

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΑΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

«Περιβαλλοντική κατάσταση των επιφανειακών ιζημάτων του Σαρωνικού Κόλπου».



ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΣΤΑΜΑΤΙΑ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ Εθνικόν και Καποδιστριακόν Πανεπιστήμιον Αθηνών —— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837—— ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

«Περιβαλλοντική κατάσταση των επιφανειακών ιζημάτων του Σαρωνικού Κόλπου».

ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΣΤΑΜΑΤΙΑ (Α.Μ.: 2015006)

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

- Σ. Πούλος, Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ (επιβλέπων)
- Ε. Δασενάκης, Καθηγητής Τμήματος Χημείας, ΕΚΠΑ
- Β. Καψιμάλης, Δ/ντης Ερευνών του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ).

AOHNA, 2019

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον καθηγητή Ωκεανογραφίας και Φυσικής Γεωγραφίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος κ. Σεραφείμ Πούλο καθώς και τον καθηγητή του Τμήματος Χημείας κ. Εμμανουήλ Δασενάκη όπως επίσης και τον Δ/ντη Ερευνών του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ), κ. Βασίλη Καψιμάλη για τη γενική επίβλεψη τους ως μέλη της τριμελούς επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, τους Δρ. Κατερίνα Καρδιτσά και Στέλιο Πετράκη για την τη συνεχή καθοδήγηση τους καθ' όλη τη διάρκεια του πειραματικού μέρους της διπλωματικής μου εργασίας. Ακόμη, τον ερευνητή του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) κ. Πάνο Γεωργίου και την υποψήφια διδάκτορα Κική Μαντά που με την εμπειρία και τις γνώσεις τους με καθοδήγησαν σε όλη τη διάρκεια των εργαστηριακών αναλύσεων στο Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ) της Αναβύσσου, Αθήνα.

Τέλος, την οικογένεια μου καθώς τη φίλη και συμφοιτήτρια μου Σωτηριάννα Θεοφίλου που βρίσκονται καθόλη τη διάρκεια δίπλα μου στηρίζοντας με τόσο πρακτικά όσο και ηθικά.

Η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη στους γονείς μου και στην αδελφή μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 5 |
|--|----|
| ABSTRACT | 7 |
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | 9 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°: ΘΕΩΡΙΑ | |
| 1.1. Βαρέα Μέταλλα | |
| 1.1.1.Ορισμός βαρέων μετάλλων | |
| 1.1.2.Πηγές βαρέων μετάλλων | 11 |
| 1.1.3.Ιδιότητες μετάλλων | 12 |
| 1.1.4.Στοιχεία για τα διερευνώμενα μέταλλα | 13 |
| 1.2. Θαλάσσια Ιζήματα | |
| 1.2.1.Συμπεριφορά βαρέων μετάλλων στο υδάτινο περιβάλλον | 25 |
| 1.2.2.Τα βαρέα μέταλλα στα θαλάσσια ιζήματα | |
| 1.2.3.Πυρήνες ιζημάτων | |
| 1.2.4.Παράγοντες εμπλουτισμού | |
| 1.2.5.Κριτήριο περιβαλλοντικής ποιότητας ιζημάτων | |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° : ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ | |
| 2.1. Γενικά χαρακτηριστικά του Σαρωνικού κόλπου | |
| 2.2. Βαθυμετρία | |
| 2.3. Γεωλογία & Ιζηματολογία | |
| 2.4. Θαλάσσιες Μάζες και κυκλοφορία στο Σαρωνικό κόλπο | |
| 2.5. Πηγές ρύπανσης της ευρύτερης περιοχής | |
| 2.6. Βιομηχανικά απόβλητα (Κόλπος Ελευσίνας) | |
| 2.7. Εξέλιξη της ρύπανσης από αστικά λύματα | |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ | |
| 3.1. Περιοχή μελέτης – Θέσεις Δειγματοληψίας | |
| 3.2. Μακροσκοπική εξέταση πυρήνων | |
| 3.3. Κοκκομετρική Εξέταση των πυρήνων δειγματοληψίας | |
| 3.4. Μέτρηση των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων με τη μέθοδο XRF | |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ | 50 |
| 4.1. Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνων | 50 |
| 4.1.1.Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα EL-1 | |
| 4.1.2.Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα EL-5 | |
| 4.1.3.Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα UN-5 | |
| 4.1.4.Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα UN-6A | |
| 4.1.5.Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα UN-13 | |
| 4.1.6.Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα S2 | |
| 4.1.7.Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα S7B | |

| 4.2. Ιδιότητες Πυρήνων | 57 |
|--|-------|
| 4.2.1.Πυρήνας EL-1 | 57 |
| 4.2.2.Πυρήνας EL-5 | 60 |
| 4.2.3.Πυρήνας UN-5 | 64 |
| 4.2.4.Πυρήνας UN-6A | 66 |
| 4.2.5.Πυρήνας UN-13 | 68 |
| 4.2.6.Πυρήνας S2 | 70 |
| 4.2.7.Πυρήνας S7B | 73 |
| 4.3. Αποτελέσματα κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων με τη μεθόδο XRF | 76 |
| 4.3.1.Συγκέντρωση των κύριων στοιχείων στους πυρήνες | 76 |
| 4.3.2.Συγκέντρωση των κύριων ιχνοστοιχείων στους πυρήνες | 84 |
| 4.4. Παράγοντα Εμπλουτισμού SEF | 96 |
| 4.5. Κριτήρια Ποιότητας Ιζημάτων (ERL-ERM & TEL-PEL) | 99 |
| 4.6. Σύγκριση αποτελεσμάτων | . 101 |
| 4.6.1.Σύγκριση παρούσας δειγματοληψίας με εκείνη του 1999 | 101 |
| 4.6.2.Σύγκριση αποτελεσμάτων παρούσας δειγματοληψίας με άλλες περιοχές | . 104 |
| | |
| KΕΦΑΛΑΙΟ 5° : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | . 106 |
| | |
| ΒΙΒΛΙΟΙ ΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ | . 109 |
| | 110 |
| ΠΑΥΑΥΙΗΜΑ | .112 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος από ανθρωπογενείς δραστηριότητες ολοένα εντείνεται, με σημαντικές συνέπειες για το οικοσύστημα αλλά και τον ίδιο τον άνθρωπο. Ένας από τους σημαντικούς ρυπογόνους παράγοντες είναι τα βαρέα μέταλλα, ορισμένα εκ των οποίων (π.χ. Ni, Fe, Cu) σε μικρές συγκεντρώσεις βοηθούν στο γενικότερο μεταβολισμό των οργανισμών, ενώ άλλα όχι (π.χ. Cd, Cr, Hg, Pb, κλπ). Η πολύπλευρη μελέτη για την κατανόηση των μηχανισμών της τοξικής δράσης των μετάλλων σε κάθε οργανισμό και των μηχανισμών άμυνας τους είναι πολύ σημαντική για την εκτίμηση της "υγείας" των οικοσυστημάτων.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία στοχεύει στην εξέταση της ποιότητας των επιφανειακών ιζημάτων μέσω κοκκομετρικών αναλύσεων καθώς και προσδιορισμού της συγκέντρωσης των κύριων στοιχείων (ppm) και των ιχνοστοιχείων (ppm).

Με βάση τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι όλοι οι πυρήνες εμφανίζουν αργιλώδη ιλύ (λεπτόκοκκο υλικό)και ορισμένοι έχουν μεταξύ τους παρόμοια ιζηματογένεση παραδείγματος χάρη οι πυρήνες EL1, EL5 & S2 μεταξύ τους καθώς και οι πυρήνες UN5 & UN6. Το γεγονός δε ότι το υλικό όλων των πυρήνων δειγματοληψίας είναι λεπτόκοκκο συντελεί στην στην μεγαλύτερη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο ίζημα και άρα συντήρηση του ρυπασμένου υλικού.

Ορισμένα από τα σημαντικότερα βαρέα μέταλλα όπως Pb & Zn εμφανίζονται σε μέγιστη τιμή στην περιοχή της Ελευσίνας λόγω πολύ έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας ενώ και ελάχιστη στον πυρήνα UN5 όπου υπάρχει μια μόνο πολύ μικρή βιομηχανική ζώνη πλησίον της περιοχής δειγματοληψίας. Το Ni επίσης παρουσιάζει μέγιστη τιμή στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο (πυρήνας UN5) λόγω γεωλογίας (οφιολιθικού υλικού-ηφαίστειο Μεθάνων) και ελάχιστη στον πυρήνα EL1.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του παράγοντα εμπλουτισμού για τα κύρια στοιχεία και για τα ιχνοστοιχεία καθώς και το κριτήριο ποιότητας των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ERL - ERM & TEL - PEL μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι οι πυρήνες EL1,UN5,UN6A,UN13 & S7B εμφανίζουν από μηδενικό έως ελάχιστο εμπλουτισμό και συνεπώς μηδενική έως ελάχιστη ρύπανση. Από την άλλη πλευρά, οι πυρήνες EL5 & S2 όπου παρατηρείται μέτριος εμπλουτισμός και συνεπώς μέτρια ρύπανση. Όσον αφορά το

κριτήριο ποιότητας των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ERL-ERM & TEL-PEL παρατηρείται ότι ο μόλυβδος (Pb) & ο ψευδάργυρος (Zn) προκαλούν μικρό ποσοστό αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων σε όλες τις περιοχές από όπου έγιναν οι δειγματοληψίες. Μέτρια ποσοστά αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων εμφανίζουν το αρσενικό(As), ο χαλκός (Cu) για όλη την περιοχή δειγματοληψίας καθώς και το χρώμιο (Cr) για τους πυρήνες EL1 & S7B. Τέλος, το νικέλιο (Ni) σε όλη την περιοχή δειγματοληψίας καθώς και το χρώμιο (Cr) (για το επιφανειακό υλικό του πυρήνα EL5), σε όλο τον πυρήνα UN5 και UN6, στον ορίζοντα 30-31 του πυρήνα UN13, και για τα πρώτα 11 εκατοστά του πυρήνα S2 προκαλούν αρκετά υψηλό ποσοστό αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων.

Συγκρίνοντας την πρόσφατη δειγματοληψία (2017) που πραγματοποιήθηκε στον Σαρωνικό κόλπο με την παλαιότερη στην ίδια περιοχή (1999), μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι στον χώρο της Ελευσίνας και της Ψυτάλλειας που είναι μια βιομηχανική ζώνη παρατηρείται αύξηση αυξημένη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων έναντι των άλλων τμημάτων της περιοχής δειγματοληψίας. Αντιθετα, στον ΒΔ Σαρωνικό στον UN6A παρατηρήθηκε μείωση κυρίως του Cu, Cr & Zn ενώ μόνο για τον πυρήνα δειγματοληψίας UN6A παρατηρήθηκε επιπλέον μείωση και για τα στοιχεία του Ni, Cr & Mn με την επιφύλαξη οι διαφορές αυτές να οφείλονται σε παραμέτρους είτε εραγστηριακούς είτε σε θετική αλλαγή των περιβαλλοντικών συνθηκών στις θέσεις δειγματοληψίας.

Τέλος,συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από την παρούσα εργασια με τα αντιστοιχα για τους Κόλπους Β. Ευβοϊκό (Ρουσελάκη, 2007 και Μαλιακό Κόλπο (Καλλιαντέρη, 2016) παρατηρείται ότι πέραν του ψευδαργύρου (Zn), όπου εμφανίζεται σε σχετικά υψηλότερες τιμές στο Σαρωνικό κόλπο, όλα τα υπόλοιπα μέταλλα εμφανίζουν μέγιστες τιμές πρωτίστως στον Βόρειο Ευβοικό κόλπο και δευτερευόντως στις εκβολές του Σπερχειού ποταμού και στο Μαλιακό κόλπο.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: βαρέα μέταλλα, κύρια στοιχεία, ιχνοστοιχεία, κοκκομετρικές αναλύσεις.

ABSTRACT

Environmental State of the seabed sediment of the Saronic Gulf.

The pollution of the marine environment from human activities increased during the past decades, with serious consequences to ecosystems and humans. Heavy metals are major pollutants, some of which (e.g. Ni, Fe, Cu) in small concentrations assist in the organisms' metabolism, while others do not have any contribution (e.g. Cd, Cr, Hg, Pb, etc.). Thus, a multiparametric study is very important in order to understand the toxicity mechanisms of heavy metals in marine organism as well as the assessment of the "health" state of ecosystems.

This diploma thesis aims to examine the quality of surface sediments of the Saronic Gulf by using the grain size analysis as well as by determinate the concentration of principal components (ppm) and trace elements (ppm).

Based on the results of the grain size analysis, it seems that all cores consists of finegrainned material (silt + clay) while some of them have similar sedimentation among them, as the corers EL1, EL5 & S2 or the corers UN5 & UN6. The fact that the material of all sampling cores is finned-grained contributes to the higher concentration of heavy metals in the sediment and thus the enrichment of the contaminated material.

