



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
Δ.Π.Μ.Σ. ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**«ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ
ΚΟΛΠΟΥ (ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2017) ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗ
ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΟΥ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ»**



Διπλωματική Εργασία Ειδίκευσης

ΤΑΛΑΓΑΝΗ ΠΗΝΕΛΟΠΗ

Αθήνα, 2019



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
Δ.Π.Μ.Σ. ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**«ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ
ΚΟΛΠΟΥ (ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2017) ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗ
ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΟΥ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ»**

Διπλωματική Εργασία Ειδίκευσης

ΤΑΛΑΓΑΝΗ ΠΗΝΕΛΟΠΗ
(Α.Μ: 215003)

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Σεραφεΐμ Πούλος, Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος (επιβλέπων),

Εμμανουήλ Δασενάκης, Καθηγητής Τμήματος Χημείας και

Σοφιανός Σαράντης, Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Φυσικής

Αθήνα, 2019

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ (ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2017) ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΟΥ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ» εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Ωκεανογραφίας και Διαχείρισης θαλάσσιου περιβάλλοντος της Σχολής Θετικών Επιστημών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Η τριμελής εξεταστική επιτροπή αποτελείται από τους:

Σεραφείμ Πούλο, Καθηγητή Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος (επιβλέπων),
Εμμανουήλ Δασενάκη, Καθηγητή Τμήματος Χημείας και
Σοφιανό Σαράντη, Επίκουρο Καθηγητή Τμήματος Φυσικής

Τα δεδομένα, που επεξεργάστηκα, συνελέγησαν κατά τον ερευνητικό πλουν του Ω/Κ “ΑΙΓΑΙΟ” του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., που πραγματοποιήθηκε στις 10 και 11 Οκτωβρίου 2017. Διερευνήθηκε η κοκκομετρική σύσταση του πυθμένα του Σαρωνικού κόλπου και μελετήθηκε το αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό με βάση τα υδρολογικά χαρακτηριστικά του με σκοπό να εκτιμηθούν τα ρεύματα, τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν την επαναιώρηση των επιφανειακών ιζημάτων του πυθμένα του.

Η εργασία συντίθεται από πέντε κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, το γενικό θεωρητικό υπόβαθρο παρουσιάζεται στο πρώτο κεφάλαιο και στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα χαρακτηριστικά του Σαρωνικού κόλπου (γεωγραφικά, γεωλογικά, ιζηματολογικά, ωκεανογραφικά και ανθρωπογενής παρέμβαση). Η συλλογή και η μεθοδολογία επεξεργασίας των δεδομένων παραθέτονται στο τρίτο κεφάλαιο και στο τέταρτο γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων και ο σχολιασμός τους. Τέλος, το πέμπτο κεφάλαιο αποτελείται από τη σύνοψη και τα σημαντικότερα συμπεράσματα και η εργασία ολοκληρώνεται με τη βιβλιογραφία.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα, αρχικά, να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Σεραφείμ Πούλο για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη δειγματοληψία και την καθοδήγησή του κατά τη συγγραφή της εργασίας. Ευχαριστίες, ακόμη, στον κ. Εμμανουήλ Δασενάκη, που με συμπεριέλαβε στο ερευνητικό ταξίδι με το Ω/Κ “ΑΙΓΑΙΟ” (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.) και για τη σημαντική βοήθειά του κατά τη συλλογή των δειγμάτων. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σαράντη Σοφιανό για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις και διορθώσεις του κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Τέλος, ευχαριστώ την Δρ. Αικ. Καρδιτσά για τη βοήθειά της στη διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά τον πλουν του Ω/Κ “ΑΙΓΑΙΟ” του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. στο Σαρωνικό κόλπο τον Οκτώβριο 2017 συλλέχθηκαν δείγματα επιφανειακών ιζημάτων και νερού και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θερμοκρασίας, αλατότητας, ανωμαλίας πυκνότητας, συγκέντρωσης οξυγόνου, εκπομπής ακτινοβολίας και φθορισμού του νερού με CTD. Τα περισσότερα από τα 17 επιφανειακά ιζήματα χαρακτηρίζονται κοκκομετρικά ως αμμούχοι πηλοί (sM) και τα υπόλοιπα ως πηλοί (M). Οι τιμές Mz τους κυμαίνονται από 4,18 φ μέχρι 7,74 φ, παρουσιάζουν φτωχή ως πολύ φτωχή ταξινόμηση (σι: 1,85 - 2,67 φ), όντας είτε σχεδόν συμμετρικά είτε με θετική ή πολύ θετική λοξότητα (S_{K1} : από -0,01 φ έως +0,75 φ). Ακόμη, τα ιζήματα κατατάσσονται ως πλατύκυρτα ή/και μεσόκυρτα αφού η K_G παίρνει τιμές από +0,67 φ έως 1,11 φ, με εξαίρεση το δείγμα από τη θέση EL3 στον κόλπο της Ελευσίνας, που είναι λεπτόκυρτο. Με βάση τις μετρήσεις του CTD κατασκευάζονται διαγράμματα κατακόρυφης και οριζόντιας κατανομής των παραμέτρων (με χρήση του ODV) ενώ γίνεται και μια συγκριτική μελέτη με αντίστοιχα διαγράμματα για τα δείγματα, που συλλέχθηκαν το Μάρτιο 2017. Η στήλη του νερού τον Οκτώβριο 2017 αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα μέχρι τα 60 m, που βρίσκεται πάνω από το εποχιακό θερμοκλινές (στον κόλπο της Ελευσίνας το θερμοκλινές βρίσκεται σε 20 - 25 m), που με τη σειρά τουκάθεται πάνω σε ένα στρώμα ετήσιου θερμοκλινούς (70 - 120 m). Τα βαθιά νερά φθάνουν μέχρι τα 405 m. Το Μάρτιο διακρίνουμε ένα επιφανειακό στρώμα μέχρι το βάθος των 10 - 15 m, υπερκείμενο του πυκνοκλινούς/θερμοκλινούς, που φθάνει μέχρι περίπου τα 30 m και το οποίοκάθεται πάνω σε ένα μεταβατικό στρώμα ως τα 120 - 130 m. Από αυτό το βάθος και μέχρι τον πυθμένα (βάθος 407 m) βρίσκεται το στρώμα των βαθιών υδάτων. Στην επιφάνεια, οι συγκεντρώσεις του SPM κυμαίνονται από 5,39 mg/L μέχρι 8,66 mg/L, σε ενδιάμεσα βάθη μεταξύ 5,83 mg/L και 7,25 mg/L και κοντά στον πυθμένα από 5,70 mg/L μέχρι 15,98 mg/L. Η συσχέτιση μετρήσεων εκπομπής ακτινοβολίας – SPM είναι καλή κοντά στον πυθμένα με τιμές $R=0.61 - 0.88$. Η ταχύτητα καθίζησης των κόκκων στα ιζήματα του Σαρωνικού κόλπου υπολογίζεται από 0,002 cm/s μέχρι 0,28 cm/s, που σημαίνει ότι οι κόκκοι χρειάζονται από λιγότερο από μία ημέρα έως και 118 περίπου ημέρες για να καθιζήσουν. Προκειμένου τα ιζήματα του πυθμένα να επαναιωρηθούν, θα πρέπει η σταθερά συσχέτισης Shields θ να παίρνει τιμές 0,18 - 2,2, οι οποίες αντιστοιχούν σε θαλάσσια ρεύματα κοντά στον πυθμένα με ταχύτητα 0,40 - 0,50 m/s για τραχύτητα πυθμένα (k_s) ίση με τη γραφική μέση τιμή της διαμέτρου των κόκκων (Mz) και 0,24 - 0,26 m/s για $k_s = 1$ cm.

Λέξεις – Κλειδιά: Ιζήματα, CTD, SPM, καθίζηση, επαναιώρηση

ABSTRACT

«OCEANOGRAPHIC STUDY OF THE SARONIKOS GULF (OCTOBER 2017) WITH EMPHASIS ON THE DISTRIBUTION OF THE SUSPENDED PARTICULATE MATTER»

During the sailing of ship “AEGEO” of HCMR in the Saronikos Gulf in October 2017, samples of surface sediments and water were collected and measurements of water temperature, salinity, density anomaly, concentration of oxygen, beam transmission and fluorescence using CTD were made. Most of the 17 surface sediments are characterized as sandy Muds (sM) and the remaining ones as Muds (M). The M_z values of the samples range from 4.18 ϕ to 7.74 ϕ , are characterised by poor to very poor classification (σ_I : 1.85 ϕ to 2.67 ϕ) and are almost symmetrical or with positive to very positive symmetry (S_{KI} values from -0.01 ϕ to -0.75 ϕ). Sediment are classified also as platykurtic and mesokurtic, since K_G takes values of 0.67–1.11 ϕ with the exception of the sample from the position EL3 in the Elefsis Bay, which is leptokurtic. Based on the CTD measurements, vertical and horizontal distribution patterns of water parameters are produced with the use of ODV software. Then, these results are compared to those extracted from a previous cruise, in March 2017. The water column in October consists of a surface layer of up to 60 m above the seasonal thermocline (in Elefsis Bay the thermocline is 20 - 25 m), overlaying on an annual thermocline (70 - 120 m), while the deep waters reach the depth of 405 m. In March, a surface layer up to 10-15 m lies on top of the pycnocline/thermocline that extends to about 30 m and which is placed above a transitional layer extending to the depth of 120 - 130 m. Below this depth, deep waters reach the depth of 407 m. Surface SPM values range from 5.39 mg/L to 8.66 mg/L, at intermediate depths between 5.83 mg/L and 7.25 mg/L and above seabed from 5.70 mg/L to 15.98 mg/L. The correlation of Beam Transmission - SPM measurements is good near the bottom with R values being 0.61-0.88. The grain settling velocity in Saronikos Gulf is estimated from 0.002 cm/s to 0.28 cm/s, which means that grains need from less than one day to 118 days to settle. The grains are resuspended by the currents when the Shields ratio θ takes values between 0.18 - 2.2, which is associated with near bed currents at a velocity of 0.40 - 0.50 m/s for bed roughness (k_s) equal to M_z (graphic mean grain diameter) and velocity of 0.24 - 0.26 m/s for $k_s = 1\text{cm}$.

Keywords: Sediments, CTD, SPM, settling, resuspension

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΙΑ.....	7
1.1 Σύσταση θαλασσινού νερού.....	7
1.2 Φυσικά χαρακτηριστικά θαλασσινού νερού.....	8
1.3 Θαλάσσια ιζήματα.....	13
1.4 Περιβάλλοντα απόθεσης θαλάσσιων ιζημάτων.....	15
1.5 Αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	18
1.6 Ταχύτητα καθίζησης των ιζημάτων.....	20
1.7 Μετακίνηση των ιζημάτων του πυθμένα.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	24
2.1 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά – Βαθυμετρία.....	24
2.2 Γεωλογική δομή.....	25
2.3 Ιζηματολογία.....	25
2.4 Ωκεανογραφία.....	27
2.5 Ανθρωπογενής παρέμβαση.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	32
3.1 Συλλογή δεδομένων.....	32
3.2 Μεθοδολογία επεξεργασίας δεδομένων.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	42
4.1 Κοκκομετρικός προσδιορισμός.....	42
4.2 Χωρική κατανομή των κοκκομετρικών χαρακτηριστικών.....	45
4.3 Ανάλυση φυσικών ιδιοτήτων στήλης νερού με Ocean Data View (ODV).....	47
4.4 Αποτελέσματα μετρήσεων SPM.....	69
4.5 Συσχέτιση μετρήσεων εκπομπής ακτινοβολίας και SPM των δειγμάτων νερού.....	71
4.6 Καθίζηση – Επαναιώρηση των ιζημάτων.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΙΑ

1.1 ΣΥΣΤΑΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η επιφάνεια της Γης καλύπτεται κατά περίπου 30% από ξηρά και 70% από θάλασσα. Το θαλασσινό νερό χαρακτηρίζεται ως ένα καλά αναμεμειγμένο διάλυμα αλάτων, χημικών στοιχείων, αερίων, χημικών ενώσεων, συμπλόκων και ορυκτών. Παρ'όλα αυτά, δεν μπορεί να θεωρηθεί ισότροπο καθώς δεν έχει ακριβώς την ίδια σύσταση σε όλη του τη μάζα. Σχεδόν όλα τα γνωστά σταθερά στοιχεία εμπεριέχονται στο θαλασσινό νερό σε μεγάλες, μικρές ή ελάχιστες συγκεντρώσεις. Ανάλογα με την περιεκτικότητά τους, τα διαλυμένα συστατικά του χωρίζονται σε κύρια (≥ 20 mg/kg), δευτερεύοντα (1 mg/kg - 20 mg/kg) και ιχνοστοιχεία (<1 mg/kg). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μέσες συγκεντρώσεις των βασικότερων διαλυμένων συστατικών του θαλασσινού νερού (Δασενάκης et al., 2015).

Πίνακας 1.1: Τα κυριότερα χημικά στοιχεία του θαλασσινού νερού.

Κύρια	Μέση συγκέντρωση (g/kg)
Cl ⁻	19,2
Na ⁺	10,6
SO ₄ ²⁻	2,7
Mg ²⁺	1,3
Ca ²⁺	0,4
K ⁺	0,38
Δευτερεύοντα	Μέση συγκέντρωση (mg/kg)
Si	3,0
N	0,5
P	0,07
N ₂	14,0
O ₂	6,0
Br ⁻	65,0
C	28,0
Ιχνοστοιχεία	Μέση συγκέντρωση (μg/kg)
Li	185,0
Rb	120,0
I	60,0

1.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

1.2.1 Αλατότητα (S)

Αν και η συνολική μάζα των ιόντων, που διαλύονται στο θαλασσινό νερό, ποικίλλει από τόπο σε τόπο, η αναλογία κάθε ιόντος στη συνολική μάζα παραμένει η ίδια. Έτσι, μετράμε τη μάζα ενός διαλελυμένου ιόντος και γνωρίζουμε τη συνολική μάζα του αλατιού, που διαλύεται στον ωκεανό.

Η σύγχρονη διαδικασία μέτρησης της αλατότητας γίνεται έμμεσα και βασίζεται στη μέτρηση της αγωγιμότητας του θαλασσινού νερού. Αναλυτικότερα, αυτή η μέτρηση πραγματοποιείται με τη χρήση αγωγιμόμετρου, που αποτελείται από ηλεκτρόδια τοποθετημένα εντός γυάλινου, μη αγώγιμου, σωλήνα και εγκαθίσταται σε όργανο CTD (Conductivity Temperature Depth), το οποίο εκτός από την αγωγιμότητα μετρά και τη θερμοκρασία και την πίεση του νερού. Το αγωγιμόμετρο μετράει ουσιαστικά το ηλεκτρικό ρεύμα, που περνάει από το σωλήνα, όταν υπάρχει γνωστή τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων. Καθώς το ηλεκτρικό ρεύμα εξαρτάται από την αγωγιμότητα, την τάση και τον όγκο νερού, που παρεμβάλλεται μεταξύ των ηλεκτροδίων, είναι δυνατή, τελικά, η μετατροπή της μετρούμενης έντασης ρεύματος σε αγωγιμότητα (η χρήση του γυάλινου σωλήνα εξασφαλίζει ότι ο όγκος ελέγχου είναι αυστηρά προσδιορισμένος και ότι το ρεύμα είναι ανεξάρτητο από άλλα αντικείμενα κοντά στον αισθητήρα αγωγιμότητας). Η μέγιστη ακρίβεια μέτρησης της αλατότητας από ένα αγωγιμόμετρο είναι της τάξης των ± 0.005 . Η μετατροπή της αγωγιμότητας σε αλατότητα (S) γίνεται από τη σχέση (Bennet, 1976):

$$S = 0.008 - (0.1692 \times R_t^{0.5}) + (25.3851 \times R_t) + (14.0941 \times R_t^{1.5}) - (7.0261 \times R_t^2) + (2.7081 \times R_t^{2.5}) + [(T-15)/(T+0.0162(T-15))] \times [(5 \times 10^{-4}) - (5.6 \times 10^{-3} \times R_t^{0.5}) - (6.6 \times 10^{-3} \times R_t) - (3.75 \times 10^{-2} \times R_t^{1.5}) + (6.36 \times 10^{-2} \times R_t^2) - (1.44 \times 10^{-2} \times R_t^{2.5})]$$

στην οποία

$$R_t = \frac{C(\text{sample at } T)}{C(\text{KCl solution at } T)}$$

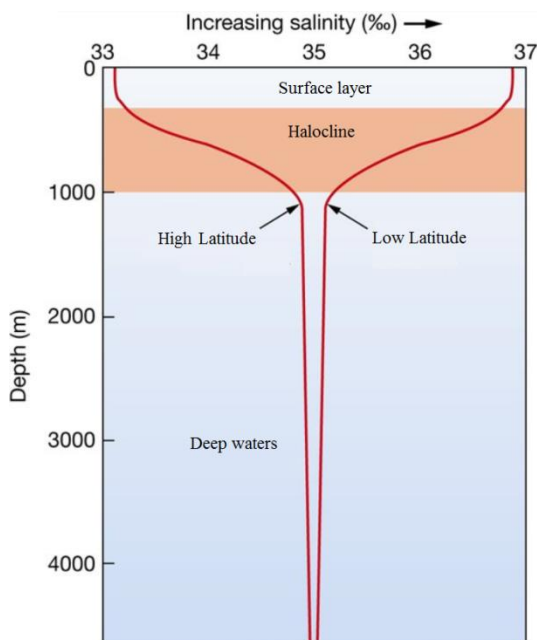
όπου, $C(\text{sample at } T)$ είναι η μετρούμενη αγωγιμότητα και $C(\text{KCl solution at } T)$ είναι η αγωγιμότητα τυπικού διαλύματος χλωριούχου καλίου (KCl) στη θερμοκρασία του δείγματος (T), η οποία υπολογίζεται από τον τύπο:

$$C(\text{KCl solution at } T) [\mu\text{S/cm}] = -0,0267243 \times T^3 + 4,6636947 \times T^2 + 861,3027640 \times T + 29035,1640851$$

Επιπλέον, μπορούμε να μετρήσουμε την αλατότητα του νερού με τη χρήση του σαλινόμετρου. Πλέον, η αλατότητα δεν έχει μονάδες μέτρησης καθώς χρησιμοποιείται ο όρος practical salinity units (psu), ο οποίος αντιστοιχεί σε g/kg ή ‰.

Η επιφανειακή κατανομή της αλατότητας εξαρτάται από την εξάτμιση, τις κατακρημνίσεις - βροχοπτώσεις και την παροχή των ποταμών. Σε περιοχές, που οι κατακρημνίσεις και οι παροχές ποταμών υπερσχύουν της εξάτμισης οι τιμές αλατότητας του νερού είναι μειωμένες ενώ στην αντίθετη περίπτωση παρουσιάζουν αύξηση. Πιο

συγκεκριμένα, η αλατότητα εμφανίζει υψηλές τιμές στα νερά των υποτροπικών περιοχών, όπου η εξάτμιση είναι εντονότερη από τη βροχοπτώση. Αντίθετα, η αλατότητα είναι πολύ χαμηλή στα νερά κοντά στους πόλους, καθώς οι χιονοπτώσεις - κατακρημνίσεις υπερεισχύουν της εξάτμισης. Ακόμη, η τιμή της αλατότητας παρουσιάζει ελάχιστο στα νερά κοντά στον Ισημερινό, όπου εκδηλώνονται έντονες βροχοπτώσεις λόγω του ITCZ (InterTropical Convergence Zone). Τα νερά στα σημεία των εκβολών των ποταμών χαρακτηρίζονται, επίσης, από χαμηλή αλατότητα. Ως προς την κατανομή της αλατότητας κατά βάθος η κατάσταση είναι σταθερή γιατί υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στο εισερχόμενο και εξερχόμενο νερό στους ωκεανούς και στις θάλασσες. Κοντά σε παράκτιες περιοχές υψηλού γεωγραφικού πλάτους, βαθύτερα από το επιφανειακό νερό μικρής αλατότητας, διακρίνουμε μια ζώνη απότομης αύξησης των τιμών της αλατότητας, η οποία ονομάζεται αλοκλινές και διαχωρίζει τα επιφανειακά υφάλμυρα νερά από τα βαθιά αλμυρά. Αντίθετα, στις περιοχές χαμηλού γεωγραφικού πλάτους η αλατότητα μειώνεται απότομα. Στα ακόμη βαθύτερα νερά οι τιμές της αλατότητας εμφανίζουν ομοιογένεια (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Κατανομή της αλατότητας του νερού κατά βάθος σε υψηλά και χαμηλά γεωγραφικά πλάτη όπου *surface layer* το επιφανειακό στρώμα νερού, *halocline* το στρώμα του αλοκλινούς και *deep waters* το στρώμα των βαθιών νερών (πηγή: Thurman and Trujillo, 2013).

Οι υψηλότερες τιμές αλατότητας παρατηρούνται στα νερά της Μεσογείου (38) και της Ερυθράς Θάλασσας (40).

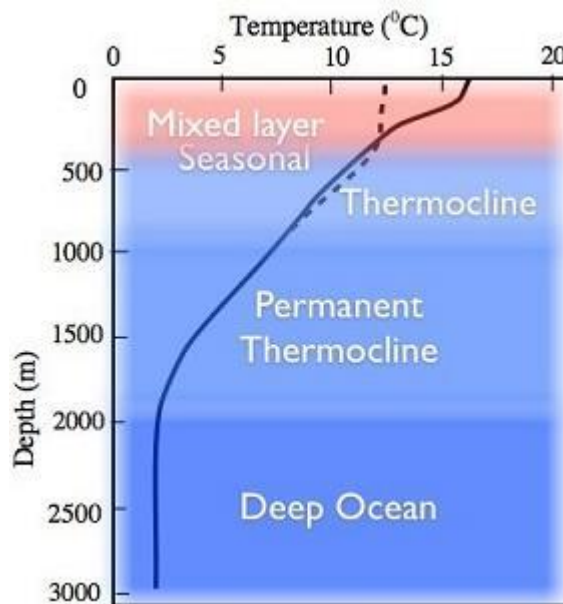
1.2.2 Θερμοκρασία (T , θ)

Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζεται από τη ροή θερμότητας και την υδροστατική πίεση. Πιο συγκεκριμένα, με την αύξηση της θερμότητας αυξάνονται οι συγκρούσεις μεταξύ

των μορίων του νερού με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η θερμοκρασία. Επίσης, όταν αυξάνεται η πίεση του νερού, μειώνεται ο όγκος του και αυξάνεται τελικά η θερμοκρασία του. Εκτός από τη *in situ* θερμοκρασία T υπάρχει και η δυνητική θερμοκρασία θ , που είναι η θερμοκρασία του νερού αν μεταφερθεί χωρίς ανάμιξη στην επιφάνεια της θάλασσας. Δεν επηρεάζεται από την πίεση, όπως η T , αλλά μόνο από την ανάμιξη ή τη θέρμανση ή την ψύξη. Η μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας είναι $^{\circ}\text{C}$.

Τα όργανα, που χρησιμοποιούμε για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι το ανεστραμμένο θερμόμετρο, ο θερμοσαλινογράφος, το θερμόμετρο αντίστασης και το θερμόμετρο αντίστασης θερμίστορ. Το ανεστραμμένο θερμόμετρο είναι σε θέση να καταγράψει μια δεδομένη θερμοκρασία, που θα προβληθεί αργότερα. Ο θερμοσαλινογράφος είναι ένα όργανο τοποθετημένο κοντά στην πρόσληψη νερού από πλοία για τη συνεχή μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας και της αγωγιμότητας, ενώ το πλοίο κινείται. Το θερμόμετρο αντίστασης αποτελείται από λεπτό σύρμα πλατίνας, νικελίου ή χαλκού, το οποίο τυλίγεται γύρω από έναν κεραμικό ή γυάλινο πυρήνα και η λειτουργία του βασίζεται στην αλλαγή της ηλεκτρικής του αντίστασης όταν αλλάζει η θερμοκρασία του νερού με ακρίβεια, που δεν ξεπερνά συνήθως τους $0,05^{\circ}\text{C}$. Αυτό το θερμόμετρο εγκαθίσταται στο CTD σε συνδυασμό με τους αισθητήρες της αγωγιμότητας και της πίεσης. Το θερμόμετρο αντίστασης θερμίστορ κατασκευάζεται από υλικά οξειδίων και η αντίστασή του μεταβάλλεται επίσης με την αλλαγή της θερμοκρασίας έχοντας μεγαλύτερη ακρίβεια $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$.

Η επιφανειακή κατανομή της θερμοκρασίας στους ωκεανούς επηρεάζεται έντονα από την ηλιακή ακτινοβολία, την αλληλεπίδραση αέρα και ωκεανού και τις κινήσεις του νερού. Έτσι, η θερμοκρασία των υδάτων παρουσιάζει μέγιστες τιμές στις περιοχές του Ισημερινού και ελάχιστες στις περιοχές των πόλων. Αντίθετα, στην κατά βάθος κατανομή της θερμοκρασίας δεν παρουσιάζονται μεγάλες διαφοροποιήσεις. Μια τυπική κατακόρυφη κατανομή θερμοκρασίας στους ωκεανούς περιλαμβάνει τρία στρώματα: το επιφανειακό στρώμα ανάμιξης, το θερμοκλινές και τα βαθιά νερά. Πιο συγκεκριμένα, το επιφανειακό στρώμα ανάμιξης δέχεται πρώτο τις επιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, των κατακρημνίσεων και του ανέμου, καθώς βρίσκεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα. Έτσι, χαρακτηρίζεται από καλή ανάμιξη λόγω ανέμου και ψύξης και σχετικά σταθερή θερμοκρασία. Ιδιαίτερα το χειμώνα η ανάμιξη είναι μεγαλύτερη λόγω της μεγαλύτερης ψύξης του νερού και των ισχυρότερων ανέμων. Κάτω από αυτό το στρώμα, εκτείνεται μια ζώνη απότομης πτώσης της θερμοκρασίας, που ονομάζεται θερμοκλινές. Διακρίνονται δύο τύποι θερμοκλινούς: το εποχιακό, το οποίο εμφανίζεται το καλοκαίρι σε μικρά βάθη και εξαφανίζεται το χειμώνα και το μόνιμο, που σχηματίζεται κάτω από το εποχιακό μέχρι το βάθος των 1,5-2 χιλιομέτρων. Τέλος, κάτω από το θερμοκλινές υπάρχουν τα βαθιά νερά (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Κατανομή της θερμοκρασίας του νερού κατά βάθος τους χειμερινούς μήνες με τη διακεκομμένη γραμμή και τους θερινούς μήνες με τη μαύρη γραμμή όπου *mixed layer* το στρώμα ανάμιξης, *seasonal thermocline* το στρώμα του εποχιακού θερμοκλινούς, *permanent thermocline* το στρώμα του μόνιμου θερμοκλινούς και *deep ocean* το στρώμα των βαθιών νερών (πηγή: www.nptel.ac.in).

1.2.3 Πίεση (P)

Η πίεση ορίζεται ως η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας, που εφαρμόζεται σε κατεύθυνση κάθετη προς την επιφάνεια ενός αντικειμένου. Η πίεση σε οποιοδήποτε δεδομένο σημείο ενός στατικού υγρού ονομάζεται υδροστατική πίεση και εξαρτάται από την πυκνότητα ρ , την επιτάχυνση της βαρύτητας g και το βάθος Z σύμφωνα με τη σχέση:

$$dP = - \rho \times g \times dZ$$

Οι μετρήσεις γίνονται με τη χρήση CTD, που μετρά το βάθος, το οποίο δίνεται συνήθως σε μονάδες πίεσης καθώς το σχοινί, με το οποίο ρίχνουμε το όργανο, μετακινείται λόγω ρευμάτων και δεν είναι πραγματικές οι τιμές βάθους, που δείχνει. Η μονάδα μέτρησης είναι το dbar όπου $1\text{m} \approx 1\text{dbar} = 10^{-1}\text{bar} = 10^4\text{Pascal}$ ($1\text{Pascal} = 1\text{N/m}^2$).

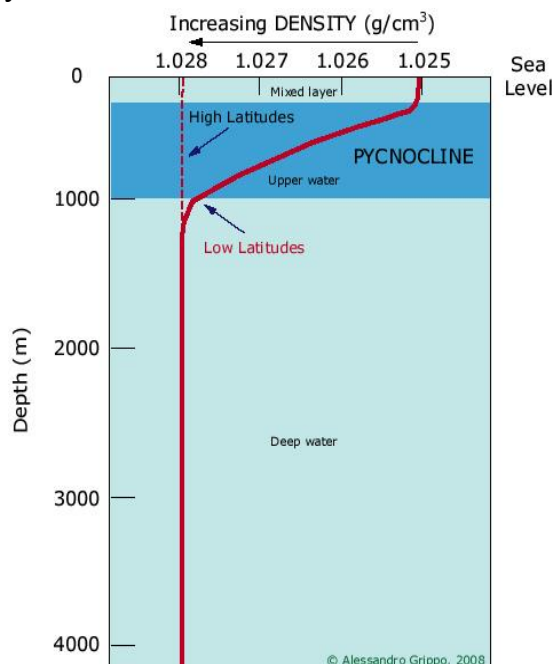
1.2.4 Πυκνότητα (ρ)

Η πυκνότητα (ρ) ορίζεται ως η μάζα ανά μονάδα όγκου και εξαρτάται από την αλατότητα, την πίεση και τη θερμοκρασία. Με αύξηση της αλατότητας και της πίεσης των υδάτων η πυκνότητα τους αυξάνεται καθώς έρχονται πιο κοντά τα μόρια τους ενώ όταν αυξάνεται η τιμή της θερμοκρασίας τους μειώνεται η τιμή της πυκνότητας τους.

Ο υπολογισμός της πυκνότητας γίνεται με την καταστατική εξίσωση και όχι με τη χρήση οργάνων και η μονάδα μέτρησής της είναι kg/m^3 . Λόγω της μη γραμμικότητας της καταστατικής εξίσωσης το διάγραμμα $\theta - S$ αποτελείται από καμπύλες ίδιας πυκνότητας, που

ονομάζονται ισόπυκνες. Συνήθως χρησιμοποιούμε τον τύπο της ανωμαλίας της πυκνότητας αφαιρώντας την επίδραση της πίεσης: $\sigma = \rho - 1000 \text{ kg/m}^3$.

Η επιφανειακή κατανομή της πυκνότητας του νερού παρουσιάζει αύξηση της τιμής της προς το Βορρά και το Νότο καθώς μειώνεται η θερμοκρασία του ενώ στον Ισημερινό είναι η ελάχιστη τιμή. Γενικά, η πυκνότητα αλλάζει κυρίως με το βάθος παρά με το πλάτος. Το επιφανειακό νερό χαρακτηρίζεται από χαμηλή πυκνότητα λόγω της καλής ανάμιξης του. Σε μεγαλύτερα βάθη περιοχών μικρού γεωγραφικού πλάτους το στρώμα του θερμοκλινούς αντιστοιχεί με την περιοχή αύξησης των τιμών της πυκνότητας του νερού, που ονομάζεται πυκνοκλινές αφού κυρίως οι μεταβολές της θερμοκρασίας επηρεάζουν την πυκνότητά του ενώ στις περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους η τιμή της πυκνότητας μένει σταθερή (Σχήμα 1.3). Ως προς την κατά βάθος μεταβολή της πυκνότητας υπάρχουν τρία είδη στρωμάτωσης. Στην πρώτη περίπτωση, παρατηρείται μείωση της πυκνότητας του νερού κατά βάθος και χαρακτηρίζεται το νερό στατικά ασταθές, στη δεύτερη περίπτωση η πυκνότητα του αυξάνεται κατά βάθος και θεωρείται το νερό στατικά ευσταθές και στην τρίτη περίπτωση η πυκνότητα του νερού παραμένει σταθερή κατά βάθος και χαρακτηρίζεται στατικά ουδέτερο ή ομογενές. Σε ακόμη βαθύτερα νερά, όπου η θερμοκρασία τους είναι ακόμη χαμηλότερη, οι τιμές της πυκνότητάς τους είναι υψηλές.



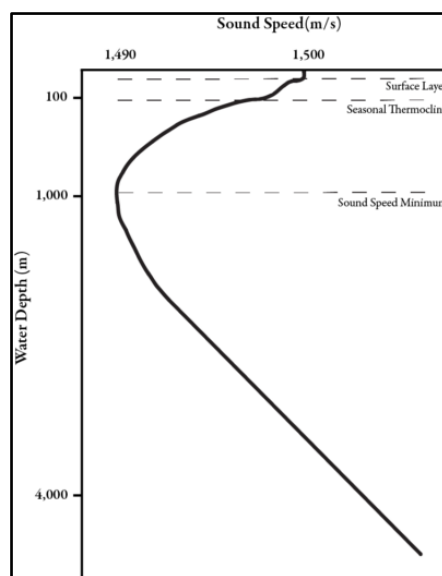
Σχήμα 1.3: Κατανομή της πυκνότητας του νερού κατά βάθος σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη (διακεκομμένη γραμμή) και σε χαμηλά (σταθερή γραμμή) όπου *mixed layer* το στρώμα ανάμιξης, *pycnocline* το στρώμα του πυκνοκλινούς και *deep water* το στρώμα των βαθιών υδάτων (πηγή: Grippo Alessandro, 2008).

1.2.5 Ταχύτητα ήχου (c)

Η ταχύτητα του ήχου στο νερό είναι περίπου 1500 m/sec και εξαρτάται από τις συνθήκες της πίεσης και της θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα, όταν παρατηρούμε αύξηση ή μείωση των τιμών της πίεσης και της θερμοκρασίας των υδάτων, αυξάνεται ή μειώνεται αντίστοιχα και η ταχύτητα του ήχου στο νερό και έχει την ανάλογη κατανομή κατά βάθος με αυξημένες τιμές στα επιφανειακά και βαθιά νερά και ελάχιστες στη ζώνη του θερμοκλινούς (Σχήμα 1.4). Η εξίσωση της ταχύτητας του ήχου είναι:

$$c = \lambda / T$$

όπου λ το μήκος κύματος και T η περίοδος.



Σχήμα 1.4: Ταχύτητα του ήχου στο νερό κατά βάθος στο επιφανειακό στρώμα (Surface Layer), στο στρώμα του εποχιακού θερμοκλινούς (Seasonal Thermocline) με την ελάχιστη μέτρηση στο όριο του θερμοκλινούς με τα βαθιά νερά (πηγή: Bourassa, 1984).

1.3 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΙΖΗΜΑΤΑ

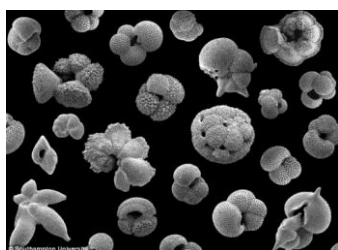
1.3.1 Λιθογενή

Τα λιθογενή ιζήματα προέρχονται από την αποσάθρωση και τη διάβρωση των πετρωμάτων της χέρσου, για αυτό ονομάζονται και χερσογενή. Το κύριο συστατικό αυτών των ιζημάτων είναι ο χαλαζίας (SiO_2), που χαρακτηρίζεται από χημική σταθερότητα και ανθεκτικότητα στη διάβρωση. Τα ιζήματα μεταφέρονται με το νερό της βροχής, των ποταμών, των παγετώνων και τη δράση των ανέμων στο θαλάσσιο χώρο. Εκεί μπορούν να αποτεθούν σε σημεία κοντά στην ακτή αλλά και στην ανοιχτή θάλασσα μέσω των θαλάσσιων ρευμάτων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα ηφαιστειογενή ιζήματα, τα οποία προέρχονται από

εκρήξεις ηφαιστειών, είτε στη χέρσο και μεταφέρονται με τη βοήθεια των ανέμων στη θάλασσα είτε υποθαλάσσιες.

1.3.2 Βιογενή

Τα βιογενή ιζήματα προέρχονται από τις βιολογικές διεργασίες των θαλάσσιων οργανισμών και τη συσσώρευση των υπολειμμάτων του ιστού τους όταν πεθαίνουν. Έτσι, αυτά τα ιζήματα αποτελούνται κυρίως από τα κελύφη και τους σκελετούς του ζωοπλαγκτού και του φυτοπλαγκτού της ευφωτικής ζώνης και ένα μικρότερο ποσοστό οργανικής ύλης. Τα κυριότερα συστατικά τους είναι το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), το οποίο προέρχεται από τα τρηματοφόρα, τα πτερόποδα (ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί) και τα κοκκολιθοφόρα (φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί) [Σχήμα 1.5 (α, β, γ)] και το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), που προέρχεται από τα διάτομα (φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί) και τα ραδιολάρια (ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί) [Σχήμα 1.5 (δ, ε)].



(α)



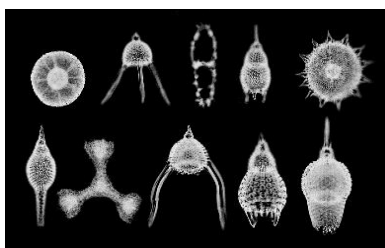
(β)



(γ)



(δ)



(ε)

Σχήμα 1.5: (α) Τρηματοφόρα (πηγή: www.dailymail.co.uk), (β) Πτερόποδα (πηγή: www.supernewsworld.com), (γ) Κοκκολιθοφόρα (πηγή: Gussone et al., 2007), (δ) Διάτομα (πηγή: www.manchesterhermit.wordpress.com), (ε) Ραδιολάρια (πηγή: Randolph Femmer).

1.3.3 Υδρογενή (ή αυθιγενή)

Τα υδρογενή ιζήματα (ή αυθιγενή) προέρχονται από την αποβολή και την καθίζηση των στοιχείων, που βρίσκονται διαλελυμένα στο θαλασσινό νερό. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι εβαπορίτες, οι φωσφορίτες και οι αποθέσεις Fe – Mn, οι οποίες περιλαμβάνουν τους κονδύλους Fe – Mn και τις υδροθερμικές αποθέσεις πολυμεταλλικών σουλφιδίων [Σχήμα 1.6 (α-δ)].



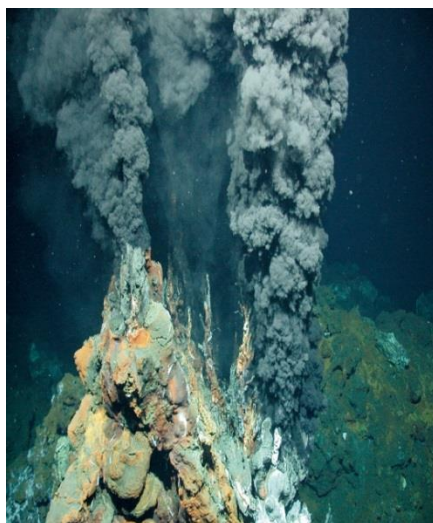
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχήμα 1.6: (α) Εβαπορίτης (πηγή: www.mineral.esci.umn.edu), (β) Φωσφορίτης (πηγή: www.geologyscience.com), (γ) Κόνδυλοι Fe-Mn (πηγή: www.worldoceanreview.com), (δ) Υδροθερμικές αποθέσεις σουλφιδίων (πηγή: www.worldoceanreview.com).

