
*Guinardia flaccida*  
*Helicotheca* spp.  
*Hemiaulus* sp.  
*Lauderia* spp.  
*Leptocylindrus mediterraneus*  
*Licmophora* sp.  
*Lioloma* sp.  
*Lithodesmium* spp.  
*Meuniera membranacea*  
*Navicula* sp.  
*Nitzschia longissima*  
*Odontella* sp.  
*Pleurosigma* sp.  
*Proboscia* sp.  
*Pseudo-nitzschia* spp.  
*Pseudosolenia calcar-avis*  
*Rhizosolenia robusta*  
*Skeletonema* spp.  
*Striatella* sp.  
*Synedra* spp.  
*Thalassionema* spp.  
*Thalassiosira* spp.

#### **Dictyochophyceae**

*Dictyocha* spp.  
*Octactis octonaria*

#### **Euglenophyceae**

*Euglena* spp.

#### **Litostomatae**

*Mesodinium* spp.

#### **Cryptophyceae**

*Cryptomonas* spp.

#### **Μικροφύκη εσωτερικών υδάτων**

*Chroococcus* spp.  
*Closteriopsis* spp.  
*Cosmarium* sp.  
*Desmodesmus* spp.  
*Diatoma* spp.  
*Entomoneis* spp.  
*Fragilaria* spp.  
*Lepocinclis* sp.  
*Melosira* spp.  
*Nitzschia* spp.  
*Oscillatoriales* (filaments/L)  
*Oocystis sensu lato*  
*Pectinodesmus pectinatus*  
*Peridinium* spp.  
*Pseudostaurastrum* spp.  
*Scenedesmus* spp.  
*Tetraëdron minimum*