Amoing the examined metals the relatively higher concentarions belong to Pb & Zn. In Elefsina gulf exists very intense industrial activity and minimal in the core UN5 wherein there is only very little industrial zone adjacent the sampling region. Ni also has a maximum value in the northwestern Saronic Gulf (UN5 core) due to geology (ophiolitic material - Methane volcano) and minimum in the EL1 core. Comparing the results of the enrichment factor for the main elements and for the trace elements and the ERL - ERM & TEL - PEL environmental quality criteria it is shown that the cores EL1, UN5, UN6A, UN13 & S7B correspond to an enrichment factor from zero to minimum enrichment and, therefore, zero to minimal pollution. On the other hand, the EL5 & S2 cores where moderate enrichment, indicating therefore moderate pollution. Regarding to the ERL-ERM & TEL-PEL environmental quality criteria, lead (Pb) and zinc (Zn) cause a small percentage of adverse biological effects in all sampling areas. On the other hand, arsenic

(As), copper (Cu) at all sampling sites and chromium (Cr) for nuclei EL1 & S7B show moderate rates of adverse biological effects. Finally, nickel (Ni) for the entire sampling area produce a sufficient amount of pollution as well as chromium (Cr) for the surface material of the EL5 core, for the entire UN5 core, at 30-31cm for the UN13 core, for the entire UN6 core and the first 11cm of the S2 core.

Comparing the recent sampling (2017) campaign in the Saronic Gulf with the previous campaign in 1999 is concluded that there are lower concentrations in the area of Eleusis although it is an industrial zone and Psytalia (after the opeerationod the waste treatmwnt plant, while there is an increased concentration of heavy metals over the other parts of the Gulf. But, , the UN6A in the NW Saronic Gulf presents a decrease in the concentration of Cu, Cr & Zn, while in the case of UN6A an analogous decrease was observed only for Ni, Cr & Mn.

Finally, comparing the results for Saronikow to other Gulfs (Rouselaki et al., 2007 and Kallianteris et al., 2016), except of zinc (Zn) that is appeared in higher value in the Saronic Gulf, all the other metals present much higher values in the North Evoikos Gulf (primary) and in Maliakos Gulf / R. Spercheios mouth area (secondarily) compared to the values of Saronic Gulf.

KEYWORDS: heavy metals, main elements, trace elements, grain size analysis.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του διατμηματικού μεταπτυχιακού προγράμματος «Ωκεανογραφία & Διαχείριση Θαλάσσιου Περιβάλλοντος» στο Εργαστήριο Ιζηματολογίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ) της Αναβύσσου όσο και στο Εργαστήριο Ιζηματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Πραγματοποιήθηκε, υπό τον επιβλέποντα Καθηγητή, κ. Σεραφείμ Πούλου. Αντικείμενο τη εργασίας είναι η μελέτη της ποιότητας των επιφανειακών ιζημάτων του Σαρωνικού Κόλπου. Αυτό πραγματοποιήθηκε μέσω της κοκκομετρικής ανάλυσης των ιζημάτων καθώς και μέσω εξέτασης της συγκέντρωσης των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων των πυρήνων ιζημάτων που συλλέχθηκαν τον Οκτώβρη του 2017 σε επτά σημεία του Σαρωνικού Κόλπου.

Αναλυτικά στο πρώτο κεφάλαιο θα αναφερθούν τα χαρακτηριστικά και οι ορισμοί των βαρέων μετάλλων και οι πηγές τους στο θαλάσσιο περιβάλλον καθώς και ο ορισμός των ιζημάτων και τέλος οι δείκτες της περιβαλλοντικής κατάστασης των ιζημάτων (συντελεστής εμπλουτισμού, κριτήρια ποιότητας ιζημάτων).

Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται η περιοχή μελέτης, η θαλάσσια κυκλοφορία στο Σαρωνικό Κόλπο, οι πηγές ρύπανσης της ευρύτερης περιοχής και η μέχρι τώρα παρακολούθηση της ρύπανσης του Σαρωνικού Κόλπου.

Στο επόμενο κεφάλαιο, περιγράφεται το πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας και συγκεκριμένα ο τρόπος δειγματοληψίας καθώς και οι εργαστηριακές αναλύσεις που διεξήχθη στο Εργαστήριο Ιζηματολογίας τόσο του ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ όσο και του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναφέρονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τους επτά πυρήνες δειγματοληψίας που συλλέχθηκαν στο Σαρωνικό Κόλπο καθώς επίσης γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με άλλες περιοχές. Στο επόμενο κεφάλαιο, αναφέρονται τα συμπεράσματα που μπορούν να διεξαχθούν για την περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου ενώ στο έκτο κεφάλαιο αναφέρεται αναλυτικά η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Τέλος, στο παράρτημα μπορεί κανείς να εξετάσει αναλυτικά τους πίνακες που κατασκευάστηκαν καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1º: ΘΕΩΡΙΑ

1.1. Βαρέα Μέταλλα

1.1.1. Ορισμός βαρέων μετάλλων

Ο όρος "βαρέα μέταλλα" είναι γενικός και χρησιμοποιείται για μια μεγάλη ομάδα στοιχείων, μετάλλων και μεταλλοειδών, με πυκνότητα μεγαλύτερη από 6 g/cm3.Ειδικότερα εφαρμόζεται στα στοιχεία Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb και Zn που σχετίζονται με προβλήματα ρύπανσης και τοξικότητας (Alloway and Ayres, 1997).

Σε αντίθεση με τους οργανικούς ρύπους τα βαρέα μέταλλα απαντώνται στα ορυκτά που απαρτίζουν τα πετρώματα και άρα υπάρχουν φυσικές συγκεντρώσεις υποβάθρου στα εδάφη, τα ιζήματα, το νερό και τους ζωντανούς οργανισμούς.

Η ρύπανση από μέταλλα έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανίζονται πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις από τα φυσικά επίπεδα υποβάθρου. Συνεπώς η παρουσία μετάλλων σε ένα περιβαλλοντικό διαμέρισμα δεν είναι επαρκής απόδειξη ρύπανσης καθώς θα πρέπει να εξετάζεται και η σχέση των υπαρχόντων συγκεντρώσεων με τις συγκεντρώσεις του υποβάθρου (Alloway and Ayres, 1997).

Το νερό είναι το μέσο που συντελεί στην αποσάθρωση της ξηράς και τη μεταφορά των μετάλλων. Κατά τη μεταφορά των μετάλλων περιβαλλοντικές αλλαγές επηρεάζουν την κατανομή τους ανάμεσα στη διαλυτή και τη σωματιδιακή φάση.

Μετά την μεταφορά τους από τα ποτάμια και την ατμόσφαιρα στους ωκεανούς, τα μέταλλα συμμετέχουν σε πολύπλοκους βιογεωχημικούς κύκλους και ενσωματώνονται στα ωκεάνια ιζήματα. Στα ιζήματα τα μέταλλα είναι περισσότερο αδρανή αλλά με μεταβολή των περιβαλλοντικών συνθηκών είναι πιθανή αναδιάλυσή τους. Στα θαλάσσια ιζήματα πάντως, τα μέταλλα παραμένουν εκεί μέχρι να πάρουν μέρος σε επόμενο υδρολογικό κύκλο (Salomons and Förstner, 1984).

Η βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων, δηλαδή οι συγκεντρώσεις που είναι διαθέσιμες για πρόσληψη από χερσαίους και υδάτινους οργανισμούς εξαρτώνται αφενός από την συνεισφορά από την ατμόσφαιρα και την απευθείας απόρριψη αποβλήτων στα νερά αλλά και από τη διαλυτοποίηση μετάλλων από τα ορυκτά και την προσρόφηση και καταβύθισή τους στα εδάφη και τα ιζήματα (Alloway and Ayres, 1997). Αν και τα μέταλλα διαφέρουν ως προς τις χημικές τους ιδιότητες χρησιμοποιούνται πολύ σε ηλεκτρονική, σε μηχανήματα, και διάφορα αντικείμενα της καθημερινής ζωής. Συνεπώς εκτός από τις φυσικές γεωχημικές διεργασίες μπορούν να καταλήξουν στο περιβάλλον και από ποικίλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Alloway and Ayres, 19971).

1.1.2. Πηγές βαρέων μετάλλων

Οι φυσικές πηγές των μετάλλων στη θάλασσα προέρχονται από την αποσάθρωση, τη διάβρωση των εδαφών καθώς και την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Οι ανθρωπογενείς πηγές είναι οι εξορύξεις, η βιομηχανική δραστηριότητα, η χρήση καυσίμων, οι διεργασίες καύσεων σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης η αποψίλωση δασών και η κατασκευή βαθιών λιμανιών και τεχνητών λιμνών, αυξάνουν τη μεταφορά μετάλλων με τα σωματίδια (Salomons and Förstner, 1984).

<u>Φυσικές - Γεωχημικές πηγές</u>: Τα βαρέα μέταλλα ή ιχνοστοιχεία αποτελούν το 1% του φλοιού της γης, ενώ τα μακροστοιχεία (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, H, P, S) αποτελούν το 99%. Συνήθως τα ιχνοστοιχεία συναντώνται σαν "προσμίξεις" στα ορυκτά έχοντας αντικαταστήσει διάφορα μακροστοιχεία στο κρυσταλλικό πλέγμα.

Τα πρωτογενή ορυκτά είναι αυτά που βρίσκονται στα ηφαιστειογενή (εκρηξιγενή) πετρώματα και έχουν κρυσταλλωθεί απευθείας από μάγμα. Στα ιζηματογενή πετρώματα, τα ιχνοστοιχεία είναι προσροφημένα σε δευτερογενή ορυκτά, τα οποία είναι τα προϊόντα διάβρωσης (φυσική αποσάθρωση και χημική αποσύνθεση) των πρωτογενών ορυκτών (Alloway and Ayres, 19971).

<u>Ανθρωπογενείς πηγές</u>: Τα ορυχεία (σε λειτουργία και εγκαταλελειμμένα) και οι δραστηριότητες για την κατεργασία των ορυκτών και την παραλαβή μετάλλων είναι σημαντικές πηγές μετάλλων στο περιβάλλον και επηρεάζουν την ευρύτερη περιοχή γύρω από αυτά.

<u>Αγροτικά υλικά</u>: αποτελούν μη σημειακή πηγή μετάλλων. Μέταλλα περιέχονται σαν προσμίξεις σε λιπάσματα (Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn, πχ. Cd και U σε φωσφορικά λιπάσματα), σε ζιζανιοκτόνα- μυκητοκτόνα (Cu, As, Hg, Pb, Mn Zn), σε συντηρητικά ξύλου (Cu, As, Cr), απόβλητα μονάδων χοιροτροφίας και εκτροφής πουλερικών (Cu, As, Zn), σε compost και κοπριές (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, As),σε ιλύ αποχετεύσεων (Cd, Ni, Cu,

Pb, Zn κ.α.) και τέλος από τη διάβρωση μεταλλικών αντικειμένων (μεταλλικές οροφές και φράχτες).

<u>Καύση ορυκτών καυσίμων</u>: Στα καύσιμα υπάρχουν αρκετά μέταλλα που είτε απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα στα σωματίδια κατά τις καύσεις ή συσσωρεύονται στην τέφρα, οπότε μπορεί και πάλι να μεταφερθούν με τον αέρα ή εκπλένονται από την τέφρα εκεί όπου παράγεται. Κάποια από τα μέταλλα που προκύπτουν ως ρύποι από την ανάφλεξη καυσίμων είναι τα Pb, Cd, Zn, As, Sb, Se, Ba, Cu, Mn και V. Από την καύση βενζίνης που περιέχει πρόσθετα μολύβδου παράγονται σωματίδια εμπλουτισμένα σε μόλυβδο. Η καύση κάρβουνου παράγει U και Cr. Το αργό πετρέλαιο περιέχει σημαντικά ποσά V.

<u>Μεταλλουργικές βιομηχανίες</u>: Σε εξειδικευμένα κράματα και χάλυβες χρησιμοποιούνται πολλά μέταλλα και άρα η παραγωγή, απόρριψη ή ανακύκλωση αυτών των υλικών οδηγεί σε περιβαλλοντική ρύπανση από διάφορα μέταλλα. Το ίδιο ισχύει και για την παραγωγή μη σιδηρούχων μεταλλικών προϊόντων.

<u>Ηλεκτρονικά</u>: Πολλά βαρέα μέταλλα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ημιαγωγών και άλλων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Μέταλλα απελευθερώνονται και κατά την παραγωγή αυτών των υλικών και από την απόρριψή τους ως απόβλητα μετά τη χρήση τους.

<u>Άλλες πηγές:</u> Σημαντικές πηγές μετάλλων τόσο σε στάδια παραγωγής όσο και σε στάδια απόρριψης είναι:

-μπαταρίες (Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg, Pm)

-χρώματα (Pb, Cr, As, Sb, Se, Mo, Cd, Ba, Zn, Co, I, Ti)

-καταλύτες (Pt, Ni)

-σταθεροποιητικά πολυμερών (Cd, Zn, Pb)

-ιατρικές χρήσεις: οδοντιατρικά κράματα (Ag, Sn, Hg, Cu, Zn), φάρμακα και φαρμακευτικά παρασκευάσματα (As, Bi, Sb, Se, Ba, Ta, Li, Pt)

-καύσιμα και λιπαντικά (προσθετικές ενώσεις Se, Te, Pb, Mo, Li).