1.3.4 Κοσμογενή

Τα κοσμογενή ιζήματα προέρχονται από το διάστημα και πιο συγκεκριμένα από σώματα, τα οποία εισήλθαν στο βαρυτικό πεδίο της Γης και έφθασαν στη θάλασσα χωρίς να διαλυθούν στην ατμόσφαιρα. Διακρίνουμε δύο κατηγορίες κοσμογενών ιζημάτων: τα μικροσκοπικά σφαιρίδια και τις αποθέσεις υλικού από εκρήξεις μετεωριτών.

1.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

Τα περιβάλλοντα απόθεσης των θαλάσσιων ιζημάτων είναι οι ύφαλοι, η υφαλοκρηπίδα, η ηπειρωτική κατωφέρεια, η ηπειρωτική ανύψωση και η αβυσσική πεδιάδα.

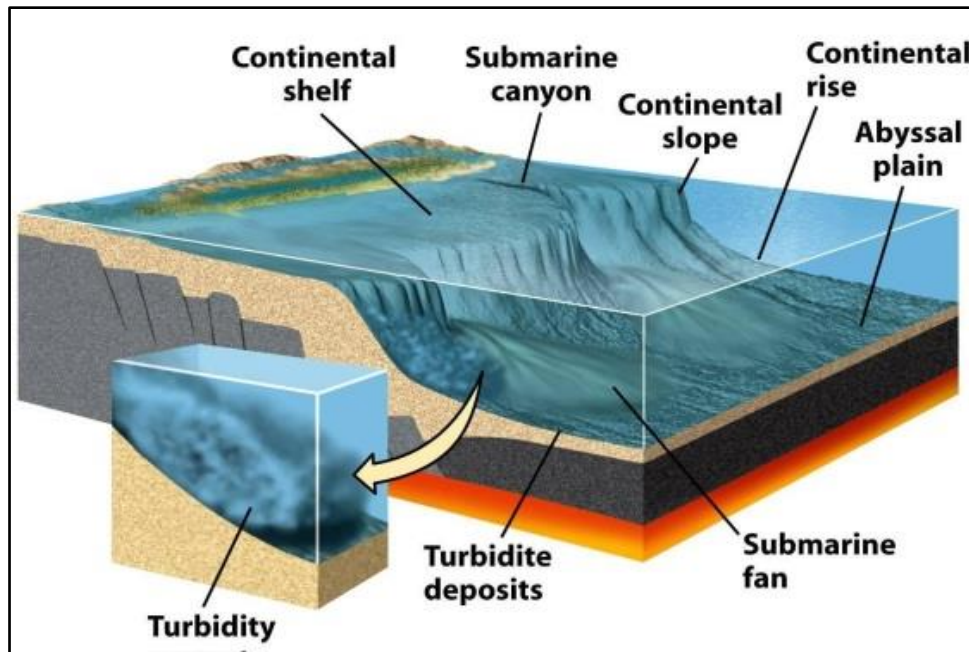
Αναλυτικότερα, **οι ύφαλοι** είναι δομές ανθεκτικές στα κύματα, μοιάζουν με αναχώματα και αποτελούνται από ασβεστιτικούς σκελετούς οργανισμών όπως κοράλλια και κάποιους τύπους φυκών. Οι πιο σύγχρονοι ύφαλοι βρίσκονται σε θερμά, καθαρά, ρηχά και τροπικά νερά μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 30° B και 30° N του Ισημερινού.

Η υφαλοκρηπίδα ξεκινά από την ακτογραμμή και αποτελεί την πλημμυρισμένη άκρη της χέρσου. Είναι σχετικά επίπεδη με κλίση 1°, ρηχή καθώς έχει μέσο εύρος της τάξης των 70 km ενώ το πλάτος της ποικίλλει από δεκάδες ως δεκάδες χιλιάδες χιλιόμετρα ανάλογα με την περιοχή. Επιπλέον, βρίσκεται εκτεθειμένη στη δράση των κυμάτων, των ρευμάτων και των παλιρροιών και καλύπτεται από άμμο, ιλύ, άργιλο και χαλίκια. Στην άκρη της υφαλοκρηπίδας, όπου η κλίση του πυθμένα αρχίζει να αυξάνεται απότομα βρίσκεται το υφαλόοριο. Εκεί συγκεντρώνονται άμμος και πηλός μέσω των υποθαλάσσιων φαραγγιών, που μοιάζουν με υποθαλάσσιες κοιλάδες ποταμών.

Μετά το υφαλόριο βρίσκεται η **ηπειρωτική κατωφέρεια** με κλίση από 5° ως 25°, που φθάνει μέχρι το βάθος των 3000 μέτρων. Σε αυτήν την περιοχή του πυθμένα συναντούμε υποθαλάσσια φαράγγια, τα οποία ξεκινούν συνήθως από την υφαλοκρηπίδα.

Στη βάση της ηπειρωτικής κατωφέρειας εντοπίζεται η **ηπειρωτική ανύψωση**, όπου σχηματίζονται ρεύματα τουρβιδικής ροής από τη διάβρωση των υποθαλάσσιων φαραγγιών. Τα ρεύματα μεταφέρουν το υλικό και το αποθέτουν σε παχιά στρώματα με το χονδρόκοκκο υλικό να καθιζάνει πρώτο και να ακολουθεί το λεπτόκοκκο από πάνω του. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναλαμβάνεται κάθε φορά που σχηματίζεται ένα νέο ρεύμα δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο τελικά τους **τουρβιδίτες**. Έτσι, η ηπειρωτική ανύψωση χαρακτηρίζεται από σταδιακά μεταβαλλόμενη κλίση.

Στο βαθύτερο τμήμα του θαλάσσιου πυθμένα αναπτύσσεται η **αβυσσική πεδιάδα**, η οποία είναι επίπεδη και καλύπτεται από πολύ παχιά στρώματα λεπτόκοκκου ίζηματος, που περιέχουν ενώσεις τριθενούς σιδήρου δίνοντας ένα χαρακτηριστικό κόκκινο-καφέ χρώμα και ονομάζονται «ερυθρός πηλός» καθώς και τα κελύφη των μικροσκοπικών οργανισμών (όπως τρηματοφόρα, ραδιολάρια και διάτομα) φθάνοντας σε βάθη μέχρι 6000 μέτρων (Σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.7: Περιβάλλοντα απόθεσης των θαλάσσιων ιζημάτων όπου *continental shelf* η υφαλοκρηπίδα, *submarine canyon* το υποθαλάσσιο φαράγγι, *continental slope* η ηπειρωτική κατφόρεια, *continental rise* η ηπειρωτική ανύψωση, *abyssal plain* η αβυσσική πεδιάδα, *submarine fan* η υποθαλάσσια «βεντάλια» και *turbidite deposits* οι αποθέσεις τουρβιδιτών (πηγή: Grotzinger, 2010).

Γενικότερα, οι αποθέσεις των ιζημάτων στα παραπάνω περιβάλλοντα μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: (α) νηρητικές, (β) πελαγικές και (γ) ημιπελαγικές (Prokhorov, 2010).

- ✓ **Οι νηρητικές** αποθέσεις εκτείνονται από την παράκτια ζώνη μέχρι και την υφαλοκρηπίδα. Πρόκειται για θαλάσσια ιζήματα ρηχών υδάτων, που σχηματίζονται στην υφαλοκρηπίδα, όταν τα νερά του πυθμένα έχουν αρκετή συγκέντρωση οξυγόνου. Εκεί συγκεντρώνεται κλαστικό, αργιλικό, οργανογενές υλικό, που μεταφέρεται κυρίως μέσω των ποταμών, και πιο σπάνια αυθιγενές υλικό.
- ✓ **Οι πελαγικές αποθέσεις** σχηματίζονται στο θαλάσσιο χώρο πέραν της υφαλοκρηπίδας. Χαρακτηρίζονται ως λεπτόκοκκα ιζήματα βαθιών θαλασσών αποτελούμενα από βιογενές υλικό πλούσιο σε τρηματοφόρα, που σχηματίζεται στην υδάτινη στήλη και πολύ λεπτόκοκκο χερσογενές υλικό, που μεταφέρεται από τη δράση των ανέμων.
- ✓ Τέλος, **οι ημιπελαγικές αποθέσεις** εντοπίζονται στην ηπειρωτική κατφόρεια και στην ηπειρωτική ανύψωση και πραγματοποιούνται με χαμηλό ρυθμό, όχι όμως τόσο αργό όσο οι πελαγικές αποθέσεις. Συνήθως, οι ανεξάρτητοι κόκκοι αυτών των ιζημάτων διατηρούν τα χαρακτηριστικά της περιοχής, που δημιουργήθηκαν.

Η προσφορά του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) είναι συνεχής κατά το ύψος της στήλης του νερού μέχρι την επιφάνεια του λυσοκλινούς, κάτω από την οποία αρχίζει η σημαντική διάλυση των κελύφων των Τρηματοφόρων. Το βάθος εξισορρόπησης του ανθρακικού ασβεστίου (CCD) αντιπροσωπεύει την επιφάνεια, όπου τα κελύφη έχουν διαλυθεί

εντελώς και κυμαίνεται μεταξύ βαθών 4.500 και 5.500 m στις κύριες ωκεάνιες λεκάνες (Berger and Winterer, 1974). Έτσι, κάτω από το συγκεκριμένο βάθος παρατηρούμε μόνο πυριτικού τύπου ιζηματογένεση.

1.5 ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟ ΥΛΙΚΟ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Το αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό (Suspended Particulate Matter) μαζί με την υδάτινη στήλη και το ίζημα αποτελούν τα κυριότερα στοιχεία στη δομή και στη λειτουργία των υδάτινων οικοσυστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, το SPM παίζει σημαντικό ρόλο στις συγκεντρώσεις οργανικού και ανόργανου υλικού, καθώς ένα μεγάλο μέρος αυτών των ουσιών συνδέεται με σωματίδια κατά τη μεταφορά του. Η λεκάνη απορροής καθορίζει την προέλευση, την ποσότητα και την ποιότητα του αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού, που είναι χαρακτηριστικές για κάθε υδάτινο σύστημα. Ακόμη, τα χημικά και βιολογικά συστατικά του SPM επηρεάζονται από την εποχή, την παροχή θρεπτικών συστατικών, την εκροή νερού και τις καιρικές συνθήκες. Η κίνηση του σωματιδίων σε αιώρηση έχει άμεση σχέση με την ταχύτητα ροής, το μέγεθος και την πυκνότητα τους, οπότε όταν επικρατούν συνθήκες χαμηλής ταχύτητας ροής κατακάθονται ενώ όταν η ταχύτητα ροής είναι υψηλή στροβιλίζονται.

Σύμφωνα με τον Lal (1977), το σωματιδιακό υλικό, που βρίσκεται σε αιώρηση στους ωκεανούς, υπολογίζεται σε άνισα κατανεμημένα 10^{16} gr. Αναλυτικότερα, η περιεκτικότητα των επιφανειακών στρωμάτων του νερού σε SPM είναι άμεσα εξαρτώμενη από τη βιολογική δραστηριότητα και κυμαίνεται μεταξύ των 100 και 500 $\mu\text{g}/\text{lt}$. Στα ενδιάμεσα και βαθιά στρώματα νερού, τα οποία αποτελούν το 90% του όγκου των ωκεανών, οι τιμές περιεκτικότητας τους σε SPM υπολογίζονται σε 10-20 $\mu\text{g}/\text{lt}$. Όμως σε oligοτροφικές θάλασσες, όπως είναι η Μεσόγειος με την ανατολική της λεκάνη να εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές θρεπτικών, η συγκέντρωση του αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού (λιθογενούς και βιογενούς προέλευσης) είναι πολύ μικρότερη, συνήθως μικρότερη από 3 $\mu\text{g}/\text{lt}$.

1.5.1 Σύσταση και μορφές SPM

Ως προς τη σύσταση, το αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό σε εκβολές ποταμών και παράκτιες περιοχές αποτελείται από ορυκτά σωματίδια (κυρίως αργίλους, χαλαζία, αστρίους, ανθρακικά) και οργανικό υλικό και βρίσκεται στο νερό σε δύο μορφές, ως ανεξάρτητοι ορυκτοί κόκκοι και ως συσσωματώματα από ορυκτά σωματίδια και ισχυρά δεμένο οργανικό υλικό. Από τους τροπικούς ως την Αρκτική, η πλειοψηφία του αιωρούμενου υλικού των εκβολών των ποταμών και στις παρακείμενες παράκτιες περιοχές σχηματίζει συσσωματώματα καθώς τα μεμονωμένα σωματίδια είναι ασταθή. Επιπλέον, οι ζωντανοί οργανισμοί (κυρίως τα βακτήρια) συνδέονται πολύ με τα συσσωματώματα (Zabawa, 1978).

Ο σχηματισμός των συσσωματωμάτων προκύπτει από το συνδυασμό δύο διαδικασιών, αυτών που προκαλούν τη σύγκρουση των αιωρούμενων σωματιδίων και αυτών που τα προσκολλούν.

Η σύγκρουση των σωματιδίων μπορεί να προκληθεί από την αναπήδηση τους (κίνηση Brownian), τις διαφορετικές ταχύτητες καθίζησής τους καθώς και λόγω του στροβιλισμού και της εσωτερικής διατμητικής κίνησης του νερού, που τα περιβάλλει. Ωστόσο, σύμφωνα με τον Krone, 1972, όταν ο στροβιλισμός δημιουργείται από ταχύτητα ροής του νερού 20 cm/s εμποδίζει τον περαιτέρω σχηματισμό συσσωματωμάτων. Επιπλέον, συμπέρανε ότι η αναπήδηση σωματιδίων με μετακίνηση τους σε μικρή απόσταση κυριαρχεί σε αυτά με διάμετρο μικρότερη από 1 μm .

Οι παράγοντες, που παίζουν ρόλο στην προσκόλληση των σωματιδίων είναι οι δυνάμεις, που ασκούνται μεταξύ τους, και η παρουσία οργανικής ύλης και των οργανισμών στο περιβάλλον νερό. Πιο συγκεκριμένα, η βασικότερη ελκτική δύναμη είναι η Van der Waals, η οποία παράγεται, όταν δύο άτομα ή μόρια προσεγγίζουν το ένα το άλλο, καθώς η κίνηση των ηλεκτρονίων του ενός επηρεάζεται από την κίνηση των ηλεκτρονίων του άλλου. Αντίθετα, η κυριότερη απωθητική δύναμη είναι η διάχυτη απόσπαση διπλού στρώματος και οφείλεται στο διάχυτο διπλό στρώμα, το οποίο περιβάλλει την αρνητικά φορτισμένη επιφάνεια σωματιδίων κολλοειδών ή υποκολλοειδών διαστάσεων. Τα σωματίδια προσκολλώνται όταν οι ελκτικές δυνάμεις υπερσχύουν των απωθητικών. Ένας, ακόμη, τρόπος προσκόλλησης των σωματιδίων είναι μέσω της προσρόφησης τους στο οργανικό υλικό και της ικανότητας των οργανισμών να τα ενώνουν σε “κόπρανα” (faeces) ή “ψευδοκόπρανα” ή να τα συνδέουν με βλέννα. Οι κύριοι τύποι συσσωματωμάτων, που έχουν παρατηρηθεί, είναι τα μικροσυσσωματώματα και τα μακροσυσσωματώματα (Eisma, 1986).

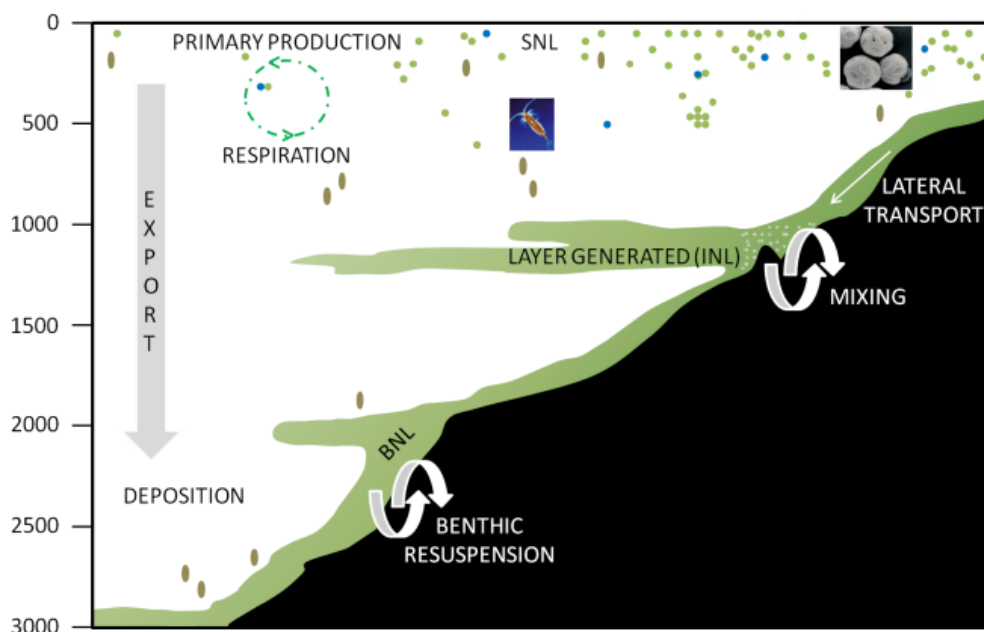
Αναλυτικότερα, τα μικροσυσσωματώματα έχουν διάμετρο ως 125 μm και συνίστανται από ορυκτά σωματίδια και οργανικό υλικό. Οι κύριοι παράγοντες, που καθορίζουν το μέγεθος των μικροσυσσωματωμάτων, είναι η δύναμη δέσμευσης του οργανικού υλικού σε σχέση με τη συνολική μάζα του συσσωματώματος και η αναμενόμενη αναστάτωση, που προκύπτει κατά τη δειγματοληψία και την ανάλυση του μεγέθους τους στο εργαστήριο. Τα μικροσυσσωματώματα και τα ανεξάρτητα ορυκτά σωματίδια αποτελούν τα βασικά δομικά συστατικά των μακροσυσσωματωμάτων. Αυτά τα συσσωματώματα σχηματίζονται στο νερό κάτω από συνθήκες ροής με υψηλό ιξώδες, είναι εύθραυστα και έτσι καταστρέφονται εύκολα κατά τη δειγματοληψία. Το μέγιστο μέγεθός τους φθάνει τα 3-4 mm και καθορίζεται από την τουρβιδιτική τάση.

Τέλος, η “σπογγώδης” δομή των συσσωματωμάτων μπορεί να επιβραδύνει την καθίζηση τους, όταν βρεθούν στο όριο μεταξύ δύο υγρών διαφορετικής πυκνότητας (Sakamoto, 1972). Τέτοια όρια συναντώνται στις εκροές των ποταμών, όπου τα ελαφρύτερα γλυκά ύδατα υπερβαίνουν το πυκνότερο θαλασσινό νερό.

1.5.2 Νεφελοειδή στρώματα

Η διασπορά του αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού δεν θεωρείται ούτε ομοιόμορφη ούτε ομοιογενής. Συνήθως, σχηματίζονται τουρβιδιτικές ζώνες, όπου οι συγκεντρώσεις του

υλικού σε αιώρηση στην στήλη του νερού είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές στο διανυγές θαλασσινό νερό, οι οποίες δεν ξεπερνούν τα $0,005 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Betzner, et al., 1974), και ονομάζονται νεφελοειδή στρώματα. Πιο συγκεκριμένα, το SPM στα νεφελοειδή στρώματα στους παγκόσμιους ωκεανούς ανιχνεύεται σε συγκεντρώσεις από $0,1$ ως $3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ενώ έξω από τις εκβολές των ποταμών το νερό παρουσιάζει πολύ υψηλότερη περιεκτικότητα σε αιωρούμενα σωματίδια με τιμές, που κυμαίνονται από μερικά $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ως μερικές δεκάδες $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Eittreim and Ewing, 1972). Τα νεφελοειδή στρώματα παρατηρούνται κοντά στον πυθμένα της θάλασσας, που το SPM δημιουργεί το νεφελοειδές στρώμα πυθμένα ή βενθικό στρώμα (BNL), στην επιφάνεια της θάλασσας, όπου εντοπίζεται το επιφανειακό νεφελοειδές στρώμα (SNL) καθώς εντοπίζονται συχνά και διασκορπισμένα κατά μήκος των ισόπυκνων επιφανειών, που τα σωματίδια σε αιώρηση συνθέτουν το ενδιάμεσο νεφελοειδές στρώμα (INL) (Drake et al., 1972, Meade et al., 1975, Aloisi et al., 1982, Chronis, 1986) (Σχήμα 1.8).



Σχήμα 1.8: Σχηματισμός νεφελοειδών στρωμάτων (πηγή: www.scientistsatsea.blogspot.com).

1.6 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

Η καθίζηση των ιζημάτων στην στήλη του νερού συνδέεται με την ταχύτητα καθίζησης των κόκκων τους, η οποία εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των κόκκων (μέγεθος, σχήμα, σφαιρικότητα, πυκνότητα) και τις φυσικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού (πυκνότητα, ιξώδες, τύρβη). Όταν η πυκνότητα του κόκκου είναι μεγαλύτερη από αυτήν του ρευστού ξεκινά η καθίζηση του κόκκου με συνεχώς αυξανόμενη ταχύτητα μέχρι την στιγμή που η ταχύτητα καθίζησης αποκτά τη μέγιστη τιμή της και μένει πλέον σταθερή. Αυτό συμβαίνει όταν οι δυνάμεις της βαρύτητας (F_G) και της άνωσης (F_B) εξισορροπούνται από τις δυνάμεις που ασκούνται από το ρευστό προκειμένου να μην πέσει ο κόκκος μέσα στο ρευστό (F_D). Η

τελική ταχύτητα καθίζησης w_s των φυσικών κόκκων ιζήματος ανάλογα με τη διάμετρό τους (D) δίνεται από τις εξισώσεις (Van Rijn, 1993):

$$w_s = 1/18 \times \sigma - \rho / \rho \times g \times D^2 / \nu \quad \text{για } 1 \leq D \leq 100\mu\text{m}$$

$$w_s = 10 \nu / d \times [(1 + \sigma - \rho / \rho \times 0,01 \times g \times D^3 / \nu^2)^{0,5} - 1] \quad \text{για } 100 < D < 1000\mu\text{m}$$

$$w_s = 1,1 \times (\sigma - \rho / \rho \times g \times D)^{0,5} \quad \text{για } D \geq 1000\mu\text{m}$$

όπου σ το ειδικό βάρος των κόκκων ($\sim 2650 \text{ kg/m}^3$), ρ η πυκνότητα του θαλασσινού νερού ($\sim 1025 \text{ kg/m}^3$), g η επιτάχυνση της βαρύτητας ($9,81 \text{ m/s}^2$), D η διάμετρος των κόκκων σε μm και ν το κινηματικό ιξώδες του θαλασσινού νερού ($\sim 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$).

Ως προς τις ταχύτητες καθίζησης των συσσωματωμάτων διαφόρων διαμέτρων δίνονται μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα στον Πίνακα 1.2.

Πίνακας 1.2: Ταχύτητες καθίζησης συσσωματωμάτων διαφόρων διαμέτρων (πηγή: Gibbs, 1985).

Διάμετρος συσσωματώματος (μm)	Ταχύτητα καθίζησης (10^{-4} m/s)
5	0,460
20	1,358
50	2,775
100	4,765
200	8,182
500	16,720
1000	28,711
2000	49,300

1.7 ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ

Η διατμητική τάση (τ), που ασκείται από τα ρεύματα ή/και τα κύματα είναι υπεύθυνη για την κίνηση των ιζημάτων στην επιφάνεια του πυθμένα. Όταν η τιμή της τάσης ξεπεράσει την αντίσταση των κόκκων του ιζήματος λόγω δυνάμεων συνάφειας τότε τα ιζήματα μετακινούνται είτε ως φορτίο πυθμένα, δηλαδή με κύλιση ή και αναπήδηση είτε ως φορτίο σε αιώρηση. Υπάρχει ωστόσο και η περίπτωση η τάση να μην υπερβεί αυτήν την τιμή οπότε να έχουμε καθίζηση και όχι μεταφορά ιζημάτων. Σε κάθε κόκκο της επιφάνειας του πυθμένα ασκούνται ορθές και διατμητικές τάσεις από την κίνηση του νερού, ανωστικές δυνάμεις λόγω της υποβρύχιας θέσης του ταυτόχρονα με υδροστατικές πιέσεις από την υπερκείμενη στήλη του νερού, υδροδυναμικές υποπίεσεις, λόγω διήθησης του νερού (μεταξύ γειτονικών κόκκων), δυνάμεις από πρόσκρουση σε άλλους κόκκους αλλά και δυνάμεις από αντίδραση στήριξης σε άλλους κόκκους και φυσικά η δύναμη της βαρύτητας, ενώ τις περισσότερες φορές σημαντικό ρόλο παίζει και ο βιολογικός παράγοντας. Προκειμένου να βρούμε την κριτική επιφανειακή διατμητική τάση χρησιμοποιούμε το γράφημα του Shields (Σχήμα 1.9), που συνδέει

ημειμπειρικά κάποιες παραμέτρους του ρευστού με την επιφανειακή τάση με την σταθερά συσχέτισης θ να δίνεται από την εξίσωση:

$$\theta = \tau_0 / (\sigma - \rho) \times g \times D$$

όπου D η διάμετρος των κόκκων, σ και ρ είναι η πυκνότητα του κόκκου και του νερού αντίστοιχα ενώ η τιμή της διατμητικής τάσης τ_0 δίνεται:

- **για τα ρεύματα** από τη σχέση των Wimbush & Munk, 1971 και Wright et al., 1992:

$$\tau_0 = \rho \times C_D(z) \times u_0^2(z)$$

όπου,

ρ η πυκνότητα του θαλασσινού νερού ($\sim 1025 \text{ kg/m}^3$) και $C_D(z)$ ο συντελεστής σύρσης που δίνεται από τη σχέση:

$$C_D(z) = [\kappa / \ln(z/z_0)]^2$$

όπου,

κ η σταθερά του von Karman (~ 0.41) και z_0 το μήκος (εύρος) της υδραυλικής ανωμαλίας, που συνδέεται με την πρακτική τραχύτητα του πυθμένα (k_s) με τη σχέση $z_0 = k_s / 30$ (Wright, 1989).

Στην περίπτωση δε ενός θεωρητικά επίπεδου πυθμένα που συνίσταται από μη συνεκτικά ιζήματα η k_s αντιπροσωπεύει την κοκκομετρική διάμετρο, γνωστή ως τραχύτητα Nikuradse. Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής σύρσης $C_D(z)$ υπολογιζόμενος σε απόσταση ενός μέτρου από τον πυθμένα ($z=1 \text{ m}$) ισούται με 3×10^{-3} και 2×10^{-3} για αμμώδη και πηλώδη πυθμένα αντίστοιχα. Στο φυσικό όμως περιβάλλον η τραχύτητα του πυθμένα είναι πολύ μεγαλύτερη.

- **για τα κύματα** από τη σχέση των Fredsøe and Deigaard (1994):

$$\tau_0 = \frac{1}{2} \rho \times f_w \times U_\delta^2$$

όπου,

U_δ η ταχύτητα της ροής ακριβώς από το οριακό στρώμα του πυθμένα και f_w ο συντελεστής τριβών που δίνεται από τη σχέση:

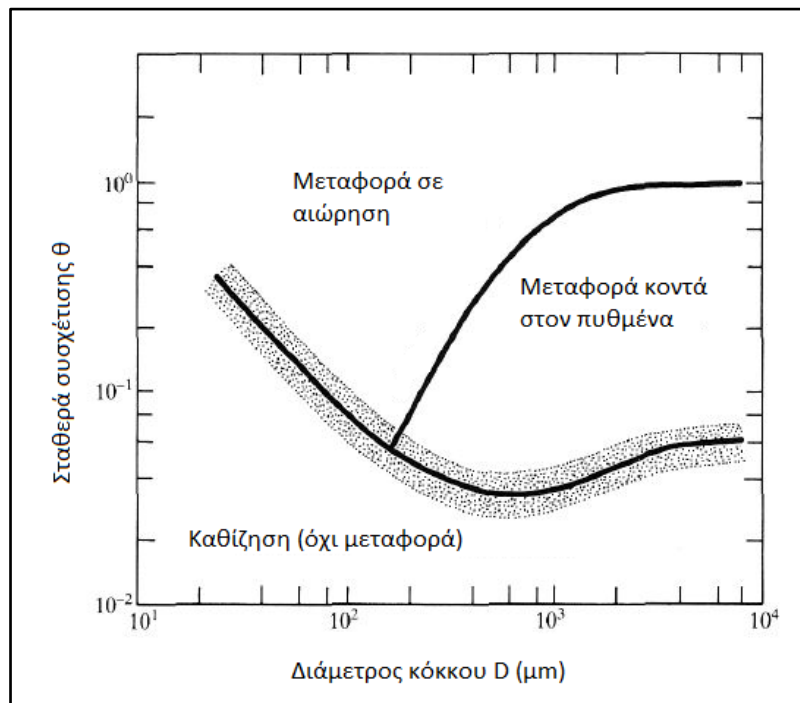
$$f_w = \exp(5,2 (\Xi / k_s)^{-0,914} - 6)$$

όπου,

Ξ το πλάτος τροχιάς των μορίων του νερού ακριβώς πάνω από το οριακό στρώμα του πυθμένα και δίνεται από τη σχέση:

$$\Xi = U_\delta \times T / 2\pi$$

Ο συντελεστής τριβών f_w έχει ως ανώτατη τιμή 0,3 ενώ στην περίπτωση του επίπεδου αμμώδη πυθμένα κυμαίνεται μεταξύ 0,02 και 0,03.

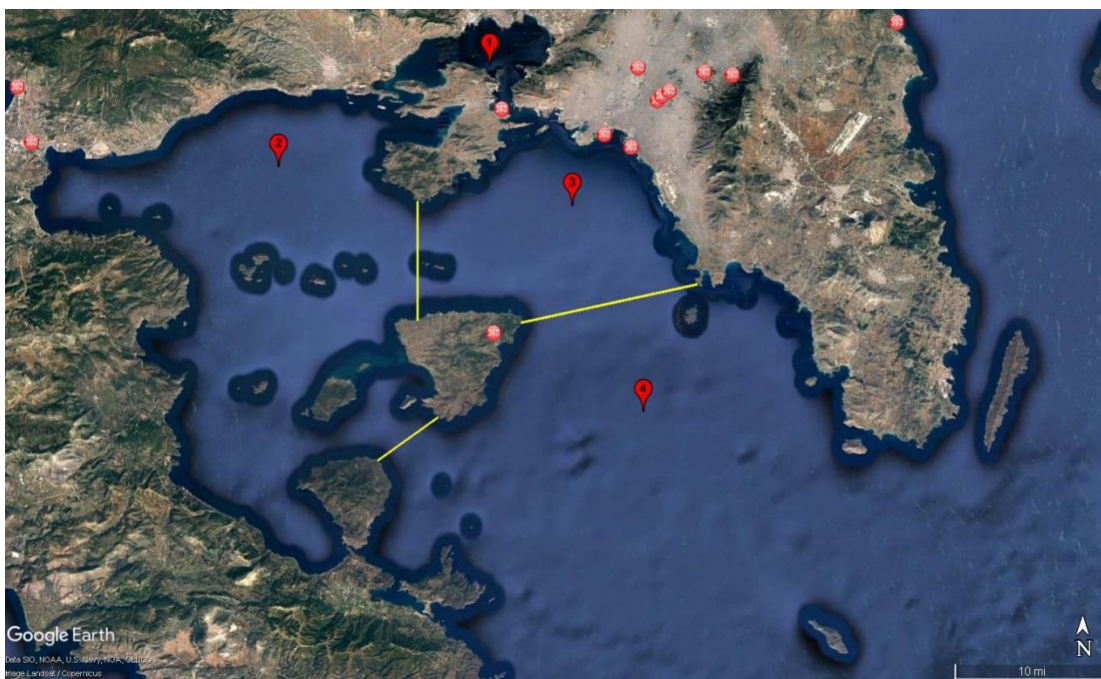


Σχήμα 1.9: Γράφημα του Shields (πηγή: Allen, 1985).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ – ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ

Ο Σαρωνικός κόλπος είναι μια ημίκλειστη λεκάνη έκτασης περίπου 2600 km². Ορίζεται από τις ακτές της Αττικής βόρεια και ανατολικά και από τις ακτές της Κορινθίας και της Αργολίδας κατά μήκος των δυτικών και νοτιοδυτικών ορίων του ενώ επικοινωνεί με το Αιγαίο πέλαγος στο νότιο άκρο του. Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από στενή ηπειρωτική κατωφέρεια με αποτέλεσμα η ισοβαθής καμπύλη των 100 m να απέχει μικρή απόσταση από την ακτή (Parathanasiou & Zenetos, 2005a) και αποτελείται από τέσσερις θαλάσσιες περιοχές (Σχήμα 2.1): (1) τον κόλπο της Ελευσίνας, (2) το Δυτικό κόλπο, (3) το Βόρειο (Εσωτερικό) κόλπο και (4) το Νότιο (Εξωτερικό) κόλπο.



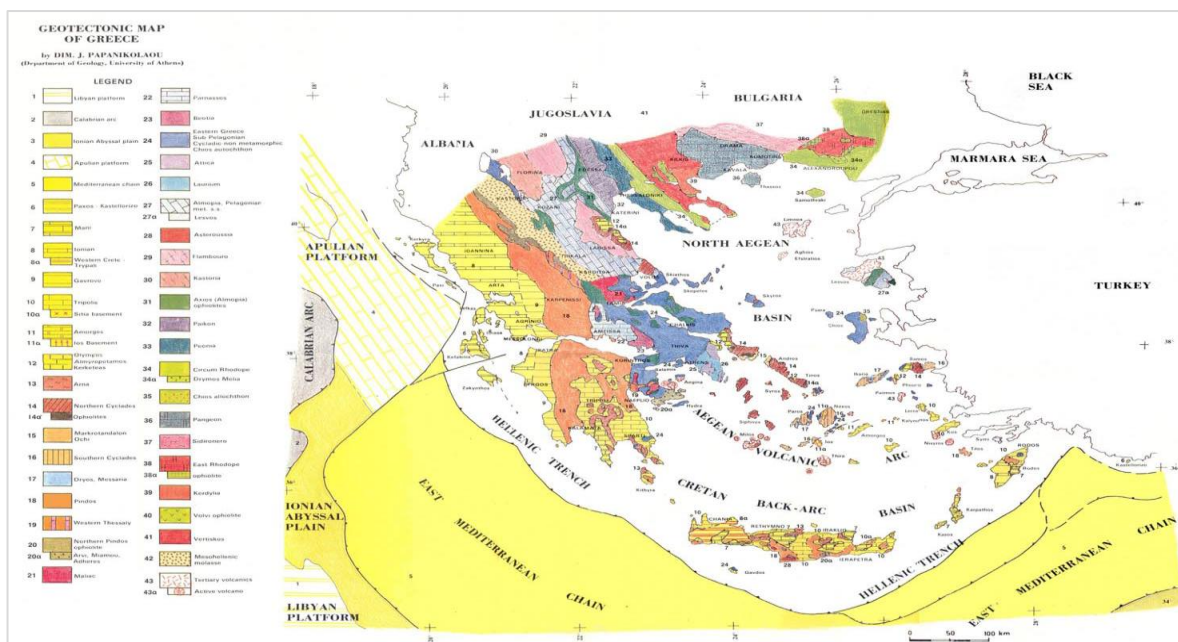
Σχήμα 2.1: Θαλάσσιες περιοχές του Σαρωνικού κόλπου: 1) Κόλπος Ελευσίνας, 2) Δυτικός κόλπος, 3) Βόρειος (Εσωτερικός) κόλπος, 4) Νότιος (Εξωτερικός) κόλπος.

Πιο συγκεκριμένα, ο κόλπος της Ελευσίνας βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του Σαρωνικού κόλπου και πρόκειται για έναν ημίκλειστο, ρηχό κόλπο μέγιστου βάθους 33 m, που επικοινωνεί με το κύριο τμήμα του Σαρωνικού μέσω του διαύλου του Κερατσινίου πλάτους 1200 m και βάθους 12 m και του στενού των Μεγάρων πλάτους 750 m και βάθους 8 m. Ο Δυτικός κόλπος βρίσκεται δυτικά των νησιών της Αίγινας και της Σαλαμίνας και περιλαμβάνει τις υπολεκάνες των Μεγάρων και της Επιδαύρου με μέγιστο βάθος περίπου τα 240 m και τα 415 m αντίστοιχα, που αποτελεί και το βαθύτερο σημείο του Σαρωνικού κόλπου. Ο Βόρειος (Εσωτερικός) κόλπος οριοθετείται μεταξύ του Πειραιά, της Σαλαμίνας και της Αίγινας, είναι σχετικά επίπεδος και έχει μέγιστο βάθος περίπου 100 m. Ο Νότιος

(Εξωτερικός) κόλπος εκτείνεται από το διάυλο της Αίγινας – Μεθάνων στα νοτιοδυτικά και το διάυλο της Αίγινας – Βουλαγμένης στα βόρεια προς το Νότιο Αιγαίο πέλαγος και έχει μέγιστο βάθος 230 m. Οι ακτές των περιοχών του Σαρωνικού παρουσιάζουν ευδιάκριτο οριζόντιο και κατακόρυφο διαμελισμό και οι περισσότερες από αυτές είναι βραχώδεις και κροκαλώδεις.

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

Ο Σαρωνικός κόλπος σχηματίστηκε από τεκτονική καταβύθιση, που συνέβη κατά το Κατώτερο Τεταρτογενές, δηλαδή πριν από περίπου δύο εκατομμύρια χρόνια και δημιουργήθηκαν αποθέσεις θαλάσσιων και ποτάμιων ιζημάτων. Η περιοχή μελέτης ανήκει στις γεωτεκτονικές ζώνες της Ανατολικής Ελλάδας, του Λαυρίου και της Αττικής (Σχήμα 2.2), οι οποίες περιλαμβάνουν ασβεστολίθους (νηριτικούς και πελαγικούς), μάρμαρα, σχιστολίθους και δολομίτες. Ακόμη, ο Σαρωνικός χαρακτηρίζεται από πολλά ρήγματα (με το δυτικό τμήμα του κόλπου να είναι πιο ενεργό) και σημεία ηφαιστειακής δραστηριότητας (Αίγινα, Σουσάκι, Μέθανα) (Papanikolaou et al., 1988) καθώς αποτελεί τη βορειοδυτική απόληξη του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου (Nomikou et al., 2013).

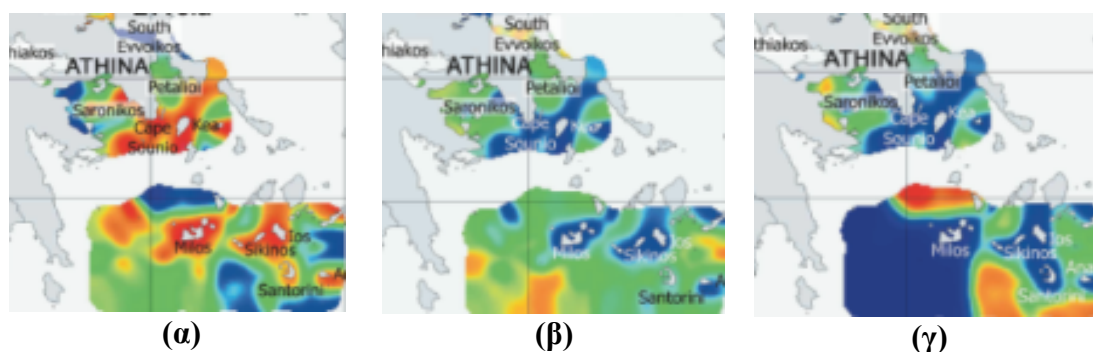


Σχήμα 2.2: Χάρτης των γεωτεκτονικών ενότητων των Ελληνίδων (πηγή: Papanikolaou, 1989a).