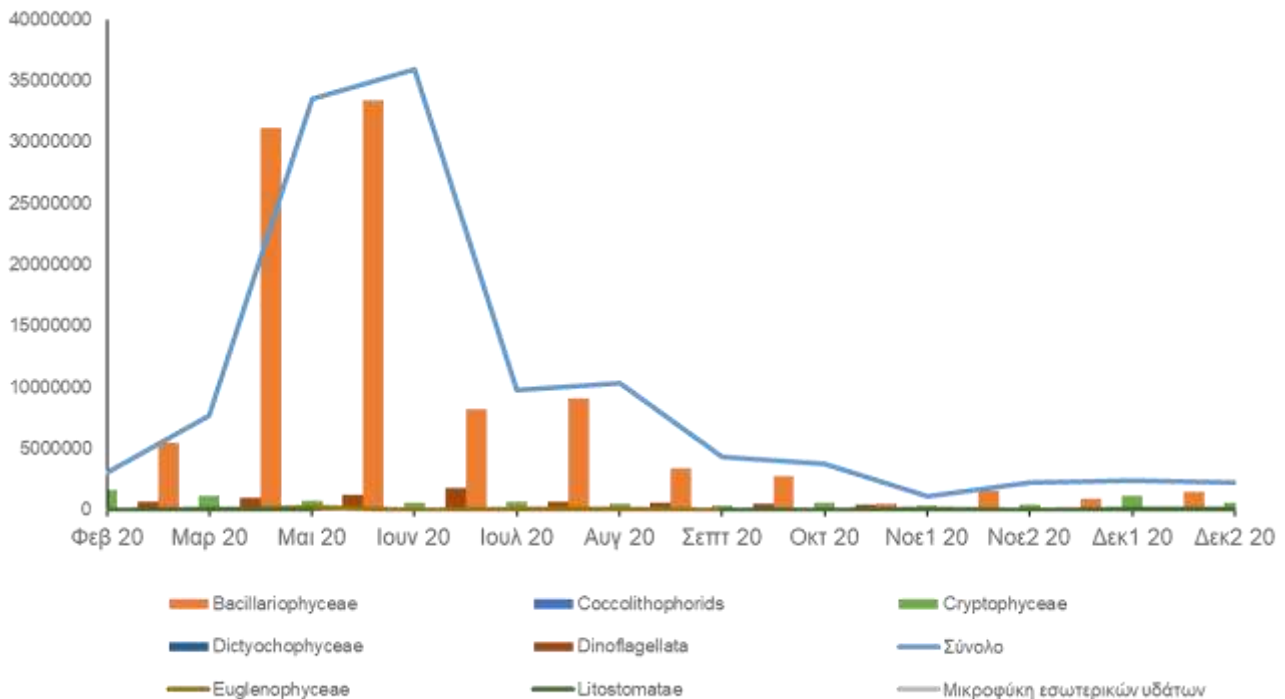
#### **Coccolithophorids**

### Dinoflagellates

*Alexandrium* sp.  
*Azadinium caudatum* var. *margalefii*  
*Blepharocysta* sp.  
*Blixaea quinquecornis*  
*Ceratoperidinium falcatum*  
*Ceratoperidinium yeye*  
*Cochlodinium* sp.  
*Corythodinium* sp.  
*Dinophysis* cf. *ovum*  
*Dinophysis fortii*  
*Dinophysis sacculus*  
*Diplopsalis* sp.  
*Fragilidium* sp.  
*Gonyaulax* spp.  
*Gyrodinium impudicum*  
*Gyrodinium* sp.  
*Gyrodinium spirale*  
*Heterocapsa* sp.  
*Karenia* sp.  
*Karlodinium* spp.  
*Katodinium* spp.  
*Kryptoperidinium foliaceum*  
*Lessardia* spp.  
*Mesoporos* sp.  
*Noctiluca scintillans*  
*Torodinium* sp.  
*Warnowia* sp.

### Dinoflagellates

*Oxyphysis* sp.  
*Oxytoxum* sp.  
*Palaeophalacroma* sp.  
*Phalacroma* cf. *rapa*  
*Phalacroma rotundata*  
*Podolampas* sp.  
*Polykrikos* sp.  
*Prorocentrum* cf. *dentatum*  
*Prorocentrum* cf. *rhathymum*  
*Prorocentrum* cf. *rostratum*  
*Prorocentrum compressum*  
*Prorocentrum dactylum*  
*Prorocentrum gracile*  
*Prorocentrum micans*  
*Prorocentrum minimum*  
*Prorocentrum rhathymum*  
*Prorocentrum scutellum*  
*Prorocentrum triestinum*  
*Protoceratium reticulatum*  
*Proto-peridinium* sp.  
*Pyrocystis* spp.  
*Pyrophacus* sp.  
*Roscoffia* sp.  
*Scrippsiella* spp.  
*Spatulodinium pseudonoctiluca*  
*Tripos* sp.