1.1.3. Ιδιότητες μετάλλων

Τα χημικά στοιχεία ως προς τη χρησιμότητά τους στους οργανισμούς κατατάσσονται σε «μακροθρεπτικά», «μικροθρεπτικά ή απαραίτητα» και «μη απαραίτητα ή τοξικά» (Mason A.Z., Jenkins K.D. 19953). Κάποια από τα βαρέα μέταλλα είναι απαραίτητα σε μικρές συγκεντρώσεις για την ομαλή ανάπτυξη των οργανισμών και για αυτό το λόγο κατατάσσονται στα "μικροθρεπτικά" ή "απαραίτητα ιχνοστοιχεία". Τα ίδια μέταλλα σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι τοξικά.

Ανάμεσα στα απαραίτητα στοιχεία, που η έλλειψή τους μπορεί να προκαλέσει ασθένειες, είναι ο Cu, το Mn, ο Fe και ο Zn για φυτά και για ζώα, ενώ μόνο για τα ζώα απαραίτητα είναι επίσης τα μέταλλα Co, Cr, Se και Ι, ενώ μόνο για τα φυτά το B και το Μο. Τα μέταλλα συνήθως είναι συστατικά ενζύμων και άλλων σημαντικών πρωτεϊνών που εμπλέκονται σε σημαντικές μεταβολικές λειτουργίες και άρα έλλειψή τους οδηγεί σε μεταβολικές δυσλειτουργίες και προκαλεί ασθένειες. Τα στοιχεία για τα οποία δεν είναι γνωστή καμιά σημαντική βιοχημική λειτουργία λέγονται "μη απαραίτητα" και κάποιες φορές αναφέρονται και λανθασμένα ως "τοξικά". Σε αυτά περιλαμβάνονται τα As, Cd, Hg, Pb, Pu, Sb, Tl και U. Σε υψηλές συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τις ανεκτές από τους οργανισμούς προκαλούν τοξικότητα, ενώ σε χαμηλές συγκεντρώσεις δεν προκαλούν προβλήματα λόγω έλλειψης όπως τα μικροθρεπτικά (Alloway & Ayres 1997). Για την εκτίμηση της τοξικότητας των μετάλλων σε πρώτη φάση εφαρμόζεται προσδιορισμός των ολικών συγκεντρώσεων και των μορφών τους σε νερά και ιζήματα. Αλλά επειδή ο προσδιορισμός των πραγματικά βιοδιαθέσιμων μορφών δεν είναι πάντα εύκολος και η γνώση των ολικών συγκεντρώσεων δεν μπορεί να στοιχειοθετήσει τις πιθανές δυσμενείς επιδράσεις σε οργανισμούς γίνονται τεστ τοξικότητας με βιοδοκιμές (bioassays) όπου διερευνώνται με χρήση ενός ή-περισσότερων οργανισμών είτε οι συγκεντρώσεις για τις οποίες κάθε μέταλλο είναι τοξικό ή η τοξικότητα νερών και ιζημάτων από μια περιοχή ή οι διεργασίες πρόκλησης τοξικότητας (Luoma N.S., 1995).

1.1.4. Στοιχεία για τα διερευνώμενα μέταλλα

1.1.4.1. Αργίλιο (Al)

Είναι το μεταλλικό στοιχείο με τη μεγαλύτερη αφθονία στο στερεό φλοιό (8,2 %) (Cox., 1995, Alloway and Ayres, 1997). Είναι πολύ ηλεκτροθετικό και λιθόφιλο και συναντάται αποκλειστικά ως Al³⁺ σε συνδυασμό με οξυγόνο. Οι αργιλοπυριτικοί σχιστόλιθοι (πλαγιόκλαστα) είναι τα πιο άφθονα ορυκτά στο φλοιό. Στην επιφάνεια της γης οι διεργασίες αποσάθρωσης τα διασπούν και έτσι σχηματίζονται τα αργιλικά ορυκτά (καολινίτης-μοντμοριλονίτης). Περαιτέρω αποσάθρωση οδηγεί στο σχηματισμό οξειδίου και υδροξειδίων του Al που αποτελούν το βωξίτη ο οποίος είναι και η κύρια πηγή Al για εκμετάλλευση. Χρησιμοποιείται αντί του χάλυβα σε κάποιες εφαρμογές (ελαφριά κράματα για χρήση σε αεροσκάφη και αλλού) και αντί του χαλκού σε αγωγούς ηλεκτρισμού και θερμότητας (σκεύη μαγειρικής), επίσης στο αλουμινόχαρτο και στα κουτάκια αναψυκτικών. Το υδροξείδιο του αργιλίου και το θειικό αργίλιο χρησιμοποιούνται στην κατεργασία νερού. Το θειικό αργίλιο προστίθεται προκειμένου να υποβοηθήσει τη συσσωμάτωση και καταβύθιση του σωματιδιακού υλικού. Επειδή καταβυθίζεται ως Al (OH)₃ η ποσότητα Al που παραμένει στο νερό είναι ελάχιστη (*Cox., 1995, Alloway and Ayres, 1997*).

Τα υδροξείδια του Al είναι πολύ δυσδιάλυτα στο νερό σε ουδέτερο pH, αλλά η διαλυτότητά τους εξαρτάται πολύ από το pH και με μείωσή του (πχ. όξινη βροχή) αυξάνονται οι συγκεντρώσεις διαλυτού Al σε ποτάμια και ρυάκια. Μια σημαντική επίπτωση της αύξησης του διαλυτού Al είναι ότι άμεσα μειώνει τη συγκέντρωση φωσφορικών γιατί καταβυθίζεται πολύ δυσδιάλυτο φωσφορικό αργίλιο. Η μείωση της διαθεσιμότητας Al δεν θεωρείται απαραίτητο για τους οργανισμούς και μάλλον είναι τοξικό. φωσφορικών μπορεί να διαταράσσει την οικολογική ισορροπία σε ένα υδάτινο σύστημα (*Cox., 1995*). Από τη διατροφή προσλαμβάνονται 3-5mg Al ημερησίως και από αυτά απορροφούνται μόνο τα 10μg. Πρόσληψη Al μπορεί να γίνεται και μέσω της εισπνοής σκόνης. Από αδιάλυτες μορφές το Al μεταφέρεται στα κύτταρα με την τρανσφερρίνη που μεταφέρει και αδιάλυτες μορφές Fe.

Οι μεγάλες συγκεντρώσεις Al στους οργανισμούς μπορεί να παρεμποδίσουν το μεταβολισμό του φωσφόρου λόγω της μεγάλης δυσδιαλυτότητας του φωσφορικού αργιλίου και επίσης μπορεί να αντικατασταθεί ο σίδηρος σε κάποιες βιοχημικές αντιδράσεις. Τα συμπτώματα τοξικότητας από αργίλιο είναι αναιμία, ασθένειες των οστών και εγκεφαλική δυσλειτουργία (*Cox.*, 1995).

1.1.4.2. Κάδμιο (Cd)

Είναι ένα σπάνιο στοιχείο στο περιβάλλον, χαλκόφιλο και βρίσκεται κυρίως σε συνδυασμό με το θείο. Το κάδμιο απαντάται κυρίως σε ορυκτά Zn από το οποία παραλαμβάνεται ως παραπροϊόν. Χρησιμοποιείται σε μπαταρίες, σαν αντιδιαβρωτικό επίστρωμα σε άλλα μέταλλα αλλά στο περιβάλλον καταλήγει κυρίως από την επεξεργασία των ορυκτών για την παραλαβή Zn και άλλων χαλκόφιλων μετάλλων (*Cox*, 1995). Άλλες πηγές καδμίου είναι τα φωσφορικά λιπάσματα και οι εκπομπές από τη βιομηχανία και σε μικρότερο βαθμό η διάθεση ιλύος σε εδάφη (Alloway and Ayres, 1997). Δεν είναι απαραίτητο για τους οργανισμούς και είναι πολύ τοξικό. Προσλαμβάνεται πολύ ισχυρά από τους θαλάσσιους οργανισμούς και αυτός είναι ο λόγος που οι συγκεντρώσεις του στα επιφανειακά νερά είναι μικρότερες από ότι στα βαθιά λόγω της αυξημένης παρουσίας έμβιας ύλης. Υψηλές συγκεντρώσεις Cd μπορεί να εντοπιστούν σε ποτάμια και εκβολές κοντά σε δραστηριότητες εξορύξεων. Το κάδμιο στους ανθρώπους προσλαμβάνεται κυρίως μέσω της διατροφής (περίπου 35μg την ημέρα από τα οποία απορροφώνται τα 2μg) (Cox, 1995).

1.1.4.3. Χαλκός (Cu)

Είναι σιδηρόφιλο στοιχείο και εμφανίζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στον πυρήνα της γης. Στο φλοιό εμφανίζει μέση αφθονία και συνδέεται κυρίως με το S σε ορυκτά όπως ο χαλκοπυρίτης CuFeS₂. Η επιφανειακή οξείδωση των θειούχων ορυκτών οδηγεί στην απελευθέρωση Cu⁺². Ο χαλκός συναντάται επίσης σε πολύπλοκα ανθρακικά και άλλα οξείδια. Ένα ποσοστό του χαλκού στο φλοιό βρίσκεται με τη μορφή μεταλλικού χαλκού (*Cox, 1995*). Η ρύπανση από χαλκό οφείλεται σε δραστηριότητες εξόρυξης και επεξεργασίας μεταλλευμάτων, παραγωγή μπρούντζου, επιμεταλλώσεις και από την εκτεταμένη χρήση γεωργικών φαρμάκων. Επίσης από χαλκό κατασκευάζονται οι σωληνώσεις ύδρευσης, αλλά σε φυσιολογικές τιμές pH (6,5 - 8,5) δεν υπάρχει κίνδυνος αύξησης της συγκέντρωσης χαλκού στο πόσιμο νερό (*Alloway and Ayres, 1997*).

1.1.4.4. Μόλυβδος (Pb)

Είναι το πιο κοινό από τα τοξικά στοιχεία. Είναι χαλκόφιλο και απαντάται κυρίως σε θειούχα ορυκτά. Σχηματίζει το κοινό ορυκτό PbS το οποίο περιέχει και άλλα χαλκόφιλα στοιχεία (Ag, AS, Hg). Η οξείδωση των θειούχων ορυκτών δίνει Pb⁺² που έχει κάποιες ομοιότητες με το Ca⁺² και σχηματίζει αδιάλυτα ορυκτά, θειικά και ανθρακικά (*Cox 1995*). Οι κύριες πηγές μολύβδου στο περιβάλλον είναι μολυβδωμένες βενζίνες, μπαταρίες, υπολείμματα από παλαιού τύπου χρώματα, σωληνώσεις, ζιζανιοκτόνα, οι σφαίρες μόλυβδου που χρησιμοποιούνται σε κάποια όπλα και τέλος οι διεργασίες εξόρυξης και επεξεργασίας για την παραγωγή του (*Cox, 1995, Alloway and Ayres, 1997*). Τα φυσικά επίπεδα Pb θα έπρεπε να είναι πολύ χαμηλά αλλά τα αερολύματα που περιέχουν μόλυβδο από τις δραστηριότητες επεξεργασίας μετάλλων, από την αποτέφρωση αποβλήτων και από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων έχουν προκαλέσει εμπλουτισμό σε Pb ακόμα και σε περιοχές πολύ απομακρυσμένες από τις ρυπαντικές δραστηριότητες (*Cox*, 1995). Οι οδοί έκθεσης σε Pb είναι ο αέρας, η τροφή, το νερό, το κάπνισμα και η σκόνη. Συγκριτικά με άλλα μέταλλα ο μόλυβδος είναι λιγότερο τοξικός και λιγότερο βιοδιαθέσιμος, αλλά απαντάται συχνότερα και συσσωρεύεται στα θηλαστικά (*Cox*, 1995 & Alloway and Ayres, 1997).

1.1.4.5. Ψευδάργυρος (Zn)

Παρουσιάζει μέτρια αφθονία στο φλοιό, είναι χαλκόφιλο και βρίσκεται σε θειούχα ορυκτά. Η επιφανειακή οξείδωση απελευθερώνει Zn⁺² που μπορεί να σχηματίζει κάποια ανθρακικά και πυριτικά ορυκτά. Τα ορυκτά Zn αποτελούν επίσης πηγή Cd (*Cox, 1995*). Χρησιμοποιείται σε αντιδιαβρωτικά επιστρώματα, στις σκεπές, μπαταρίες και σε κάποια εξειδικευμένα κράματα. Η φυσική συγκέντρωση στα νερά είναι χαμηλή. Το μέγιστο επιτρεπτό όριο ψευδαργύρου σε χώμα όπου έχει αποτεθεί ιλύς είναι 300mg/kg. Στην ιλύ καταλήγουν μεγάλες ποσότητες ψευδαργύρου γιατί χρησιμοποιείται πολύ σε προϊόντα οικιακής χρήσης (κρέμες και σαμπουάν) (*Cox, 1995 & Alloway and Ayres, 1997*). Δεν παρουσιάζει οξειδοαναγωγική δράση αφού έχει μόνο μια οξειδωτική κατάσταση. Περίσσεια πρόσληψης Zn μπορεί να έχει τοξικές επιδράσεις αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό από τα άλλα μέταλλα (*Cox, 1995*).