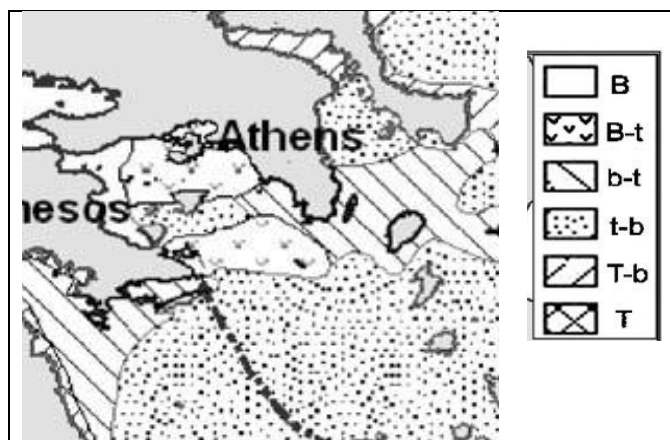
2.3 ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Ο Σαρωνικός κόλπος αντιπροσωπεύει περίπου το 1% του πυθμένα του Αιγαίου. Η επιφάνεια του πυθμένα του Σαρωνικού καλύπτεται γενικά από πηλώδεις άμμους και πηλούς

(Σχήμα 2.3). Αναλυτικότερα, τα ιζήματα του δυτικού τμήματος του κόλπου χαρακτηρίζονται από υψηλά ποσοστά (>30%) αργίλου και ιλύος και μικρότερο ποσοστό άμμου (<30%) ενώ μια ζώνη με μεγάλο περιεχόμενο σε άμμο, που συχνά ξεπερνά το 90%, επεκτείνεται από την εξωτερική περιοχή του Σαρωνικού ως το ακρωτήριο του Σουνίου όπως και στα επιφανειακά ιζήματα του κεντρικού τμήματος του κόλπου καθώς αποτελούν περιοχές που δεν επηρεάζονται από τις εκροές ποταμών ή απουσιάζουν τα ποτάμια. Ένα ακόμη κοινό χαρακτηριστικό των ιζημάτων του πυθμένα των δύο αυτών περιοχών του Σαρωνικού είναι η υψηλή περιεκτικότητά τους σε ανθρακικό ασβέστιο διότι τα ιζήματα αποτελούνται από σημαντικό ποσοστό θραυσμάτων και κελυφών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη βιογενή καθίζηση, που επικρατεί στα νερά του κόλπου ενώ τα χερσογενή ιζήματα, αντίθετα, κυμαίνονται σε ποσοστά από 10% ως 30%. Έτσι, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.4 τα επιφανειακά ιζήματα της περιοχής ανήκουν στον ιζηματολογικό τύπο B-t (Poulos, 2009). Τέλος, τα επιφανειακά ιζήματα στον κόλπο της Ελευσίνας είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένα σε Cu, Pb, Zn και Mn (Anagnostou et al., 1998).



Σχήμα 2.3: (α) Χάρτης κατανομής αργίλου ξηρού βάρους (%) στις ελληνικές θάλασσες, (β) Χάρτης κατανομής ιλύος ξηρού βάρους (%) στις ελληνικές θάλασσες, (γ) Χάρτης κατανομής άμμου ξηρού βάρους (%) στις ελληνικές θάλασσες (πηγή: HCMR, 2005).



Σχήμα 2.4: Χωρική κατανομή των διαφορετικών ιζηματολογικών τύπων των επιφανειακών ιζημάτων στο Αιγαίο πέλαγος, όπου B: > 90% βιογενές υλικό, B-t: 10-30% χερσογενές υλικό, b-t: 30-50% χερσογενές υλικό, t-b: 50-70% χερσογενές υλικό, T-b: 70-90% χερσογενές υλικό και T: > χερσογενές υλικό (πηγή: Poulos, 2009).

2.4 ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ

2.4.1 *Ανανέωση υδάτων*

Ο Σαρωνικός κόλπος δεν λαμβάνει μεγάλες ποσότητες από νερά ποταμών, καθώς δεν εκβάλλουν σε αυτόν μεγάλοι ποταμοί παρά μόνο χείμαρροι με μικρή εποχική ροή και μέγιστες τιμές παροχής κατά το Δεκέμβριο και το Μάρτιο. Αντίθετα, από τον Ιούλιο μέχρι και το Σεπτέμβριο οι παροχές θεωρούνται μηδενικές. Ακόμη, η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από αμελητέες παλίρροιες και μικρής διάρκειας βροχοπτώσεις, που εκδηλώνονται κυρίως τους χειμερινούς μήνες.

Η είσοδος των υδάτων του Αιγαίου από νότια/νοτιοανατολικά (πέραν του ακρωτηρίου του Σουνίου) οδηγεί στην ανανέωση των νερών του Σαρωνικού, ο χρόνος της οποίας είναι διαφορετικός στις τέσσερις υποπεριοχές του με βάση τις μελέτες των Yannopoulos & Yannopoulos (1973) και Hopkins & Coachman (1975). Πιο συγκεκριμένα, τα ύδατα στον κόλπο της Ελευσίνας ανανεώνονται σε ένα-δύο μήνες (Friligos, 1999). Στο Δυτικό κόλπο απαιτούνται ξεχωριστοί χρόνοι ανανέωσης ανάλογα με τα βάθη των υδάτων και ειδικότερα τα νερά σε βάθη μέχρι 100 m ανανεώνονται σε 10 με 11 μήνες περίπου και αυτά σε βάθη 100-200 m σε 2,1 χρόνια. Ωστόσο, ο χρόνος ανανέωσης των υδάτων ολόκληρου του Δυτικού κόλπου έχει υπολογιστεί περίπου στα 8,1 χρόνια (Friligos 1985, Μπαρμπετσέας & Παπαγεωργίου, 1997). Τέλος, τα νερά του Βόρειου (Εσωτερικού) κόλπου χρειάζονται περίπου ένα μήνα για να ανανεωθούν (Hopkins & Coachman, 1975).

2.4.2 *Υδρογραφία*

Τα νερά του Σαρωνικού κόλπου ακολουθούν έναν ισχυρό ετήσιο κύκλο θερμοκρασίας εμφανίζοντας διακυμάνσεις ανάλογα με την εποχή (ΕΚΘΕ, 1988 & 1991). Πιο αναλυτικά, τα επιφανειακά στρώματα της υδάτινης στήλης του Σαρωνικού ψύχονται από το φθινόπωρο μέχρι το Μάρτιο, οπότε παρατηρείται η ελάχιστη θερμοκρασία τους στους 13°C περίπου. Η θέρμανση αυτών των στρωμάτων αρχίζει κατά τους θερινούς μήνες και το Σεπτέμβριο έχουν τη μέγιστη τιμή τους, που είναι περίπου 26°C. Η θερμοκρασία των υδάτων του κόλπου της Ελευσίνας μετράται 1-2°C χαμηλότερη τους χειμερινούς μήνες και αντίστοιχα υψηλότερη τους θερινούς εξαιτίας της περιορισμένης επικοινωνίας αυτής της υποπεριοχής του Σαρωνικού με τα υπόλοιπα τμήματά του. Οι τιμές των θερμοκρασιών των βαθιών στρωμάτων του κόλπου του Σαρωνικού κυμαίνονται από 12°C ως και 16°C με τις υψηλότερες τιμές να παρουσιάζονται το Δεκέμβριο. Ωστόσο, τα νερά των βαθιών στρωμάτων του Δυτικού κόλπου έχουν σταθερή τιμή θερμοκρασίας 14-15°C.

Η αλατότητα των υδάτων του Σαρωνικού κόλπου δεν μεταβάλλεται σημαντικά ούτε εποχικά ούτε τοπικά καθώς οι τιμές, που έχουν μετρηθεί, βρίσκονται μεταξύ των 38 και 39,5. Ως εκ τούτου, η θερμοκρασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την πυκνότητα των υδάτων και το θερμοκλινές συμπίπτει με το πυκνοκλινές (NCMR, 1996). Κατά τη χειμερινή περίοδο του έτους, η θερμοκρασία της στήλης του νερού χαρακτηρίζεται από ομοιόμορφη κατανομή. Αυτό οφείλεται στην ψύξη των επιφανειακών στρωμάτων, που οδηγεί στο σχηματισμό επιφανειακού νερού με μεγάλη πυκνότητα, καθώς και στη μηχανική ανάμιξη των θαλάσσιων

μαζών. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όμως, τα επιφανειακά στρώματα θερμαίνονται και έτσι το νερό έχει μικρές τιμές πυκνότητας, που σε συνδυασμό με τη μικρότερη μηχανική ανάμιξη των θαλάσσιων μαζών οδηγούν στην εμφάνιση του θερμοκλινούς και την ανάπτυξη στρωμάτωσης. Πιο συγκεκριμένα, δύο στρώματα αναπτύσσονται στον κόλπο της Ελευσίνας και σε περιοχές του Σαρωνικού με βάθος μικρότερο των 100 m με το επιφανειακό στρώμα να φθάνει μέχρι το βάθος των 10 m και των 30 m, αντίστοιχα. Σε περιοχές με βάθη μεγαλύτερα από τα 100 m διακρίνεται και ένα τρίτο στρώμα κάτω από τα 75-100 m (Barbetseas, 1983). Αυτή η έντονη στρωμάτωση έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται ανοξικές συνθήκες στα νερά του Σαρωνικού κόλπου, ιδιαίτερα στα βαθιά στρώματα του κόλπου της Ελευσίνας (σε βάθη ≥ 30 m) κατά τη θερινή περίοδο (συνήθως το Σεπτέμβριο ή τον Οκτώβριο), των οποίων οι τιμές διαλυμένου οξυγόνου είναι μηδενικές καθώς δεν καθίσταται δυνατή η ανταλλαγή οξυγόνου μεταξύ των επιφανειακών και βαθιών στρωμάτων (Friligos, 1999) και καταναλώνεται για την οξείδωση της οργανικής ύλης.

Αντίθετα, τα ανώτερα στρώματα χαρακτηρίζονται από υπερκορεσμό σε οξυγόνο, που οφείλεται στην έντονη φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Γενικά, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο Σαρωνικό κόλπο μετράται από 0 ως 6 ml/L. Οι μέσες συγκεντρώσεις οξυγόνου στον κόλπο της Ελευσίνας τις χρονιές 1998-2002 ήταν 5,55 ml/L και 3,64 ml/L κατά την ψυχρή και θερινή περίοδο αντίστοιχα. Οι τιμές διαλυμένου οξυγόνου στο Νότιο (Εξωτερικό) Σαρωνικό κόλπο κυμαίνονταν μεταξύ 5,35 ml/L και 5,24 ml/L την ίδια περίοδο. Επίσης, οι μέσες τιμές οξυγόνου στο Βόρειο (Εσωτερικό) κόλπο του Σαρωνικού κατά τη διάρκεια της στρωμάτωσης βρίσκονταν μεταξύ 4,26 και 5,51 ml/L (NCMR, 2000a, 2002).

Οι θεραπευτικές ουσίες εισέρχονται στα νερά του Σαρωνικού κυρίως μέσω των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων της Ψυττάλειας και μερικών βιομηχανιών π.χ. λιπασμάτων. Με βάση τις μετρήσεις του NCMR, 2002 οι συγκεντρώσεις των θεραπευτικών στο Νότιο (Εξωτερικό) κόλπο εμφανίζουν όλο το χρόνο μικρότερες τιμές καθώς αυξάνεται η απόσταση από την Ψυττάλεια. Ακόμη, οι θεραπευτικές ουσίες παρουσιάζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις την ψυχρή περίοδο σε σχέση με τη θερμή συμπεραίνοντας έτσι ότι οι κύριοι παράγοντες καθορισμού των συγκεντρώσεων τους είναι η θαλάσσια κυκλοφορία και η διαδικασία αραίωσής τους.

Τέλος, τα μέταλλα εντοπίζονται στα νερά του Σαρωνικού κόλπου κυρίως σε διαλυμένη φάση από ότι σε σωματιδιακή, με εξαίρεση το μαγγάνιο στον κόλπο της Ελευσίνας.

2.4.3 Κυκλοφορία

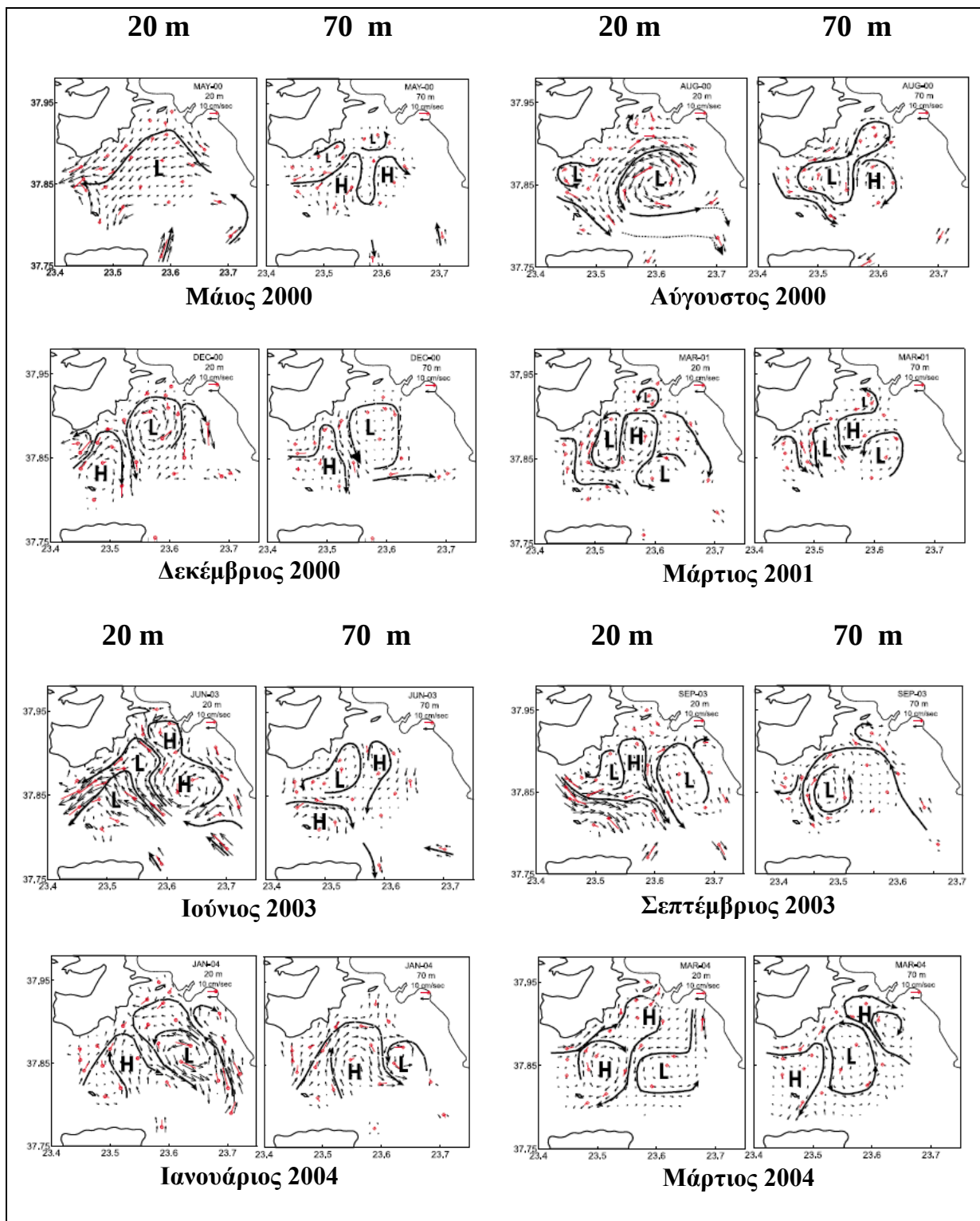
Η κυκλοφορία των νερών προκύπτει από το συνδυασμό της κυκλοφορίας, την οποία επιβάλλει ο άνεμος (ανεμογενής κυκλοφορία) και μιας πιο μόνιμης σχετιζόμενης με τη γενικότερη κυκλοφορία των νερών του Αιγαίου πελάγους (Λασκαράτος & Καλτσουνίδης, 1989). Έτσι, ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου, η κυκλοφορία στο Βόρειο (Εσωτερικό κόλπο) ακολουθεί κυκλωνικό ή αντικυκλωνικό μοντέλο. Όταν πνέουν βορειο-ανατολικοί και νοτιο-ανατολικοί άνεμοι, εφαρμόζεται το κυκλωνικό μοντέλο ενώ όταν πνέουν οι βορειο-δυτικοί και νοτιο-δυτικοί άνεμοι ακολουθείται το αντικυκλωνικό. Οι κύριοι άνεμοι κατά τη

διάρκεια του έτους πνέουν από βόρειες διευθύνσεις στο Σαρωνικό κόλπο. Κατά την επικράτηση νοτίων ή νοτιοανατολικών ανέμων, παρατηρείται είσοδος νερών από το Βόρειο (Εσωτερικό) κόλπο στον κόλπο της Ελευσίνας μέσω του ανατολικού διαύλου (Scoulllos & Riley 1978).

Στον κόλπο της Ελευσίνας αναπτύσσεται θερμόαλη κυκλοφορία (Hopkins et al., 1974) εξαιτίας της διαφοράς πυκνότητας, που έχουν τα νερά του κόλπου της Ελευσίνας με αυτά των υπόλοιπων υποπεριοχών του Σαρωνικού κόλπου, με τα πρώτα να παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές. Κάτω από τα επιφανειακά στρώματα του Δυτικού κόλπου και του Βόρειου (Εσωτερικού) κόλπου κυκλοφορεί ένα στρώμα νερού ενδιάμεσης πυκνότητας, το οποίο έχει δημιουργηθεί από την ανάμιξη στρωμάτων στους διαύλους του Σαρωνικού κόλπου.

Σύμφωνα με τον Kontoyiannis (2010), ένα εποχικό πυκνοκλινές εκδηλώνεται στα νερά του Σαρωνικού κόλπου την περίοδο της στρωμάτωσης (Μάιος–Νοέμβριος), με πλήρη ανάπτυξη στο τέλος Αυγούστου – αρχή Σεπτεμβρίου σε βάθη, που κυμαίνονται από 40 m ως 70 m, το οποίο μετά υποχωρεί. Τα νερά του Βόρειου (Εσωτερικού) κόλπου και του διαύλου της Αίγινας με τη Σαλαμίνα αναμιγνύονται κάθετα σε κοντινή απόσταση από τον πυθμένα από το Δεκέμβριο μέχρι τον Απρίλιο, με αποτέλεσμα τα ανώτερα στρώματα των 80–100 m να παρουσιάζουν μερική ή πλήρη ομογενοποίηση. Η γενική κυκλοφορία στο επιφανειακό στρώμα είναι από τα δυτικά προς τα ανατολικά κατά τη θερινή περίοδο ενώ στα βαθύτερα στρώματα αντιστρέφεται.

Αναλυτικότερα, το στρώμα των 20 m παρουσιάζει μια γενική ροή από το Δυτικό κόλπο στο Βόρειο (Εσωτερικό) κόλπο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, που αναπτύσσεται το πυκνοκλινές. Αυτή η ροή δημιουργεί έναν αντικυκλωνικό μαϊάνδρο, ο οποίος εισέρχεται στο Βόρειο (Εσωτερικό) κόλπο από το δίαυλο Αίγινας – Σαλαμίνας. Παράλληλα, δομές κυκλωνικής κυκλοφορίας μικρότερης κλίμακας σχηματίζονται ανάντη και κατάντη αυτού του μαϊάνδρου στο βόρειο ή βορειοανατολικό τμήμα της ροής. Στη συνέχεια, η ροή εξέρχεται προς το νότιο τμήμα του κόλπου από την περιοχή ανάμεσα στην Αττική και στην Αίγινα. Την ίδια περίοδο, η ροή των βαθιών στρωμάτων (70 m) ακολουθεί την αντίστροφη πορεία, δηλαδή από το Βόρειο (Εσωτερικό) κόλπο προς το Δυτικό κόλπο εφαρμόζοντας κυκλωνικό μοντέλο με έναν κλάδο της ροής να μετατοπίζεται προς τα βόρεια στη νοτιοδυτική πλευρά της Σαλαμίνας. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα ολόκληρη η στήλη του νερού του Σαρωνικού κόλπου ακολουθεί το ίδιο μοντέλο κυκλοφορίας από τη δυτική πλευρά στην ανατολική (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5: Χάρτες ροής στα επιφανειακά στρώματα (20 m) και στα βαθιά στρώματα (70 m) του Σαρωνικού κόλπου σε συνδυασμό με το ανεμολογικό καθεστώς (H: αντικυκλωνική ροή, L: κυκλωνική ροή, τα μικρά βέλη η κατεύθυνση των ανέμων) (Kontoyiannis, 2010).

2.5 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ

Ο Σαρωνικός κόλπος αποτελεί την πρώτη θαλάσσια περιοχή της Ελλάδας, που παρουσίασε μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα. Ειδικότερα, ο κόλπος της Ελευσίνας έχει χαρακτηριστεί ως η πλέον ρυπασμένη υποπεριοχή του κόλπου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις έντονες βιομηχανικές δραστηριότητες (διυλιστήρια πετρελαίου, ναυπηγεία, χημικά εργοστάσια, τρόφιμα, μέταλλα, τσιμεντοβιομηχανίες κ.λπ.), που έχουν αναπτυχθεί στην παράκτια ζώνη της Αθήνας, του Πειραιά και του ευρύτερου νομού της Αττικής. Η ρύπανση του Σαρωνικού οφείλεται, επιπλέον, στην ταχεία οικιστική ανάπτυξη καθώς έχει υπολογιστεί ότι το 40% περίπου του πληθυσμού της χώρας ζει κοντά στις ακτές του Σαρωνικού, με αποτέλεσμα και η χρήση των αυτοκινήτων να είναι αυξημένη εκεί.

Το λιμάνι του Πειραιά, που αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα της Μεσογείου και δέχεται 24000 πλοία ετησίως και τα αεροδρόμια της Αττικής συμβάλλουν, επίσης, στη ρύπανση των περιοχών του κόλπου (Panagiotoulas et al., 2015).

Ακόμη, τα νερά του Σαρωνικού αποτελούσαν τους δέκτες των ανεπεξεργασμένων οικιστικών λυμάτων από τη μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας μέσω του Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού για πάνω από 30 χρόνια μέχρι το 1994. Τότε ξεκίνησε η λειτουργία του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στην Ψυττάλεια με υδραυλική ικανότητα 27 m³/s, όπου τα λύματα υφίστανται πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία. Στη συνέχεια, οι επεξεργασμένες εκροές αποστέλλονται μέσω δύο υποθαλάσσιων αγωγών σε βάθος 63 m στο Σαρωνικό Κόλπο. Το κέντρο αυτό παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση των επιπέδων των ρύπων διότι μειώνονται τα αιωρούμενα στερεά και το οργανικό φορτίο των λυμάτων κατά 93% περίπου και το ολικό τους άζωτο κατά περίπου 80% (www.eydap.gr). Το 2012 τέθηκε σε λειτουργία και η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων Θριασίου, η οποία απευθύνεται στις κατοικημένες και βιομηχανικές περιοχές των δήμων Ασπροπύργου, Ελευσίνας και Μάνδρας - Ειδυλλίας της Δυτικής Αττικής.

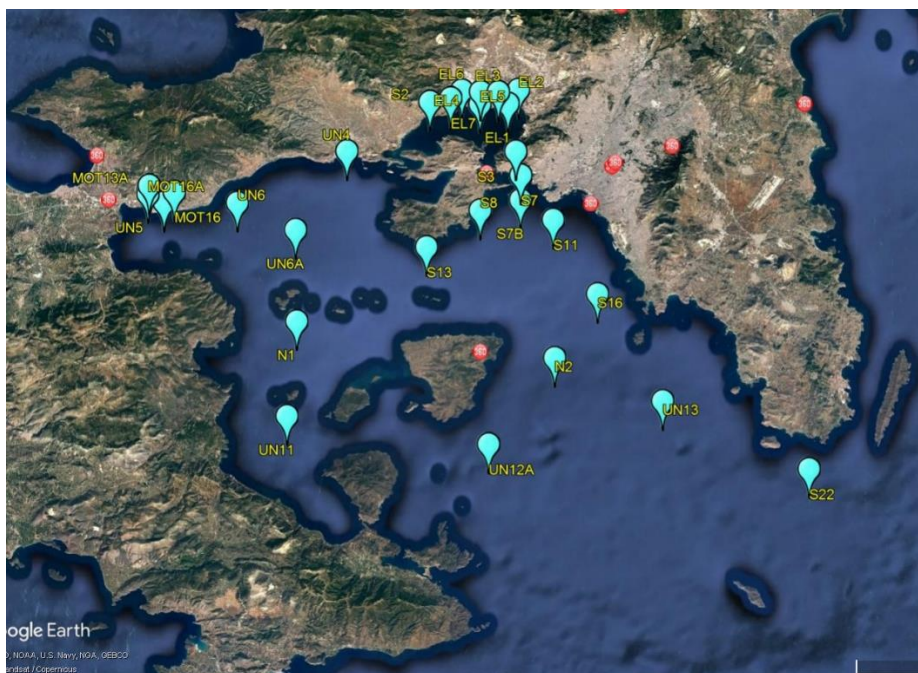
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά τον πλουν του Ω/Κ “ΑΙΓΑΙΟ” του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (Σχήμα 3.1) σε 28 θέσεις του Σαρωνικού κόλπου (Σχήμα 3.2, Πίνακας 3.1) στις 10 και 11 Οκτωβρίου 2017 στα πλαίσια του προγράμματος “ΕΚΠΑ ΑΡΙΣΤΕΙΑ 640”.



Σχήμα 3.1: Ω/Κ "ΑΙΓΑΙΟ" (πηγή: www.erevna.minedu.gov.gr).



Σχήμα 3.2: Θέσεις δειγματοληψίας (πηγή: Google Earth).

Πίνακας 3.1: Συντεταγμένες και βάθη νερού των θέσεων δειγματοληψίας.

Σταθμός	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Βάθος (m)
S3	23°35'00.56''E	37°57'03.43''N	29,00
EL1	23°34'19.12''E	38°00'20.69''N	21,50
EL2	23°35'13.53''E	38°01'18.83''N	14,50
EL3	23°33'28.82''E	38°01'18.68''N	18,00
EL4	23°31'55.98''E	38°01'19.43''N	20,00
EL5	23°31'52.87''E	38°00'18.42''N	22,00
EL6	23°30'18.59''E	38°01'15.56''N	27,00
EL7	23°29'20.24''E	38°00'42.96''N	32,00
S2	23°27'32.49''E	38°00'27.73''N	32,00
UN4	23°20'21.03''E	37°57'02.87''N	80,00
UN6	23°10'51.42''E	37°53'27.30''N	204,00
UN5	23°04'29.65''E	37°53'27.18''N	144,00
MOT16	23°05'22.76''E	37°54'10.35''N	87,00
MOT16A	23°03'05.12''E	37°54'00.89''N	100,00
MOT13A	23°03'11.01''E	37°54'36.14''N	50,00
UN11	23°15'16.35''E	37°38'46.91''N	407,00
N1	23°16'04.56''E	37°45'18.74''N	124,70
UN6A	23°15'55.93''E	37°51'36.61''N	164,80
S13	23°27'17.51''E	37°50'27.45''N	87,71
S8	23°31'55.81''E	37°52'59.77''N	90,00
S7	23°35'26.31''E	37°55'24.87''N	70,39
S11	23°38'15.17''E	37°52'21.47''N	77,49
S7B	23°35'25.09''E	37°53'43.48''N	90,00
S16	23°42'05.76''E	37°47'14.74''N	84,75
UN13	23°47'44.99''E	37°39'52.20''N	220,00
S22	24°00'22.88''E	37°35'10.50''N	193,00
UN12A	23°32'42.12''E	37°36'53.42''N	216,00
N2	23°38'23.77''E	37°42'50.60''N	181,00

Έγιναν μετρήσεις της αγωγιμότητας, της θερμοκρασίας και του βάθους της υδάτινης στήλης με χρήση του CTD SBE 9 της Sea Bird Electrom, βάση των οποίων υπολογίστηκαν και η αλατότητα, η πίεση και την ανωμαλία πυκνότητας του νερού (Σχήμα 3.3α). Μετρήθηκαν, ακόμη, η εκπομπή ακτινοβολίας, ο φθορισμός και η συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό μέσω των αντίστοιχων αισθητήρων, που προστέθηκαν στο όργανο (Σχήμα 3.3β). Συλλέχθηκαν δείγματα νερού με φιάλες Niskin, οι οποίες ήταν ενσωματωμένες γύρω από το CTD (ροζέτα) (Σχήμα 3.3γ), για τις μετρήσεις αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού (SPM), των θρεπτικών ουσιών, του υδραργύρου και της ομάδας του μεθυλίου. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε gravity corer (Σχήμα 3.3δ) για τη λήψη των πυρήνων ιζήματος μεγάλου βάθους και με χρήση του box corer (Σχήμα 3.3ε) πραγματοποιήθηκε η συλλογή δειγμάτων επιφανειακού ιζήματος, τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.4, για τον προσδιορισμό της κοκκομετρίας και τις μετρήσεις των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στην περιοχή μελέτης και των πυρήνων ιζήματος μικρού βάθους.



(α)



(β)



(γ)

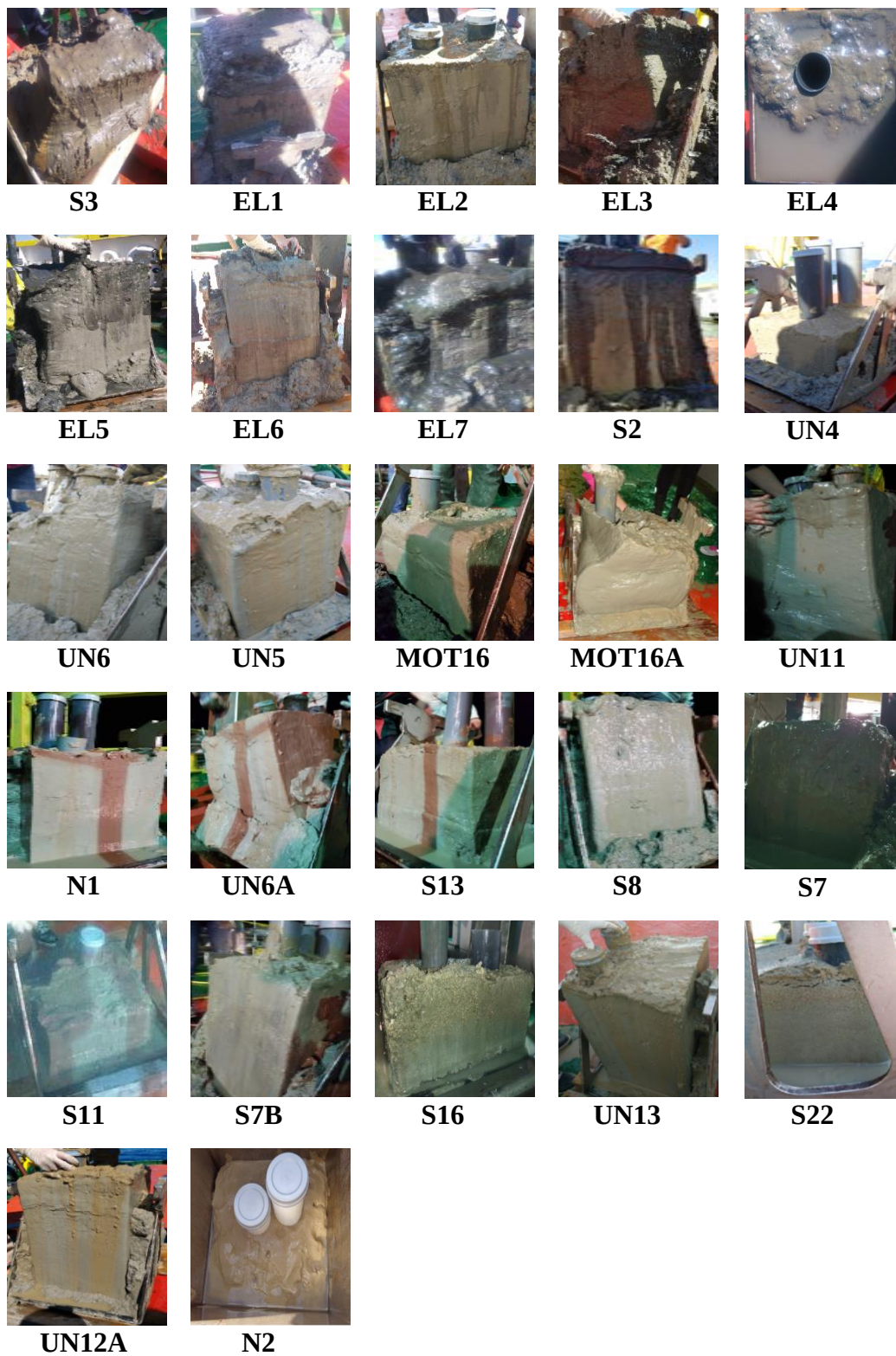


(δ)



(ε)

Σχήμα 3.3: Όργανα πεδίου: (α) CTD, (β) Αισθητήρες CTD, (γ) Φιάλες Niskin (ροζέτα), (δ) Gravity corer, (ε) Box corer.



Σχήμα 3.4: Συλλεχθέντα ιζήματα από το box corer.

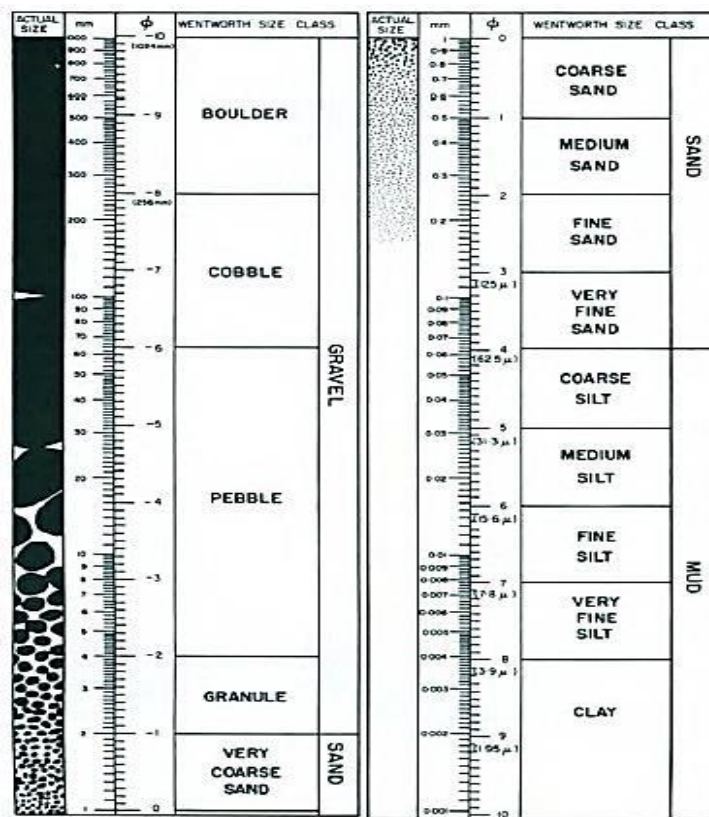
3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.2.1 Κοκκομετρική Ανάλυση

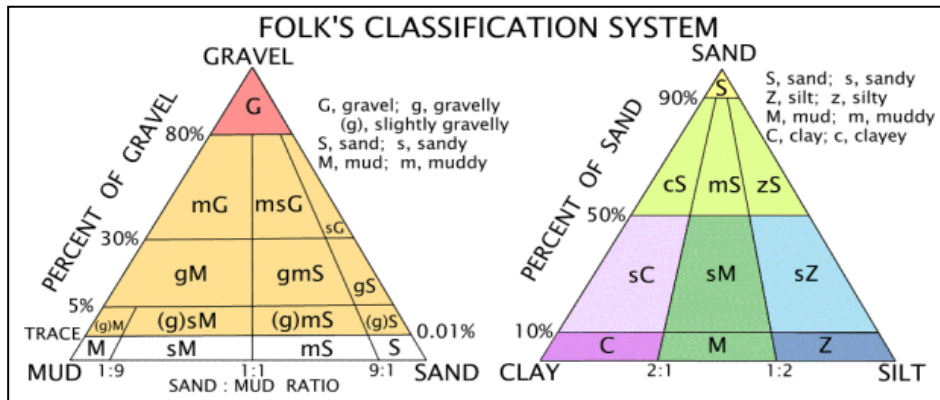
Η κοκκομετρική ανάλυση των ιζημάτων πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο της Φυσικής Γεωγραφίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α.

Κάθε δείγμα πλύθηκε με απιονισμένο νερό, ώστε να αφαιρεθούν τα άλατα και οι προσμίξεις και στη συνέχεια ξηράνθηκε στους 50°C. Το ξηρό ίζημα διαχωρίστηκε σε 4 τμήματα, από τα οποία τα δύο συνενώθηκαν, ζυγίστηκαν και κοσκινίστηκαν με κόσκινα διαμέτρου οπών 63 mm, 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 500 μm, 250 μm, 125 μm, 63 μm και <63μm, σε δονούμενη τράπεζα. Το υλικό, που κατακρατήθηκε σε κάθε κόσκινο, ζυγίστηκε σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας και ακολούθησε ο ιζηματολογικός τους χαρακτηρισμός και ο προσδιορισμός των κοκκομετρικών παραμέτρων.

Για τη διάκριση και την ονοματολογία βάσει του μεγέθους των κόκκων, χρησιμοποιείται η κλίμακα Wentworth (1922), ενώ ο κοκκομετρικός χαρακτηρισμός του συνολικού δείγματος, σύμφωνα με τον Folk (1980) (Σχήμα 3.5 και 3.6).



Σχήμα 3.5: Ταξινόμηση του μεγέθους των κόκκων με βάση την κλίμακα Wentworth (πηγή: Lewis, 1984).



Σχήμα 3.6: Τριγωνικά διαγράμματα Folk (1980 (πηγή: www.pubs.usgs.gov)).

Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων μιας κοκκομετρικής ανάλυσης έγινε σε αθροιστική καμπύλη, στην οποία στηρίζονται η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης. Στον οριζόντιο άξονα της αθροιστικής καμπύλης προβάλλεται το μέγεθος των κόκκων, ενώ στον κατακόρυφο άξονα το αντίστοιχο αθροιστικό εκατοστιαίο ποσοστό του κλάσματος του διερχόμενου βάρους του αρχικού δείγματος.