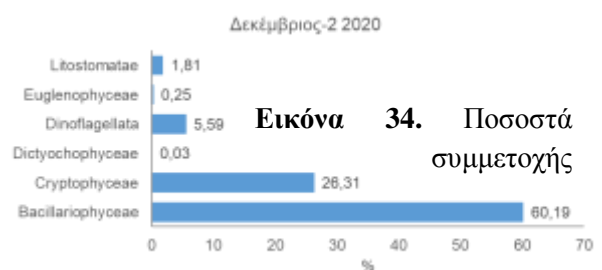
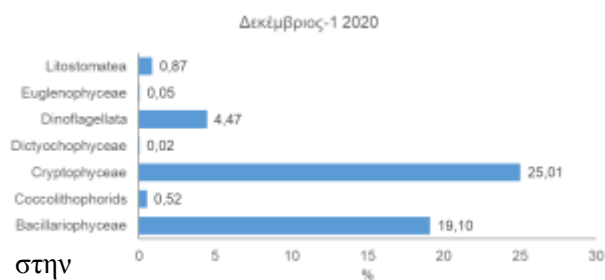
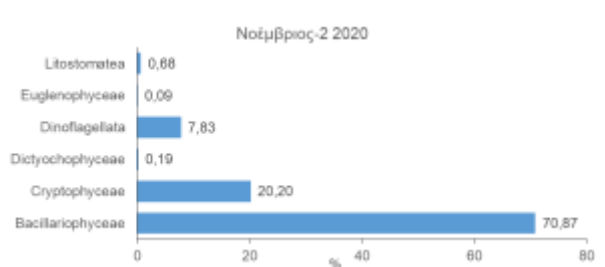
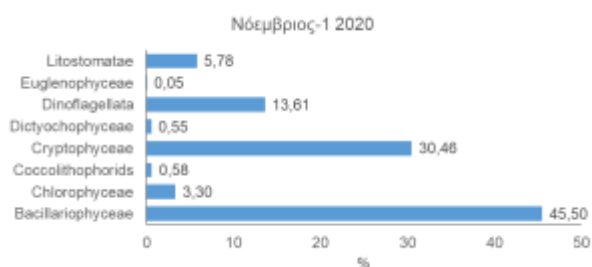
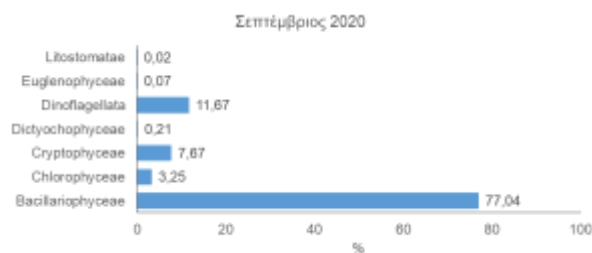
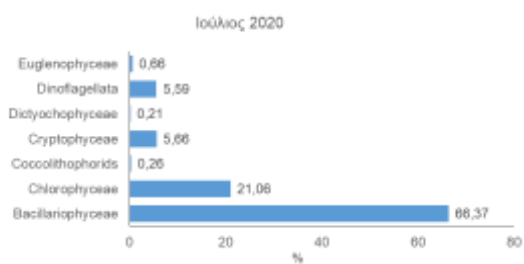
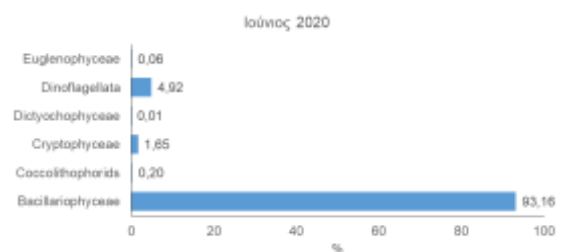
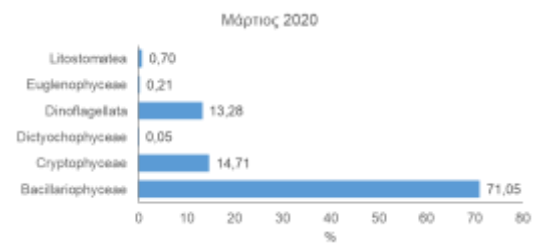
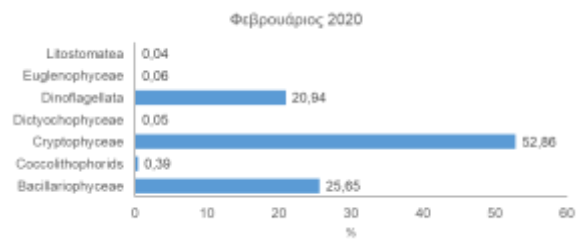
**Εικόνα 33.** Κατανομή της αφθονίας (κύτταρα/L) επικρατουσών κλάσεων και συνολικού αριθμού κυττάρων φυτοπλαγκτού στον όρμο του Θερμαϊκού, για το 2020.



Η συνολική αφθονία κυμάνθηκε μεταξύ  $1,2 \times 10^6$  κύτταρα/L και  $35,9 \times 10^6$  κύτταρα/L. Η υψηλότερη τιμή συνολικής αφθονίας από όλους τους σταθμούς καταγράφηκε τον Ιούνιο και η χαμηλότερη τον Νοέμβριο 2020. Η χρονική κατανομή της αφθονίας παρουσίασε μέγιστη αύξηση κατά τη θερμή περίοδο (άνοιξη-καλοκαίρι-αρχές φθινοπώρου). Στη διάρκεια του έτους 2020, τα Διάτομα (Bacillariophyceae) συμμετείχαν με το υψηλότερο ποσοστό στη συνολική αφθονία εκτός από τον Φεβρουάριο και τις αρχές Δεκεμβρίου 2020 οπότε και επικρατούσαν τα Κρυπτοφύκη (Cryptophyceae) έναντι των διατόμων με ποσοστά 52,86% και 25,01% αντίστοιχα) (Εικ. 33).

Το ποσοστό συμμετοχής των διατόμων στη συνολική βιομάζα παρουσίασε μέγιστη τιμή (93,16%) τον Αύγουστο και ελάχιστη στις αρχές Δεκεμβρίου 2020 (19,10%).