1.1.4.6. Χρώμιο (Cr)

Είναι το έβδομο σε αφθονία στοιχείο στη γη αλλά η μεγαλύτερη ποσότητά του βρίσκεται στον πυρήνα και το μανδύα. Στο φλοιό της γης είναι το εικοστό πρώτο σε σειρά αφθονίας στοιχείο (περίπου 100 mg/kg) (*Nriagu., 1988*). Το χρώμιο βρίσκεται κυρίως σε βασικά και υπερβασικά πετρώματα όπου αντικαθιστά το μαγνήσιο και σε αποθέσεις του μικτού ορυκτού χρωμίτης (FeCrO4) (*Cox., 1995*). Είναι ανάμεσα στα 29 στοιχεία με βιολογική σημασία (., 1988). Στα σερπεντινιωμένα εδάφη, που προέρχονται από αποσάθρωση υπερβασικών πετρωμάτων βρίσκονται πολύ μεγάλες περιεκτικότητες χρωμίου και νικελίου. Σε αυτά τα εδάφη αναπτύσσονται πολύ λίγα φυτά (*Cox., 1995*). Τα σερπεντινιωμένα εδάφη δεν θεωρούνται ρυπασμένα αλλά φυσικά ή γεωχημικά

εμπλουτισμένα. Το χρώμιο στη φύση υπάρχει στην τρισθενή (χρωμίτης) και εξασθενή μορφή (χρωμικά άλατα) (Alloway and Ayres, 1997).

Η παρουσία των δύο κύριων οξειδωτικών καταστάσεων του χρωμίου στα φυσικά ύδατα και η κατανομή τους σε επιμέρους μορφές ελέγχονται από χημικούς και φωτοχημικούς οξειδοαναγωγικούς μετασχηματισμούς, αντιδράσεις καταβύθισης/διαλυτοποίησης και προσρόφησης/εκρόφησης (Παρασκευοπούλου, 2005). Οι οξειδοαναγωγικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο στην επικράτηση της μιας ή της άλλης μορφής, έτσι σε εδάφη με πολύ νερό και αναγωγικές συνθήκες η κύρια μορφή είναι το Cr (III) αλλά ακόμα και σε οξυγονωμένα εδάφη μπορεί να κυριαρχεί γιατί η οργανική ύλη ευνοεί την αναγωγή του Cr (VI). Στην τρισθενή μορφή είναι μικροθρεπτικό στοιχείο, απαραίτητο για το μεταβολισμό των υδατανθράκων στα ζώα και τον άνθρωπο (Alloway and Ayres, 1997).

Η ρύπανση των εδαφών προκύπτει από την απόρριψη αποβλήτων με χρωμικά (από βυρσοδεψεία και επιμεταλλωτήρια) καθώς και από την απόθεση ιλύος από επεξεργασία αποβλήτων. Το εξασθενές χρώμιο είναι περισσότερο φυτοτοξικό. Έχει βρεθεί ότι το εξασθενές χρώμιο είναι καρκινογόνο έχοντας συσχετιστεί με καρκίνο στο αναπνευστικό σύστημα σε εργάτες με χρόνια έκθεση σε σκόνες που περιέχουν χρωμικά ιόντα (Alloway and Ayres, 1997).

1.1.4.7. Σίδηρος (Fe)

Είναι το στοιχείο με τη μεγαλύτερη αφθονία στη γη και αποτελεί το 30% της συνολικής της μάζας. Αποτελεί το 80% του πυρήνα και είναι το τέταρτο σε αφθονία στοιχείο στο φλοιό. Εμφανίζει ενδιάμεσες ιδιότητες λιθοφιλικές και χαλκοφιλικές και συναντάται και σε θειούχα ορυκτά και σε οξείδια (σχεδόν όλα τα πυριτικά έτσι ορυκτά περιέχουν σημαντικά ποσά σιδήρου). Στο φλοιό ο σίδηρος υφίσταται κυρίως ως Fe⁺², αλλά στην επιφάνεια της γης οξειδώνεται γρήγορα προς Fe⁺³. Σε αυτή τη μορφή είναι πολύ δυσδιάλυτος στο νερό. Η απελευθέρωση Fe²⁺ από την αποσάθρωση των εκρηξιγενών πετρωμάτων και η επακόλουθη οξείδωσή του σε Fe³⁺ ήταν μια διεργασία πολύ σημαντική για την χημική εξέλιξη της γήινης επιφάνειας. Στο πρωτόγονο περιβάλλον υπήρχε ελάχιστο οξυγόνο στην ατμόσφαιρα και σχηματίστηκαν ιζηματογενή πετρώματα που περιείχαν Fe²⁺. Με την ανάπτυξη της φωτοσύνθεση μεγάλο ποσοστό του Fe⁺² οξειδώθηκε και έτσι όλο το οξυγόνο που απελευθερώθηκε από τα φυτά παρέμεινε σε αυτή τη μορφή και δεν

δεσμευόταν πια από το σίδηρο. Τα οξείδια που περιέχουν Fe⁺² είναι έγχρωμα και τα χρώματα ποικίλλουν από κίτρινα σε καφέ και κόκκινα, ενώ τα μίγματα Fe⁺² και Fe⁺³ δίνουν σκούρα εμφάνιση. Λόγω της δυσδιαλυτότητας των οξειδίων του Fe⁺³ οι συγκεντρώσεις σιδήρου στα φυσικά ύδατα είναι πολύ χαμηλές. Έχει πολύ μικρό χρόνο παραμονής στον ωκεανό (100 χρόνια) και οι χαμηλές συγκεντρώσεις στα επιφανειακά νερά δείχνουν ότι προσλαμβάνεται ικανοποιητικά από τους θαλάσσιους οργανισμούς. Στα παράκτια νερά ο σίδηρος μπορεί να προέρχεται από τα ιζήματα αλλά στον ανοικτό ωκεανό από την αερομεταφερόμενη σκόνη. Είναι πιθανό η παροχή σιδήρου στο νερό να είναι ο περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη της θαλάσσιας ζωής. Ο σίδηρος είναι ένα από τα πιο σημαντικά ιχνοστοιχεία στα βιολογικά συστήματα. Ο μέσος άνθρωπος έχει περίπου 4 g σίδηρο συνδεδεμένο σε διάφορες πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες αυτές είναι σημαντικές στη μεταφορά οξυγόνου και σε οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που παράγουν μεταβολική ενέργεια για το σώμα. Μια κανονική δίαιτα αποδίδει αρκετά mg σιδήρου ανά ημέρα και η έλλειψη σιδήρου προκαλεί αναιμία με σύμπτωμα γενικότερη αδυναμία και σε σοβαρές περιπώσεις μπορεί να οδηγήσει στο θάνατο (*Cox*, 1995).

1.1.4.8. Μαγγάνιο (Mn)

Είναι ένα σχετικά κοινό στοιχείο, λιθόφιλο και απαντάται σε πολλά πυριτικά ορυκτά. Η αποσάθρωση μπορεί να απελευθερώσει Mn⁺², το οποίο σχηματίζει MnCO3, αλλά ως επί το πλείστων οξειδώνεται από τον αέρα στις καταστάσεις +3 και +4 και σχηματίζει τις αδιάλυτες ενώσεις μαγγανίτη MnO (OH) και πυρολουσίτη (MnO₂). Αυτές οι δύο ενώσεις είναι σημαντικά συστατικά των εδαφών και προσροφούν και άλλα μέταλλα (τυπική συμπεριφορά οξειδίων). Η συγκέντρωση του Mn στα νερά είναι γενικά χαμηλή αλλά αυξάνεται σε ανοξικές συνθήκες.

Στο θαλάσσιο πυθμένα σχηματίζονται αποθέσεις κονδύλων μαγγανίου που περιέχουν και άλλα στοιχεία. Το Mn σε αυτές τις αποθέσεις προέρχεται από υδροθερμικές αναβλύσεις. Αν και η οξείδωση του Mn ευνοείται θερμοδυναμικά είναι αργή και πιστεύεται ότι υποβοηθείται βιολογικά. Το Mn χρησιμοποιείται σε μεγάλες ποσότητες ως συστατικό σε χάλυβες. Είναι απαραίτητο στοιχείο και κυρίως γνωστό για το ρόλο του στη φωτοσύνθεση ως συστατικό ενζύμου. Είναι συστατικό πολλών μεταλλοενζύμων όπου συνεισφέρει στην αλλαγή των οξειδωτικών καταστάσεων του οξυγόνου (αποσύνθεση υπευπεροξειδίων O_2^{-1} και υπεροξειδίων O_2^{-2}) (*Cox*, 1995).

1.1.4.9. Μόλυβδος (Pb)

Είναι το πιο κοινό από τα τοξικά στοιχεία. Είναι χαλκόφιλο και απαντάται κυρίως σε θειούγα ορυκτά. Σγηματίζει το κοινό ορυκτό PbS το οποίο περιέγει και άλλα γαλκόφιλα στοιχεία (Ag, AS, Hg). Η οξείδωση των θειούχων ορυκτών δίνει Pb⁺² που έχει κάποιες ομοιότητες με το Ca^{+2} και σχηματίζει διαλυτά ορυκτά, θειικά και ανθρακικά (*Cox*, 1995). Οι κύριες πηγές μόλυβδου στο περιβάλλον είναι μολυβδωμένες βενζίνες, μπαταρίες, υπολείμματα από παλαιού τύπου χρώματα, σωληνώσεις, ζιζανιοκτόνα, οι σφαίρες μόλυβδου που γρησιμοποιούνται σε κάποια όπλα και τέλος οι διεργασίες εξόρυξης και επεξεργασίας για την παραγωγή του (Cox, 1995 & Alloway and Ayres, 1997). Τα φυσικά επίπεδα Pb θα έπρεπε να είναι πολύ χαμηλά αλλά τα αερολύματα που περιέχουν μόλυβδο από τις δραστηριότητες επεξεργασίας μετάλλων, από την αποτέφρωση αποβλήτων και από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων έχουν προκαλέσει εμπλουτισμό σε Pb ακόμα και σε περιοχές πολύ απομακρυσμένες από τις ρυπαντικές δραστηριότητες(5). Οι οδοί έκθεσης σε Pb είναι ο αέρας, η τροφή, το νερό, το κάπνισμα και η σκόνη. Έχει βρεθεί ότι τα παιδιά απορροφούν περισσότερο Pb από ότι οι ενήλικες. Συγκριτικά με άλλα μέταλλα ο μόλυβδος είναι λιγότερο τοξικός και λιγότερο βιοδιαθέσιμος, αλλά απαντάται συχνότερα και συσσωρεύεται στα θηλαστικά. Τα τοξικά συμπτώματα περιλαμβάνουν αναιμία, ανορεξία, κοιλιακούς πόνους, βλάβες στα νεφρά καθώς και νευρολογικά ευρήματα όπως ευερέθιστη συμπεριφορά, αλλαγές στη διάθεση και έλλειψη συντονισμού. Η οξεία έκθεση μπορεί να προκαλέσει εγκεφαλικό οίδημα. Υπάρχουν ισχυρά στοιχεία ότι η χρόνια έκθεση παιδιών σε μόλυβδο μπορεί να προκαλέσει διαταραχές και μαθησιακή δυσκολία. Στο σώμα έχει μεγάλο χρόνο παραμονής γιατί συσσωρεύεται στα οστά όπου αντικαθιστά το Ca. Όπως και τα άλλα τοξικά χαλκόφιλα (Cd, Hg) αντιδρά με ομάδες -SH σε πρωτεΐνες και ανταγωνίζεται απαραίτητα μέταλλα όπως το Ca, Zn, Cu. Διαταράσσει την παραγωγή αίμης και συνακόλουθος τον αναπνευστικό μεταβολισμό. Η οξεία δηλητηρίαση από Pb αντιμετωπίζεται με χορήγηση χηλικών ουσιών (πχ. EDTA), που βοηθούν στην απέκκρισή του. Λόγω της εκτεταμένης χρήσης του Pb σε σωληνώσεις και σε χρώματα για κεραμικά και προϊόντα μακιγιάζ στους Ελισαβετιανούς χρόνους πιστεύεται ότι η δηλητηρίαση από Pb ήταν πολύ συχνή σε όλη την ανθρώπινη ιστορία και θεωρείται ότι συντέλεσε στην αυτοκρατορίας. Οι αναλογίες των ισοτόπων του πτώση της Ρωμαϊκής Pb (²⁰⁴Pb,²⁰⁶Pb,²⁰⁷Pb,²⁰⁸Pb) χρησιμοποιούνται για την χρονολόγηση των πετρωμάτων (Cox, 1995 & Alloway and Ayres, 1997).