Οι κυριότερες στατιστικές παράμετροι του μεγέθους των κόκκων, που έχουν εκτεταμένη χρήση είναι αυτές που προτάθηκαν από τον Folk (1974) και στηρίζονται στην γραφική απεικόνιση της αθροιστικής καμπύλης. Αυτές είναι:

Επικρατούσα τιμή διαμέτρου (Md): Είναι η τιμή της διαμέτρου, που αντιστοιχεί στο ποσοστό κόκκων με τη μεγαλύτερη εμφάνιση. Αντιστοιχεί στην αθροιστική συχνότητα του 50% και υποδηλώνει ότι οι μισοί κόκκοι του δείγματος έχουν μικρότερη και οι άλλοι μεγαλύτερη διάμετρο.

$$Md = Fd(d50)$$

Γραφική μέση τιμή (Graphic Mean) (Mz): Αφορά τη γενική και αντιπροσωπευτική εικόνα του ιζήματος ως προς το μέγεθος των κόκκων, χαρακτηρίζοντας το δείγμα ως λεπτομερέστερο ή αδρομερέστερο σε σχέση με κάποιο άλλο.

$$Mz = \frac{\phi 16 + \phi 50 + \phi 84}{3}$$

Αποκλειστική γραφική σταθερά απόκλισης (Inclusive Graphic Standard Deviation) (σ_I): Εκφράζει το βαθμό ταξινόμησης των κοκκομετρικών μεγεθών μέσα σε ένα δείγμα ιζήματος και επομένως εκφράζει την ομοιογένειά του. Η σταθερά απόκλισης σπάνια μπορεί να ξεπεράσει την τιμή 10.

$$\sigma_I = \frac{\phi 84 - \phi 16}{4} + \frac{\phi 95 - \phi 5}{6,6}$$

Αποκλειστική γραφική λοξότητα (ασυμμετρία) (Inclusive Graphic Skewness) (S_{KI}): Εκφράζει το βαθμό της ασυμμετρίας των αθροιστικών καμπυλών των δειγμάτων του

ιζήματος, χαρακτηρίζοντας τη μη κανονικότητα μιας κατανομής των κλασμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης. Έτσι, για μια απολύτως συμμετρική καμπύλη ισχύει $S_{KG}=0$, όταν υπερτερούν τα λεπτόκοκκα $S_{KG}>0$, ενώ όταν υπερτερούν τα χονδρόκοκκα των λεπτόκοκκων $S_{KG}<0$. Επομένως, απομακρυνόμενοι από το μηδέν (0), αυξάνεται η ασυμμετρία του δείγματος, με μέγιστες τιμές αυτών των -1 και +1, ενώ σπάνια ξεπερνούν το -0,8 και το +0,8.

$$Sk_I = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

Γραφική Κύρτωση (Graphic Kurtosis) (K_G): Εκφράζει το βαθμό ταξινόμησης μεταξύ του κεντρικού τμήματος της αθροιστικής καμπύλης και των άκρων της. Αν το κεντρικό τμήμα παρουσιάζει καλύτερη ταξινόμηση από ότι οι άκρες, τότε η καμπύλη παρουσιάζει σαφή ανύψωση και λέγεται λεπτόκυρτη. Στην αντίθετη περίπτωση, η καμπύλη παρουσιάζεται αρκετά επίπεδη και λέγεται πλατύκυρτη. Εάν δε η καμπύλη είναι έντονα πλατύκυρτη, τότε έχουμε να κάνουμε με δείγμα όπου εμφανίζονται δυο επικρατούσες διάμετροι (M_o).

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

Στον Πίνακα 3.2 αναλύονται τα εύρη τιμών των παραμέτρων σ_I , S_{KI} και K_G , με βάση τα οποία προκύπτουν οι χαρακτηρισμοί των ιζημάτων, που αναλύονται, ως προς αυτές.

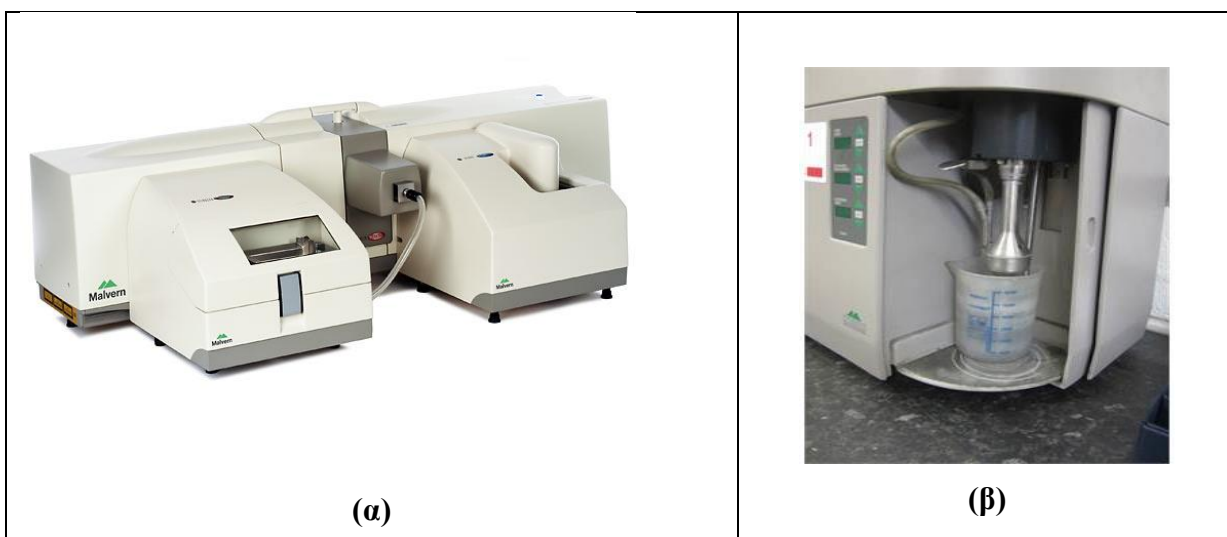
Πίνακας 3.2: Ταξινόμηση στατιστικών παραμέτρων (Folk, 1980).

Στατιστική Παράμετρος	Εύρος τιμών	Χαρακτηρισμός
Τυπική απόκλιση - Ταξινόμηση (σ_I)	<0,35	Πολύ καλή
	0,35-0,5	Καλή
	0,5-0,71	Σχετικά καλή
	0,71-1,0	Μέτρια
	1,0-2,0	Φτωχή
	2,0-4,0	Πολύ φτωχή
	>4,0	Εξαιρετικά φτωχή
Λοξότητα (S_{KI})	από ($\pm 1,0$) μέχρι ($\pm 0,3$)	Έντονη λοξότητα λεπτόκοκκου (+), χονδρόκοκκου (-) υλικού
	από ($\pm 0,3$) μέχρι ($\pm 0,1$)	Απλή λοξότητα λεπτόκοκκου (+), χονδρόκοκκου (-) υλικού
	από (+0,1) μέχρι (-0,1)	Περίπου συμμετρική κατανομή
Κύρτωση (K_G)	<0,67	Πολύ πλατύκυρτο
	0,67-0,9	Πλατύκυρτο
	0,9-1,11	Μεσόκυρτο
	1,11-1,5	Λεπτόκυρτο
	1,5-3	Πολύ λεπτόκυρτο
	>3	Εξαιρετικά λεπτόκυρτο

3.2.2 Δεδομένα κοκκομετρίας

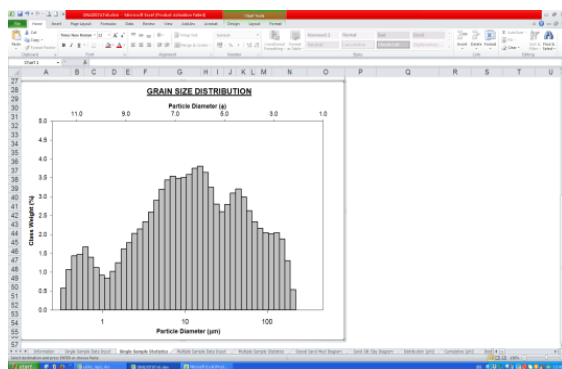
Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των κοκκομετρικών κλάσεων της άμμου (υλικό με διάμετρο μεγαλύτερη από 0,063 mm) και της αργίλου και της ιλύος (υλικά με διάμετρο μικρότερη από 0,063 mm) συλλέχθηκε δείγμα περίπου ενός εκατοστού ανά δέκα εκατοστά κατά μήκος του κάθε πυρήνα από τις θέσεις δειγματοληψίας EL2, EL3, EL4, EL6, EL7, N1, N2, S3, S8, S11, S13, S16, S22, UN4, UN6, UN11 και UN12A και τοποθετήθηκε σε γυάλινα δοχεία. Στη συνέχεια, μετρήθηκε το βάρος των δειγμάτων σε ζυγό ακριβείας μηδενίζοντας προηγουμένως το βάρος του γυάλινου δοχείου. Στα δείγματα, που περιείχαν κοχύλια, το βάρος των κοχυλίων μετρήθηκε ξεχωριστά. Καθένα από τα δείγματα διαλύθηκε σε 100 ml διαλύματος Calgon και διατηρήθηκε εκεί για τουλάχιστον 24 ώρες ανάλογα με τον όγκο του δείγματος. Η χρήση του διαλύματος Calgon έχει ως στόχο την αποφυγή φαινομένων κροκίδωσης στο τελικό διάλυμα λειτουργώντας ως διασκορπιστικό μέσο. Με το πέρας του 24ώρου το κάθε διάλυμα αναδεύτηκε και μεταφέρθηκε σε φιαλίδια των 100 ml.

Οι κοκκομετρικές μετρήσεις έγιναν με τη χρήση του μηχανήματος Mastersizer 2000 της Υδρογραφικής Υπηρεσίας Πολεμικού Ναυτικού (Σχήμα 3.5α). Πρόκειται για έναν αναλυτή μεγέθους σωματιδίων μέσω της διάθλασης του φωτός, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το λογισμικό ενός υπολογιστή. Πιο συγκεκριμένα, μικρή ποσότητα ξηρού δείγματος προστέθηκε σε ένα δοχείο με απιονισμένο νερό (Σχήμα 3.5β), που στη συνέχεια τοποθετήθηκε στο μηχάνημα για να ξεκινήσει η μέτρηση. Οι κοκκομετρικές μετρήσεις έγιναν με τη χρήση του μηχανήματος Mastersizer 2000 της Υδρογραφικής Υπηρεσίας Πολεμικού Ναυτικού (Σχήμα 3.7α). Πρόκειται για έναν αναλυτή μεγέθους σωματιδίων μέσω της διάθλασης του φωτός, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το λογισμικό ενός υπολογιστή. Πιο συγκεκριμένα, μικρή ποσότητα ξηρού δείγματος προστέθηκε σε ένα δοχείο με απιονισμένο νερό (Σχήμα 3.7β), που στη συνέχεια τοποθετήθηκε στο μηχάνημα για να ξεκινήσει η μέτρηση.

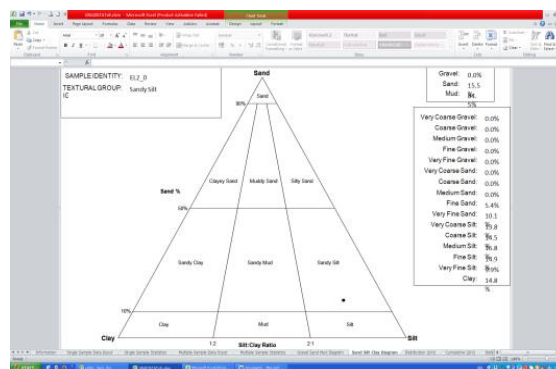


Σχήμα 3.7: (α) Μηχάνημα Mastersizer 2000 (www.malvern.com), (β) Ανάλυση ξηρού δείγματος.

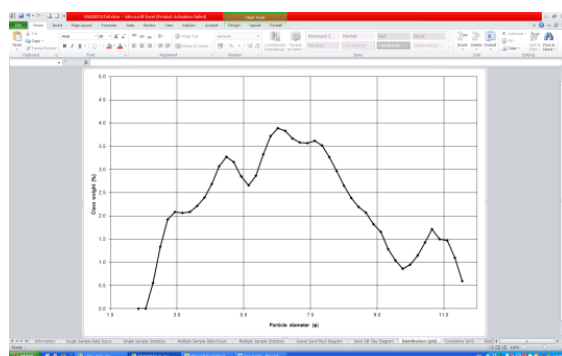
Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης οι τιμές των μετρήσεων εξάγονταν στην οθόνη του υπολογιστή προβεβλημένες σε ιστογράμμο (Σχήμα 3.8α), διάγραμμα άμμου-αργίλου-ιλύος Folk (1974) (Σχήμα 3.8β) καθώς και σε καμπύλη συχνότητας και αθροιστική καμπύλη σε γραμμική κλίμακα (Σχήμα 3.8γ,δ) και τις αντίστοιχες σε ημιλογαριθμική κλίμακα (Σχήμα 3.8ε,στ).



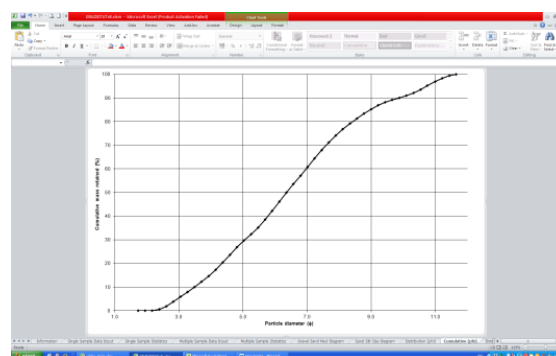
(α)



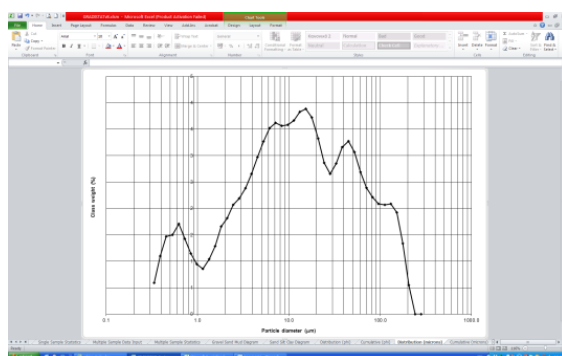
(β)



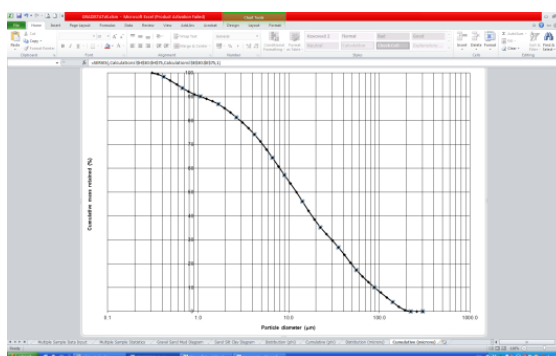
(γ)



(δ)



(ε)



(στ)

Σχήμα 3.8: Διαγράμματα ανάλυσης δειγμάτων: (α) Ιστογράμμο ποσοστού βάρους – διαμέτρου κόκκων (ϕ και μm), (β) Διάγραμμα άμμου-αργίλου-ιλύος Folk (1974), (γ) καμπύλη συχνότητας βάρους (%) – διαμέτρου ϕ σε γραμμική κλίμακα, (δ) αθροιστική καμπύλη συνολικού βάρους (%) – διαμέτρου ϕ σε γραμμική κλίμακα, (ε) καμπύλη συχνότητας βάρους (%) – διαμέτρου μm σε ημιλογαριθμική κλίμακα, (στ) αθροιστική καμπύλη συνολικού βάρους (%) – διαμέτρου μm σε ημιλογαριθμική κλίμακα.

3.2.3 Δεδομένα αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού (SPM)

Σε 18 θέσεις του Σαρωνικού κόλπου (S3, EL2, EL3, EL4, EL6, EL7, S2, UN4, UN6, UN5, MOT16, MOT16A, MOT13A, UN11, UN6A, UN13, S22, UN12A) συλλέχθηκαν δείγματα νερού, στα οποία μετρήθηκε το αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό. Αναλυτικότερα, αυτά τα δείγματα διηθήθηκαν από προζυγισμένους ηθμούς μεγέθους 0,45 μm. Μετά τη διήθηση, οι ηθμοί τοποθετήθηκαν σε τρυβλία Petri και αυτά σε ξηραντήρα. Ζυγίζονταν επαναλαμβανόμενα μέχρι επίτευξης σταθερού βάρους σε αναλυτικό ζυγό 4 ή 5 δεκαδικών. Το αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό υπολογίστηκε από το λόγο του ξηρού υλικού σε mg, που συγκρατήθηκε πάνω στους ηθμούς προς τον όγκο του δείγματος, που διηθήθηκε από τους ηθμούς κάθε φορά (Aston, 1985).

3.2.4 Δεδομένα CTD

Η επεξεργασία των δεδομένων, που συλλέχθηκαν από το CTD στα σημεία δειγματοληψίας EL2, EL3, EL4, EL6, EL7, MOT13A, MOT16A, N1, S2, S3, UN12A, S22, UN4, UN5, UN6, UN11, UN13 έγινε με τη χρήση του προγράμματος Ocean Data View (ODV). Πρόκειται για ένα πρόγραμμα υπολογιστή, το οποίο επιτρέπει τη γραφική απεικόνιση ωκεανογραφικών και άλλων γεωγραφικών δεδομένων προφίλ, τροχιάς ή χρονοσειράς και βασίζεται στον κώδικα λογισμικού C++, που είναι διαθέσιμο για συστήματα Windows, Mac OS, Linux και UNIX. Το ODV επιτρέπει στο χρήστη να συντηρεί και να αναλύει πολύ μεγάλα σύνολα δεδομένων ανεξάρτητα από την πλατφόρμα και μπορούν να ανταλλάσσονται μεταξύ όλων των υποστηριζόμενων συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, μπορούν να παραχθούν διάφοροι τύποι γραφικών και να απεικονισθούν πρωτότυπα κλιμακωτά και διανυσματικά δεδομένα. Ακόμη, υπάρχει δυνατότητα επιλογής μεταξύ τριών διαφορετικών αλγορίθμων πλέγματος, παρέχοντας εκτιμήσεις για τα αυτόματα δημιουργούμενα πλέγματα.

Οι μετρήσεις του CTD μετατράπηκαν σε μορφή τέτοια μέσω του Excel ώστε να αναγνωρίζονται από το πρόγραμμα και απεικονίσθηκαν σε κατακόρυφες και οριζόντιες κατανομές αλατότητας, θερμοκρασίας, ανωμαλίας πυκνότητας, εκπομπής ακτινοβολίας, φθορισμού και συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου. Επιπλέον, τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία διαγραμμάτων δυνητικής θερμοκρασίας – αλατότητας – βάθους με προβολή των ισόπυκνων καμπυλών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ

Στον Πίνακα 4.1 δίνονται τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης, που αφορά τη σύνθεση των δειγμάτων σε άμμο-ιλύ-άργιλο, το χαρακτηρισμό (υφή) τους σύμφωνα με την ονοματολογία του Folk (1974) καθώς και τις στατιστικές παραμέτρους, τη γραφική μέση τιμή κόκκων (M_z), την αποκλειστική γραφική σταθερά απόκλισης (σ_i), την αποκλειστική γραφική λοξότητα (S_{KI}) και τη γραφική κύρτωση (K_G) τους.

Πίνακας 4.1: Κοκκομετρική σύσταση, υφή (κατά Folk, 1974), γραφική μέση τιμή (M_z), αποκλειστική γραφική σταθερά απόκλισης (σ_i), αποκλειστική γραφική λοξότητα (S_{KI}) και γραφική κύρτωση (K_G) των επιφανειακών ιζημάτων.

Θέση	Άμμος (%)	Ιλύς (%)	Άργιλος (%)	Υφή	M_z (φ)	σ_i (φ)	S_{KI} (φ)	K_G (φ)
EL2	15,5	69,9	14,8	sM	6,42	2,38	0,08	0,97
EL3	9,9	77,4	12,6	M	6,61	2,10	0,07	1,27
EL4	14,8	71,5	13,6	sM	6,44	2,31	0,04	1,03
EL6	17,5	70,1	12,4	sM	6,25	2,39	-0,01	1,06
EL7	20,4	69,9	9,6	sM	5,87	2,32	0,03	1,07
UN4	23,2	63,0	13,9	sM	6,01	2,53	0,14	0,92
UN6	1,5	75,5	23,0	M	7,74	1,85	0,16	1,03
UN11	1,7	74,4	23,9	M	7,71	1,95	0,11	1,00
N1	40,2	49,7	10,0	sM	5,17	2,49	0,42	0,88
S13	45,5	44,0	10,6	sM	5,14	2,63	0,40	0,76
S3	21,8	63,1	15,1	sM	6,15	2,50	0,18	0,88
S8	7,0	78,8	14,2	M	6,61	2,09	0,18	1,02
S11	27,7	57,6	14,6	sM	6,04	2,67	0,02	0,78
S16	44,9	45,6	9,5	sM	5,01	2,56	0,41	0,83
S22	64,6	28,7	6,5	sM	4,18	2,36	0,75	0,87
UN12A	7,3	75,7	17,0	M	6,89	2,17	0,11	1,06
N2	26,4	60,1	13,5	sM	5,94	2,56	0,15	0,85

Τα ποσοστά άμμου των συλλεχθέντων επιφανειακών ιζημάτων του Σαρωνικού κόλπου κυμαίνονται από 1,5% ως 64,6%, με το μικρότερο ποσοστό να μετράται στο δείγμα UN6 από το Δυτικό κόλπο και το μεγαλύτερο στο S22 από τη Νότια (Εξωτερική) υποπεριοχή του κόλπου. Ακόμη, το δείγμα S22 εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές σε ιλύ και άργιλο (28,7% και 6,5% αντίστοιχα) ενώ οι μεγαλύτερες τιμές τους παρουσιάζονται στο Βόρειο (Εσωτερικό) κόλπο (78,8% στη θέση S8) και στη νότια πλευρά του Δυτικού κόλπου (23,9% στο δείγμα UN11 αντίστοιχα).

Αναλυτικότερα, τα δείγματα από τον κόλπο της Ελευσίνας (EL2, EL3, EL4, EL6 και EL7) αποτελούνται από άμμο σε ποσοστό μεταξύ 9,9% στη θέση EL3 και 20,4% στη θέση EL7, με αυτό το δείγμα να περιέχει τη λιγότερη ιλύ (69,9%) μαζί με το δείγμα από τη θέση

EL2 ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό ιλύος μετράται αντίστοιχα στο δείγμα EL3 (77,4%). Η μικρότερη ποσότητα αργίλου περιέχεται στο δείγμα EL7 με ποσοστό 9,6% ενώ η μεγαλύτερη παρουσιάζεται στο δείγμα EL2 (14,8%).

Τα δείγματα, που συλλέχθηκαν από το Δυτικό κόλπο (UN4, UN6, UN11 και N1) περιέχουν άμμο σε ποσοστό από 1,5% ως 40,2% με τη χαμηλότερη τιμή να μετράται στο δείγμα UN6 και την υψηλότερη στο N1 ενώ η κατανομή της ιλύος είναι αντίστροφη καθώς το μικρότερο ποσοστό της παρατηρείται στο δείγμα από τη θέση N1 (49,7%) και το μεγαλύτερο σε αυτό από τη θέση UN6 (75,5%). Επιπλέον, το ποσοστό της αργίλου έχει τη μικρότερη τιμή του 10% στο δείγμα N1 και τη μεγαλύτερη 23,9% στο δείγμα από τη θέση UN11.

Τα ποσοστά άμμου στα δείγματα του Βόρειου (Εσωτερικού) κόλπου (S3, S8 και S11) κυμαίνονται από 7% στο δείγμα S8 ως 27,7% στο δείγμα S11, με το τελευταίο δείγμα να παρουσιάζει το χαμηλότερο ποσοστό σε ιλύ με τιμή 57,6% και το δείγμα S8 το υψηλότερο με τιμή 78,8%. Το δείγμα S8 περιέχει τη λιγότερη άργιλο με ποσοστό 14,2% ενώ η περισσότερη περιέχεται στο δείγμα από τη θέση S3 με ποσοστό 15,1%. Ωστόσο, το δείγμα από τη θέση S13, που βρίσκεται στο όριο του Δυτικού και Βόρειου (Εσωτερικού) κόλπου έχει το μεγαλύτερο ποσοστό άμμου (45,5%) και το μικρότερο ποσοστό ιλύος (44%) από όλα τα αντίστοιχα ποσοστά των δειγμάτων από τις δύο αυτές υποπεριοχές δειγματοληψίας του Σαρωνικού κόλπου.

Στα δείγματα του Νότιου (Εξωτερικού) κόλπου (S22, UN12A και N2) η άμμος εμφανίζεται σε ποσοστά μεταξύ 7,3% στη θέση UN12A και 64,6% στη θέση S22. Αντίστροφα, η ιλύς και η άργιλος παρουσιάζουν τα χαμηλότερα ποσοστά τους 28,7% και 6,5% αντίστοιχα στο δείγμα S22 και τα υψηλότερά τους 75,7% και 17% στο δείγμα της θέσης UN12A. Το δείγμα S16, που συλλέχθηκε από οριακή θέση μεταξύ του Βόρειου (Εσωτερικού) και Νότιου (Εξωτερικού) κόλπου χαρακτηρίζεται από ενδιάμεσες τιμές ποσοστών άμμου, ιλύος και αργίλου συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές των δειγμάτων αυτών των δύο υποπεριοχών του κόλπου.

Με βάση την ταξινόμηση Folk, 1974, ο μεγαλύτερος αριθμός των ιζημάτων (EL2, EL4, EL6, EL7, UN4, N1, S13, S3, S11, S16, S22, N2), που συλλέχθηκαν από τις τέσσερις υποπεριοχές του Σαρωνικού, αντιστοιχεί σε αμμούχο πηλό (sM) και τα υπόλοιπα (EL3, UN6, UN11, S8, UN12A) σε πηλό (M), με δύο από αυτά (UN6 και UN11) να προέρχονται από το Δυτικό κόλπο.

Η χαμηλότερη τιμή M_z (4,18 ϕ) ανήκει στο δείγμα S22 του Νότιου (Εξωτερικού) κόλπου, ενώ την υψηλότερη τιμή (7,74 ϕ) έχει το δείγμα UN6 από το Δυτικό κόλπο, το οποίο μαζί με το δείγμα UN11 από την ίδια υποπεριοχή του κόλπου παρουσιάζουν φτωχή ταξινόμηση με τιμές σ_i μεταξύ 1,0 και 2,0 ϕ . Ωστόσο, η ταξινόμηση όλων των άλλων δειγμάτων εμφανίζοντας τιμές από 2,0 ϕ έως 4,0 ϕ χαρακτηρίζεται ως πολύ φτωχή, γεγονός που δείχνει ένα αδύναμο υδροδυναμικό καθεστώς. Επιπρόσθετα, οι υπολογισμοί της αποκλειστικής γραφικής λοξότητας δείχνουν ότι οι τιμές S_{KI} στα συλλεχθέντα ιζήματα κυμαίνονται από -0,01 ϕ έως 0,75 ϕ , που αντιστοιχούν σε σχεδόν συμμετρικά ιζήματα και ιζήματα με θετική και πολύ θετική λοξότητα με την αρνητική τιμή να συναντάται στο δείγμα EL6 από τον κόλπο της Ελευσίνας και τη μεγαλύτερη τιμή στο S22 από το Νότιο (Εξωτερικό) κόλπο. Τέλος, τα δείγματα θεωρούνται πλατύκυρτα ή μεσόκυρτα, καθώς η γραφική κύρτωσή

τους K_G υπολογίζεται από 0,67 φ έως 1,11 φ με εξαίρεση το δείγμα EL3 από τον κόλπο της Ελευσίνας, που χαρακτηρίζεται ως λεπτόκυρτο έχοντας τιμή K_G 1,27 φ.

Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές M_z των δειγμάτων από τον κόλπο της Ελευσίνας κυμαίνονται από 5,87 φ στο ίζημα της θέσης EL7 έως 6,61 φ του ιζήματος EL3. Με βάση τις τιμές σ_I τους τα δείγματα έχουν πολύ φτωχή ταξινόμηση με το δείγμα από τη θέση EL3 να εμφανίζει τη χαμηλότερη τιμή 2,10 φ και το δείγμα EL6 την υψηλότερη 2,39 φ. Τα ιζήματα του κόλπου της Ελευσίνας είναι σχεδόν συμμετρικά σύμφωνα με τις τιμές S_{KI} τους με τη μικρότερη τιμή -0,01 φ να υπολογίζεται στο δείγμα EL6 και η μεγαλύτερη 0,08 φ στο δείγμα EL2. Οι τιμές K_G κατατάσσουν τα δείγματα στα μεσόκυρτα με το ίζημα EL2 να παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή 0,97 φ και το δείγμα EL7 με τιμή 1,07 φ την υψηλότερη. Εξαιρείται, ωστόσο, το δείγμα της θέσης EL3, στο οποίο η τιμή K_G υπολογίζεται 1,27 φ και χαρακτηρίζεται λεπτόκυρτο.

Τα δείγματα του Δυτικού κόλπου παρουσιάζουν τιμές M_z μεταξύ 5,17 φ και 7,74 φ με τη μικρότερη τιμή να υπολογίζεται στο ίζημα N1 και η μεγαλύτερη στο ίζημα της θέσης UN6. Οι μετρήσεις των τιμών σ_I των ιζημάτων δείχνουν ότι η ταξινόμηση των μισών δειγμάτων από το Δυτικό κόλπο (UN6 και UN11) είναι φτωχή με τιμές 1,85 φ και 1,95 φ αντίστοιχα και των άλλων μισών (UN4 και N1) πολύ φτωχή καθώς έχουν τιμές 2,53 φ και 2,49 φ αντίστοιχα. Παρατηρώντας τις τιμές των S_{KI} των ιζημάτων, τα περισσότερα δείγματα (UN4, UN6 και UN11) έχουν θετική λοξότητα με τη χαμηλότερη τιμή 0,11φ στο δείγμα UN11 και την υψηλότερη 0,16 φ στο UN6. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα της θέσης N1, του οποίου η λοξότητα είναι πολύ θετική αφού έχει τιμή S_{KI} 0,42 φ. Με βάση τις μετρήσεις K_G των δειγμάτων τα ιζήματα UN4, UN6 και UN11 κατατάσσονται στην κατηγορία των μεσόκυρτων με τη μικρότερη τιμή 0,92 φ να υπολογίζεται στο δείγμα UN4 και η μεγαλύτερη 1,03 φ στο UN6. Εξαιρείται και πάλι το δείγμα N1 καθώς η τιμή K_G του είναι 0,88 φ και κατατάσσεται στα πλατύκυρτα.

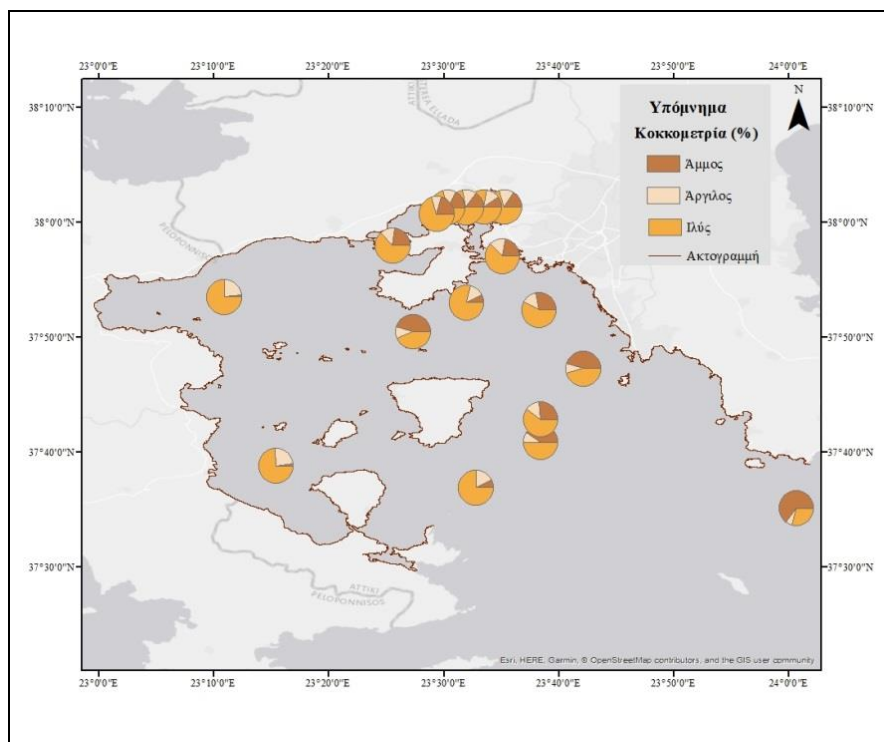
Τα δείγματα του Βόρειου (Εσωτερικού) κόλπου έχουν τιμές M_z από 6,04 φ στη θέση S11 έως 6,61 φ στη θέση S8. Η ταξινόμηση των ιζημάτων χαρακτηρίζεται ως πολύ φτωχή καθώς οι τιμές σ_I μετρώνται μεταξύ 2,09 φ στο δείγμα S8 και 2,67 φ στο δείγμα της θέσης S11. Οι τιμές S_{KI} των ιζημάτων, που συλλέχθηκαν από το Βόρειο (Εσωτερικό) κόλπο είναι 0,02 φ και 0,18 φ, με την πρώτη τιμή να παρουσιάζεται στο δείγμα S11 και η δεύτερη στα άλλα δύο δείγματα (S3 και S8). Έτσι, το ίζημα S11 είναι σχεδόν συμμετρικό ενώ η λοξότητα των ιζημάτων από τις θέσεις S3 και S8 θετική. Οι υπολογισμοί των τιμών K_G των δειγμάτων δείχνουν ότι τα ιζήματα S11 και S3 κατατάσσονται στα πλατύκυρτα με τιμές 0,78 φ και 0,88 φ αντίστοιχα και το δείγμα S8 με τιμή K_G 1,02 φ στα μεσόκυρτα. Το ίζημα S13 από το όριο του Δυτικού και Βόρειου (Εσωτερικού) κόλπου έχει τη μικρότερη τιμή M_z (5,14 φ) από τις αντίστοιχες τιμές όλων των δειγμάτων των δύο υποπεριοχών και πολύ φτωχή ταξινόμηση αφού η τιμή σ_I του μετράται 2,63 φ. Ακόμη, η τιμή S_{KG} αυτού του δείγματος 0,40 φ δείχνει ότι έχει πολύ θετική λοξότητα και ανήκει στα πλατύκυρτα με τιμή K_G 0,76 φ, που αποτελεί και τη χαμηλότερη συγκριτικά με τις τιμές K_G των δειγμάτων από τις δύο υποπεριοχές του κόλπου.

Οι τιμές M_z των ιζημάτων από το Νότιο (Εξωτερικό) κόλπο υπολογίζονται μεταξύ 4,18 φ στο δείγμα S22 και 6,89 φ στο UN12A. Όλα τα δείγματα αυτής της υποπεριοχής του Σαρωνικού χαρακτηρίζονται από πολύ φτωχή ταξινόμηση με τιμές σ_I από 2,17 φ ως 2,56 φ

στις θέσεις UN12A και N2 αντίστοιχα. Σύμφωνα με τις τιμές S_{KI} των δειγμάτων, η λοξότητα των δειγμάτων UN12A και N2 είναι θετική καθώς παρουσιάζουν τιμές 0,11 φ και 0,15 φ αντίστοιχα. Όμως το δείγμα S22 έχει πολύ θετική λοξότητα με τιμή 0,75 φ. Με βάση τις τιμές K_G , που υπολογίζονται για τα δείγματα τα ιζήματα των θέσεων S22 με τιμή 0,87 φ και N2 0,85 φ θεωρούνται πλατύκυρτα ενώ το δείγμα UN12A ανήκει στα μεσόκυρτα με τιμή 1,06 φ. Τέλος, το δείγμα S16 από την οριακή περιοχή του Βόρειου (Εσωτερικού) και Νότιου (Εξωτερικού) κόλπου έχει τιμή M_z 5,01 φ και πολύ φτωχή ταξινόμηση με τιμή σ_i 2,56 φ. Η λοξότητά του είναι πολύ θετική αφού η τιμή S_{KI} του υπολογίζεται 0,31 φ και κατατάσσεται στην κατηγορία των πλατύκυρτων με τιμή K_G 0,83 φ.

4.2 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

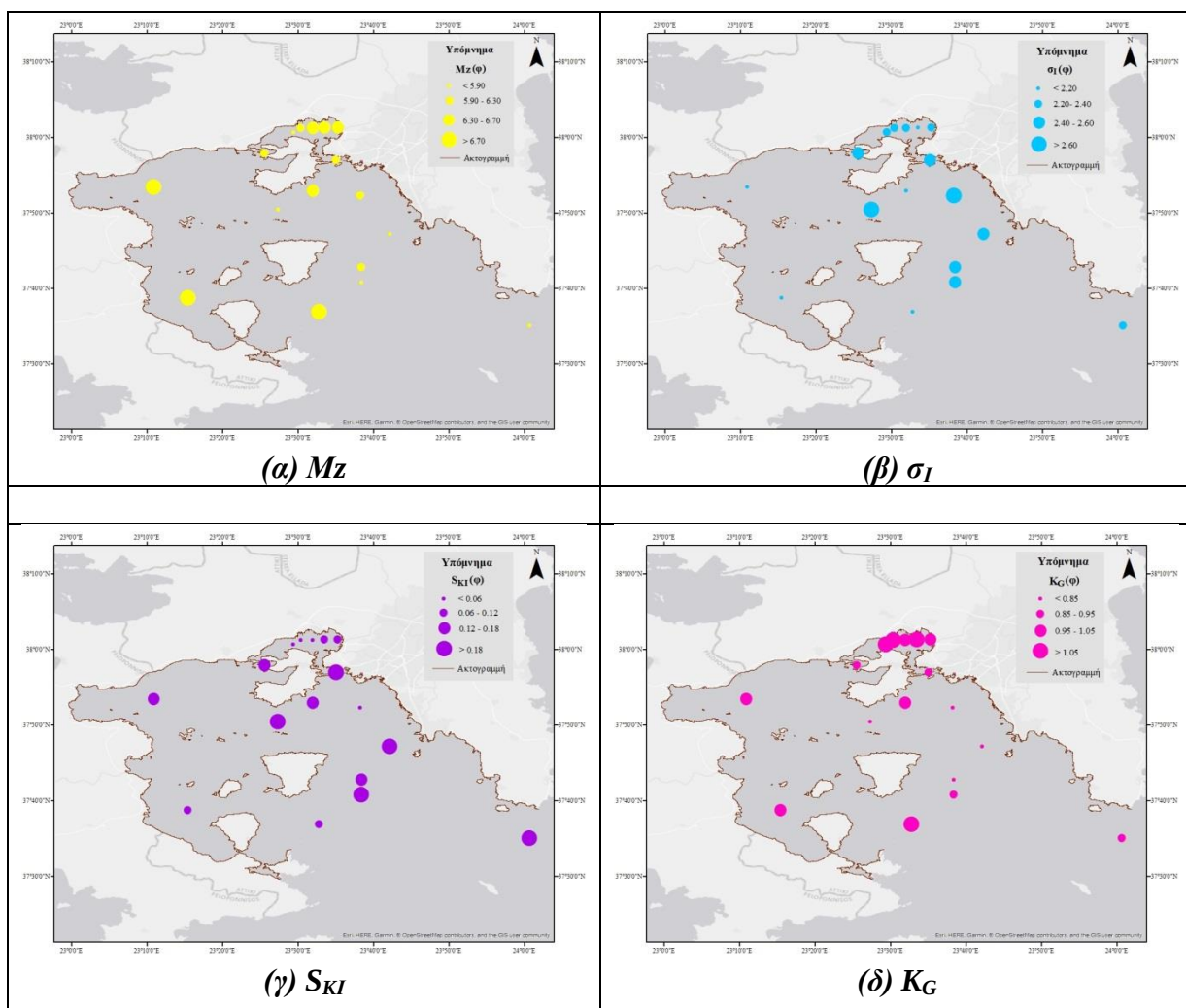
Αρχικά, τα αποτελέσματα της κοκκομετρίας των δειγμάτων επιφανειακών ιζημάτων, που συλλέχθηκαν, προβάλλονται σε χάρτη κατανομής των κλασμάτων τους (Σχήμα 4.2) και διαπιστώνουμε ότι το κλάσμα της ιλύος επικρατεί στα επιφανειακά ιζήματα του Σαρωνικού κόλπου. Εξαιρέση αποτελεί το δείγμα S22 από το Νότιο (Εξωτερικό) κόλπο, στο οποίο το κλάσμα της άμμου παρουσιάζεται σε μεγαλύτερο ποσοστό.