Η χρονική κατανομή της αφθονίας παρουσίασε μέγιστη αύξηση νωρίτερα (Μάιος-Ιούνιος 2020) σε σχέση με το προηγούμενο έτος (Ιούνιος-Ιούλιος 2019). Από τον Φεβρουάριο έως τον Ιούνιο 2020 παρατηρήθηκε αύξηση στο συνολική αφθονία του φυτοπλαγκτού (κύτταρα/L) (Εικ. 34). Η αύξηση αυτή συμπίπτει με την αύξηση της αφθονίας κυρίως των διατόμων η οποία είναι ταυτόχρονη με τη μείωση της συγκέντρωσης του πυριτίου (Εικ. 26).



**Εικόνα 34.** Ποσοστά συμμετοχής

στην ανά μήνα αφθονία των επικρατουσών ομάδων φυτοπλαγκτού (2020).

### 4.3.3. Θαλάσσια μακρόφυτα

Στα θαλάσσια μακρόφυτα συγκαταλέγονται τα θαλάσσια αγγειόσπερμα και τα μακροφύκη. Τα θαλάσσια αγγειόσπερμα όπως τα χερσαία φυτά διαθέτουν ριζικό σύστημα, υπέργειο σύστημα, αγγειακό σύστημα, μονογονική και αμφιγονική αναπαραγωγή και άνθη που γονιμοποιούνται από γύρη που μεταφέρεται από το νερό. Τα μακροφύκη διακρίνονται σε Χλωρο-, Ρόδο- και Φαιοφύκη.

**Πίνακας 3.** Επικρατούσες ταξινομικές ομάδες θαλάσσιων μακρόφυτων στον όρμο της Θεσσαλονίκης (με έντονη γραμματοσειρά διακρίνονται τα επικρατούντα taxa σε κάθε σημείο δειγματοληψίας και με κόκκινη γραμματοσειρά τα φανερόγαμα).

#### Καλογόρι

*Alsidium corallinum*

*Bryopsis plumosa*

***Chaetomorpha aerea***

*Chroodactylon ornatum*

*Cladophora* sp.

***Cladophora vagabunda***

*Dictyota dichotoma*

*Ectocarpaceae* ind.

***Enteromorpha* spp.**

*Erythrotrichia carnea*

*Gracilaria dura*

*Gracilaria longa*

*Gracilaria verrucosa*

***Polysiphonia furcellata***

*Polysiphonia* sp.

*Stylonema alsidii*

*Stylonema cornu-cervi*

***Ulva* spp.**

#### Θ. Σοφούλη

*Codium fragile*

*Cymodocea nodosa*

*Enteromorpha* spp.

*Ulva* spp.

#### Ακτή Florida

*Ceramium diaphanum*

***Cymodocea nodosa***

*Ectocarpaceae* ind.

***Enteromorpha* spp.**

*Gracilaria verrucosa*

*Hypnea musciformis*

***Ulva* spp.**

#### Αγία Τριάδα

*Acanthophora najadiformis*

*Ceramium byssoideum*

*Ceramium tenerrimum*

*Cladophora* spp.

*Codium fragile*

*Cystoseira barbata*

*Dictyota dichotoma*

*Ectocarpaceae* ind.

***Enteromorpha* spp.**

*Gelidium pussilum*

*Gigartina acicularis*

*Gigartina teedii*

*Gracilaria armata*

*Gracilaria bursa-pastoris*

*Herposiphonia tenella*

***Hypnea musciformis***

*Padina pavonica*

***Posidonia oceanica***

*Polysiphonia* spp.

*Scytosiphon lomentaria*

*Sphacelaria rigidula*

*Sphacelaria tribuloides*

*Stylonema alsidii*

***Ulva* spp.**

Στην ευρύτερη περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου απαντούν τρία είδη θαλάσσιων φανερογάμων: *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* και *Zostera noltii*. Οι λειμώνες της *Posidonia oceanica* (τύπος οικοτόπου προτεραιότητας 1120\*, Παράρτημα I, Οδηγία 92/43/ΕΟΚ) απαντούν μόνο στα νότια του ακρωτηρίου Μεγάλο Έμβολο, στην ΕΖΔ του Δικτύου Natura 2000 με κωδικό GR1220012 «Λιμνοθάλασσα Επανωμής και Θαλάσσια Παράκτια Ζώνη». Αναφορικά με τα άλλα δύο είδη φανερογάμων, στην περιοχή των εκβολών των ποταμών (δυτικά του κόλπου) απαντούν μικτά υποθαλάσσια λιβάδια των ειδών *Cymodocea nodosa* και *Zostera noltii* ενώ στις ανατολικές ακτές απαντούν αμιγή υποθαλάσσια λιβάδια του είδους *Cymodocea nodosa* (ΕΛΚΕΘΕ 2015).