1.1.4.10. Νικέλιο (Ni)

Είναι το έβδομο πιο άφθονο στοιχείο στη Γη (αποτελεί 10% του πυρήνα). Είναι σιδηρόφιλο και λιγότερο άφθονο στο φλοιό. Απαντάται σε οξείδια και θειούχα ορυκτά. Η αποσάθρωση των θειούχων ορυκτών ελευθερώνει Ni⁺² που έχει παρόμοιο μέγεθος με το Mg⁺² και το αντικαθιστά σε πυριτικά ορυκτά. Είναι σημαντικό σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα κράματα και επίσης χρησιμοποιείται για επιμεταλλώσεις. Οι φυσικές περιβαλλοντικές συγκεντρώσεις είναι γενικά χαμηλά αλλά μεγάλες περιεκτικότητες υπάρχουν σε σερπεντινιωμένα εδάφη και γύρω από περιοχές εξορύξεων και επεξεργασίας. Είναι απαραίτητο στοιχείο, αλλά στα θηλαστικά συμμετέχει μόνο σε ένα ένζυμο την ουρεάση που καταλύει την αποσύνθεση της ουρίας σε αμμωνία. Είναι πιο σημαντικό στα αναερόβια βακτήριο που λαμβάνουν ενέργεια από το μεταβολισμό Η2 και CH4. Το Ni είναι αρκετά τοξικό, η έκθεση σε σκόνες με Ni έχει αναγνωριστεί ως πιθανή αιτία καρκίνου του πνεύμονα. Επίσης μπορεί να προκαλέσει δερματίτιδα (χρήση σε κοσμήματα) και κάποιοι άνθρωποι είναι περισσότερο ευαίσθητοι από άλλους ή γίνονται πιο ευαίσθητοι μετά από παρατεταμένη επαφή με Ni (*Cox, 1995*).

1.1.4.11. Βανάδιο (V)

Είναι στοιχείο μέσης αφθονίας στο φλοιό. Βρίσκεται ευρέως σε οξείδια στις οξειδωτικές καταστάσεις +3, +4, +5 και σε θειούχα. Υπάρχει επίσης στο αργό πετρέλαιο (κυρίως από τη Βενεζουέλα με τη μορφή πορφυρινικών συμπλοκών του ιόντος [VO]+2. Η κύρια χρήση του είναι σαν συστατικό στους χάλυβες. Οι συγκεντρώσεις του στα νερά είναι χαμηλές, αλλά στα εδάφη μεγαλύτερες λόγω αποσάθρωσης. Είναι απαραίτητο στοιχείο αλλά η βιολογική του δράση δεν είναι πλήρως κατανοητή. Σε κάποια βακτήρια μπορεί να συμμετέχει στη σταθεροποίηση του αζώτου όπως το Μο ή να υπάρχει σε ένζυμα που συμμετέχουν σε οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις του υπεροξειδίου του υδρογόνου. Σε κάποιους θαλάσσιους οργανισμούς απαντώνται υψηλές συγκεντρώσεις στο αίμα (πχ 1,5% στο Ascidia nigra) αλλά οι λόγοι για αυτό είναι άγνωστοι (*Cox, 1995*).

1.2. Θαλάσσια Ιζήματα

Με τον όρο ιζήματα (sediment, από το λατινικό sediment που σημαίνει καθίζηση) περιγράφονται μίγματα κόκκων διαφορετικής προέλευσης, χημικής σύστασης ή μεγέθους, τα οποία καλύπτουν το σκληρό υπόστρωμα του υποθαλάσσιου πυθμένα και σχηματίζονται κατά την καθίζηση των κόκκων διαμέσου της υδάτινης στήλης και την απόθεσή τους στον πυθμένα. Ο όρος περιλαμβάνει τόσο τον ένα και μοναδικό κόκκο που βρίσκεται σε μεταφορά και καθίζηση στην υδάτινη στήλη, όσο και την απόθεση που σχηματίζεται από τη συσσώρευση πολλών κόκκων και η οποία συμπεριφέρεται τελικά ως ενιαία μάζα (Φερεντίνος, 2003).

Τα ιζήματα προέρχονται από την αποσάθρωση και διάβρωση των πετρωμάτων της χέρσου, τη δραστηριότητα των θαλάσσιων οργανισμών, τις χημικές διεργασίες που αναπτύσσονται στο ωκεάνιο περιβάλλον, τις ηφαιστειακές εκρήξεις και το διάστημα. Τα ιζήματα που προέρχονται από την αποσάθρωση και διάβρωση των πετρωμάτων ανήκουν συνήθως στην κοκκομετρική κλάση των ιλύων και μεταφέρονται στο θαλάσσιο περιβάλλον κυρίως με τα νερά των ποταμών αλλά και με τον αέρα. Οι κόκκοι μεταφέρονται σε αιώρηση και η καθίζηση τους αρχίζει σχετικά αμέσως με την είσοδο τους στη θάλασσα. Τα μεγαλύτερα σωματίδια καθιζάνουν σε θέσεις κοντά στην έξοδο του ποταμού ενώ τα μικρότερα μπορεί να αιωρούνται και να κινούνται για χρόνια πριν την τελική καθίζησή τους. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν βασικά οι άργιλοι, οι οποίοι είναι και τα κύρια συστατικά των ιζημάτων στα πελαγικά ιζήματα μια και μπορούν, εξαιτίας του πολύ μικρού μεγέθους τους, να ταξιδεύσουν χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο δημιουργίας τους. Έτσι, υπολογίζεται ότι στους ωκεανούς, το 50-70% των ιζημάτων έχει διάμετρο κόκκων <2 μm, ενώ σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 5μm μπορεί να μείνουν σε αιώρηση για εκατοντάδες χρόνια πριν καταβυθιστούν, διαδικασία που επιταχύνεται με τη συσσωμάτωση με άλλα σωματίδια ή την ενσωμάτωσή τους στους πελαγικούς οργανισμούς (Ewing and Carpenter, 1973).

Οι διαδικασίες μεταφοράς των ιζημάτων περιλαμβάνουν τη διάβρωσή τους από μια κοίτη ή έναν πυθμένα ή ένα χερσαίο τμήμα, οριζόντια μεταφορά με τη ροή, κάθετη μεταφορά μέσα στην υδάτινη στήλη, απόθεση στον θαλάσσιο πυθμένα και συμπίεση των αποθέσεων. Όλες αυτές οι διεργασίες αλληλοεπιδρούν και εναλλάσσονται στο χώρο και

στο χρόνο. Ο μέσος ρυθμός διάβρωσης των ηπείρων είναι 60mm/1000yr και οι μέσοι ρυθμοί ιζηματογένεσης είναι 100mm/1000yr στις ηπειρωτικές κατωφέρειες και 1-20mm/1000yr στη βαθιά θάλασσα (., 1984).

Η μελέτη των ιζημάτων παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τις βιογεωχημικές διεργασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα στην περιοχή απόθεσης και τις ανθρωπογενείς επιδράσεις τις οποίες δέχεται το υπό μελέτη σύστημα (Δασενάκης., 2010).

Σημαντικά χαρακτηριστικά των θαλάσσιων ιζημάτων είναι το πάχος, το χρώμα και το ευρύ φάσμα μεγεθών κόκκων. Το πάχος ποικίλει από μερικά cm ή mm έως 15-20 km και εξαρτάται από το ρυθμό ιζηματογένεσης, το βαθμό διατήρησης της σωματιδιακής ύλης μετά την απόθεσή της στον πυθμένα και την ηλικία του υποκείμενου φλοιού.

Το χρώμα ποικίλει ανάλογα με το περιβάλλον ιζηματογένεσης και είναι ενδεικτικό της σύστασης του ιζήματος, έτσι ώστε ανοικτόχρωμα ιζήματα αντιστοιχούν σε χαλαζιακές άμμους και βιογενείς ιλύες, σκουρόχρωμα ιζήματα σε ιλύες πλούσιες σε οργανικό υλικό και σουλφίδια και καστανέρυθρα ιζήματα σε ιλύες πλούσιες σε οξείδια σιδήρου (Φερεντίνος κ.ά., 200, και Libes., 2009).

Η χημική και ορυκτολογική σύσταση των ιζημάτων είναι συνήθως ετερογενής και διαμορφώνεται ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μιας ποικιλίας φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων (*Chester., 1990*).

Κατακόρυφες διακυμάνσεις της σύστασης των ιζημάτων αντανακλούν αλλαγές στη ροή της σωματιδιακής ύλης σε σχέση με το χρόνο, την επίδραση της διαγένεσης και διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την ιζηματογένεση, ενώ οριζόντιες διακυμάνσεις αντανακλούν τη συνδυασμένη επίδραση φαινομένων που καθορίζουν την παραγωγή σωματιδίων, τη μεταφορά τους στον πυθμένα και τη διατήρησή τους στο ίζημα (*Libes.*, 2009).

Η αφθονία των χημικών στοιχείων στα ιζήματα εξαρτάται από τη συμμετοχή των σωματιδιακών φάσεων με τις οποίες αυτά συσχετίζονται κι από τις οποίες τα ιζήματα συντίθενται (Chester, 1990).

Η μελέτη της σύστασης του ιζήματος παρέχει πληροφορίες για την παρούσα κατάσταση ποιότητας του ιζήματος και την ιστορική εξέλιξη των υδρολογικών και χημικών του παραμέτρων (Salomons and Förstner., 1984).

Με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση, τα ιζήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε επτά επιμέρους κοκκομετρικές τάξεις (Πίνακας 1.2.1), οι οποίες σύμφωνα με τον Folk περιλαμβάνουν (Δασενάκης, 2010):

Πίνακας 1.2.1: Κατάταζη των ιζημάτων ανάλογα με το μέγεθος της διαμέτρου των κόκκων της (ο πίνακας είναι γνωστός στη διεθνή βιβλιογραφία ως Wentworth scale.

| Μέγεθος (mm) | Ονομασία | Κατάταξη |
|------------------------|---------------|-------------------|
| > 256 | Μεγάλοι Λίθοι | |
| από 64 έως 256 | Λίθοι | |
| από 4 έως 64 | Χάλικες | Χονδρόκοκκο Υλικό |
| από 2 έως 4 | Κόκκοι | |
| από 0,0625 έως 2 | Άμμος | |
| από 0,0039 έως -0,0625 | Ιλύς | |
| < 0,0039 | Άργιλος | Λεπτοκοκκο Υλικο |

Οι πέντε πρώτες κοκκομετρικές τάξεις συνιστούν το χονδρόκοκκο κλάσμα του ιζήματος, ενώ οι δύο τελευταίες το λεπτόκοκκο, γεγονός που καθιστά το μέγεθος των 62,5 μm όριο διαχωρισμού μεταξύ των δύο κλασμάτων (Φερεντίνος κ.ά., 2003).

Συνήθως τα ιζήματα συντίθενται από ένα ευρύ φάσμα μεγεθών κόκκων, με το ποσοστό του χονδρόκοκκου κλάσματος να αυξάνει αυξανομένου του βάθους της στήλης ιζήματος. Η κοκκομετρική σύσταση επηρεάζει την περιεκτικότητα του ιζήματος σε μέταλλα, η οποία συνήθως αυξάνει από τα χονδρόκοκκα προς τα λεπτόκοκκα ιζήματα (*Forstner and Wittmann, 1979*). Με βάση το κυρίαρχο υλικό της σύστασής τους ή την κύρια πηγή προέλευσής τους, τα θαλάσσια ιζήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε λιθογενή (ή αυθιγενή) και κοσμογενή (*Goldberg, 1954*).

<u>Λιθογενή ιζήματα</u> ονομάζονται τα ιζήματα στα οποία τα κυρίαρχα συστατικά προέρχονται από την αποσάθρωση χερσαίων και υποθαλάσσιων πετρωμάτων και τη δραστηριότητα σε χερσαία και υποθαλάσσια ηφαιστειακά κέντρα (Goldberg, 1954). Τα σημαντικότερα λιθογενή συστατικά των ιζημάτων περιλαμβάνουν το χαλαζία (SiO2), τα αργιλοπυριτικά ορυκτά (κυρίως ιλλίτη, καολινίτη, χλωρίτη και μοντμοριλλονίτη), τους αστριούς και διάφορα σωματίδια ηφαιστειακής προέλευσης (Libes, 2009). Τα λιθογενή ιζήματα εντοπίζονται στον πυθμένα όλων των θαλασσών σε μικρές είτε σε μεγάλες ποσότητες.

<u>Τα βιογενή ιζήματα</u> ονομάζονται τα ιζήματα στα οποία τα κυρίαρχα συστατικά προέρχονται από τη θαλάσσια βιόσφαιρα (Goldberg, 1954). Οι σημαντικότεροι τύποι βιογενών ιζημάτων περιλαμβάνουν τα ασβεστολιθικά και τα πυριτικά ιζήματα (Chester, R., 1990). Τα βιογενή ιζήματα απαντώνται συχνά στις πελαγικές αποθέσεις και σπάνια στις νηριτικές. Η εξάπλωση τους εξαρτάται από τρείς θεμελιώσεις διεργασίες: 1) Παραγωγικότητα, 2) Αποδόμηση, 3) Αραίωση.