Σχήμα 4.2: Χάρτης κατανομής άμμου, αργίλου και ιλύος στο Σαρωνικό κόλπο.

Επιπλέον, κατασκευάζονται χάρτες κατανομής της γραφικής μέσης τιμής (M_z), της αποκλειστικής γραφικής σταθεράς απόκλισης (σ_i), της αποκλειστικής γραφικής λοξότητας (S_{KI}) και της γραφικής κύρτωσης (K_G) των αναλυμένων ιζημάτων. Παρατηρούμε ότι η M_z (Σχήμα 4.3α) των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές από μικρότερες των 5,90 φ μέχρι μεγαλύτερες

των 6,70 φ, με τις υψηλότερες να εμφανίζονται στο Δυτικό και Νότιο (Εξωτερικό) κόλπο. Η σ_I (Σχήμα 4.3β) κυμαίνεται από μικρότερες των 2,20 φ τιμές έως υψηλότερες των 2,60 φ με αυτές όλων των δειγμάτων του Δυτικού κόλπου να περιλαμβάνονται στη μικρότερη κλάση. Παρατηρούμε ότι η S_{KI} (Σχήμα 4.3γ) των δειγμάτων υπολογίζεται από μικρότερη των 0,06 φ ως μεγαλύτερη των 0,18 φ με τις χαμηλότερες τιμές της να ανήκουν σε δείγματα του κόλπου της Ελευσίνας. Τέλος, η K_G (Σχήμα 4.3δ) των δειγμάτων παρουσιάζει από μικρότερες των 0,85 φ μέχρι υψηλότερες των 1,05 φ τιμές με τα δείγματα του Βόρειου (Εσωτερικού) κόλπου να παρουσιάζουν τις χαμηλότερες.

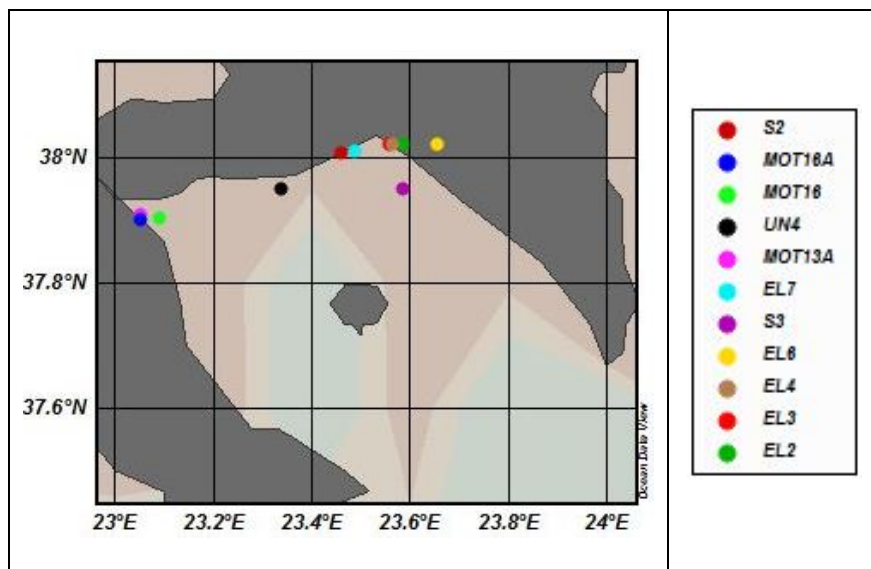


Σχήμα 4.3: Χάρτης κατανομής κοκκομετρικών παραμέτρων των επιφανειακών ιζημάτων του Σαρωνικού κόλπου: (α) Mz , (β) σ_I , (γ) S_{KI} , (δ) K_G .

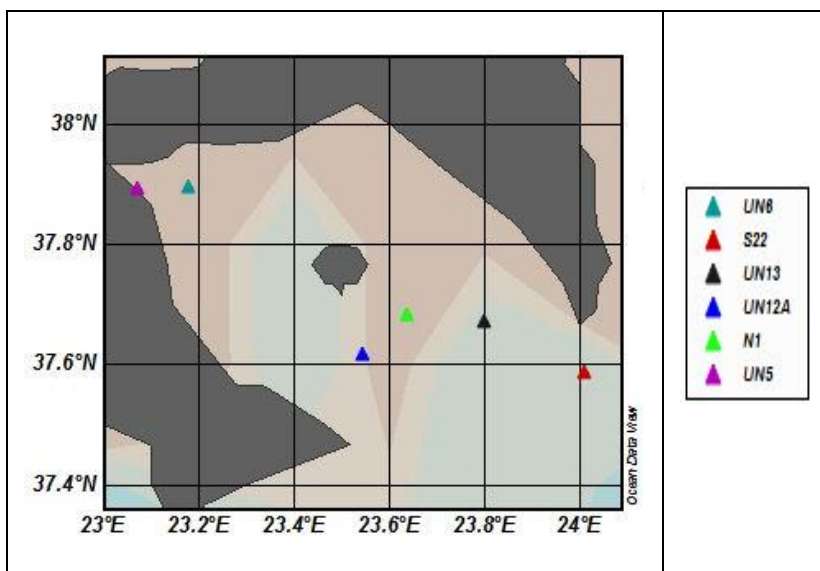
4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΗΛΗΣ ΝΕΡΟΥ

4.3.1 Δειγματοληψία Οκτωβρίου 2017

Οι μετρήσεις του CTD στις θέσεις δειγματοληψίας νερού, αφού μετατραπούν σε κατάλληλη μορφή αρχείου, εισάγονται στο πρόγραμμα Ocean Data View (ODV). Αρχικά, τα δεδομένα χωρίζονται σε αυτά, που αντιστοιχούν σε δείγματα νερού βάθους μέχρι 100 m (Σχήμα 4.4) και σε εκείνα, που περιλαμβάνουν τα δείγματα μέχρι το βάθος των 200 m (Σχήμα 4.5).

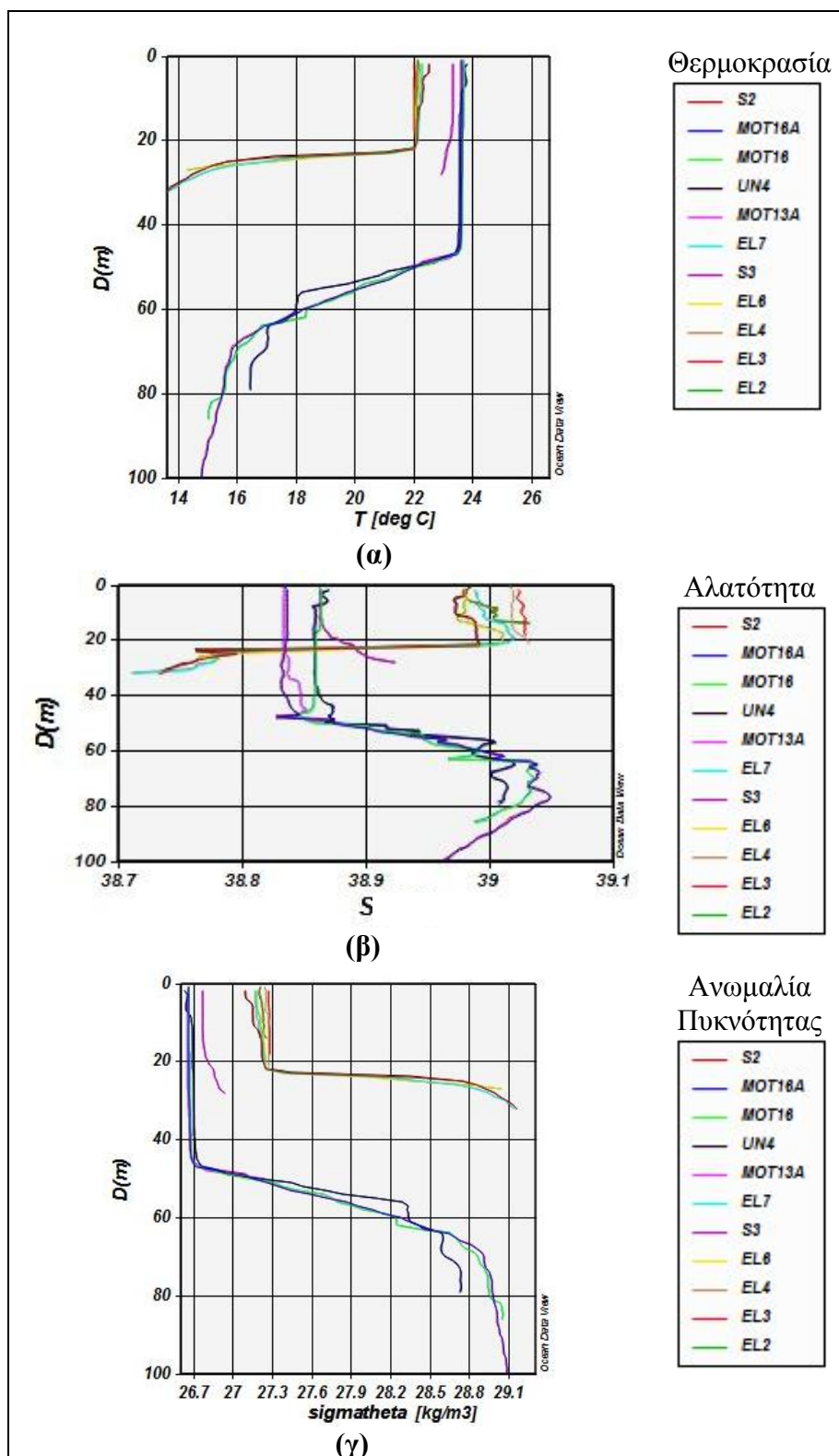


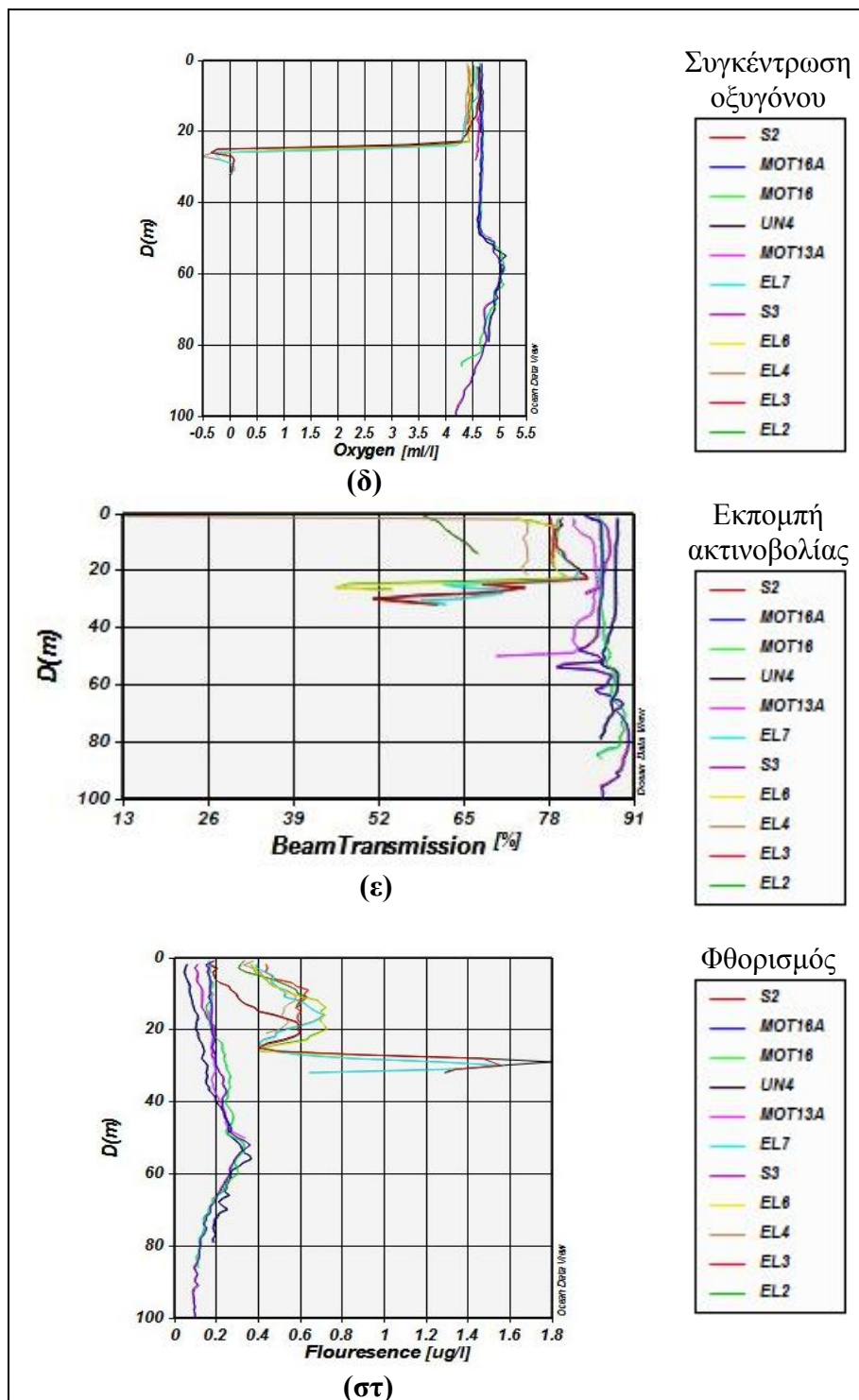
Σχήμα 4.4: Θέσεις μετρήσεων CTD σε δείγματα νερού μέχρι το βάθος των 100 m (Οκτώβρης 2017).



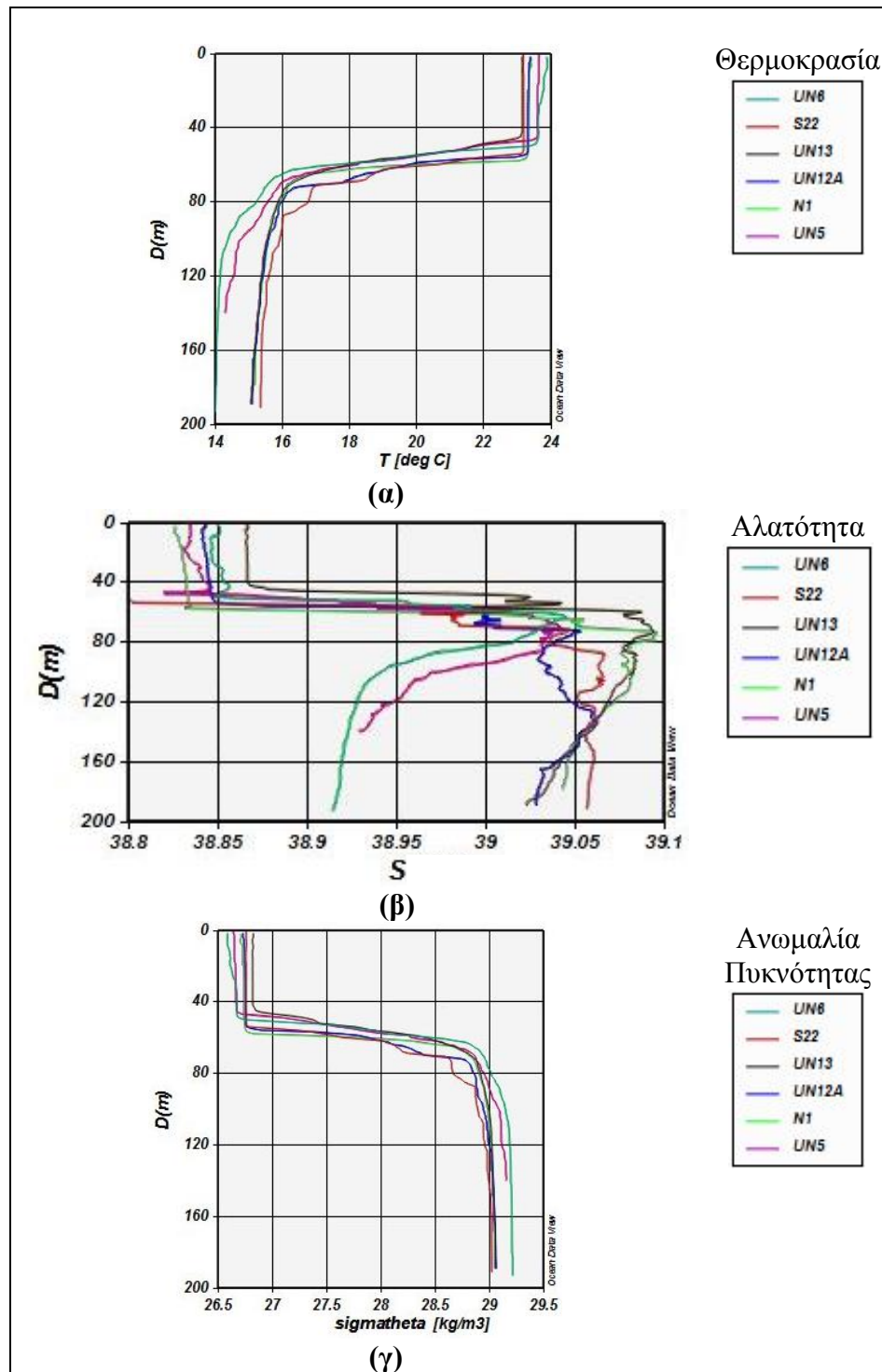
Σχήμα 4.5: Θέσεις μετρήσεων CTD σε δείγματα νερού μέχρι το βάθος των 200 m (Οκτώβρης 2017).

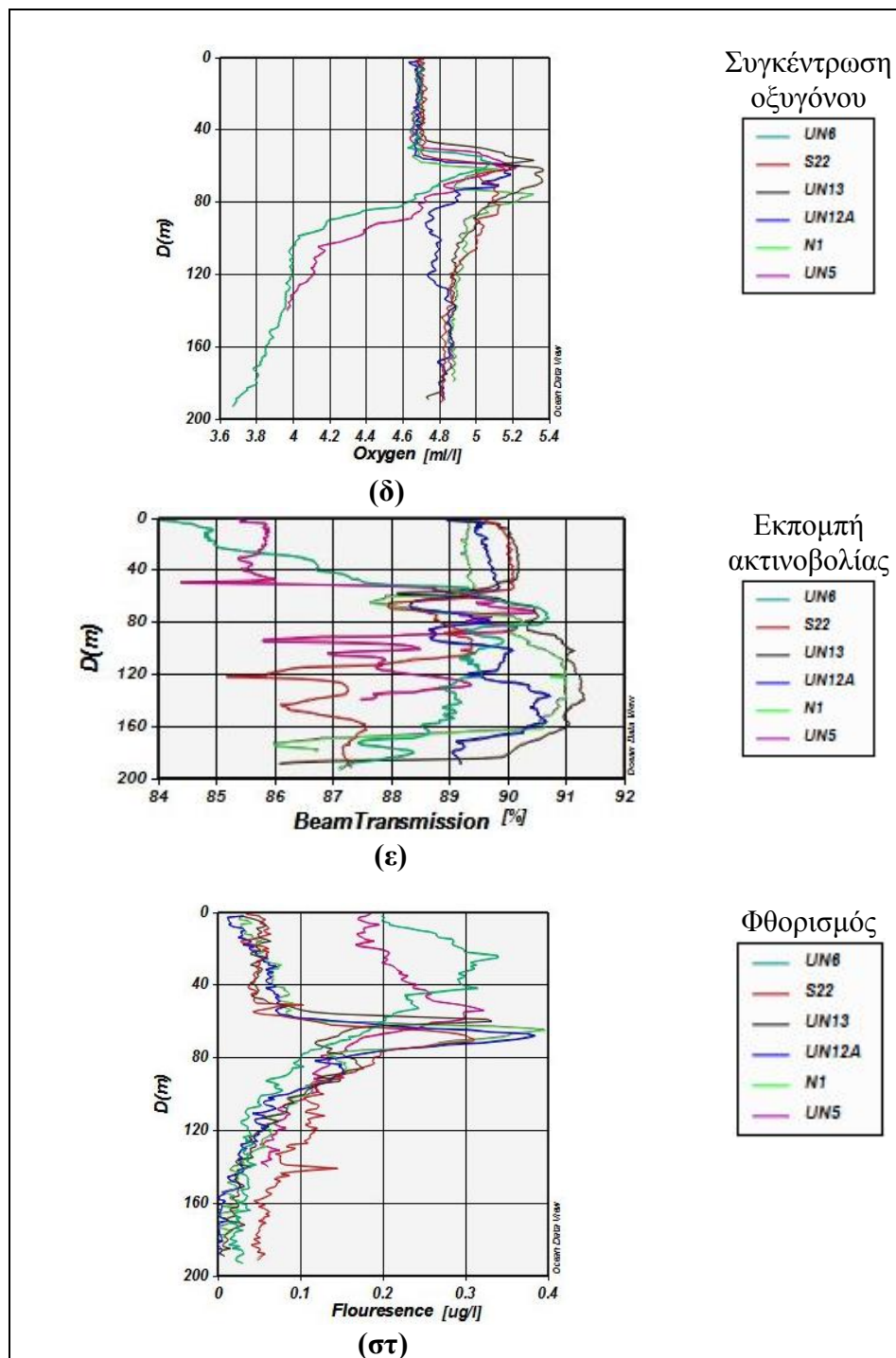
Τα διαγράμματα κατακόρυφων κατανομών της θερμοκρασίας, της αλατότητας, της ανωμαλίας πυκνότητας, της συγκέντρωσης του οξυγόνου, της εκπομπής ακτινοβολίας και του φθορισμού στα δείγματα των ρηχών και των βαθιών σταθμών δίνονται στα Σχήματα 4.6 (α-στ) και 4.7 (α-στ), αντίστοιχα.





Σχήμα 4.6: Διάγραμμα κατακόρυφης κατανομής (α) της θερμοκρασίας, (β) της αλατότητας, (γ) της ανωμαλίας πυκνότητας, (δ) της συγκέντρωσης του οξυγόνου, (ε) της εκπομπής ακτινοβολίας και (στ) του φθορισμού των δειγμάτων νερού βάθους μέχρι 100 m.





Σχήμα 4.7: Διάγραμμα κατακόρυφης κατανομής (α) της θερμοκρασίας, (β) της αλατότητας, (γ) της ανωμαλίας πυκνότητας, (δ) της συγκέντρωσης του οξυγόνου, (ε) της εκπομπής ακτινοβολίας και (στ) του φθορισμού των δειγμάτων νερού βάθους μέχρι 200 m.

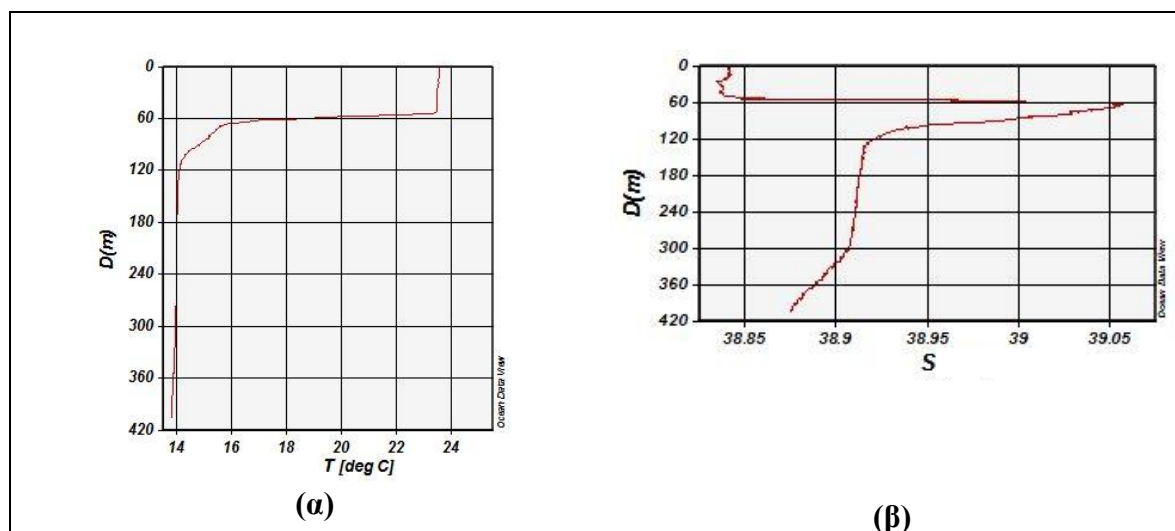
Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνουμε ότι τα δείγματα των ρηχών σταθμών (S2, MOT16A, MOT16, UN4, MOT13A, EL7, S3, EL6, EL4, EL3 και EL2) παρουσιάζουν παρόμοια κατακόρυφη κατανομή των παραμέτρων τους.

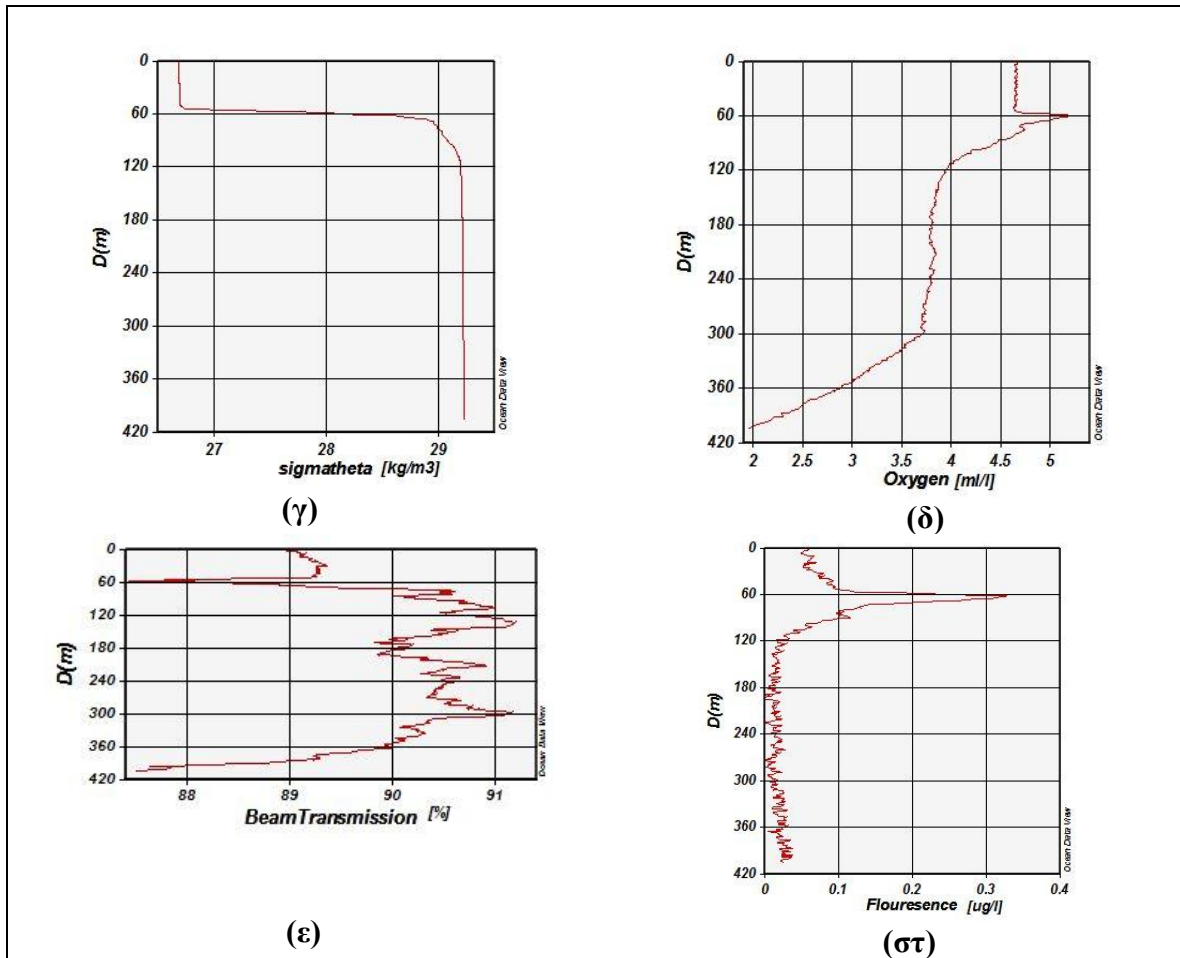
Πιο αναλυτικά, το κύριο θερμοκλινές και πυκνοκλινές βρίσκεται σε βάθος περίπου 55-60 m στους σταθμούς του Δυτικού κόλπου και γύρω στα 22 - 25 m περίπου μέσα στο κόλπο

της Ελευσίνας. Η αλατότητα των υδάτων του Δυτικού κόλπου κυμαίνεται από 38,8 ως 39,05 με την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται στον σταθμό MOT16A και η αλατότητα των δειγμάτων από τον κόλπο της Ελευσίνας μεταξύ 38,7 και 39,0 με τη χαμηλότερη τιμή να παρουσιάζεται στον σταθμό EL7. Η συγκέντρωση οξυγόνου εμφανίζει τιμές από 4,20 ml/l ως περίπου 5,10 ml/l με το νερό του σταθμού EL7 να έχει την ελάχιστη τιμή -0,50 ml/l. Η εκπομπή ακτινοβολίας στα δείγματα μετράται από 70% έως περίπου 90% στις περισσότερες θέσεις δειγματοληψίας με τα δείγματα όμως των σταθμών EL6, EL7 και S2 να εμφανίζουν χαμηλότερες ελάχιστες τιμές (47 - 60%) σε βάθος 20 - 40 m. Από αυτήν την κατανομή εξαιρείται επίσης, το δείγμα του σταθμού EL4, που έχει τιμή 14% περίπου, η οποία πιθανόν οφείλεται σε λάθος του οργάνου κατά την στιγμή της μέτρησης. Οι τιμές φθορισμού κυμαίνονται από 0,05 $\mu\text{g/l}$ ως περίπου 0,4 $\mu\text{g/l}$ στα νερά του Δυτικού κόλπου και μεταξύ 0,3 $\mu\text{g/l}$ και 0,8 $\mu\text{g/l}$ στα ύδατα του κόλπου της Ελευσίνας με το δείγμα από τον σταθμό S2 να ξεχωρίζει με την υψηλότερη τιμή 1,78 $\mu\text{g/l}$.

Τα δείγματα των βαθιών σταθμών (UN6, S22, UN13, UN12A, N1 και UN5), επίσης, παρουσιάζουν παρόμοια κατακόρυφη κατανομή των παραμέτρων τους εκτός από αυτή της εκπομπής ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα, στα διαγράμματα θερμοκρασίας και πυκνότητας είναι πάλι διακριτό το θερμοκλινές και το πυκνοκλινές αντίστοιχα στο βάθος των 55 - 60 m. Η αλατότητά τους μετράται από 38,8 ως 39,1 με το δείγμα S22 του Νότιου (Εξωτερικού) Σαρωνικού να εμφανίζει τη μικρότερη μέτρηση. Τα δείγματα περιέχουν οξυγόνο σε συγκεντρώσεις μεταξύ 4,70 ml/l και 5,40 ml/l περίπου με την τιμή ωστόσο να μειώνεται ακόμη περισσότερο στα δείγματα από το Δυτικό κόλπο UN6 και UN5 μετά το βάθος των 80 m συγκριτικά με τα υπόλοιπα (3,7 ml/l και σχεδόν 4 ml/l αντίστοιχα). Βλέπουμε ότι τα νερά δεν έχουν παρόμοιες τιμές εκπομπής ακτινοβολίας, οι οποίες ξεκινούν από 84% στον σταθμό UN6 του Δυτικού κόλπου και φθάνουν στο 91% στον σταθμό UN13 του Νότιου (Εξωτερικού) κόλπου. Επιπρόσθετα, ο φθορισμός κατανέμεται στα δείγματα με τιμές από 0 $\mu\text{g/l}$ / 1 ως 0,40 $\mu\text{g/l}$ με τα ύδατα από τους σταθμούς UN6 και UN5 να έχουν διαφορετικές τιμές στα πρώτα 40 m από τα υπόλοιπα δείγματα.

Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζονται οι κατακόρυφες τιμές των παραμέτρων της στήλης του νερού για το βαθύτερο (405 m) σταθμό UN11 στο Δυτικό Σαρωνικό κόλπο.





Σχήμα 4.8: Διάγραμμα κατακόρυφης κατανομής (α) της θερμοκρασίας, (β) της αλατότητας, (γ) της ανωμαλίας πυκνότητας, (δ) της συγκέντρωσης του οξυγόνου, (ε) της εκπομπής ακτινοβολίας και (στ) του φθορισμού του δείγματος νερού UN11.

Η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της ανωμαλίας πυκνότητας αυτού του δείγματος δείχνουν την παρουσία ενός έντονου θερμοκλινούς, αλοκλινούς και πυκνοκλινούς σε βάθος περίπου 60 m, το οποίο συνδυάζεται με την ύπαρξη ενός επιφανειακού αναμεμειγμένου στρώματος ανάλογου πάχους. Η μείωση των τιμών της θερμοκρασίας και της ανωμαλίας πυκνότητας συνεχίζεται με μικρότερο βαθμό μεταξύ των 70 και 120 m, όπου από το βάθος αυτό και βαθύτερα αυτές οι παράμετροι παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες μέχρι τον πυθμένα. Μικρή απόκλιση παρουσιάζει η αλατότητα, η οποία δείχνει μια περαιτέρω μείωση από το βάθος των 320 m περίπου μέχρι τον πυθμένα.

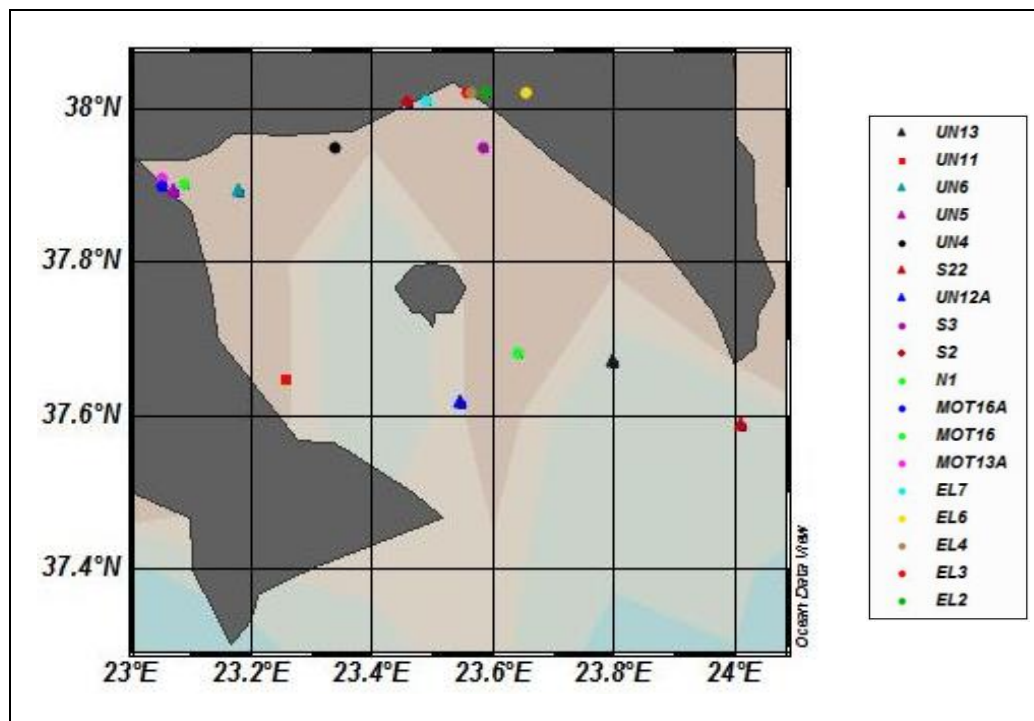
Η κατανομή της συγκέντρωσης του οξυγόνου αντιστοιχίζεται με τις κατανομές της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της πυκνότητας, έχοντας ομοιόμορφη τιμή εντός του επιφανειακού (αναμεμειγμένου) στρώματος, ακολούθως οι τιμές αυξάνονται λίγο στην έντονη ζώνη του πυκνοκλινούς (περίπου 60 m βάθος), για να ακολουθήσει η μείωση των συγκεντρώσεων μέχρι τα 120 m, όπου παρατηρείται και η μείωση της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της πυκνότητας. Από το βάθος αυτό και κάτω η συγκέντρωση του οξυγόνου συνεχίζει να μειώνεται όπως και οι τιμές της αλατότητας, για να φθάσει σε τιμές μικρότερες

των 2 ml/l κοντά στον πυθμένα, όταν οι δισοζίνες συνθήκες διαμορφώνονται σε συγκεντρώσεις οξυγόνου μικρότερες του 1 ml/l.