Ιστορικά, ο Χαριτωνίδης (1978) αναφέρει ότι την περίοδο 1969-1975 υποθαλάσσια λιβάδια *Zostera noltii* εξαπλώνονταν στο εσωτερικό του Όρμου της Θεσσαλονίκης και ως την περιοχή του Μικρού Εμβόλου, δηλαδή στα όρια Όρμου και Κόλπου Θερμαϊκού. Πιο έξω, στον Θερμαϊκό κόλπο, εξαπλώνονταν υποθαλάσσια λιβάδια των ειδών *Cymodocea nodosa* και *Posidonia oceanica*. Λίγο αργότερα, την περίοδο 1976-1977, ο Παναγιωτίδης (1979) αναφέρει λιβάδια του είδους *Posidonia oceanica* μόνο στην περιοχή Αγίας Τριάδας (περιοχή Μεγάλο Έμβολο), δηλαδή στα όρια του εσωτερικού Θερμαϊκού κόλπου με τον κεντρικό Θερμαϊκό κόλπο. Λιγότερο από δέκα χρόνια έπειτα, ο Νικολαΐδης (1985) εντοπίζει την *Posidonia oceanica* ακόμη πιο έξω, στα όρια του κεντρικού με τον εξωτερικό Θερμαϊκό κόλπο, κοντά στην περιοχή Αγγελοχωρίου, όπου δηλαδή φαίνεται να απαντά και ως πρόσφατα (ΕΛΚΕΘΕ 2015). Διακρίνεται λοιπόν διαχρονικά σταδιακή υποχώρηση των λιβαδιών φανερογάμων προς το εξωτερικό του κόλπου του Θερμαϊκού, από τη δεκαετία του 1960 έως πρόσφατα, αλλά και αντικατάσταση των ευαίσθητων ειδών (π.χ. *Posidonia oceanica*) με άλλα περισσότερο ανθεκτικά (*Zostera noltii*). Τα φανερόγαμα που αναγνωρίστηκαν το 2020 στο πλαίσιο των δειγματοληψιών, ήταν το είδος *Cymodocea nodosa* στην περιοχή του αεροδρομίου (Ακτή Florida) και μία μικρή έκταση καλυμμένη με *Posidonia oceanica* στην περιοχή της Αγ. Τριάδας (σε βάθος 8-9m).

## 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), σε κανέναν πελαγικό σταθμό. Οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ της κατακόρυφης κατανομής 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 και της εκβολής του ποταμού Γαλλικού.

Σε όλους τους σταθμούς και σε όλα τα βάθη, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου παραμένει σε ικανοποιητικές συγκεντρώσεις και δεν παρατηρήθηκαν συνθήκες έλλειψης οξυγόνου στη στήλη του νερού. Ωστόσο, στους βαθύτερους σταθμούς SP1, SP4 και SP5 ήταν εμφανής η μείωση του κορεσμού (%) σε βάθη >15 m, κατά τους θερινούς μήνες του 2020, σε ποσοστά που δεν έπεσαν ωστόσο κάτω από 40%.

Η συγκέντρωση των φωσφορικών και των πυριτικών παρουσιάζει μείωση από τη δεκαετία του '90 έως το 2020. Οι σταθμοί στα δυτικά και κοντά στο αντλιοστάσιο και στην εκβολή του Γαλλικού ποταμού (αβαθή SP2 και SP3) εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές πιθανώς επειδή επηρεάζονται από την είσοδο του εμπλουτισμένου άναλου νερού του ποταμού. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων ήταν υψηλότερες στους αβαθείς σταθμούς, και κυρίως στον σταθμό που βρίσκεται κοντά στο αντλιοστάσιο, πιθανότατα εξαιτίας της εισόδου εμπλουτισμένου νερού. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ήταν υψηλές στους αβαθείς σταθμούς (SP2 και SP3) αλλά και στον σταθμό του λιμανιού (SP4).

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a* παρουσίασε την αναμενόμενη εποχιακή διακύμανση (αύξηση από το τέλος του χειμώνα έως τον Ιούλιο-Αύγουστο 2020).