✓ Παραγωγικότητα είναι ο αριθμός οργανισμών που βρίσκονται στην υδάτινη στήλη από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα του ωκεανού. Όταν στα επιφανειακά νερά ζει μεγάλο πλήθος μικροοργανισμών, οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για μεγάλη παραγωγή βιογενούς ιζήματος.

✓ Αποδόμηση είναι η διαδικασία διάλυσης σκελετικών υπολειμμάτων καθώς αυτά βυθίζονται προς τον πυθμένα. Υπάρχει περίπτωση κάποιο υπόλειμμα βιογενούς προέλευσης να διαλυθεί πλήρως πριν προλάβει να φτάσει στον πυθμένα της θάλασσας.

✓ Αραίωση είναι η διεργασία όπου άλλα ιζήματα συναποτίθενται στον πυθμένα μειώνοντας την % περιεκτικότητα των βιογενών ιζημάτων σε αυτό (Δασενάκης, Ε., 2010).

<u>Τα υδρογενή (ή αυθυιγενή) ιζήματα</u>ονομάζονται τα ιζήματα στα οποία κυρίαρχα συστατικά είναι προϊόντα χημικών αντιδράσεων μεταξύ διαλυτών συστατικών του θαλάσσιου διαλύματος (πρωτογενή) ή μεταξύ διαλυτών συστατικών και ορυκτών ή σωματιδίων του θαλάσσιου περιβάλλοντος (δευτερογενή).

<u>Τα κοσμογενή ιζήματα</u> ονομάζονται τα ιζήματα στα οποία κυρίαρχα συστατικά είναι εξωγενή σωματίδια τα οποία σχηματίζονται κατά την είσοδο μετεωριτών στη γήινη ατμόσφαιρα και την επακόλουθη ανάφλεξή τους εξαιτίας της αναπτυσσόμενης τριβής με την ατμόσφαιρα (Φερεντίνος κ.α, 2003).

1.2.1. Συμπεριφορά βαρέων μετάλλων στο υδάτινο περιβάλλον

Στο θαλασσινό νερό τα στοιχεία προέρχονται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων (δράση αέρα και νερού που οδηγεί στην χημική διάσπαση των ορυκτών και διάλυση πολλών στοιχείων τα οποία ακολούθως μεταφέρονται στα ποτάμια και τη θάλασσα). Άλλες πηγές στοιχείων στη θάλασσα είναι η βιολογική σταθεροποίηση (άζωτο και άνθρακας), διαλυτά ηφαιστειακά αέρια (άνθρακας, θείο, χλώριο και βρώμιο) και οι υδροθερμικές αναβλύσεις (Mn). Η θάλασσα δεν είναι όμως "αποθήκη" όπου τα στοιχεία συσσωρεύονται επ' άπειρον. Τα περισσότερα στοιχεία απομακρύνονται από τους ωκεανούς με καταβύθιση σε αδιάλυτα στερεά, με πρόσληψη από οργανισμούς και με αντιδράσεις στους πυθμένες. Μέτρο της κινητικότητας των στοιχείων στα διάφορα περιβαλλοντικά διαμερίσματα είναι ο χρόνος παραμονής που ορίζεται: Μέσος χρόνος παραμονής = (ολικό περιεχόμενο)/ροή (*Cox*, 1995).



Εικόνα 1.2.1: Πηγές και κύκλοι μετάλλων στο περιβάλλον (Cox, 1995).

Στο υδάτινο περιβάλλον τα μέταλλα κινούνται ανάμεσα στα 4 αβιοτικά διαμερίσματα, την υδάτινη στήλη, το σωματιδιακό υλικό, το νερό των πόρων και τα ιζήματα. Η σωματιδιακή ύλη αλληλοεπιδρά με το θαλασσινό νερό και τα μέταλλα συμμετέχουν σε διαδικασίες προσρόφηση/εκρόφησης και συγκαταβύθισης. Η αποσάθρωση ιζηματογενών και άλλων πετρωμάτων παράγει σωματιδιακό υλικό, το οποίο καταβυθίζεται και παίρνει μέρος στην διεργασία της ιζηματογένεσης. Τα ιζήματα αλληλοεπιδρούν με το νερό των πόρων κατά τη διαγένεση (διεργασίες στα ιζήματα μετά την απόθεση) και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων μετάλλων. Τέλος τα ιζήματα και το νερό των πόρων επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις μετάλλων στα βαθιά και επιφανειακά νερά γιατί ελευθερώνονται μέταλλα λόγω διάχυσης ή βιοανάδευσης (*Salomons and Förstner., 1984*).

1.2.2. Τα βαρέα μέταλλα στα θαλάσσια ιζήματα

Τα μέταλλα δεν κατανέμονται ομοιόμορφα στα διάφορα μεγέθη των κόκκων. Τα λεπτά σωματίδια που περιέχουν κυρίως αργιλικά ορυκτά παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε μέταλλα. Στην ιλύ και την άμμο μειώνονται οι συγκεντρώσεις γιατί υπερισχύει ο χαλαζίας. Στα πολύ χονδρόκοκκα ιζήματα παρατηρείται νέα αύξηση των μετάλλων (Salomons and Förstner., 1984). Άρα η μελέτη και περιγραφή των ιζημάτων ξεκινά από τον προσδιορισμό της κοκκομετρίας και της περιεκτικότητας ανθρακικών (Karageorgis et al., 2005). Επίσης, μελετάται η περιεκτικότητα των ιζημάτων σε οργανική ύλη λόγω της σημασίας της στη σύνδεση και μεταφορά των μετάλλων και τις διαγενετικές διεργασίες. Τα μέταλλα αλληλοεπιδρούν με την οργανική ύλη με διάφορους τρόπους. Συγκεκριμένα μπορεί να συμπλέκονται από την οργανική ύλη και να καταβυθίζονται, να σχηματίζουν οργανικά σύμπλοκα τα οποία προσροφώνται σε οργανικά ή ανόργανα σωματίδια, να προσφροφώνται από οργανικά σωματίδια, να ενσωματώνονται στην έμβια οργανική ύλη. Επίσης είναι δυνατό η διαλυτή οργανική ύλη να διαλυτοποιεί μέταλλα από ευκίνητες θέσεις στα ιζήματα λόγω ισχυρότερης τάσης συμπλοκοποίησης. Τα θετικά φορτισμένα μεταλλικά ιόντα προσροφούνται στα οργανικά σωματίδια ή σε οργανικά επιστρώματα λόγω της παρουσίας αρνητικά φορτισμένων επιφανειακών θέσεων (Forstner and Wittmann, 1979). Καθώς τα ιζήματα καλύπτονται από νεότερα το επιφανειακό στρώμα στο οποίο υπάρχει οξυγόνο θάβεται και σταδιακά γίνεται υποξικό λόγω της κατανάλωσης του οξυγόνου για την αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Τελικά, η αποσύνθεση συνεχίζεται

από βακτήρια που ανάγουν τα θειικά σε θειούχα και παράγεται H₂S. Το H₂S διαχέεται προς τα πάνω όπου διαλυτοποιεί μέταλλα από λιγότερο σταθερά ανθρακικά, οξείδια και υδροξείδια τους. Επιπλέον η αποσύνθεση της οργανικής ύλης παράγει οργανικές ενώσεις που μπορεί να συμπλέκουν τα διαλυτοποιημένα μέταλλα πολύ ισχυρά και άρα να διευκολύνουν τη διαφυγή τους από τη ζώνη του H₂S παρεμποδίζοντας την καταβύθισή τους ως θειούχα ορυκτά. Στην περαιτέρω ανάλυση των ιζημάτων συνήθως αναλύεται το κλάσμα των 63 μm (ιλύς+άργιλος) γιατί σε αυτό βρίσκονται οι υψηλότερες περιεκτικότητες μετάλλων. Αυτό το κλάσμα είναι ισοδύναμο με το υλικό που μεταφέρεται σε αιώρηση. Επιπλέον, οι περισσότερες μελέτες μετάλλων στα ιζήματα έχουν γίνει σε αυτό το κλάσμα για λόγους συγκρισιμότητας (Salomons and Förstner., 1984).

Πίνακας 1.2.2: Τυπικές περιεκτικότητες βαρέων μετάλλων σε πετρώματα (σε mg/kg) (Salomons and Förstner, 1984, Alloway and Ayres, 1997).

| | AI | Fe | Mn | V | Cr | Ni | Zn | Cu | Со | Pb | Cd |
|----------------------------|-----|-------------------|-------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|------|
| | 9 | 6 | mg/kg | | | | | 1 | | | |
| Μέσος φλοιός | 8,2 | 4,1 | 950 | 160 | 100 | 80 | 75 | 50 | 20 | 14 | 0,11 |
| Μέσο ίζημα | 7,2 | 4,1 | 770 | 105 | 72 | 52 | 95 | 33 | 14 | 19 | 0,17 |
| Μέσος σχιστόλιθος | 8,0 | 4,7 | 850 | 130 | 90 | 68 | 95 | 45 | 19 | 20 | 0,22 |
| Άργιλος βαθιών νερών | 8,4 | 6,5 | 6700 | 120 | 90 | 250 | 165 | 250 | 74 | 80 | 0,42 |
| Ίζημα ρηχών νερών | 8,4 | <mark>6,</mark> 5 | 850 | 145 | 60 | 35 | 92 | 56 | 13 | 22 | - |
| Ψαμμίτης | 4,3 | 2,9 | 440 | 20 | 35 | 9 | 30 | 30 | 0,3 | 10 | 0,05 |
| Ασβεστόλιθος | 0,7 | 1,7 | 700 | 45 | 11 | 7 | 20 | 5,1 | 0,1 | 5,7 | 0,03 |
| Έδαφος | 6,7 | 3,2 | 800 | 108 | 84 | 34 | 60 | 26 | 12 | 29 | 0,6 |
| Υπερβασικά | | | 1040 | 40 | 2980 | 2000 | 58 | 42 | | 14 | 0,12 |
| Βασικά | | | 1500 | 250 | 200 | 150 | 100 | 90 | | 3 | 0,13 |
| Γρανίτες | | | 400 | 72 | 4 | 0,5 | 52 | 13 | | 24 | 0,09 |

1.2.3. Πυρήνες ιζημάτων

Η μελέτη πυρήνων ιζημάτων γίνεται για δύο λόγους. Για την διερεύνηση των διαγενετικών διεργασιών στις οποίες υποβάλλονται τα μέταλλα στην σωματιδιακής ύλη μετά την απόθεσή τους και για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων υποβάθρου από τα βαθύτερα στρώματα των πυρήνων με σκοπό την διερεύνηση για ύπαρξη ή όχι ανθρωπογενούς επιβάρυνσης στα ανώτερα στρώματα. Στα ιζήματα συνήθως παρατηρείται

αύξηση της περιεκτικότητας των μετάλλων λίγα εκατοστά κάτω από την διαγωριστική επιφάνεια νερού-ιζήματος. Αυτό οφείλεται στις διαγενετικές διεργασίες καταβύθισης και προσρόφησης διαλυτοποιημένων μετάλλων που διαχέονται από βαθύτερα στρώματα καθώς και στην διάλυση μετάλλων από το επιφανειακό ίζημα λόγω μείωσης του pH. Έχει προκύψει ότι η αύξηση των συγκεντρώσεων Fe και Mn στο νερό των πόρων στα ανώτερα τμήματα πυρήνων ιζημάτων σχετίζεται με μείωση του αναγώγιμου κλάσματος εκεί (οξείδια Fe-Mn), με κινητικότητα Fe –Mn προς τα κάτω στον πυρήνα η οποία ελέγχεται από το σχηματισμό θειούχων και που στην περίπτωση του Fe οδηγεί σε αύξηση του κλάσματος θειούχων-οργανικών. Στην περίπτωση του Mn σημαντικό ρόλο παίζουν τόσο τα θειούχα όσο και τα ανθρακικά και η επίδραση των οξειδοαναγωγικών συνθηκών στην κατανομή του Mn στα διάφορα κλάσματα δεν είναι τόσο ξεκάθαρη. Σε οξειδωτικές συνθήκες στο επιφανειακό στρώμα η κυκλοφορία Fe και Mn διαμέσου της διαχωριστικής επιφάνειας νερού-ιζήματος παρεμποδίζεται από την καταβύθιση οξειδίων τους, που είναι πιο γρήγορη στο Fe και λιγότερο γρήγορη στο Mn. Ο σχηματισμός αυτών των οξειδίων παρασύρει και άλλα μέταλλα (Martin et al., 1987). Απουσία ρύπανσης (υπερβολική συνεισφορά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες) ή ελεγχόμενης προσθήκης (λιπάσματα) ή ασυνήθιστης φυσικής συνεισφοράς (θερμοπηγές και ηφαίστεια) τα επίπεδα υποβάθρου των περισσότερων στοιχείων καθορίζονται από την λιθολογία και τις διεργασίες αποσάθρωσης (Pickering, 1986).