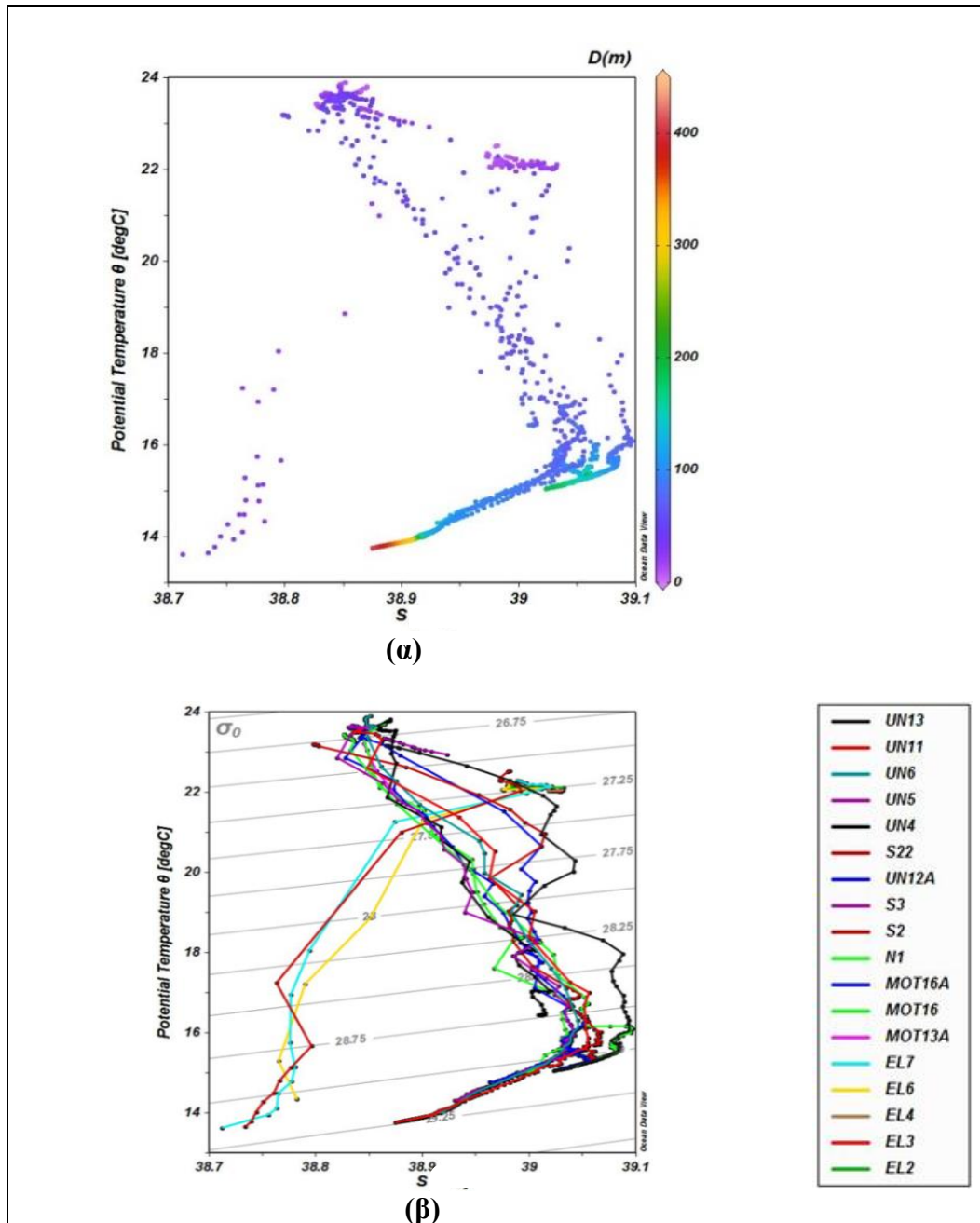
Η κατακόρυφη κατανομή της εκπομπής ακτινοβολίας δείχνει τις μεγαλύτερες τιμές μεταξύ των 60 και 300 m (παρά τις μεγάλες διακυμάνσεις), λίγο μικρότερες εντός του επιφανειακού στρώματος, σαφώς μειωμένες στο έντονο πυκνοκλινές, όπως και στα βάθη άνω από 300 m. Σε αντίθεση, η κατακόρυφη κατανομή του φθορισμού (ως έμμεση ένδειξη οργανικής ύλης) μας δείχνει ελαφρά αυξημένες τιμές εντός του επιφανειακού αναμεμιγμένου στρώματος, μια σαφή αύξηση στο βάθος του πυκνοκλινούς (60 - 70 m), μειούμενη καθώς αυξάνεται το βάθος μέχρι τα 120 m περίπου, παραμένοντας έκτοτε σταθερή η τιμή του μέχρι το βάθος περίπου των 300 m, από όπου δείχνει μια μικρή τάση αύξησης (0,02 μονάδες) μέχρι τον πυθμένα.

Η γενικότερη εικόνα της στήλης του νερού δείχνει την ύπαρξη ενός επιφανειακού στρώματος μέχρι το βάθος των 60 m, υπερκείμενο ενός έντονου (εποχιακού) θερμοκλινούς (μεταξύ 55 - 65 m), που φαίνεται να κάθεται πάνω σε ένα στρώμα με χαρακτηριστικά θερμοκλινούς (70 - 120 m), το οποίο ίσως να πρόκειται για μια ζώνη θερμοκλινούς ετήσιου μόνιμου χαρακτήρα, ενώ η υποκείμενη μάζα των βαθιών νερών φθάνει μέχρι το βάθος των 405 m.

Για τους σταθμούς του Σχήματος 4.9, όπου έγινε και παράλληλη δειγματοληψία νερού σε διάφορα βάθη, στο Σχήμα 4.10α δίνεται το διάγραμμα δυνητικής θερμοκρασίας – αλατότητας κοινό για όλες τις μετρήσεις από όλους τους σταθμούς, ενώ στο Σχήμα 4.10β δίνονται οι αντίστοιχες τιμές ανά σταθμό, όπου προβάλλονται παράλληλα και οι ισόπυκνες καμπύλες.



Σχήμα 4.9: Θέσεις όλων των σταθμών δειγματοληψίας του νερού.



Σχήμα 4.10: (α) Διάγραμμα δονητικής θερμοκρασίας (θ) – Αλατότητας (S) – Βάθους (D) των θέσεων δειγματοληψίας, (β) Διάγραμμα δονητικής θερμοκρασίας (θ) – Αλατότητας (S) των θέσεων δειγματοληψίας με προβολή των ισόπυκνων καμπύλων δειγμάτων Οκτωβρίου 2017.

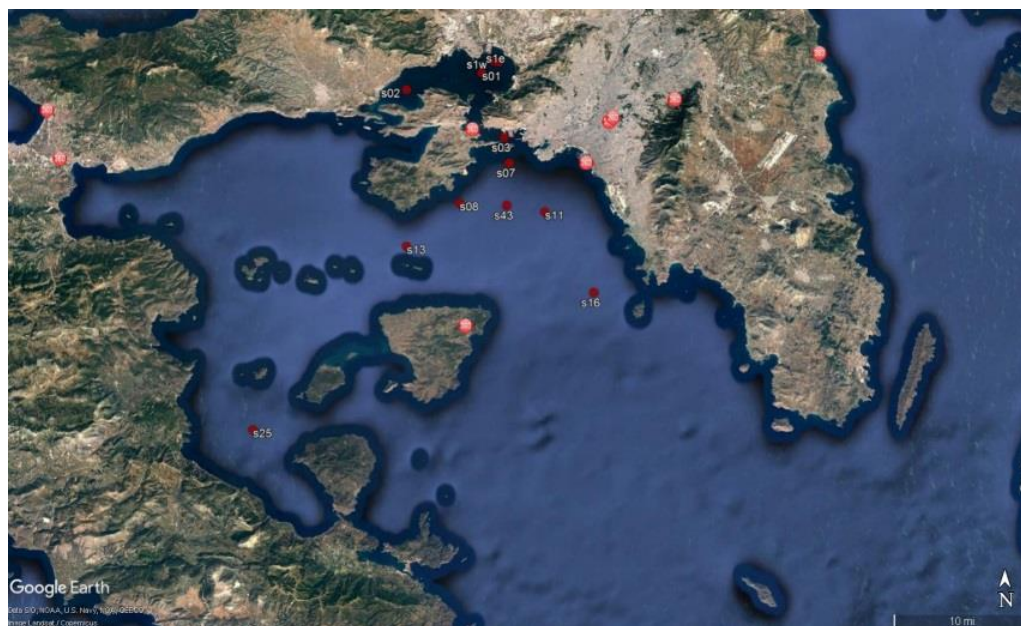
Στο Σχήμα 4.10 επαληθεύεται η περιγραφή της στήλης του νερού του δείγματος UN11, καθώς διακρίνονται οι παρακάτω θαλάσσιες μάζες:

- **μπλε/μωβ**: το επιφανειακό αναμεμειγμένο στρώμα (<60m) με T : 23,6°C, S : 38,9 και σ_θ : 26,7 kg/m³
- **μωβ**: ο πυρήνας του θερμοκλινούς-πυκνοκλινούς (~60 m) με T : 22°C, S : 39 και σ_θ : 27,3 kg/m³

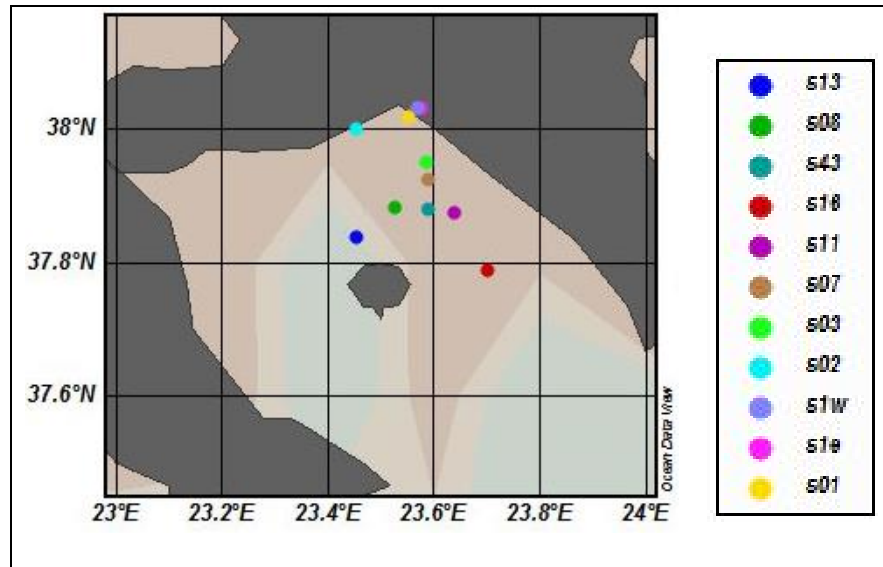
- **θαλασσί:** το δευτερεύον θερμοκλινές-πυκνοκλινές (120-300 m) με T: 15,4°C, S:39 και σ_θ : 29 kg/m³
- **λαχανί-κόκκινο:** το στρώμα των βαθιών υδάτων (120-400 m) με T: 14°C, S: 38,9 και σ_θ : 29,22 kg/m³

4.3.2 Εποχική Συγκριτική Μελέτη (Οκτώβριος 2017 – Μάρτιος 2017)

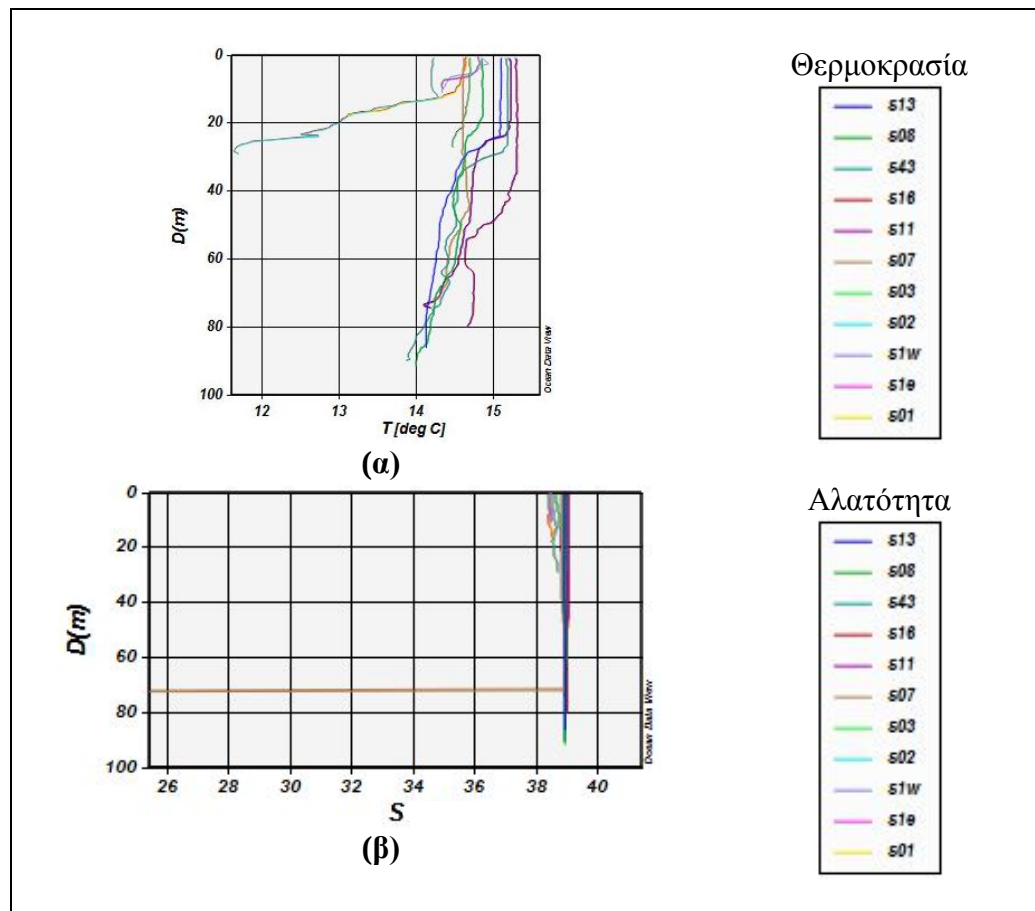
Θέλοντας να έχουμε μια εποχική σύγκριση των παραμέτρων που συλλέξαμε κατά τον πλου του Οκτωβρίου 2017 (τέλος θερινής περιόδου) τις συγκρίναμε με αυτές του πλου του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., το Μάρτιο 2017 (τέλος χειμερινής περιόδου) σε κοντινές θέσεις του Σαρωνικού κόλπου (Σχήμα 4.11 & 4.12). Έτσι, κατασκευάζουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα κατακόρυφης κατανομής της θερμοκρασίας, της αλατότητας, της ανωμαλίας πυκνότητας, της συγκέντρωσης οξυγόνου, της εκπομπής ακτινοβολίας και του φθορισμού αυτών των σταθμών [Σχήμα 4.13 (α-στ)].

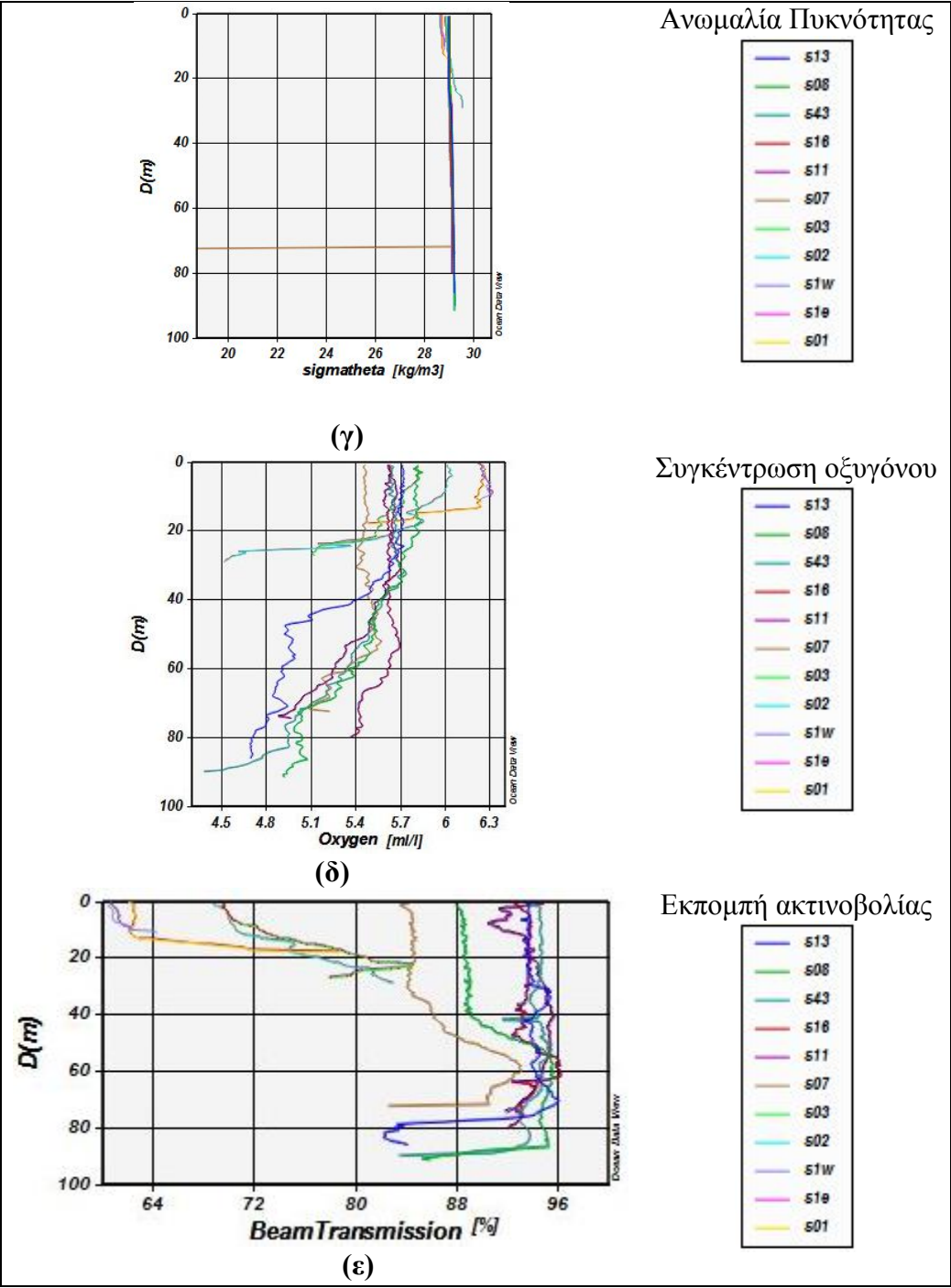


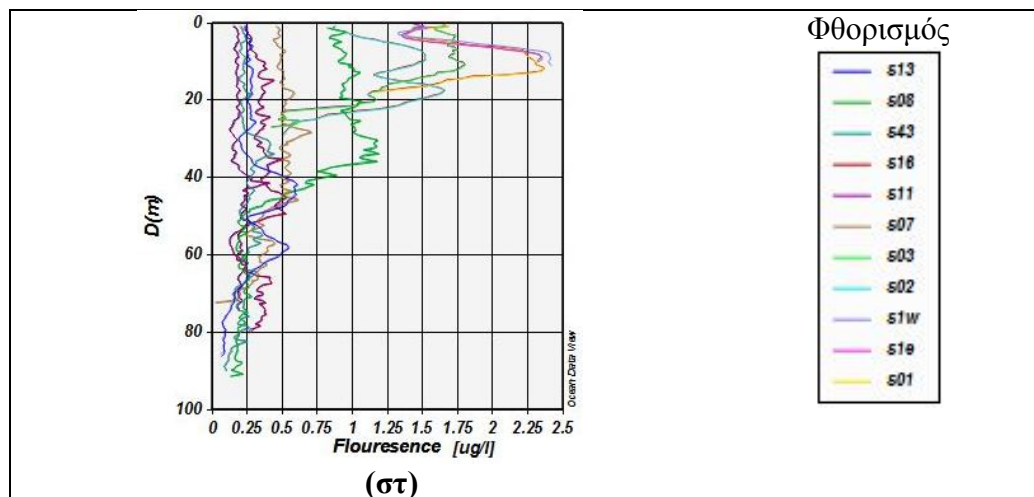
Σχήμα 4.11: Θέσεις δειγματοληψίας από ΕΛΚΕΘΕ στο Σαρωνικό κόλπο (Μάρτης 2017).



Σχήμα 4.12: Θέσεις δειγματοληψίας νερού από ΕΛΚΕΘΕ (Μάρτης 2017).







Σχήμα 4.13: Διάγραμμα κατακόρυφης κατανομής (α) της θερμοκρασίας, (β) της αλατότητας, (γ) της ανωμαλίας πυκνότητας, (δ) της συγκέντρωσης του οξυγόνου, (ε) της εκπομπής ακτινοβολίας και (στ) του φθορισμού των δειγμάτων νερού από τη δειγματοληψία του Μαρτίου 2017.

Μελετώντας τα διαγράμματα, συμπεραίνουμε ότι τα ύδατα εμφανίζουν σχεδόν όλα τιμές θερμοκρασίας από 14,3°C ως 15,3°C με εξαίρεση το δείγμα νερού s02 από τον κόλπο της Ελευσίνας, στο οποίο η μέγιστη τιμή μετράται 14,22°C σε βάθος 1,5 m και η ελάχιστη 11,65°C στα 28 m.

Η κατανομή της αλατότητας δεν μεταβάλλεται έντονα κατακόρυφα, καθώς κυμαίνεται μεταξύ 38,40 και 39,04 εκτός από το δείγμα της θέσης s07 στο Βόρειο (Εσωτερικό) Σαρωνικό, που έχει ελάχιστη τιμή αλατότητας 25,44.

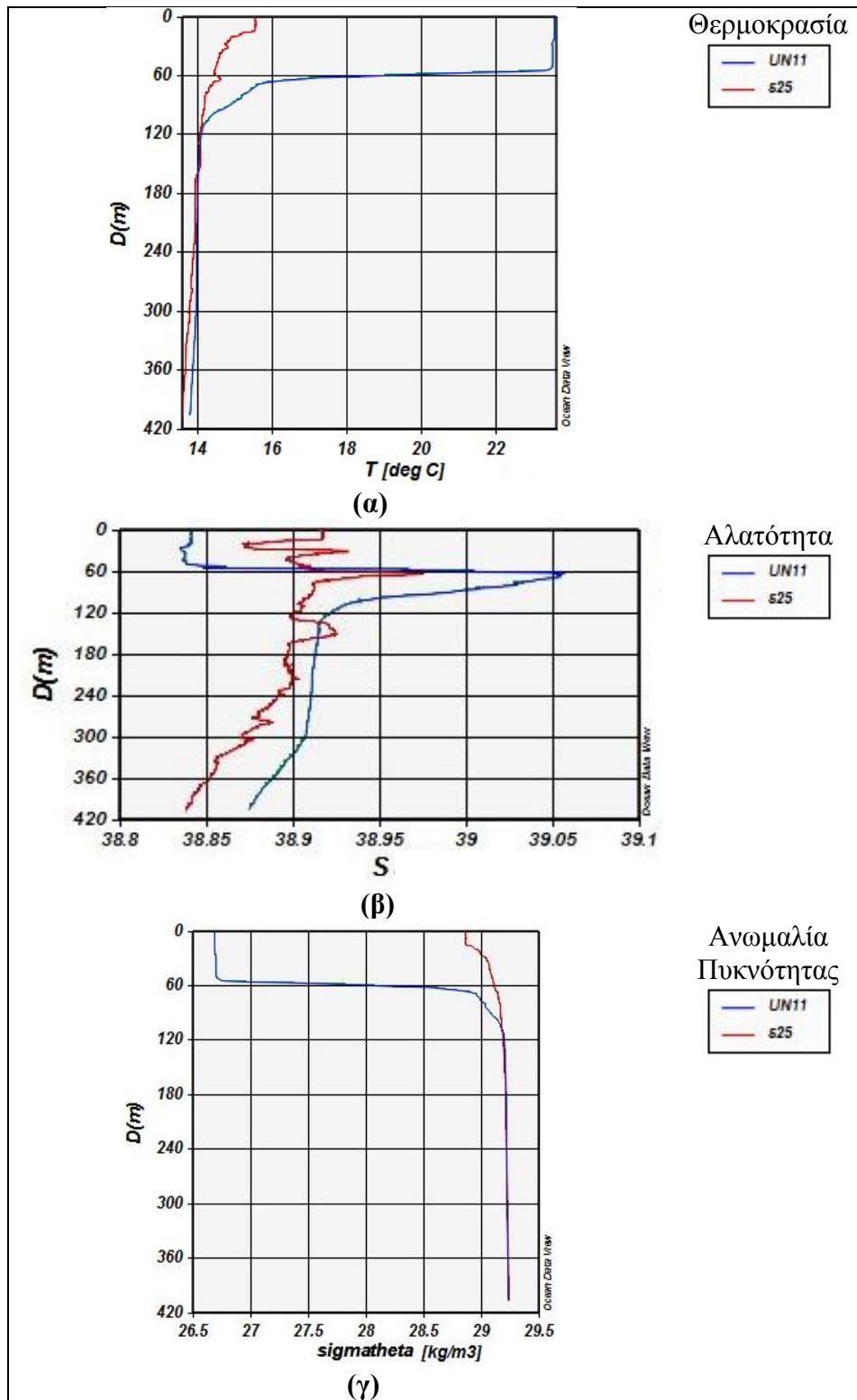
Ακόμη, η ανωμαλία πυκνότητας των νερών κατανέμεται κατακόρυφα μεταξύ των τιμών 28,65 kg/m³ και 29,54 kg/m³ με το δείγμα ωστόσο της θέσης s07 να έχει ελάχιστη τιμή 18,76 kg/m³.

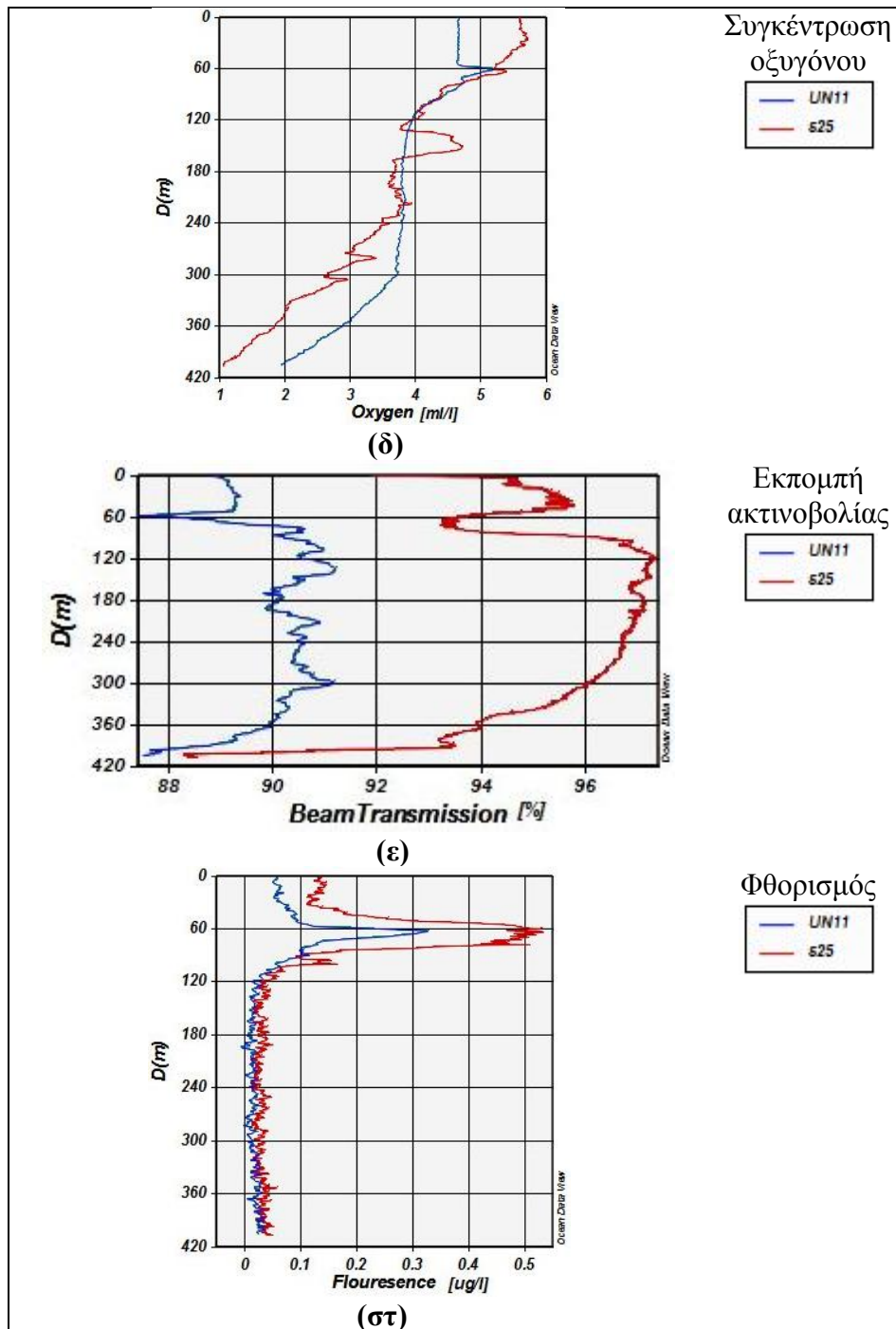
Η συγκέντρωση οξυγόνου στα νερά, που συλλέχθηκαν, κυμαίνεται από 4,39 ml/l σε βάθος 90 m μέχρι 6,32 ml/l σε βάθος 10 m.

Η εκπομπή ακτινοβολίας των υδάτων της περιοχής παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών από περίπου 61% ως 96,3% με τη μικρότερη τιμή να σημειώνεται στο δείγμα s1w, από τον κόλπο της Ελευσίνας.

Τέλος, οι τιμές φθορισμού των δειγμάτων συγκεντρώνονται κυρίως μεταξύ 0,03 μg/l και 0,69 μg/l με τα δείγματα όμως s08, s02, s03, s1e, s1w και s01 να χαρακτηρίζονται από υψηλότερες τιμές, φθάνοντας τα 2,42 μg/l.

Σε αντιστοιχία με το UN11, φτιάχνουμε συνδυαστικά και τα διαγράμματα κατακόρυφης κατανομής των παραμέτρων του νερού από τον σταθμό δειγματοληψίας s25 (Σχήμα 4.14 α-στ), καθώς βρίσκεται κι αυτό στη Δυτική περιοχή του Σαρωνικού κόλπου με απόκλιση μικρότερη των 100 m από το UN11 και οι μετρήσεις του φθάνουν μέχρι τα 407 m.





Σχήμα 4.14: Διάγραμμα κατακόρυφης κατανομής (α) της αλατότητας, (β) της θερμοκρασίας, (γ) της ανωμαλίας πυκνότητας, (δ) της εκπομπής της ακτινοβολίας, (ε) του φθορισμού και (στ) της συγκέντρωσης του οξυγόνου των δειγμάτων νερού s25 (Μάρτιος 2017) και UN11 (Οκτώβριος 2017).

Παρατηρώντας τα διαγράμματα της θερμοκρασίας και της ανωμαλίας πυκνότητας των υδάτων διακρίνουμε μείωση τιμών της πρώτης με ελάχιστη 13,61°C και αντίστοιχη αύξηση τιμών της δεύτερης με μέγιστη 29,24 kg/m³ στα ίδια βάθη συμπεραίνοντας την ταύτιση του θερμοκλινούς με το πυκνοκλινές στην περιοχή.

Οι τιμές αλατότητας του νερού μεταβάλλονται από 38,98 σε βάθος 64 m μέχρι 38,84 στα 403 m.

Η συγκέντρωση του οξυγόνου έχει τη μέγιστη τιμή του 5,72 ml/l στα 3,5 m βάθος και παρουσιάζοντας κάποιες αυξομειώσεις εντοπίζεται στην ελάχιστη τιμή του στα 404 m (1,07 ml/l).

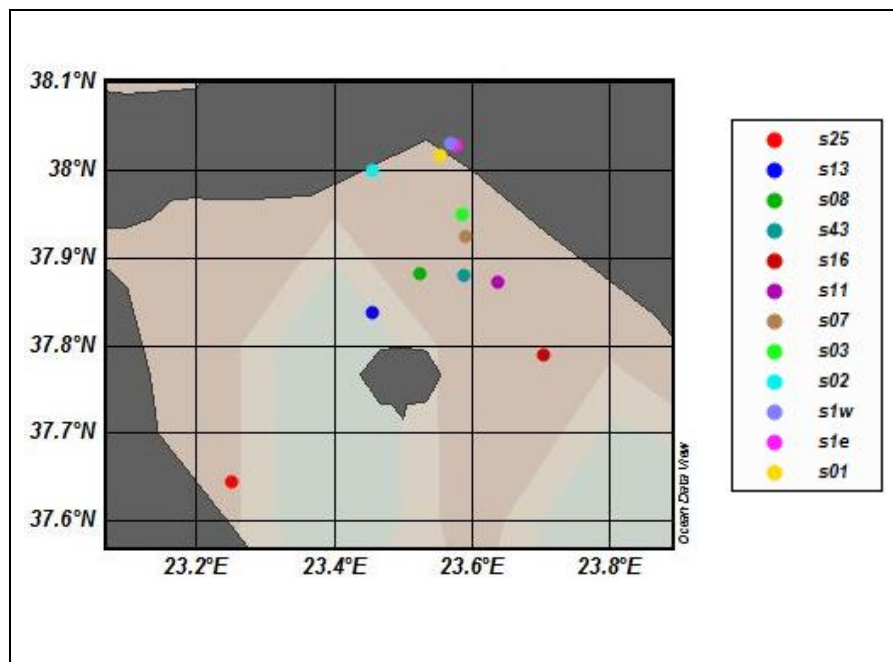
Ακόμη, η εκπομπή ακτινοβολίας των υδάτων παρουσιάζει αύξηση τιμών από την επιφάνεια έως το βάθος των 44 m και από τα 82,5 m μέχρι τα 125,5 m έχοντας την υψηλότερη τιμή 97,36% με τα ενδιάμεσα βάθη να χαρακτηρίζονται από μείωση τιμών της παραμέτρου.

Ο φθορισμός των δειγμάτων εμφανίζει αύξηση των τιμών του φθάνοντας τα 0,53 $\mu\text{g/l}$ σε βάθος 60 m, από όπου οι τιμές μειώνονται και κυμαίνονται βαθύτερα μεταξύ 0,01 $\mu\text{g/l}$ και 0,15 $\mu\text{g/l}$.

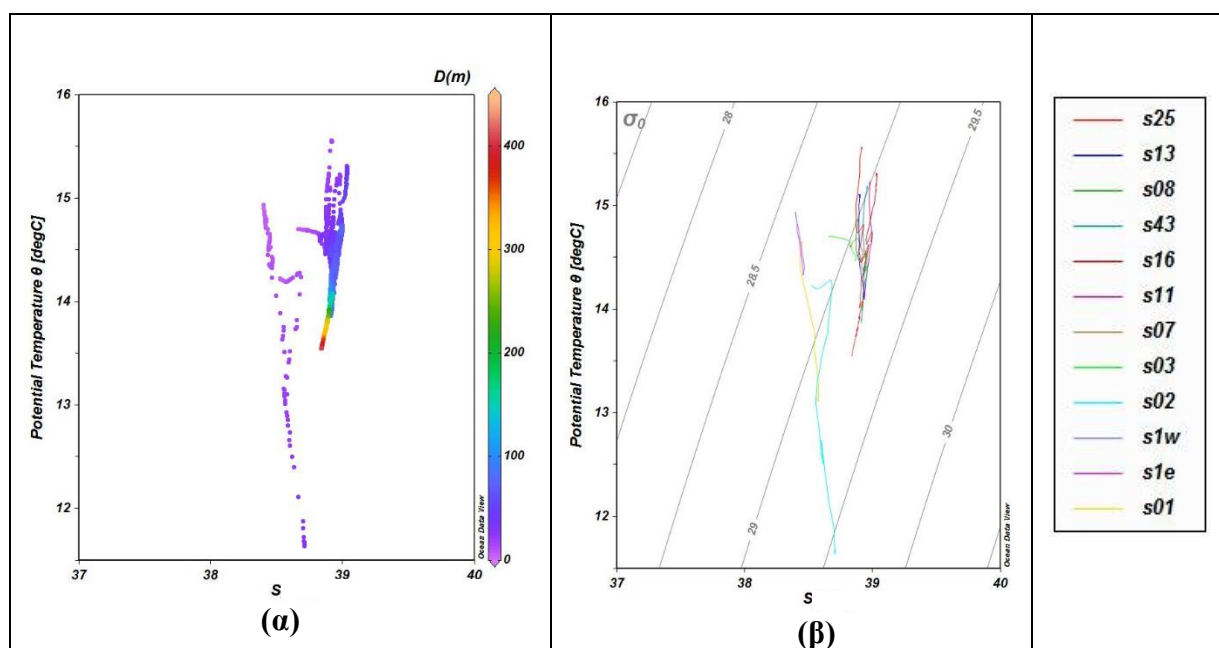
Η γενικότερη εικόνα της στήλης του νερού με βάση το πυκνοκλινές δείχνει την ύπαρξη ενός επιφανειακού στρώματος μέχρι το βάθος των 10 m (το πολύ 15 m), υπερκείμενο ενός σαφούς πυκνοκλινούς/θερμοκλινούς, που φθάνει μέχρι τα 30 m περίπου και φαίνεται να κάθεται πάνω σε ένα στρώμα δευτερεύοντος πυκνοκλινούς ή μεταβατικό ως τα 120-130 m. Από το βάθος αυτό και μέχρι τον πυθμένα (βάθος 407 m) βρίσκεται το στρώμα των βαθιών υδάτων.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αύξηση των τιμών της αλατότητας στα βάθη των 60 m και 150 m, όπου παρατηρείται και μικρή αύξηση της θερμοκρασίας. Μάλιστα, οι μικρές αυτές μεταβολές διακρίνονται και στο διάγραμμα της συγκέντρωσης οξυγόνου τόσο στα 50 - 60 m όσο και στα 130 - 150 m. Επιπλέον, η εκπομπή ακτινοβολίας και ο φθορισμός των υδάτων μεταβάλλονται στο βάθος των 60 m με την πρώτη παράμετρο να μειώνεται (άρα αύξηση αιωρούμενου υλικού) ενώ τη δεύτερη να αυξάνεται (αύξηση οργανικού υλικού – χλωροφύλλης). Γενικά, φαίνονται σαν επιφανειακά νερά μικρότερης αλατότητας και φτωχά σε αιωρούμενο υλικό, ενώ η αύξηση των συγκεντρώσεων στο βάθος των 60 m πιθανότατα να σχετίζεται αφενός με την παρουσία του θερμοκλινούς/πυκνοκλινούς στο τέλος της θερινής περιόδου και αφετέρου στη συνεχή εκροή της Ψυτάλλειας σε βάθος 63 m, που δικαιολογεί τις υψηλές τιμές στο τέλος της χειμερινής περιόδου (έλλειψη στρωμάτωσης).

Τέλος, με βάση τις μετρήσεις της αλατότητας στα επιμέρους βάθη για τους σταθμούς του Σχήματος 4.15 δημιουργούμε το διάγραμμα δυνητικής θερμοκρασίας (θ) – αλατότητας (S) (με προβολή των βαθών) και το διάγραμμα δυνητικής θερμοκρασίας (θ) – αλατότητας (S) των δειγμάτων με ταυτόχρονη προβολή των ισόπυκνων καμπύλων [Σχήμα 4.16 (α,β)].



Σχήμα 4.15: Θέσεις δειγματοληψίας νερού (Μάρτης 2017).



Σχήμα 4.16: (α) Διάγραμμα δυναμικής θερμοκρασίας (θ) – Αλατότητας (S) – Βάθους (D) των θέσεων δειγματοληψίας, (β) Διάγραμμα δυναμικής θερμοκρασίας (θ) – Αλατότητας (S) των θέσεων δειγματοληψίας με προβολή των ισόπυκνων καμπύλων δειγμάτων Μαρτίου 2017.