Καταγράφηκαν συνολικά 92 γένη θαλάσσιων φυτοπλαγκτικών οργανισμών και 17 είδη μικροφυκών των εσωτερικών υδάτων (στους σταθμούς πλησίον των εκβολών του Γαλλικού). Τα διάτομα επικρατούσαν τους περισσότερους μήνες του έτους (10 από 12).

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

**Πίνακας 4.** Κλίμακα τροφικού επιπέδου βασισμένη σε θρεπτικά ιόντα ( $\mu\text{M}$ ), χλωροφύλλη *a* ( $\mu\text{g/L}$ ) και αφθονία (κύτταρα/L) (Pagou *et al.* 2008)

Παράμετρος	Ολιγοτροφική	Κατώτερη μεσοτροφική	Υψηλή μεσοτροφική	Ευτροφική	1975-1976 (Friligos <i>et al.</i> 1982)	1984-1985 (Gotsis-Scretas <i>et al.</i> 1990)	1992-1993 (ΕΛΚΕΘΕ 1994)	2020
Χλω- <i>a</i>	<0,10	0,10-0,60	0,60-2,21	>2,21	0,10-2,60	1,64-8,70	0,15-18,50	0,48-12,01
Νιτρικά	<0,62	0,62-0,65	0,65-1,19	>1,19	0,40-2,92	0,04-1,02	0,04-4,07	0,24-19,85
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	0,00-0,67
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	0,001-0,33
Φυτοπλαγκτό	<6 $\times 10^3$	6 $\times 10^3$ - 1,5 $\times 10^3$	1,5 $\times 10^3$ - 9,6 $\times 10^3$	>9,6 $\times 10^3$				

## 6. Βιβλιογραφία

- 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. & K.E. Schleicher, 1965. 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.
- Coppejens, E. 1983. Iconographie d' Algues Méditerranéennes Chlorophyta, Phaeophyta, Rhodophyta. *Bibliotheca Phycologica* J. Cramer, band 63.
- 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 Societ.*
- 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.
- Haritonidis S. & Tsekos I., 1975. Marine algae of northern Greece. *Bot. Mar.*, 18: 203-221.
- 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)
- 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.

- 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.
- Wei-Jun Cai, Xinping Hu, Wei-Jen Huang, Michael C. Murrell, John C. Lehrter, Steven E. Lohrenz, Wen-Chen Chou, Weidong Zhai, James T. Hollibaugh, Yongchen Wang, Pingsan Zhao, Xianghui Guo, Kjell Gundersen, Minhan Dai and Gwo-Ching Gong. 2011. Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication *Nature Geoscience* 4: 766-770.
- ΑΠΘ 1993. Παρακολούθηση της ποιότητας των αποβλήτων της πόλεως Θεσσαλονίκης και του αποδέκτη Θερμαϊκού στην περιοχή ανατολικού αντλιοστασίου Χαλάστρας. Τμ. Κτηνιατρικής Εργ. Οικολογίας & Προστασίας Περιβάλλοντος, Τμ. Χημείας, Εργ Αναλυτικής Χημείας.
- ΕΛΚΕΘΕ 1994. Ωκεανογραφική μελέτη Θερμαϊκού Κόλπου, Τελική Τεχνική Έκθεση.
- ΕΛΚΕΘΕ 2015. Τεχνική Έκθεση: Αποτελέσματα των ωκεανογραφικών πλοών της περιόδου 2014-2015. Επ. Π. Παναγιωτίδης.
- Μουστάκα-Γούνη Μ. 1997. Ωκεανογραφία, Μια βιολογική προσέγγιση. Εκδόσεις EXIN.
- Νικολαΐδης Γ. 1985. Ποιοτική και ποσοτική μελέτη των πληθυσμών των βενθικών μακροφυκών (Χλωροφυκών, Φαιοφυκών και Ροδοφυκών) σε περιοχές ρυπαινόμενες (κόλπος Θεσσαλονίκης) και μη (Χαλκιδική). Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη. 152 σελ.
- Ορφανίδης Σ., Λαζαρίδου Ε., Σεφερλής Μ. & Χαριτωνίδης Σ. 1997. Ευτροφισμός και αφθονία των θαλασσιών βενθικών Μακροφυκών στο βιότοπο της Αγίας Τριάδας του Θερμαϊκού Κόλπου. Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Τόμος Ι: 67-70.
- 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.