1.2.4. Παράγοντες εμπλουτισμού

Προκειμένου να εκτιμηθεί η ανθρωπογενής επίδραση στα ιζήματα αναλύεται το ευκίνητο κλασμάτων μετάλλων στα ιζήματα (προσροφημένα μέταλλα, συγκαταβυθισμένα στα ανθρακικά και τα ένυδρα οξείδια σιδήρου και μαγγανίου και οργανικά συμπλεγμένα) με αραιά οξέα και εκλεκτικές εκχυλίσεις (Salomons and Förstner., 1984). Για να προσδιοριστούν οι ανθρωπογενείς επιδράσεις από την μελέτη ιζημάτων είναι απαραίτητο να ορίζεται το φυσικό επίπεδο των μετάλλων, η περιεκτικότητα υποβάθρου. Για τον ορισμό των τιμών υποβάθρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν η παγκόσμια μέση σύσταση του σχιστόλιθου, απολιθωματικά υδάτινα ιζήματα, πρόσφατες από την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης που παρέχουν ιστορικό αρχείο. Ο Παράγοντας Εμπλουτισμού Ιζημάτων (Sediment Enrichment Factor) ορίζεται ως εξής:

$$SEF = \frac{\frac{Me_{sed}}{Al_{sed}}}{\frac{Me_{back}}{Al_{back}}}$$

όπου Mesed είναι η Συγκέντρωση μετάλλου στο ίζημα υπό μελέτη, Alsed η Συγκέντρωση Al στο ίζημα υπό μελέτη και Meback η Συγκέντρωση μετάλλου στο υπόβαθρο, Alback η Συγκέντρωση Al στο υπόβαθρο (Salomons and Förstner., 1984).

Οι συντελεστές εμπλουτισμού ΕF που υπολογίζονται ως προς τις περιεκτικότητες μετάλλων στο φλοιό της γης έχουν κάποια σημαντικά μειονεκτήματα. Αυτό γιατί οι περιεκτικότητες σε μέταλλα στα πραγματικά πετρώματα μιας περιοχής μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές από τις μέσες υπολογίζόμενες για το σύνολο του στερεού φλοιού. Επιπλέον, τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται ως αναφοράς (Al, Zr, Ti, Sc) επίσης μεταβάλλονται από περιοχή σε περιοχή. Με χρήση περιεκτικότητας αναφοράς από υποεπιφανειακό στερεό δείγμα (βαθύτερο στρώμα πυρήνα ιζήματος) από κάθε συγκεκριμένη περιοχή αυτή η πηγή σφαλμάτων μπορεί να μειωθεί. Μια πηγή σύγχυσης ως προς τη χρήση των ΕF είναι και η ερμηνεία τους. Διάφοροι ερευνητές χρησιμοποιούν διαφορετικά όρια πάνω από τα οποία θεωρούν ότι ο παράγοντας εμπλουτισμού δείχνει επιβάρυνση.

Αρχικά, η ερμηνεία ήταν ότι συντελεστές εμπλουτισμού μεγαλύτεροι από 1 δείχνουν επιβάρυνση. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν και άλλες τιμές όπως 3, 5, 10, 20. Το στοιχείο που επιλέγεται ως αναφοράς πρέπει να επηρεάζεται ελάχιστα από τις διεργασίες αποσάθρωσης, να μην κατανέμεται σε άλλες μορφές στο ίζημα ή το έδαφος παρά μόνο εντός πλέγματος. Τέλος, έχει αναφερθεί ότι πρέπει το στοιχείο αναφοράς να μην παρουσιάζει το ίδιο υψηλή μεταβλητότητα παρόμοια με τη μεταβλητότητα των μετάλλων για τα οποία υπολογίζονται οι παράγοντες εμπλουτισμού. Μπορεί κάποιες φορές αντί για λιθογενή στοιχεία να χρησιμοποιηθεί ως στοιχείο αναφοράς ένα βιογενές πχ. το Mn (*Reinmann and de Caritat, 2005*). Με βάση τον Sutherland (2000) ο συντελεστής εμπλουτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ταξινόμηση των ιζημάτων σε περισσότερες κατηγορίες κατάταξης ως προς τη ρύπανση τους και προκύπτει η παρακάτω κατηγοριοποίηση (Πίνακας 1.2.3).

| SEF <2 | Ελάχιστος εμπλουτισμός, που υποδηλώνει μηδενική ή ελάχιστη ρύπανση. |
|-----------|--|
| 2≤SEF≤5 | Μέτριος εμπλουτισμός, που υποδηλώνει μέτρια ρύπανση. |
| 5≤SEF≤20 | Σημαντικός εμπλουτισμός, που υποδηλώνει σημαντικό ποσοστό ρύπανση. |
| 20≤SEF≤40 | Πολύ εμπλουτισμένο, υποδεικνύοντας ένα πολύ ισχυρό ποσοστό ρύπανσης. |
| SEF≥40 | Εξαιρετικά εμπλουτισμένο, υποδεικνύοντας ακραία ρύπανση. |

Πίνακας 1.2.3. Κατηγορίες συντελεστή εμπλουτισμού κατά Sutherland (2000)

1.2.5. Κριτήριο περιβαλλοντικής ποιότητας ιζημάτων

Τα παραγόμενα αποτελέσματα για τις περιεκτικότητες μετάλλων στα ιζήματα από διάφορες περιοχές μελέτης είναι αναρίθμητα, αλλά χωρίς την αξιολόγησή τους ως προς αριθμητικά κριτήρια ποιότητας δεν είναι δυνατό να βγει συμπέρασμα για πιθανές τοξικολογικές επιπτώσεις τους σε υδρόβιους βενθικούς και επιβενθικούς οργανισμούς. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν άτυπα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines), δηλαδή δεν έχουν νομοθετική ισχύ και χρησιμοποιούνται για την ερμηνεία των χημικών δεδομένων από ανάλυση ιζημάτων (NOAA 1999,Canadian Council of Ministers of the Environment 2001).

δεδομένων Καταρτίστηκε βάση (Biological Effects Database for μια Sediments-BEDS) από μελέτες επιπτώσεων σε βενθικούς και επιβενθικούς οργανισμούς στη Βόρεια Αμερική (ΗΠΑ και Καναδάς). Διερευνήθηκαν 350 μελέτες που περιείχαν δεδομένα από μοντέλα κατανομής χημικών ουσιών σε μορφές, βιοδοκιμές με προσθήκες χημικών ουσιών στο εργαστήριο, μελέτες πεδίου για τοξικότητα ιζημάτων και ταυτόχρονη εξέταση της σύστασης των βενθικών βιοκοινωνιών. Για τα κριτήρια ERL και ERM, που προέκυψαν, εξαιρέθηκαν μελέτες όπου δεν δινόταν το ολικό περιεχόμενο των ουσιών ενδιαφέροντος στο ίζημα, πχ. στα βαρέα μέταλλα δεν συνυπολογίστηκαν οι μελέτες που δεν είχαν προσδιορίσει την ολική περιεκτικότητα μετάλλων με ισχυρά οξέα. Τα αποτελέσματα για τα ιζήματα ήταν επί ξηρού. Τελικά από τις 350 μελέτες χρησιμοποιήθηκαν 89. Τα δεδομένα κατατάχθηκαν αυξανόμενων με σειρά συγκεντρώσεων. Το κριτήριο ERL (effects range-low) είναι το 10ο ποσοστημόριο (10th percentile) και το ERM (effects range-median) το 50ο ποσοστημόριο (50th percentile) ή διάμεση τιμή. Τα δύο κριτήρια χωρίζουν το εύρος των συγκεντρώσεων για κάθε γημική

ουσία σε τρεις περιοχές. Οι συγκεντρώσεις κάτω από το ERL αντιπροσωπεύουν ένα εύρος όπου παρατηρούνται σπάνια βιολογικές επιπτώσεις. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από το ERL και μικρότερες από το ERM αντιπροσωπεύουν ένα εύρος στο οποίο περιστασιακά προκαλούνται βιολογικές επιπτώσεις. Τέλος σε συγκεντρώσεις πάνω από το ERM παρατηρούνται συχνά βιολογικές επιπτώσεις. Υπολογίστηκαν επιπλέον και ποσοστά εμφάνισης βιολογικών επιπτώσεων (Long, 1995). Από τις μελέτες που αναφέρθηκαν παραπάνω, που είχαν ταυτόχρονα δεδομένα για βιολογικές επιπτώσεις και επίπεδα συγκεντρώσεων, υπολογίστηκαν για τον Καναδά και τα κριτήρια TEL (threshold effect level) και PEL (probable effect level). Τα κριτήρια αυτά αναφέρονται σε ψευδο-ολικές συγκεντρώσεις μετάλλων (δηλαδή σε χωνεύσεις με νιτρικό και υδροχλωρικό οξύ και όχι ολικές περιεκτικότητες). Σε συγκεντρώσεις μικρότερες του ΤΕL το ποσοστό εμφάνισης αρνητικών επιπτώσεων είναι μικρότερο από 25%. Σε συγκεντρώσεις ανάμεσα στα δύο κριτήρια είναι πιθανό να συμβούν βιολογικές επιπτώσεις και σε συγκεντρώσεις πάνω από το PEL βιολογικές επιπτώσεις παρατηρούνται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%. Το TEL αρχικά χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο ποιότητας για τον Καναδά, ενώ το PEL προτείνεται σαν ένα εργαλείο εκτίμησης της ποιότητας των ιζημάτων και εκτίμησης της πιθανότητας να συμβούν αρνητικές βιολογικές επιπτώσεις. Εκτός από την προσέγγιση αυτή για τον Καναδά χρησιμοποιήθηκαν ξεχωριστά και περιπτώσεις όπου η πληροφορία προερχόταν από πειράματα τοξικότητας με προσθήκες ουσιών σε ιζήματα στο εργαστήριο και τη μελέτη των επιπτώσεων στους οργανισμούς. Επειδή τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα με αυτή την προσέγγιση είναι λιγότερα για τον Καναδά το κριτήριο ποιότητας μετονομάστηκε σε ISQCs (Interim Sediment Quality Guidelines) και είναι η χαμηλότερη τιμή συγκέντρωσης που προτείνεται από τις 2 προσεγγίσεις (Canadian Council of Ministers of the Environment 2001).

Παρακάτω δίνονται οι πίνακες (1.2.4 και 1.2.5) με τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων ως προς τα μέταλλα για θαλάσσια ιζήματα και χαρακτηρισμός των ιζημάτων ως προς τη ρύπανση από μέταλλα.

Πίνακας 1.2.4: Κριτήρια ποιότητας ιζημάτων ERL και ERM (σε mg/kg) και ποσοστά εμφάνισης αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων.

| | EDI | FDM | Ποσοστά εμφάνισης επιπτώσεων | | | |
|----------|------|-------|---|---------|------|--|
| Ζισιχείο | EKL | EKIVI | <erl< th=""><th>ERL-ERM</th><th>>ERM</th></erl<> | ERL-ERM | >ERM | |
| As | 8,2 | 70 | 5,0 | 11,1 | 63,0 | |
| Cd | 1,2 | 9,6 | 6,6 | 36,6 | 65,7 | |
| Cr | 81 | 370 | 2,9 | 21,1 | 95,0 | |
| Cu | 34 | 270 | 9,4 | 29,1 | 83,7 | |
| Pb | 46,7 | 218 | 8,0 | 35,8 | 90,2 | |
| Hg | 0,15 | 0,71 | 8,3 | 23,5 | 42,3 | |
| Ni | 20,9 | 51,6 | 1,9 | 16,7 | 16,9 | |
| Zn | 150 | 410 | 6,1 | 47,0 | 69,8 | |

Πίνακας 1.2.5: Κριτήρια ποιότητας ιζημάτων ISQG και PEL (σε mg/kg) και ποσοστά εμφάνισης αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων στις διάφορες συγκεντρώσεις.

| Στοιχείο | ISQG | PEL | % = ISQG | ISQG<% <pel< th=""><th>% = PEL</th></pel<> | % = PEL |
|----------|------|------|----------|--|---------|
| As | 7,24 | 41,6 | 3 | 13 | 47 |
| Cd | 0,7 | 4,2 | 6 | 20 | 71 |
| Cr | 52,3 | 160 | 4 | 15 | 53 |
| Cu | 18,7 | 108 | 9 | 22 | 56 |
| Pb | 30,2 | 112 | 6 | 26 | 58 |
| Hg | 0,13 | 0,70 | 8 | 24 | 37 |
| Zn | 124 | 271 | 4 | 27 | 65 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1. Γενικά χαρακτηριστικά του Σαρωνικού κόλπου

Ο Σαρωνικός Κόλπος σχηματίζεται από τις δυτικές ακτές της Αττικής, τις ακτές των Μεγάρων και τις ανατολικές ακτές της Κορινθίας και της Αργολίδας. Αποτελεί εγκόλπωση του Αιγαίου Πελάγους και οριοθετείτε από την νοητή γραμμή που ενώνει το ακρωτήριο Σούνιο (Κάβο Κολώνες) και το ακρωτήριο Σκύλλαιο της Τροιζηνίας. Στον Σαρωνικό υπάρχουν τρία μεγάλα νησιά: η Αίγινα, η Σαλαμίνα και ο Πόρος, καθώς και πολλά μικρότερα, κυριότερα από τα οποία είναι το Αγκίστρι, το Γαϊδουρονήσι, οι Φλέβες, η Κυρά & οι Λαγούσες. Αποτελεί επίσης σημαντική θαλάσσια αρτηρία, αφού ενώνει, μέσω της διώρυγας της Κορίνθου, το Αιγαίο με το Ιόνιο Πέλαγος, ενώ παράλληλα οι λιμενικές εγκαταστάσεις του Πειραιά και οι ναυπηγοεπισκευαστικές μονάδες της Ελευσίνας προσελκύουν μεγάλη ναυτιλιακή δραστηριότητα.