Στο Σχήμα 4.16 επαληθεύεται η περιγραφή της στήλης του νερού, καθώς διακρίνονται οι παρακάτω θαλάσσιες μάζες:

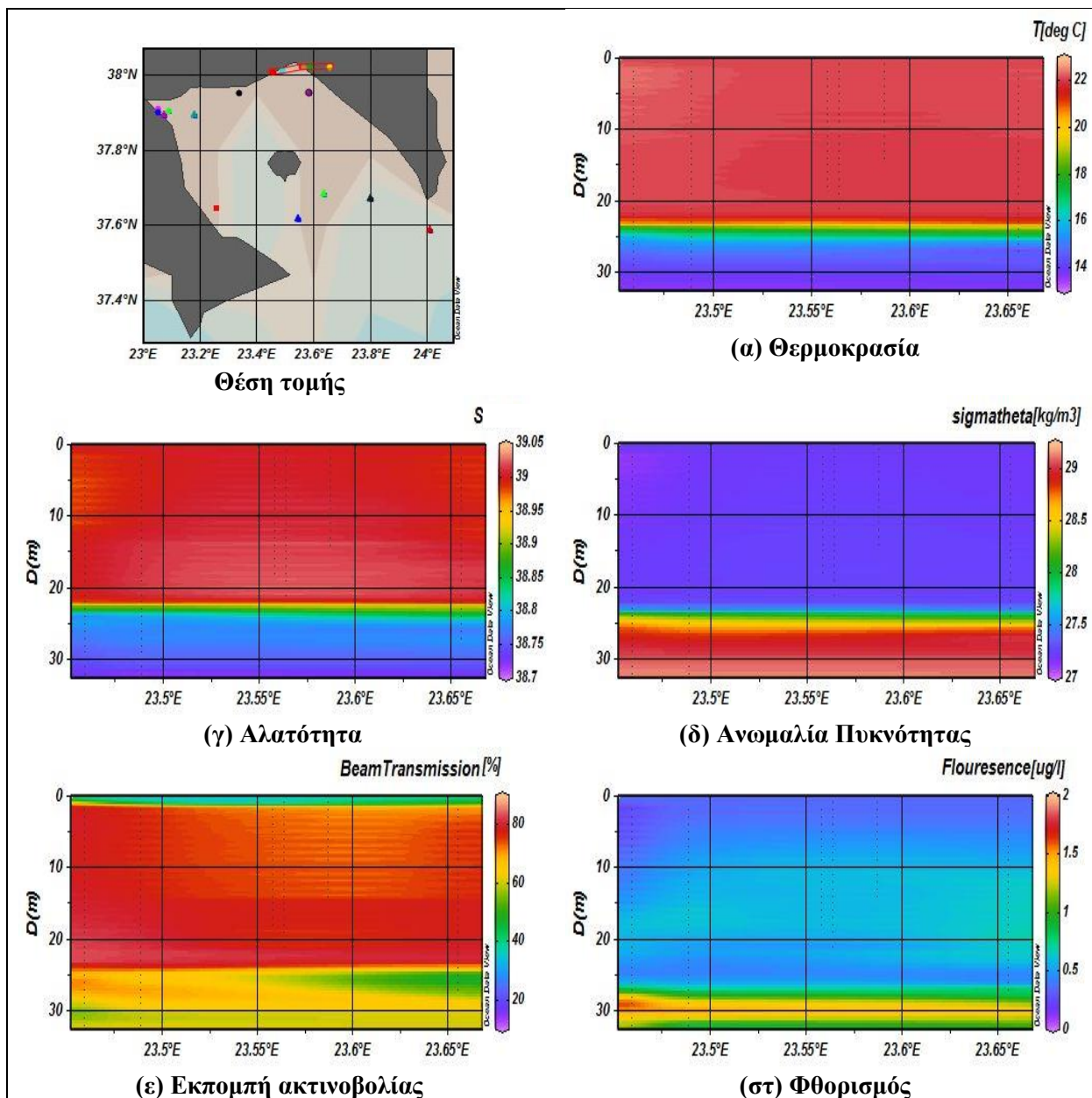
- **μπλε/μωβ**: το επιφανειακό αναμεμειγμένο στρώμα (ως τα 15 m) με T : 15,3°C, S : 39 και σ_θ : 29 kg/m³

- **μωβ:** ο πυρήνας του θερμοκλινούς-πυκνοκλινούς (15-30 m) με T: 14,8°C, S: 39 και σ_θ : 29,1 kg/m³
- **θαλασσί:** το δευτερεύον θερμοκλινές-πυκνοκλινές (30-120/130 m) με T: 14,7°C, S: 39 και σ_θ : 29,1 kg/m³
- **λαχανί-κόκκινο:** το στρώμα των βαθιών υδάτων (120-400 m) με T: 13,9°C, S: 38,9 και σ_θ : 29,2 kg/m³

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα δυνητικής θερμοκρασίας (θ) – Αλατότητας (S) – Βάθους (D) των θέσεων δειγματοληψίας Μαρτίου 2017 και Οκτωβρίου 2017 διακρίνουμε κάποιες διαφορές στις θαλάσσιες μάζες του Σαρωνικού κόλπου. Κατά το Μάρτιο το επιφανειακό στρώμα φθάνει μέχρι το βάθος των 15 m, από που σχηματίζεται το θερμοκλινές ως τα 30 m ενώ κατά τον Οκτώβριο βλέπουμε το επιφανειακό στρώμα ως το βάθος των 60 m, όπου και εκδηλώνεται το θερμοκλινές μέχρι τα 70 m. Επιπλέον, το μεταβατικό στρώμα κατά τη δειγματοληψία του Μαρτίου εντοπίζεται σε βάθος 30 - 120 m ενώ σε αυτή του Οκτωβρίου από τα ~70 m έως τα 120 m.

Στη συνέχεια, δίνονται οι κατακόρυφες κατανομές των παραμέτρων της στήλης του νερού κατά μήκος οριζόντιων τομών στον Κόλπο της Ελευσίνας (Σχήμα 4.17), στο Βόρειο (Εσωτερικό) Σαρωνικό κόλπο (Σχήμα 4.18), στο Νότιο (Εξωτερικό) Σαρωνικό κόλπο (Σχήμα 4.19) και στο Δυτικό Σαρωνικό κόλπο (Σχήμα 4.20).

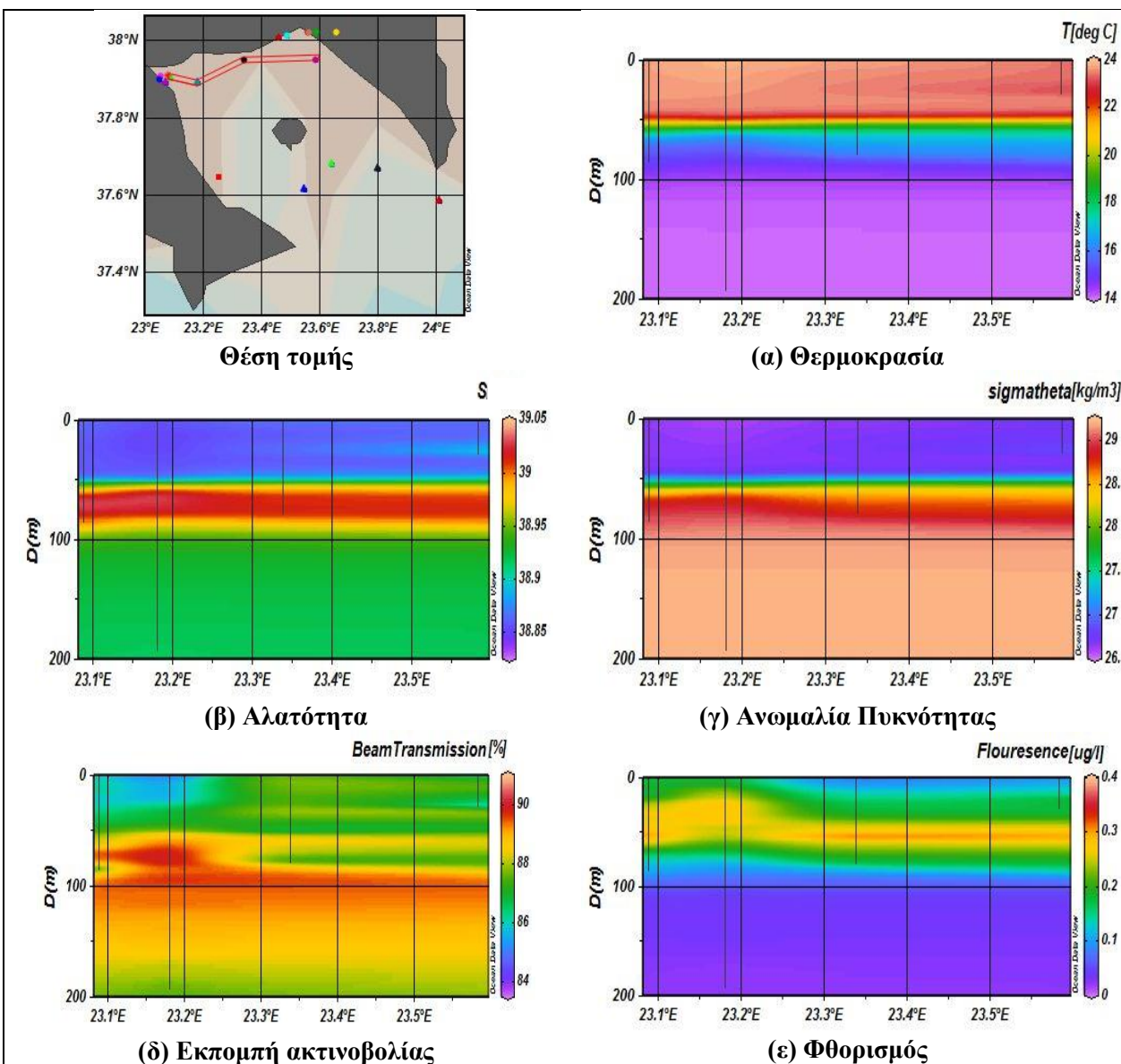
Στον κόλπο της Ελευσίνας (Σχήμα 4.17) διακρίνουμε την ύπαρξη ενός οριζόντιου στρώματος από την επιφάνεια μέχρι το βάθος των 22 m, όπου οι τιμές της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της ανωμαλίας πυκνότητας έχουν παρόμοια οριζόντια κατανομή με τιμές σχεδόν σταθερές και πιο συγκεκριμένα T: 22°C, S: 39 και σ_θ : 27,25 kg/m³. Ακολούθως, έχουμε την ύπαρξη ενός στρώματος μικρού πάχους μεταξύ των βαθών 22 - 27 m, όπου η θερμοκρασία μειώνεται απότομα στους 17,2°C, η αλατότητα σε 38,75, ενώ η ανωμαλία πυκνότητας αυξάνεται σε 28,35 kg/m³. Κάτω από το στρώμα αυτό και μέχρι τον πυθμένα έχουμε ένα σχετικά ομοιογενές στρώμα με T=15,7°C ως 13,6°C, S=38,8 ως 38,7 και σ_θ =28,86 kg/m³ ως 29,15 kg/m³. Οι τιμές της εκπομπής ακτινοβολίας με μικρή διαφοροποίηση από Δ προς Α έχουν παρόμοια κατανομή καθ' όλο το μήκος της τομής μέχρι το βάθος των 22 - 23 m, δηλαδή μέχρι το πυκνοκλινές, όπου και παίρνουν τις μέγιστες τιμές τους γύρω στα 80% ενώ από εκεί και κάτω μειώνονται. Όμως στην ανατολική πλευρά των βαθύτερων στρωμάτων φαίνεται να υπάρχει μια σφήνα με ακόμη μικρότερες τιμές (~50%) σε σχέση με το υπόλοιπο στρώμα. Διαφορετική παρουσιάζεται η τομή του φθορισμού με τις μικρότερες σχετικά τιμές στην επιφάνεια και στο στρώμα του πυκνοκλινούς, και τις μεγαλύτερες (1-1,5 μονάδες) στη θαλάσσια μάζα κάτω από το πυκνοκλινές και λίγο πάνω από τον πυθμένα (περίπου 30 m βάθος).



Σχήμα 4.17: Διάγραμμα κατακόρυφης κατανομής των παραμέτρων της στήλης του νερού κατά μήκος τομής (Α-Α) εντός του Κόλπου της Ελευσίνας.

Στο Βόρειο (Εσωτερικό) Σαρωνικό κόλπο (Σχήμα 4.18) παρατηρούμε την ύπαρξη ενός οριζόντιου στρώματος από την επιφάνεια μέχρι τα 45 m με παρόμοια οριζόντια κατανομή θερμοκρασίας, αλατότητας και ανωμαλίας πυκνότητας με σταθερές σχεδόν τιμές T : $23,6^{\circ}\text{C}$, S : 38,9 και σ_{θ} : $26,68 \text{ kg/m}^3$. Ακολουθεί ένα στρώμα (θερμοκλινές/πυκνοκλινές) από τα 45 m μέχρι τα 60 m περίπου, όπου μειώνεται απότομα η θερμοκρασία στους $19,5^{\circ}\text{C}$ και η ανωμαλία πυκνότητας αυξάνεται σε 28 kg/m^3 περίπου ενώ το στρώμα φθάνει μέχρι τα 87 m στο διάγραμμα της αλατότητας, που αυξάνεται μέχρι 39. Κάτω από αυτό έχουμε ένα σχετικά ομοιογενές στρώμα μέχρι τον πυθμένα με $T=19,5^{\circ}\text{C}$ ως 14°C , $S=39$ ως 38,9 και $\sigma_{\theta}=28,9 \text{ kg/m}^3$ ως $29,22 \text{ kg/m}^3$. Οι τιμές της εκπομπής ακτινοβολίας αυξάνονται μέχρι τα 75 m, με τα νερά να αποκτούν τη μέγιστη τιμή (περίπου 91 %) στα δυτικά της τομής όπου σχηματίζεται

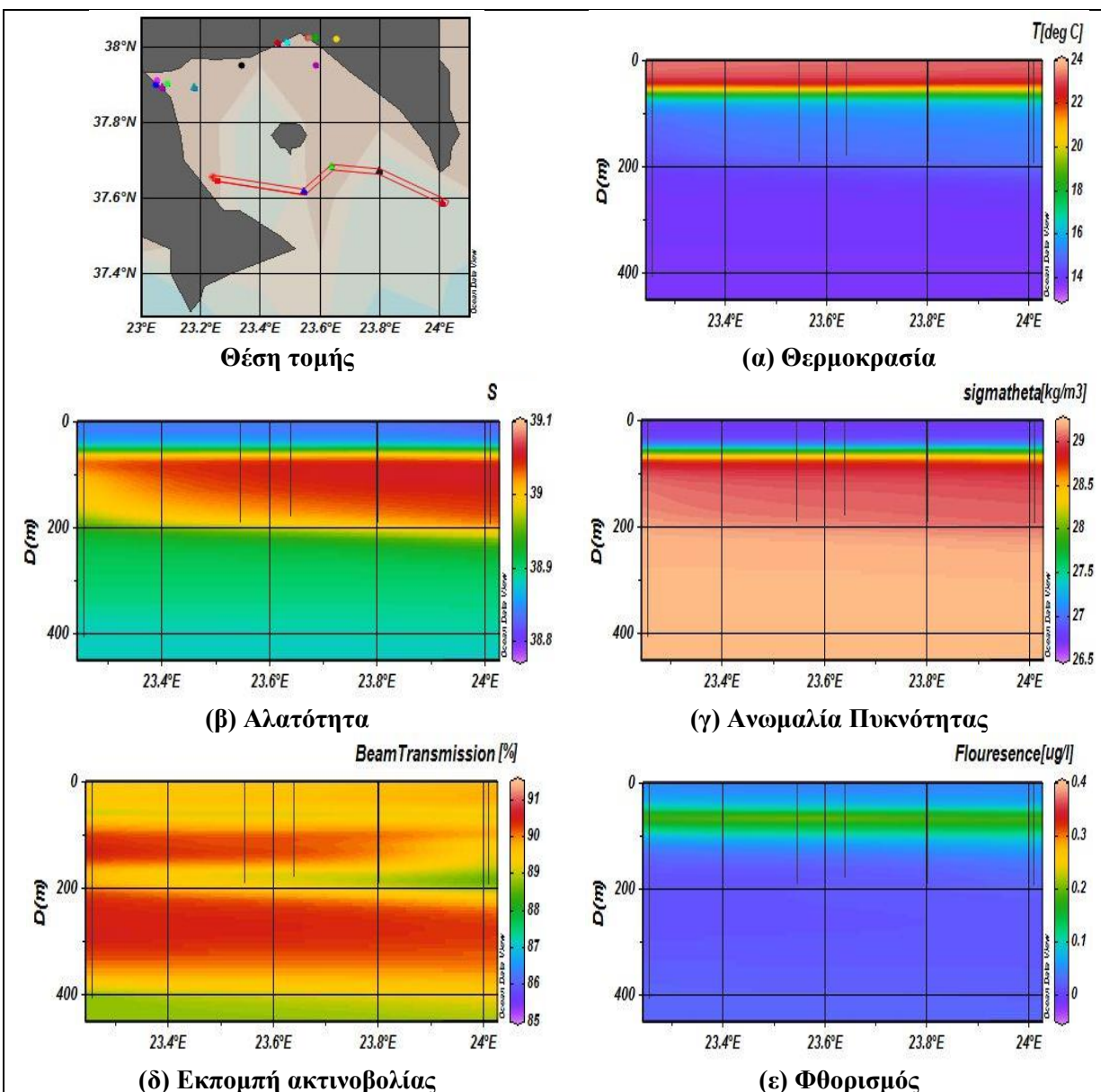
μια σφήνα και από εκεί και κάτω αρχίζουν να μειώνονται ενώ υπάρχει και μια σφήνα μικρότερων μετρήσεων της (περίπου 86%) σε βάθος 68 – 78 m του κεντρικού και ανατολικού τμήματος της τομής. Ο φθορισμός αυξάνεται από την επιφάνεια μέχρι το βάθος των 55 m, όπου έχει τη μέγιστη τιμή του 0,33 $\mu\text{g/l}$ και από το βάθος αυτό και βαθύτερα μειώνεται μέχρι τον πυθμένα.



Σχήμα 4.18: Διάγραμμα κατακόρυφης κατανομής των παραμέτρων της στήλης του νερού κατά μήκος τομής (Α-Α) στο Βόρειο (Εσωτερικό) Σαρωνικό κόλπο.

Στο Νότιο (Εξωτερικό) Σαρωνικό κόλπο (Σχήμα 4.19) διακρίνεται ένα οριζόντιο στρώμα από την επιφάνεια μέχρι τα 37 m, όπου η θερμοκρασία, η ανωμαλία πυκνότητας, η αλατότητα και ο φθορισμός έχουν ομοιόμορφη οριζόντια κατανομή με σταθερές τιμές T: 23,3°C, S: 38,8, σ_θ : 26,75 kg/m^3 και Flc: 0,06 $\mu\text{g/l}$. Πιο βαθιά, διακρίνουμε ένα στρώμα μικρού πάχους από τα 37 m - 60 m, όπου η θερμοκρασία μειώνεται απότομα στους 17,8°C ενώ αυξάνονται η ανωμαλία πυκνότητας σε 27,38 kg/m^3 και ο φθορισμός σε 0,15 $\mu\text{g/l}$. Στην

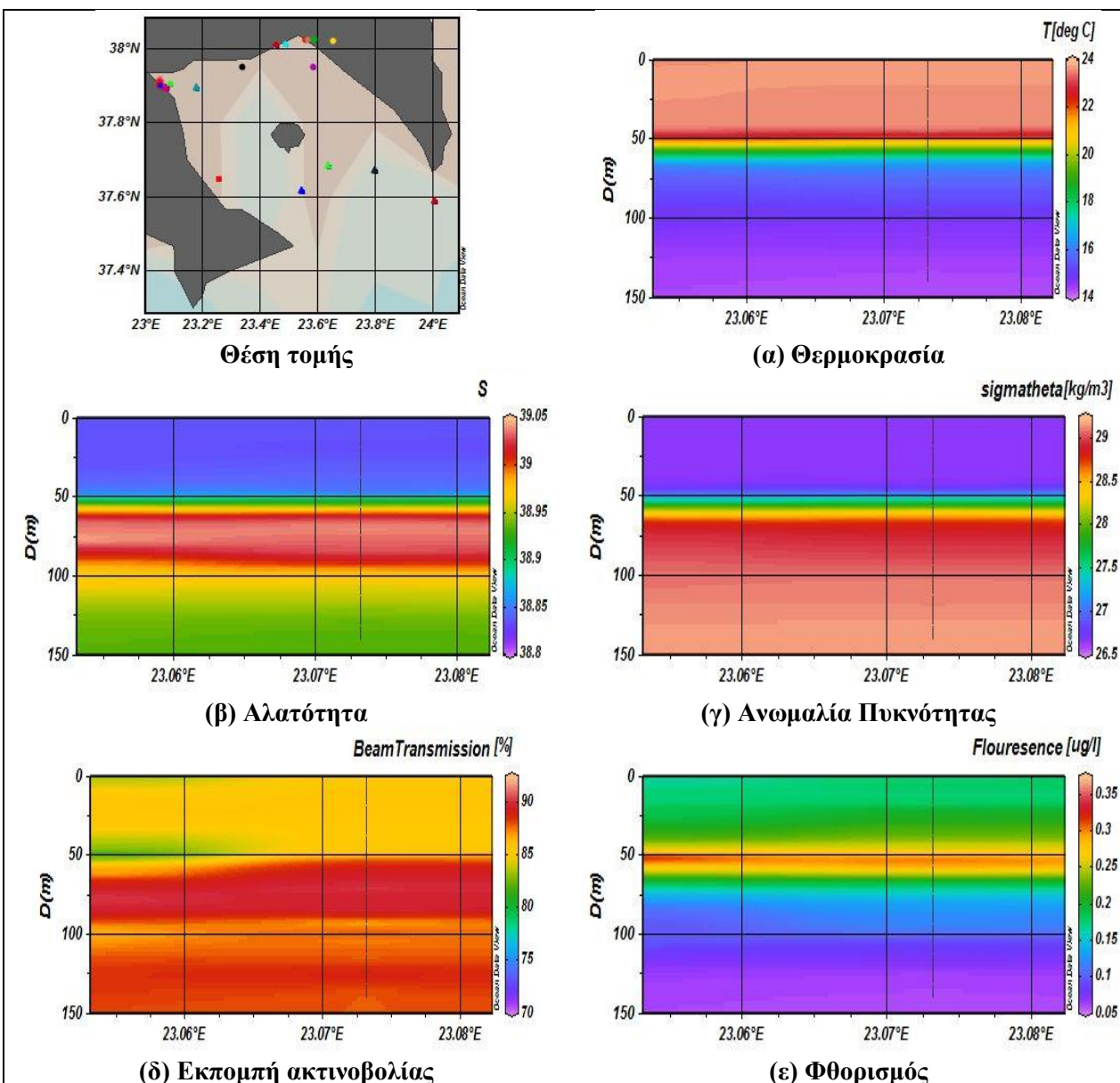
τομή της αλατότητας, το πάχος αυτού του στρώματος φθάνει μέχρι τα 173 m περίπου με την αλατότητα να έχει τιμή περίπου 39. Με αύξηση του βάθους έχουμε ένα σχετικά ομοιογενές στρώμα με $T=14,8^{\circ}\text{C}$ ως $13,8^{\circ}\text{C}$, $S=38,9$ ως $38,9$, $\sigma_{\theta}=29,1 \text{ kg/m}^3$ ως $29,24 \text{ kg/m}^3$ και $\text{Flc}=0,09 \text{ }\mu\text{g/l}$ ως $0,02 \text{ }\mu\text{g/l}$. Η εκπομπή ακτινοβολίας αυξάνεται από την επιφάνεια μέχρι τα 133 m, όπου παίρνει τη μέγιστη τιμή της (περίπου 91%) και μειώνεται ως τα 198 m, ενώ ακολουθεί ένα ακόμη στρώμα μεγαλύτερων τιμών μέχρι τα 336 m, από όπου μετρώνται μικρότερες τιμές ως τον πυθμένα.



Σχήμα 4.19: Διάγραμμα κατακόρυφης κατανομής των παραμέτρων της στήλης του νερού κατά μήκος τομής (Α-Α) στο Νότιο (Εξωτερικό) Σαρωνικό Κόλπο.

Στο Δυτικό Σαρωνικό κόλπο (Σχήμα 4.20) υπάρχει ένα οριζόντιο στρώμα από την επιφάνεια μέχρι τα 50 m περίπου με ομοιόμορφη κατανομή των τιμών των παραμέτρων $T: 23,6^{\circ}\text{C}$, $S: 38,8$, $\sigma_{\theta}: 26,67 \text{ kg/m}^3$, $\text{Beam Tr: } 86\%$ και $\text{Flc: } 0,20 \text{ }\mu\text{g/l}$. Ακολουθεί ένα στρώμα ως

τα 55 m, με απότομη μείωση της θερμοκρασίας στους 20,19°C ενώ αυξάνονται η ανωμαλία πυκνότητας σε 27,72 kg/m³ και ο φθορισμός σε 0,30 μg/l και στο προφίλ της αλατότητας και της εκπομπής ακτινοβολίας το στρώμα φθάνει μέχρι τα 88 m με μέγιστη τιμή 39 και 90%, αντίστοιχα. Βαθύτερα, η θερμοκρασία, η αλατότητα και ο φθορισμός μειώνονται με T: 17,4 - 14,3°C, S: 39 - 38,9 και Flc: 0,25 - 0,06 μg/l ενώ η ανωμαλία πυκνότητας και η εκπομπή ακτινοβολίας αυξάνονται με σ_θ: 28,82 - 29,16 kg/m³ και Beam Tr: 86 - 88% μέχρι τον πυθμένα.



Σχήμα 4.20: Διάγραμμα κατακόρυφης κατανομής των παραμέτρων της στήλης του νερού κατά μήκος τομής (Α-Α) στο Δυτικό Σαρωνικό Κόλπο.

4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ SPM

Το αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό υπολογίζεται στην επιφάνεια ($d=2$ m), σε μέσο βάθος ($d=5$ m) και στον πυθμένα των συλλεχθέντων δειγμάτων νερού. Με βάση τα αποτελέσματα (Πίνακας 4.2), το δείγμα EL6 από τον κόλπο της Ελευσίνας περιέχει τη μεγαλύτερη ποσότητα SPM στο μέσο βάθος και στον πυθμένα του με τιμές 7,25 mg/l και 15,98 mg/l, αντίστοιχα, ενώ η υψηλότερη τιμή επιφανειακού αιωρούμενου υλικού 8,66 mg/l εμφανίζεται στο δείγμα EL7 του κόλπου της Ελευσίνας. Αντίθετα, οι μικρότερες συγκεντρώσεις SPM εντοπίζονται στις τρεις άλλες υποπεριοχές του Σαρωνικού κόλπου. Πιο συγκεκριμένα, το δείγμα S22 από το Νότιο (Εξωτερικό) κόλπο παρουσιάζει 5,39 mg/l στην επιφάνειά του, το δείγμα S3, που συλλέχθηκε από τη Βόρεια (Εσωτερική) πλευρά του κόλπου, 5,83 mg/l στο μέσο βάθος του και το δείγμα νερού UN11 του Δυτικού κόλπου 5,70 mg/l στον πυθμένα του.

Πίνακας 4.2 : Αποτελέσματα μετρήσεων SPM στα συλλεχθέντα δείγματα νερού.

Σταθμός	Επιφάνεια (mg/l)	Μέσο βάθος (mg/l)	Πυθμένας (mg/l)
S3	5.62	5.83	5.93
EL2	6.56	6.67	6.03
EL3	6.55	6.64	6.81
EL4	6.47	6.57	6.91
EL6	6.81	7.25	15.98
EL7	8.66	7.09	12.82
S2	6.70	6.20	13.90
UN4	6.29	6.41	6.40
UN6	6.68	6.60	6.03
UN5	6.02	6.22	5.93
MOT16	6.90	6.08	5.82
MOT16A	6.41	6.17	5.95
MOT13A	6.23	-	6.95
UN11	6.01	6.08	5.70
UN6A	6.68	6.60	6.03
UN13	5.74	6.29	6.02
S22	5.39	6.00	6.52
UN12A	5.82	6.10	6.45

Αναλυτικότερα, οι τιμές των μετρήσεων SPM στην επιφάνεια των υδάτων του κόλπου της Ελευσίνας κυμαίνονται από 6,47 mg/l ως 8,66 mg/l με τη μικρότερη τιμή να μετράται στο δείγμα EL4 και η μεγαλύτερη στο δείγμα της θέσης EL7. Σε δείγματα νερού μέσου βάθους της ίδιας υποπεριοχής η υψηλότερη συκέντρωση SPM 7,25 mg/l εντοπίζεται στο δείγμα EL6 και η χαμηλότερη με τιμή 6,20 mg/l στο S2. Το δείγμα EL6 εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή μέτρησης SPM 15,98 mg/l κοντά στον πυθμένα ενώ το EL2 τη μικρότερη 6,03 mg/l.

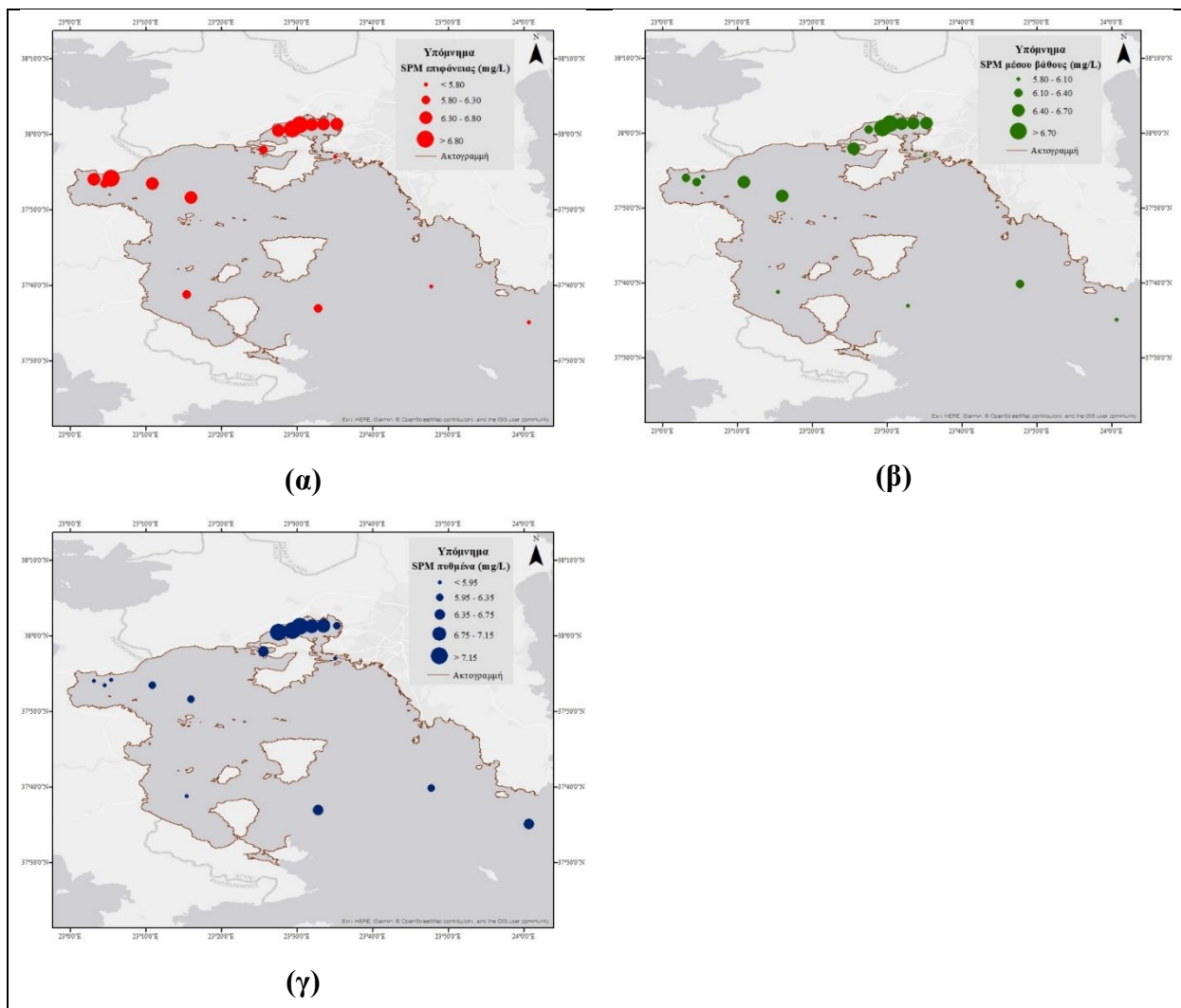
Τα δείγματα νερού από το Δυτικό κόλπο παρουσιάζουν συγκεντρώσεις επιφανειακών SPM από 6,01 mg/l (UN11) ως 6,90 mg/l (MOT16). Σε μέσο βάθος όμως, στο δείγμα MOT16

καθώς και στο δείγμα UN11 μετράται η χαμηλότερη τιμή SPM 6,08mg/l και η υψηλότερη 6,60 mg/l στα ύδατα των θέσεων UN6 και UN6A. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού κοντά στον πυθμένα εντοπίζεται στο δείγμα MOT13A με τιμή 6,95 mg/l και η μικρότερη στο νερό της θέσης UN11.

Οι συγκεντρώσεις SPM στα επιφανειακά ύδατα του Νότιου (Εξωτερικού) Σαρωνικού κόλπου εμφανίζουν τιμές μεταξύ 5,39 mg/l και 5,82 mg/l στη θέση S22 και UN12A αντίστοιχα. Η χαμηλότερη τιμή SPM σε μέσο βάθος επίσης παρουσιάζεται στο δείγμα S22 (6 mg/l) ενώ η υψηλότερη 6,29 mg/l στο νερό της θέσης UN13. Αντίθετα, η μικρότερη συγκέντρωση SPM κοντά στον πυθμένα μετράται στο δείγμα UN13 με τιμή 6,02 mg/l και η μεγαλύτερη 6,52 mg/l στη θέση S22.

Με βάση το δείγμα νερού S3 από το Βόρειο (Εσωτερικό) κόλπο, η συγκέντρωση SPM στην επιφάνεια του νερού είναι 5,62 mg/l, σε μέσος βάθος μετράται 5,83 mg/l και κοντά στον πυθμένα είναι 5,93 mg/l.

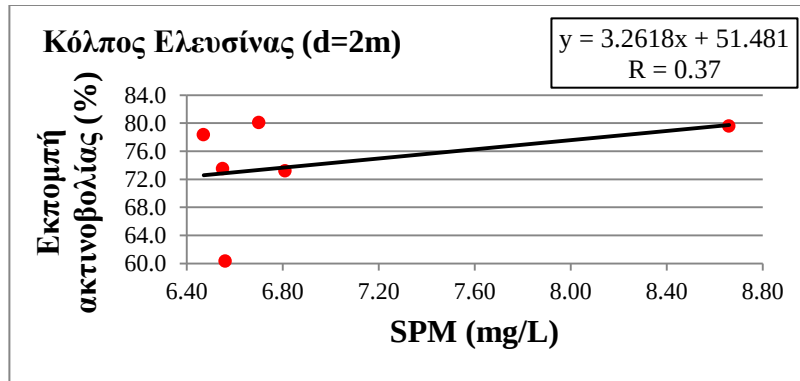
Στο σχήμα 4.21 δίνεται η χωρική κατανομή του αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού στα επιφανειακά, ενδιάμεσα ($d=5$ m) και βαθιά (κοντά στον πυθμένα) νερά του Σαρωνικού κόλπου. Όπως φαίνεται, τα επιφανειακά SPM κυμαίνονται μεταξύ των τιμών μικρότερων των 5,80 mg/l και μεγαλύτερων των 6,80 mg/l με τις μικρότερες μετρήσεις να παρατηρούνται στα δείγματα από το Νότιο (Εξωτερικό) κόλπο. Επιπλέον, τα SPM, που μετρήθηκαν σε νερά ενδιάμεσου βάθους παρουσιάζουν τιμές από 5,80 mg/l ως μεγαλύτερες των 6,70 mg/l με τα δείγματα από τους σταθμούς του κόλπου της Ελευσίνας να έχουν τις υψηλότερες τιμές. Τέλος, οι μετρήσεις αιωρούμενου υλικού κοντά στον πυθμένα του κόλπου στα περισσότερα δείγματα εμφανίζουν τιμές μικρότερες των 5,95 mg/l έως μεγαλύτερες των 7,15 mg/l με τη συγκέντρωση όμως του SPM στα δείγματα του Δυτικού κόλπου να εμφανίζει τις μικρότερες τιμές.



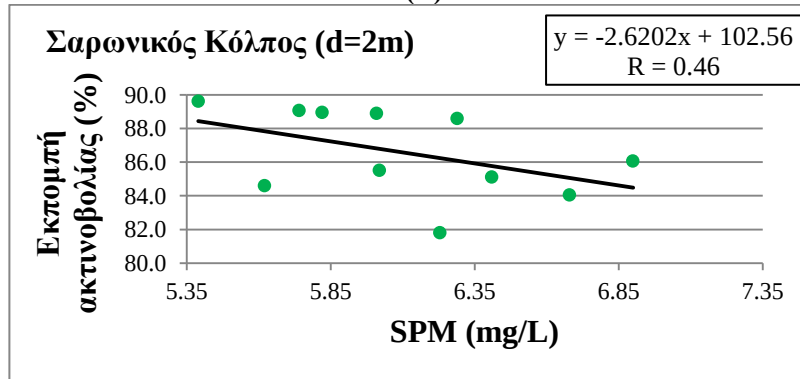
Σχήμα 4.21: Χάρτης κατανομής SPM (α) στα επιφανειακά νερά, (β) στα ενδιάμεσα νερά και (γ) κοντά στον πυθμένα του Σαρωνικού κόλπου.

4.5 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ SPM ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ

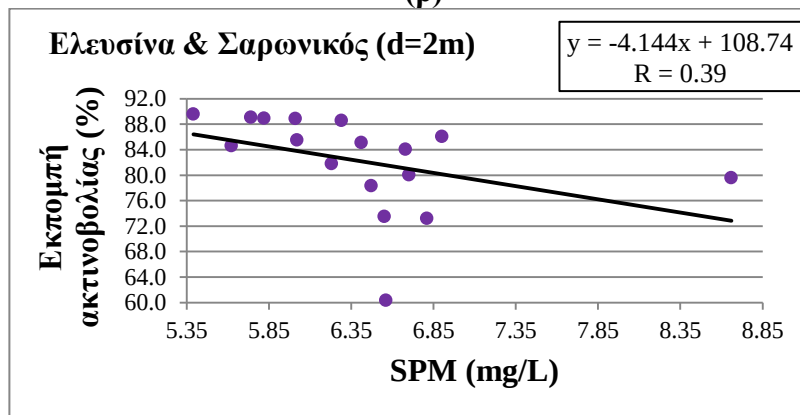
Στα Σχήματα 4.22, 4.23 και 4.24 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των μετρήσεων εκπομπής ακτινοβολίας - SPM των δειγμάτων νερού, που συλλέχθηκαν από τον κόλπο της Ελευσίνας, από το Δυτικό, Βόρειο και Νότιο Σαρωνικό κόλπο καθώς και όλων των σταθμών σε βάθη 2 m, 5 m και κοντά στον πυθμένα. Τα υψηλά ποσοστά εκπομπής ακτινοβολίας μαρτυρούν την ύπαρξη διαυγέστερων νερών καθώς η θολερότητα των υδάτων είναι μικρότερη και για αυτό συνδέονται με μικρότερες συγκεντρώσεις SPM. Ακόμη, εμφανίζονται οι γραμμές τάσης, οι αντίστοιχες εξισώσεις των ευθειών και οι αντίστοιχοι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης R. Παρατηρούμε ότι η συσχέτιση των μετρήσεων κοντά στον πυθμένα είναι καλύτερη καθώς οι τιμές R στα μεγαλύτερα βάθη κυμαίνονται από 0,61 ως 0,88.



(α)

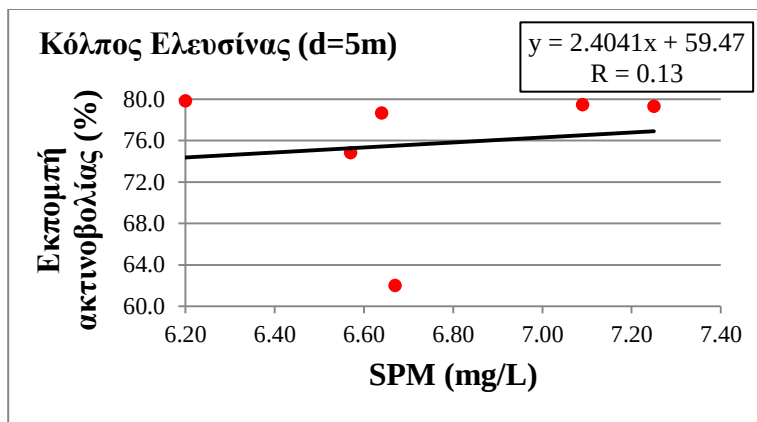


(β)

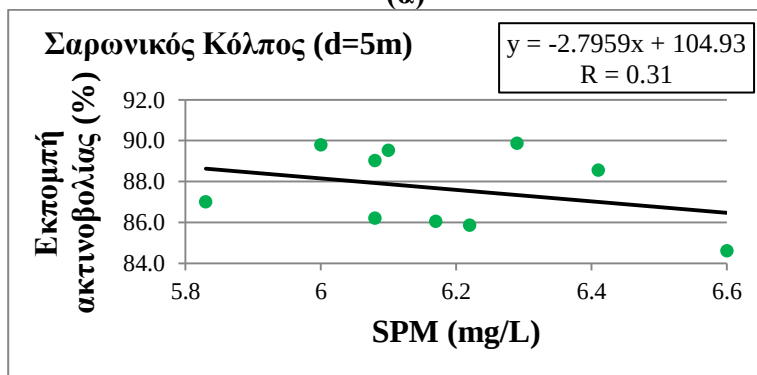


(γ)

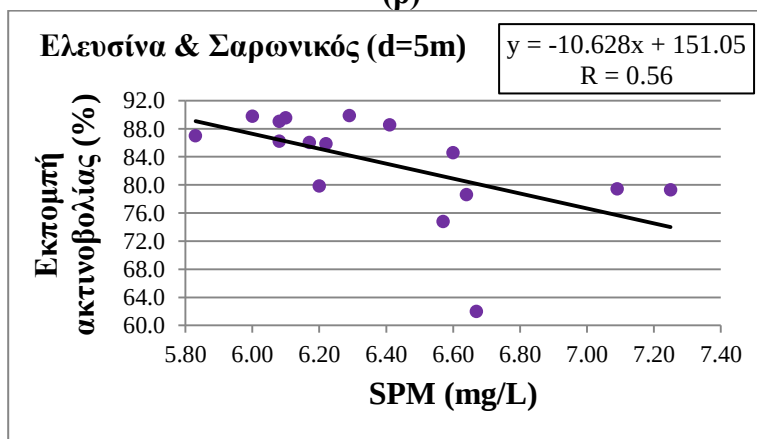
Σχήμα 4.22: Διάγραμμα Εκπομπής ακτινοβολίας - SPM των δειγμάτων νερού (α) του κόλπου της Ελευσίνας, (β) του Δυτικού, Βόρειου και Νότιου Σαρωνικού και (γ) όλων κοντά στην επιφάνεια (d=2m) με εμφάνιση της γραμμής τάσης γραμμικής μορφής, της εξίσωσης της ευθείας και του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης R.



(α)

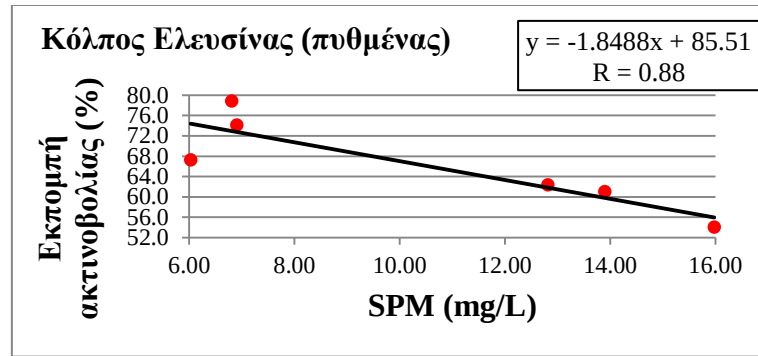


(β)

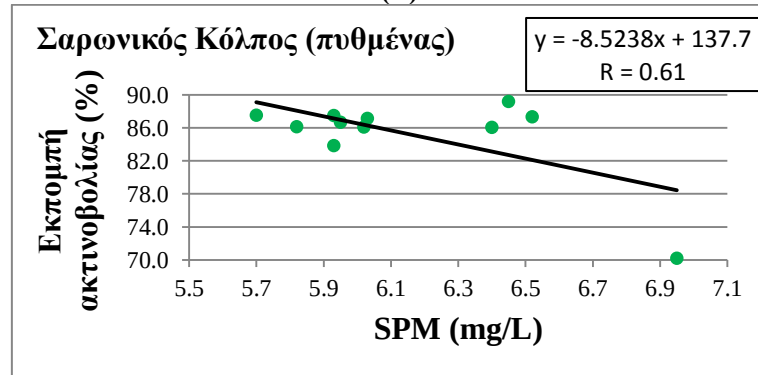


(γ)

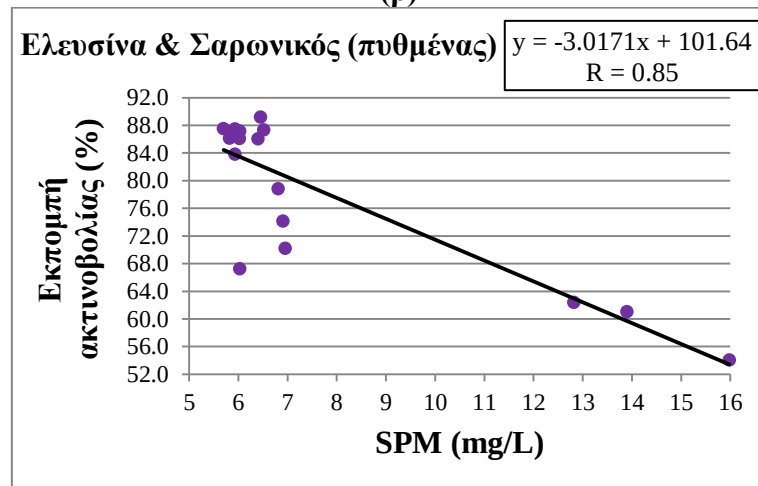
Σχήμα 4.23: Διάγραμμα Εκπομπής ακτινοβολίας - SPM των δειγμάτων νερού (α) του κόλπου της Ελευσίνας, (β) του Δυτικού, Βόρειου και Νότιου Σαρωνικού και (γ) όλων σε ενδιάμεσα βάθη (d=5m) με εμφάνιση της γραμμής τάσης γραμμικής μορφής, της εξίσωσης της ευθείας και του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης R.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 4.24: Διάγραμμα Εκπομπής ακτινοβολίας - SPM των δειγμάτων νερού (α) του κόλπου της Ελευσίνας, (β) του Δυτικού, Βόρειου και Νότιου Σαρωνικού και (γ) όλων κοντά στον πυθμένα με εμφάνιση της γραμμής τάσης γραμμικής μορφής, της εξίσωσης της ευθείας και του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης R.

4.6 ΚΑΘΙΖΗΣΗ – ΕΠΑΝΑΙΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

4.6.1 Ταχύτητα καθίζησης

Προκειμένου να βρούμε την τελική ταχύτητα καθίζησης των κόκκων των ιζημάτων, που συλλέχθηκαν, κάνουμε χρήση της εξίσωσης του Van Rijn (1993) (βλέπε ενότητα 1.6) για $1 \leq D \leq 100 \mu\text{m}$ και D τη μέση διάμετρο ($=Mz$) των κόκκων. Έτσι, βλέποντας τον Πίνακα 4.3, παρατηρούμε ότι η ταχύτητα καθίζησης των κόκκων στα ιζήματα του Σαρωνικού κόλπου παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή της 0,0028 m/s στη θέση S22 του Νότιου (Εξωτερικού) κόλπου και τη χαμηλότερη 0,00002 m/s στις θέσεις UN6 και UN11 του Δυτικού κόλπου, θεωρώντας ότι δεν υπάρχει κυκλοφορία των θαλάσσιων μαζών.

Πίνακας 4.3: Τελικές ταχύτητες (w_s) και χρόνοι καθίζησης (t) των κόκκων διαφορετικών διαμέτρων ($d = Mz$) των ιζημάτων του Σαρωνικού κόλπου.

Δείγμα	Βάθος (m)	D (μm)	w_s (m/s)	t (ημέρες)
ΚΟΛΠΟΣ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ				
EL2	14,50	11,68	0,0001	1,7
EL3	18,00	10,24	0,0001	2,1
EL4	20,00	11,52	0,0001	2,3
EL6	27,00	13,14	0,0002	1,6
EL7	32,00	17,10	0,0003	1,2
ΒΟΡΕΙΟΣ (ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ) ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ				
S3	29,00	14,08	0,0002	1,7
S8	90,00	10,24	0,0001	10,4
S11	77,49	15,20	0,0002	4,5
S13	87,71	28,36	0,0008	1,3
ΔΥΤΙΚΟΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ				
N1	124,70	27,78	0,0007	2,1
UN4	80,00	15,51	0,0002	4,6
UN6	204,00	4,68	0,00002	118,1
UN11	407,00	4,76	0,00002	118,1
ΝΟΤΙΟΣ (ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ) ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ				
UN12A	216,00	8,43	0,00007	35,7
S16	84,75	31,03	0,0009	1,1
S22	193,00	55,19	0,0028	0,8
N2	181,00	16,29	0,0002	10,5

Προφανώς οι διαφορές στις ταχύτητες καθίζησης οφείλονται στο διαφορετικό μέγεθος των κόκκων. Βέβαια, πιθανότατα οι ταχύτητες αυτές να είναι πολύ μεγαλύτερες (π.χ. διπλάσιες, τριπλάσιες) και στην περίπτωση κατά την οποία οι κόκκοι δεν καθιζάνουν ως ανεξάρτητοι αλλά ως συσσωματώματα (flocs). Η τελευταία αυτή διεργασία είναι πολύ πιθανή κυρίως στη ζώνη του πυκνοκλινούς εντός της οποίας επιβραδύνεται η προς τα κάτω κίνηση των κόκκων ενώ η συσσωμάτωση τους διευκολύνεται και από την παρουσία οργανικού

υλικού (αυξημένες τιμές φθορισμού). Η καθίζηση των κόκκων των ιζημάτων του Σαρωνικού κόλπου πραγματοποιείται σε λιγότερο από 24 ώρες στη θέση S22 του Νότιου (Εξωτερικού) κόλπου ενώ οι περισσότερες μέρες (118,1) απαιτούνται για να καθιζήσουν τα δείγματα των σταθμών UN6 και UN11 του Δυτικού κόλπου. Οι χρόνοι αυξάνονται κατά πολύ στην περίπτωση κυκλοφορίας των θαλάσσιων μαζών.

4.6.2 Επαναιώρηση των ιζημάτων

Ακόμη, προβάλλοντας τις μέσες διαμέτρους των κόκκων στο γράφημα Shields (Σχήμα 1.3) συμπεραίνουμε ότι η σταθερά συσχέτισης θ πρέπει να έχει τιμές από 0.18 ως 2,2 για να μεταφερθούν τα ιζήματα σε αιώρηση. Ακολουθώντας επιλύοντας τις εξισώσεις της ενότητας 1.7 υπολογίζονται οι αντίστοιχες διατμητικές τάσεις για τα διάφορα κοκκομετρικά μεγέθη, από τις οποίες μπορεί να γίνει εκτίμηση των ταχυτήτων των θαλάσσιων ρευμάτων που θα πρέπει να δρουν κοντά στον πυθμένα (σε απόσταση 1 μέτρου) ώστε να είναι ικανά να επαναιωρήσουν τα ιζήματα του πυθμένα. Όπως προκύπτει από τους υπολογισμούς, οι ταχύτητες αυτές κυμαίνονται από 0.40 m/s στις θέσεις S22 και S16 του Νότιου (Εξωτερικού) κόλπου έως 0.50 m/s για την επαναιώρηση των δειγμάτων UN6 και UN11 του Δυτικού κόλπου στην περίπτωση όπου η τραχύτητα (υδραυλική ανωμαλία) του πυθμένα αποδοθεί μόνο στην κοκκομετρία (Mz), ενώ μειώνονται σημαντικά εάν η τραχύτητα του πυθμένα αποδοθεί στο μικροανάγλυφο του θεωρώντας (κατά προσέγγιση) ύψος ανωμαλίας 1 cm με τιμές ταχυτήτων 0,24 - 0,26 m/s (Πίνακας 4.4).

Πίνακας 4.4: Σταθερές συσχέτισης θ κινητοποίησης των ιζημάτων και ταχύτητες (U) των πιθανών θαλάσσιων ρευμάτων για $k_s = Mz$ και $k_s = 1cm$.

Δείγμα	Βάθος (m)	D (μm)	θ (κινητοποίησης)	U (ταχύτητα) (m/s)	
				k _s =Mz	k _s =1 cm
ΚΟΛΠΟΣ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ					
EL2	14,50	11,68	0,9	0,47	0,25
EL3	18,00	10,24	1,0	0,45	0,24
EL4	20,00	11,52	0,9	0,47	0,25
EL6	27,00	13,14	0,8	0,45	0,25
EL7	32,00	17,10	0,6	0,44	0,25
ΒΟΡΕΙΟΣ (ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ) ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ					
S3	29,00	14,08	0,8	0,47	0,26
S8	90,00	10,24	1,0	0,45	0,24
S11	77,49	15,20	0,7	0,45	0,25
S13	87,71	28,36	0,34	0,41	0,24
ΔΥΤΙΚΟΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ					
N1	124,70	27,78	0,34	0,41	0,24
UN4	80,00	15,51	0,7	0,45	0,25
UN6	204,00	4,68	2,2	0,50	0,26
UN11	407,00	4,76	2,2	0,50	0,26

ΝΟΤΙΟΣ (ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ) ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ					
UN12A	216,00	8,43	1,3	0,47	0,25
S16	84,75	31,03	0,3	0,40	0,24
S22	193,00	55,19	0,18	0,40	0,24
N2	181,00	16,29	0,6	0,43	0,24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Τα ποσοστά άμμου των επιφανειακών ιζημάτων, που συλλέχθηκαν από τις τέσσερις υποπεριοχές του Σαρωνικού Κόλπου [Κόλπος της Ελευσίνας, Δυτικός Σαρωνικός, Βόρειος (ή Εσωτερικός) Σαρωνικός και Νότιος (ή Εξωτερικός) Σαρωνικός] κυμαίνονται από 1,5% έως 64,6%, με το μικρότερο ποσοστό να μετράται στο δείγμα UN6 (Δυτικός Σαρωνικός) και το μεγαλύτερο στο S22 [Νότιος (ή Εξωτερικός) Σαρωνικός]. Ακόμη, το δείγμα S22 εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές σε ιλύ και άργιλο (28,7% και 6,5% αντίστοιχα) ενώ οι μεγαλύτερες τιμές τους παρουσιάζονται στο Βόρειο (Εσωτερικό) κόλπο (78,8% στη θέση S8) και στη νότια πλευρά του Δυτικού κόλπου (23,9% στο δείγμα UN11), αντίστοιχα.
- Ο μεγαλύτερος αριθμός των επιφανειακών ιζημάτων του Σαρωνικού κόλπου (EL2, EL4, EL6, EL7, UN4, N1, S13, S3, S11, S16, S22 και N2), αντιστοιχεί κοκκομετρικά σε αμμούχο πηλό (sM) και τα υπόλοιπα (EL3, UN6, UN11, S8 και UN12A) σε πηλό (M).
- Το μέσο κοκκομετρικό μέγεθος (Mz) των ιζημάτων κυμαίνεται από 4,18 φ (0,055 mm) στο δείγμα S22 του Νότιου (Εξωτερικού) κόλπου μέχρι 7,74 φ (0,005 mm) στο ίζημα της θέσης UN6 από το Δυτικό κόλπο. Η ταξινόμηση των ιζημάτων ($\sigma_1 = 1,85 - 2,67$ φ) είναι φτωχή έως πολύ φτωχή, δείχνοντας ένα αδύναμο υδροδυναμικό καθεστώς κοντά στον πυθμένα. Τα ιζήματα είναι σχεδόν συμμετρικά ($S_{KI} = -0,01$ φ) ή έχουν θετική ή πολύ θετική λοξότητα ($S_{KI} > 0,75$) δηλαδή επικρατούν οι σχετικά λεπτόκοκκες κοκκομετρικές κλάσεις. Τέλος, τα ιζήματα χαρακτηρίζονται από πλατύκυρτα έως μεσόκυρτα, καθώς οι τιμές της K_G κυμαίνονται ανάμεσα στα 0,67 φ και 1,11 φ, με εξαίρεση το δείγμα από τη θέση EL3 στον κόλπο της Ελευσίνας, το οποίο είναι λεπτόκυρτο.
- Υδρολογικά, τον Οκτώβριο 2017, έχουμε την ύπαρξη ενός στρώματος νερού από την επιφάνεια μέχρι το βάθος περίπου των 60 m με T: 23,6°C, S: 38,9 και σ_θ : 26,7 kg/m³, το οποίο υπέρκειται ενός έντονου (εποχιακού) θερμοκλινούς με T: 22°C, S: 39 και σ_θ : 27,3 kg/m³ (60+/-5 m), που με τη σειρά του επικάθεται πάνω σε ένα στρώμα με χαρακτηριστικά θερμοκλινούς (μόνιμου) μέχρι τα -120 m έχοντας T: 15,4°C, S: 39 και σ_θ : 29 kg/m³. Τέλος, η βαθύτερη μάζα νερού (βάθη 120 - 405 m) χαρακτηρίζεται από T: 14°C, S: 38,9 και σ_θ : 29,22 kg/m³. Στην περιοχή του κλειστού και ρηχού (βάθη <35 m) κόλπου της Ελευσίνας το θερμοκλινές αναπτύσσεται σε βάθος 20 - 25 m.
- Μελετώντας τα αντίστοιχα διαγράμματα της κολώνας του νερού, που συλλέχθηκε το Μάρτιο 2017, διαπιστώνουμε την ύπαρξη ενός επιφανειακού στρώματος μέχρι τα 10 - 15 m με T: 15,3°C, S: 39,0 και σ_θ : 29 kg/m³, υπερκείμενο ενός ευδιάκριτου πυκνοκλινούς/θερμοκλινούς με T: 14,8°C, S: 39 και σ_θ : 29,1 kg/m³, το οποίο φθάνει μέχρι περίπου το βάθος των 30 m και φαίνεται να κάθεται πάνω σε ένα στρώμα

δευτερεύοντος πυκνοκλινούς (ή μεταβατικό στρώμα) ως τα 120 - 130 m, το οποίο έχει T: 14,7°C, S: 39,0 και σ_θ : 29,1 kg/m³. Από το βάθος αυτό και μέχρι τον πυθμένα (βάθος 407 m) βρίσκεται το στρώμα των βαθιών υδάτων με T: 13,9°C, S: 38,9 και σ_θ : 29,2 kg/m³.

- Το αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό στην επιφάνεια των δειγμάτων νερού, που συλλέχθηκαν, κυμαίνεται από 5,39 mg/l στο δείγμα S22 από το Νότιο (Εξωτερικό) κόλπο μέχρι 8,66 mg/l στο δείγμα EL7 του κόλπου της Ελευσίνας. Σε ενδιάμεσα βάθη το SPM υπολογίζεται μεταξύ των τιμών 5,83 mg/L στο δείγμα S3 στο Βόρειο (Εσωτερικό) κόλπο και 7,25 mg/L στο EL6 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Το SPM κοντά στον πυθμένα των υδάτων εμφανίζει τιμές από 5,70 mg/L στο δείγμα της θέσης UN11, που βρίσκεται στο Δυτικό κόλπο και αποτελεί το βαθύτερο σημείο του Σαρωνικού κόλπου μέχρι 15,98 mg/L στο δείγμα EL6 του κόλπου της Ελευσίνας.
- Οι υψηλές τιμές SPM στα ύδατα κοντά στον πυθμένα (2-3 μέτρα πάνω από αυτόν) των δειγμάτων EL6 στον κόλπο της Ελευσίνας οφείλονται στη θέση του, καθώς βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη του 1 km από τα αγκυροβόλια των δεξαμενόπλοιων στα διωλιστήρια της Ελευσίνας, όπου τα ιζήματα του πυθμένα επαναιωρούνται λόγω των ρευμάτων ή της κίνησης των πλοίων καθώς και στο γεγονός ότι το δείγμα συλλέγεται μέσα στο στρώμα του πυκνοκλινούς (24-25 m). Το δείγμα της θέσης EL7 προέρχεται από λίγο μεγαλύτερο βάθος κάτω από το πυκνοκλινές, όπου διαφεύγει αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό. Η αυξημένη παρουσία της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης στη ζώνη του πυκνοκλινούς οφείλεται στην καθυστέρηση της καθίζησης λόγω αυξημένης πυκνότητας, ενώ η καθυστέρηση αυτή ευνοεί και τη διεργασία της συσσωμάτωσης (flocculation) των αργιλικών ιζημάτων, τα οποία ακολουθώντας ως συσσωματώματα (flocs) πολύ μεγαλύτερου μεγέθους από τα αρχικά σωματίδια καθιζάνουν με σημαντικά μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι τα ανεξάρτητα λεπτόκοκκα σωματίδια.
- Οι υψηλές μετρήσεις εκπομπής ακτινοβολίας των δειγμάτων νερού δείχνουν μικρότερη θολρότητα νερών και συνδέονται με μικρότερες συγκεντρώσεις SPM. Αντίθετα, οι τιμές της εκπομπής ακτινοβολίας είναι μειωμένες εντός της ζώνης του πυκνοκλινούς (~60 m) στο Σαρωνικό Κόλπο αλλά και εντός του Κόλπου της Ελευσίνας, όπου το πυκνοκλινές εντοπίζεται σε βάθος περίπου 25 m. Η συσχέτιση μετρήσεων εκπομπής ακτινοβολίας και SPM είναι καλύτερη σε δείγματα κοντά στον πυθμένα καθώς ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης R εμφανίζει τιμές 0,61 - 0,88. Στα επιφανειακά δείγματα (-2 m) η συσχέτιση παίρνει τιμές περί το 0,4, υποδηλώνοντας αφενός μια μέτρια συσχέτιση και αφετέρου την παρουσία και άλλων παραγόντων στη διαμόρφωση των οπτικών ιδιοτήτων του νερού, όπως είναι οι παράμετροι της χλωροφύλλης (Chl a) του οργανικού υλικού π.χ. CDOM (Colored or Chromophoric Dissolved Organic Matter).
- Η ταχύτητα καθίζησης των κόκκων στα ιζήματα του Σαρωνικού κυμαίνεται από 0,002 cm/s στις θέσεις UN6 και UN11 του Δυτικού κόλπου ως 0,28 cm/s στη θέση S22 του Νότιου (Εξωτερικού) κόλπου, θεωρώντας ότι δεν υπάρχει κυκλοφορία των θαλάσσιων

μαζών. Πιθανότατα οι ταχύτητες αυτές να είναι πολύ μεγαλύτερες στην περίπτωση κατά την οποία οι κόκκοι καθιζάνουν ως συσσωματώματα (flocs), που είναι πολύ πιθανό κυρίως στη ζώνη του πυκνοκλινούς εντός της οποίας επιβραδύνεται η προς τα κάτω κίνηση των κόκκων ενώ η συσσωμάτωση τους διευκολύνεται και από την παρουσία οργανικού υλικού. Η καθίζηση των κόκκων των ιζημάτων του Σαρωνικού κόλπου πραγματοποιείται σε λιγότερο από 24 ώρες στη θέση S22 του Νότιου (Εξωτερικού) κόλπου ενώ τα δείγματα των σταθμών UN6 και UN11 του Δυτικού κόλπου καθιζάνουν σε 118 περίπου ημέρες. Οι χρόνοι αυτοί αναμένεται να αυξηθούν κατά πολύ στην περίπτωση παρουσίας θαλάσσιων ρευμάτων.

- Η σταθερά συσχέτισης θ στο γράφημα Shields πρέπει να έχει τιμές από 0,18 ως 2,2 για να μπουν τα ιζήματα του πυθμένα σε αιώρηση. Για τις τιμές αυτές απαιτούνται ρεύματα κοντά στον πυθμένα μεταξύ 0,40 m/s και 0,50 m/s όταν η τραχύτητα (υδραυλική ανωμαλία) του πυθμένα αποδίδεται μόνο στην κοκκομετρία (Mz), ενώ στην περίπτωση που η τραχύτητα του πυθμένα αποδοθεί στο μικροανάγλυφο του (που είναι και το πλέον φυσιολογικό) με ύψος ανωμαλίας έστω μόνο το 1 cm οι τιμές ταχυτήτων μειώνονται στα 0,24 - 0,26 m/s. Ρεύματα με τέτοιες ταχύτητες έχουν παρατηρηθεί σε άλλες περιοχές, όπως για παράδειγμα 18 cm/s στον ανοικτό Θερμαϊκό (βάθος 850 m), 190 cm/s στο στενό της Ζακύνθου (550 m) και στο ΒΑ Ιόνιο (Κεφαλονιά) όπου σε βάθη >1000 m μετρήθηκαν ρεύματα από 19,5 έως και 58,6 cm/s (Poulos et al., 1993).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση

1. Δασενάκης, Ε., Λαδάκης, Ε., Καραβόλτσος, Σ., Παρασκευοπούλου, Β., 2015. Χημική Ωκεανογραφία. Αθήνα: ΣΕΑΒ.
2. ΕΚΘΕ, 1988. Καταγραφή Παραμέτρων του Σαρωνικού Κόλπου, Τεχνική Έκθεση 1985-86, Αθήνα, σελ. 157.
3. ΕΚΘΕ, 1991. Καταγραφή Παραμέτρων του Σαρωνικού Κόλπου, Τεχνική Έκθεση 1987-90, Αθήνα.
4. Λασκαράτος, Α., και Καλτσουνίδης, Ν., 1989. Μελέτη Υδροδυναμικής Δίαιτας του Εσωτερικού Σαρωνικού Κόλπου και της Ρύπανσης του από τη Διάθεση των Λυμάτων της Αθήνας, Τελική Έκθεση, Μέρος Α, Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.154.
5. Μπαρμπετσέας Σ., Παπαγεωργίου Ε., 1997. Εποχιακές μεταβολές των φυσικών χαρακτηριστικών του Σαρωνικού κόλπου κατά το 1995, *Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας*, Καβάλα, τόμος Ι, 15-17.

Ξενόγλωσση

6. Allen, J.R.L., 1985. Principles of Physical Sedimentology. George Allen & Unwin, London, p. 272.
7. Aloisi, J.C., Cambon, J. P., Carbonne, J., Cauwet, G., Millot, C., Monaco, A. and Pauc, H., 1982. Origine et rôle du néphéloïde profond dans le transfert des particules au milieu marin. Application au Golfe du Lion. *Oceanologica Acta*, 5, 481-491.
8. Anagnostou, E.N., and Krajewski W.F., 1998. Calibration of the WSR-88D precipitation processing subsystem. *Weather and Forecasting* 13, 396-406.
9. Aston, S.R., 1985. "Trace element analysis" in Practical Estuarine Chemistry, ed. Head P.C., Cambridge University Press, p.133.
10. Barbetseas S., 1983. An Analysis of the Water Masses in the Gulf of Saronikos, Greece, in 1975 and 1976, *Sp. Rpt.*, M-102, SACLANTCEN, 57p.
11. Bennett, A.S., 1976. Conversion of in situ measurements of conductivity to salinity. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 23(2), 157-165.
12. Berger, W.H. and Winterer, E.L., 1974. Plate stratigraphy and the fluctuating carbonate line, in: Pelagic Sediments on Land and in the Oceans, K.J. Hsui and H. Jenkins, eds., Int. Assoc. Sedimentol., Spec. Publ. 1.
13. Bourassa, S. L., 1984. Measurement of oceanic wind speed using acoustic ambient sea noise. M.S. thesis, Oceanography Department, University of Rhode Island, pp. 87-93.
14. Chronis, G., 1986. Recent dynamic and Holocene sedimentation of Thermaikos Bay. Unpublished Ph.D. Thesis, Univ. Athens, 228 p. (in Greek).
15. Drake, D.E., Kolpack, R.L. and Fischer, P.J., 1972. Sediment transport on Santa Barbara-Oxnard shelf, Santa Barbara Channel, California. In: D.J.P. Swift, D.B. Duane and O.H.

- Pilkey (Editors), Shelf Sediment Transport: Process and Pattern Dowden, Hutchinson and Ross: Stroudsburg, Pa., pp. 307-332.
16. Eisma, D., 1986. Flocculation and de-flocculation of suspended matter in estuaries. *Netherlands Journal for Sea Research*, 20 (2/3), 183–199.
 17. Eittreim, S., & Ewing, M., 1972. Suspended particulate matter in the deep waters of the North American Basin. In A. L. Gordon, *Studies in physical oceanography. Georg Wüst tribute*, 2 (pp. 123–167). New York: Gordon and Breach.
 18. Folk, R.L., 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publications Company, Austin, Texas.
 19. Fredsøe, J., and Deigaard, R., 1994. Mechanic of Coastal Sediment Transport, Advanced series on Coastal Engineering, 3, World Scientific Singapore.
 20. Friligos, N., 1985. Impact on phytoplankton populations of sewage discharges in the Saronikos Gulf (West Aegean). *Water Research*, 19(9), 1107-1118.
 21. Friligos, N., 1999. Long term eutrophication changes in the Elefsis bay, an intermittently greek anoxic marine bay. *Proceedings of the International Conference on Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea: Similarities and Differences of two Interconnected Basins*, 23-26 February 1999, Athens Greece, 335-336.
 22. Gibbs, R.J., 1985. Estuarine flocs: their size, settling velocity and density. *Journal of Geophysical Research*, 90, 3249-3251.
 23. Grotzinger, J., 2010. *Understanding Earth*, 6th Ed. London: Freeman and Company.
 24. Gussone, N., Langer, G., Geisen, M., Steel, B. A., & Riebesell, U., 2007. Calcium isotope fractionation in coccoliths of cultured *Calcidiscus leptoporus*, *Helicosphaera carteri*, *Syracosphaera pulchra* and *Umbilicosphaera foliosa*. *Earth and planetary science letters*, 260(3-4), 505-515.
 25. Hopkins, T. S., Coachmann, L. K. & Edwards, R. F., 1974. Seasonal changes in Elefsis Bay, Greece. Presented at the XXIV Congres-Assemblee Pleniére du Monaco (C.I.E.S.M.).
 26. Hopkins, T. S., and Coachman, L. K., 1975. Circulation patterns in the Saronikos Gulf in relation to the winds. Interim Technical Report 1. Environmental Pollution Control Project, Athens, Greece.
 27. Kontoyiannis, H., 2010. Observations on the circulation of the saronikos gulf: a Mediterranean embayment sea border of Athens, Greece. *J. Geophysical Research, Oceans*, 115(C6).
 28. Krone, R.B., 1972. A field study of flocculation as a factor in estuarial shoaling processes. Technical Bulletin 19, U.S. Army Corps of Eng., COMMITTEE ON TIDAL HYDRAULICS (ARMY) WASHINGTON DC, pp. 1-62.
 29. Lal, D., 1977. The oceanic microcosm of particles. *Science* 198, 997–1009.
 30. Lewis, D.W., 1984. *Practical Sedimentology*. van Nostrand Reinhold, New York, 229p.
 31. Meade, R.H., Sachs, P.L., Manheim, F.T., Hathaway, J.C., Spencer, D.W., 1975. Sources of suspended matter in waters of the Middle Atlantic Bight.--*J. Sed. Petrol.* 45: 171-188.
 32. NCMR, 1996. Pollution Research and Monitoring Programme in the Saronikos gulf, *Technical Report 1995*, (Ed). By Catsiki V.A and Bei F., Athens, p.121.

33. NCMR, 2000a. Monitoring of the Saronikos gulf ecosystem affected by the Psittalia sea outfalls 2000-2004. (ed. Siokou-Frangou I.) Interim Technical report.
34. NCMR, 2002. Monitoring of the Saronikos Gulf ecosystem affected by the Psittalia outfall for the period 2000-2004. (ed. I. Siokou-Frangou.) Interim Technical Report.
35. Nomikou, P., Papanikolaou, D., Alexandri, M., Sakellariou, D., Rousakis G., 2013: Submarine volcanoes along the Aegean Volcanic Arc. *Tectonophysics* 507-508, 123-146.
36. Panagiotoulas, I., Botsou F, Paraskevopoulou V., Scoullou, M, Dassenakis, M., Kaberi, H., Karageorgis, A., 2015. A record of industrial metal pollution reduction as a result of change of production route, implementation of legislation and the application of BAT's, *Sustainable Mediterranean*, (71), 6-18. Proceedings of the International Conference Environmental Perspectives of the Gulf of Elefsis. A Mediterranean case study where Science meets the Society, Issue No 71.
37. Papanikolaou, D., Lykoussis, V., Chronis, G. & Pavlakis, P., 1988a. A comparative study of neotectonic basins across the Hellenic arc: The Messiniakos, Argolikos, Saronikos and Southern Evoikos Gulfs. *Basin Research*, 1, 167-176.
38. Papanikolaou, D., 1989a. Are the Medial Crystalline Massifs of the Eastern Mediterranean drifted Gondwanian fragments? In D. Papanikolaou & F. P. Sassi (Eds.), *Newsletter* (pp. 63–90). Athens: Special Publications of the Geological Society of Greece 1.
39. Poulos, S.E., Collins, M.B., Ke, X., 1993. Fluvial/wave interaction controls on delta formation for ephemeral rivers discharging into microtidal waters. *Geo-Mar. Lett.* 13, 24–31.
40. Poulos, S., 2001. The contribution of near-bed currents to modern sedimentation processes in the deep waters of the Hellenic Arc-Trench system, eastern Mediterranean. *Geo-Marine Letters*, 20(4), 201-208.
41. Poulos, S., 2009. Origin and distribution of the terrigenous component of the unconsolidated surface sediment of the Aegean seafloor: a synthesis. *Continental Shelf Research*, 29, 2045-2060.
42. Prokhorov, A., 2010. *The Great Soviet Encyclopedia*, 3rd Ed. Michigan: The Gale Group, Inc. Randolph Femmer, USGS. Public domain.
43. Sakamoto, W., 1972. Study on the process of river suspension from flocculation to accumulation in estuary. *Tokyo Daigaku Jaiyo Kenkyojo Bulletin*, 5, 1-49.
44. Scoullou, M. and J.P. Riley, 1978. Water circulation in the Gulf of Elefsis, Greece. *Thalassia Jugoslavia*, 14(4/4): 357.
45. SoHelME, 2005. State of the Hellenic Marine Environment. E. Papathanassiou & A. Zenetos (eds) , HCMR Publ., 37-39 and 67-70.
46. Thurman, H.V. and Trujillo, A.P., 2013. *Essentials of Oceanography*. 11th Ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, Inc.
47. Van Rijn, L., 1993. *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas: The Netherlands*, Aqua Publications, v. 1, 700 p.
48. Wimbush, M. and Munk, W., 1971. The benthic boundary layer. In: M.N. Hill (Editor), *The Sea*, 4. Wiley, New York, N.Y., pp.731—758.

49. Wright, L.D., Boon, J.D., Xu, J.P., Kim, S.C., 1992. The bottom boundary layer of the bay stem plains environment of lower Chesapeake Bay. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 35, 17-36.
50. Yannopoulos, G. and Yannopoulos, A., 1973. The Saronikos and the S.Evoikos gulfs, Aegean Sea. Zooplankton standing stock and environmental factors – *Pelagos* 4(2), 73-81.
51. Zabawa, C., 1978. Microstructures of agglomerated suspended sediments in northern Chesapeake Bay estuary, *Science*, 202, 49-51.

Διαδίκτυο

52. Κατανομή της θερμοκρασίας του νερού κατά βάθος (Σχήμα 1.2)
<https://nptel.ac.in/courses/119102007/basic%20meteorology%20and%20oceanography/module1%20the%20atmosphere%20and%20ocean.html> [8 Φεβρουαρίου 2019]
53. Κατανομή της πυκνότητας του νερού κατά βάθος (Σχήμα 1.3)
http://homepage.smc.edu/grippo_alessandro/oce1.html [8 Φεβρουαρίου 2019]
54. Τρηματοφόρα (Σχήμα 1.5α)
<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech> [9 Φεβρουαρίου 2019]
55. Πτερόποδα (Σχήμα 1.5β)
<http://www.supernewsworld.com> [9 Φεβρουαρίου 2019]
56. Διάτομα (Σχήμα 1.5δ)
<http://www.manchesterhermit.wordpress.com> [9 Φεβρουαρίου 2019]
57. Εβαπορίτης (Σχήμα 1.6α)
<http://mineral.esci.umn.edu/node/1225> [10 Φεβρουαρίου 2019]
58. Φωσφορίτης (Σχήμα 1.6β)
<http://www.geologyscience.com> [10 Φεβρουαρίου 2019]
59. Κόνδυλοι Fe-Mn (Σχήμα 1.6γ)
<http://www.worldoceanreview.com> [10 Φεβρουαρίου 2019]
60. Υδροθερμικές αποθέσεις σουλφιδίων (Σχήμα 1.6δ)
https://worldoceanreview.com/wp-content/uploads/2010/10/7_5-smoker_01.jpg [12 Απριλίου 2019]
61. Σχηματισμός νεφελοειδών στρωμάτων (Σχήμα 1.8)
<http://scientistsatsea.blogspot.com/2014/06/day-10-in-whittard-canyon.html> [15 Νοεμβρίου 2018]

62.ΕΥΔΑΠ

<https://www.eydap.gr/TheCompany/DrainageAndSewerage/Sewerage/> [18 Νοεμβρίου 2018]

63.Ω/Κ "ΑΙΓΑΙΟ" (Σχήμα 3.1)

<https://www.erevna.minedu.gov.gr/index.php/gr/neaka-m/2061-neakriti-gr-2098>

[16_Νοεμβρίου 2018]

64.Τριγωνικά διαγράμματα Folk (Σχήμα 3.6)

<https://pubs.usgs.gov/of/2006/1187/html/docs/folk.htm> [17 Νοεμβρίου 2018]

65.Μηχάνημα Mastersizer 2000 (Σχήμα 3.7α)

<https://www.malvernpanalytical.com/en/support/product-support/mastersizer-range/mastersizer-2000/> [16 Νοεμβρίου 2018]