Εικόνα 2.1.1: Περιοχή Μελέτης Σαρωνικού Κόλπου(google map).

2.2. Βαθυμετρία

Η πολύπλοκη μορφολογία των ακτών, οι θαλάσσιες μάζες, η κυκλοφορία των νερών και η παρουσία σημαντικών νησιών διαιρούν το Σαρωνικό κόλπο σε τέσσερις επιμέρους υποπεριοχές (Παρασκευοπούλου, 2009):

- Στον Βόρειο Σαρωνικό κόλπο, που ουσιαστικά αντιστοιχεί στον κόλπο της Ελευσίνας και φτάνει έως το βάθος των 34 μέτρων. Επικοινωνεί με τον υπόλοιπο Σαρωνικό, μέσω δύο στενών διαύλων και έτσι θεωρείται σαν ένας ξεχωριστός κόλπος.
 Ο ένας δίαυλος είναι αυτός των Μεγάρων με βάθος 8 μέτρων και τοποθετείται βορειοδυτικά της Σαλαμίνας. Ο άλλος δίαυλος είναι αυτός του Κερατσινίου με βάθος 25 μέτρων και βρίσκεται βορειοανατολικά της Σαλαμίνας.
- 2. Στον Νότιο (εξωτερικό) Σαρωνικό κόλπο, οριοθετείτε από τη νοητή γραμμή Αίγινας –Βουλιαγμένης ενώ στα δυτικά από τη νοητή γραμμή Αίγινας-Μεθάνων. Εμφανίζει χαρακτηριστικά ανάλογα με εκείνα των μαζών του Νότιο Αιγαίου πελάγους, λόγω της άμεσης επικοινωνίας με αυτό. Τέλος, τα βάθη στην περιοχή αυτή φτάνουν τα 200 μέτρα.
- 3. Στον Ανατολικό (εσωτερικό) Σαρωνικό κόλπο, οριοθετείτε στα δυτικά από τη γραμμή Σαλαμίνας-Αίγινας και στα νότια από τη γραμμή Αίγινας-Βουλιαγμένης. Το βάθος στο συγκεκριμένο τμήμα του Σαρωνικού κόλπου είναι σχετικά μικρό, γύρω στα 70-90 μέτρα ενώ κάνει την εμφάνιση του και το νησάκι της Ψυττάλειας, όπου λειτουργεί και το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων της Αθήνας (ΚΕΛΨ) σε βάθος ~ 65 μέτρα.
- 4. Στο Δυτικό (κεντρικό) Σαρωνικό κόλπο, το βάθος είναι το μεγαλύτερο από όλα τα επιμέρους τμήματα του και υπολογίζεται γύρω στα 230 μέτρα και 450 μέτρα στο βόρειο και στο νότιο τμήμα του αντίστοιχα. Τέλος, οριοθετείτε από τη γραμμή Αίγινας-Σαλαμίνας στο ανατολικό τμήμα και Αίγινας-Μεθάνων στο νοτιοανατολικό του τμήμα.


Εικόνα 2.2.1: Ο Σαρωνικός κόλπος-Υποπεριοχές και βαθυμετρία (Παρασκευοπούλου, 2009).

2.3. Γεωλογία και Ιζηματολογία

Ο Σαρωνικός Κόλπος σχηματίστηκε από καταβύθιση που έλαβε χώρα κατά το Κατώτερο Τεταρτογενές. Από γεωτεκτονικής άποψης αποτελεί την βορειοδυτική απόληξη του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου. Περισσότερα από 200 μικρά και μεγάλα ρήγματα έχουν χαρτογραφηθεί στον Σαρωνικό Κόλπο και σχεδόν όλα είναι ενεργά, συνεχίζοντας να αποτελούν παράγοντες διαμόρφωσης του Κόλπου. Την πολυτάραχη τεκτονική ιστορία της περιοχής μαρτυρούν τόσο η ύπαρξη πολλών νησιών και νησίδων όσο και η εκδήλωση ηφαιστειότητας σε διάφορα σημεία της (Μέθανα, Σουσάκι, Αίγινα, Σαλαμίνα).

Οι ακτές του Σαρωνικού παρουσιάζουν έντονο οριζόντιο και κατακόρυφο διαμελισμό. Οι βορειοανατολικές ακτές του είναι στο μεγαλύτερο τμήμα τους ομαλές και έχουν σχηματιστεί από ποταμοθαλάσσιες αποθέσεις. Σ' αυτές τις ακτές περιλαμβάνονται και οι εκβολές του Κηφισού και του Ιλισού, οι οποίοι αποστραγγίζουν το μεγαλύτερο μέρος του Λεκανοπέδιου της Αττικής. Αντίθετα, στο βορειοδυτικό τμήμα του Σαρωνικού, οι ακτές είναι απότομες και βραχώδεις, ενώ μικρά τμήματα αμμωδών ή χαλικωδών ακτών απαντούν μόνο κοντά στην Παλαιά και τη Νέα Επίδαυρο και στο νότιο τμήμα του Κόλπου Επιδαύρου. Στη νότια πλευρά του Σαρωνικού εναλλάσσονται βραχώδεις και αμμώδεις χαλικώδεις ακτές. Στον Σαρωνικό σχηματίζονται πολλοί μικρότεροι κόλποι και όρμοι, καθώς και μικρά ακρωτήρια. Στο βορειοανατολικό τμήμα του διανοίγονται οι όρμοι της

Βάρης, της Βουλιαγμένης και του Φαλήρου. Στη συνέχεια Αναβύσσου, της δημιουργούνται ο Κόλπος της Ελευσίνας και ο βαθύς Όρμος της Σαλαμίνας, ενώ δυτικά, κοντά στη Διώρυγα της Κορίνθου, σχηματίζονται οι όρμοι Καλαμακίου, Κεχριών, Αλμυρής και το Φραγκολίμανο, και νοτιότερα ο Όρμος Σοφικού, ο Κόλπος Επιδαύρου και η Χερσόνησος των Μεθάνων. Η λεκάνη του Σαρωνικού κόλπου αποτελεί μια σύνθετη νεοτεκτονική δομή στο ΒΔ άκρο του σύγχρονου ελληνικού ηφαιστειακού τόξου (Dietrich et al., 1993). Μια σχετικά ρηχή υποθαλάσσια κορυφογραμμή στο κεντρικό τμήμα της, που αναδύθηκε ως τμήμα των νησιών της Σαλαμίνας, της Αίγινας και του Πόρου και της χερσονήσου των Μεθάνων, οριοθετεί το ανατολικό από το δυτικό τμήμα της λεκάνης. Αυτή η κεντρική πλατφόρμα υποδηλώνει την ύπαρξη ρηξιγενούς ζώνης, διεύθυνσης BBA-ΝΝΔ, η οποία πιθανώς να αποτελεί την υπεράκτια επέκταση μιας μεγάλης ζώνωσης που κυριαρχεί στις γειτονικές παράκτιες περιοχές. Το σύστημα αυτό σηματοδοτεί ένα σημαντικό τεκτονικό όριο, διαιρώντας την κυκλαδική κυανοσχιστολιθική ζώνη στα νοτιοανατολικά από την υπο-πελαγονική, Παλαιοζωική έως Μεσοζωική, ανθρακική πλατφόρμα στα Δυτικά. Κατά το Πλειόκαινο έχει επανενεργοποιηθεί με μια ελαφριά αριστερόστροφη περιστροφή (Dietrich et al., 1993). Το νεοτεκτονικό εφελκυστικό καθεστώς της περιοχής συνδέεται με την ελάττωση του φλοιού στα 20 Km στη λεκάνη του Σαρωνικού και της Πλειο-Τεταρτογενούς ηφαιστειακής δραστηριότητας του τόξου, η οποία διακρίνεται σε δύο κύριες φάσεις Τα ηφαιστειακά κέντρα στο Σουσάκι, την Αίγινα και τον Πόρο ανήκουν στην πρώτη ηφαιστειογενή δραστηριότητα κατά το Πλειόκαινο και το ηφαιστειακό κέντρο των Μεθάνων ανήκει στη δεύτερη φάση κατά το Πλειστόκαινο. Η πιο πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα σημειώθηκε το 230 π.Χ. στο ΒΔ κομμάτι της χερσονήσου των Μεθάνων, δημιουργώντας τους ανδεσίτες της Καμένης Χώρας (Fytikas, 1988). Η ηφαιστειακή δραστηριότητα σήμερα περιορίζεται στις θερμές πηγές και τις φουμαρόλες των Μεθάνων και της Αίγινας, οι οποίες συνδέονται άμεσα με τα ενεργά ρηξιγενή συστήματα. Ολόκληρη η περιοχή των ακτών της Πελοποννήσου χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη μεγάλων ρηξιγενών ζωνών και από πολυάριθμα άλλα ρήγματα δεύτερης και τρίτης τάξης, σχηματίζοντας μεγάλες τεκτονικές τάφρους και κέρατα. Η αύξηση της σεισμικής δραστηριότητας κάτω από ένα εντατικό καθεστώς με διεύθυνση BBA- NNA, παρατηρείται κυρίως στα δυτικά περιθώρια του Σαρωνικού Κόλπου, όπου παρουσιάζονται περιοχές ισχυρής ιστορικής και πρόσφατης σεισμικότητας/στην κεντρική κορυφογραμμή του Σαρωνικού κόλπου η μικροσεισμική δραστηριότητα σχετίζεται περισσότερο με την παραμόρφωση του φλοιού κάτω από ένα εφελκυστικό καθεστώς και όχι τόσο με την ηφαιστειότητα της περιοχής.

36

2.4. Θαλάσσιες Μάζες και κυκλοφορία στο Σαρωνικό κόλπο

Η θερμοκρασία των νερών του Σαρωνικού Κόλπου κυμαίνεται από 13°C στο διάστημα Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου ως 26°C κατά τον Ιούλιο-Αύγουστο. Σε βάθη μεγαλύτερα από 70m, η θερμοκρασία είναι σχεδόν σταθερή, μεταξύ 14°C και 15°C.

Η αλατότητα δεν παρουσιάζει έντονες εποχικές και γεωγραφικές μεταβολές, και γενικά κυμαίνεται μεταξύ 38,5% και 39,5%.

Η κυκλοφορία των νερών είναι αρκετά πολύπλοκη. Κυρίαρχο στοιχείο αποτελούν η είσοδος νερών από το Αιγαίο Πέλαγος, η οποία συντελείται κατά μήκος των ακτών της Αττικής, και η έξοδός τους από τα ανοιχτά της Αίγινας και το Στενό Μεθάνων.

Ο Σαρωνικός κόλπος μελετάται από το 1972, από το Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών κι έχουν ήδη αναλυθεί οι πέντε θαλάσσιες μάζες του και ο τρόπος κυκλοφορίας των υδάτων (Barbetseas, 1975 & 1976, Barbetseas, 1990). Δεν υπάρχουν σημαντικοί ποταμοί που να εκβάλλουν στον Σαρωνικό, οι βροχοπτώσεις είναι μικρής διαρκείας και συμβαίνουν κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο. Οι παλίρροιες είναι επίσης ασήμαντες και η κυκλοφορία στο ανώτερο υδάτινο στρώμα του Κόλπου είναι αποτέλεσμα των ανέμων (wind-driven). Οι άνεμοι αναπτύσσουν δύο κυρίως τύπους κυκλοφορίας. Ο κυκλωνικός τύπος δημιουργείται είτε με βόρειους (BA-A) ανέμους είτε με νότιους (NA-N) και ο αντικυκλωνικός από ΝΔ μέχρι ΒΔ ανέμους (Barbetseas, 1990, Hopkins and Coachman, 1975).

Ο Βόρειος Κυκλωνικός τύπος (άνεμοι BA-A), καλύπτει το 50%του χρόνου, ενώ, οι δύο άλλοι τύποι καταλαμβάνουν το 25%. Η θερμοκρασία είναι ο κυρίως ο παράγοντας που διαμορφώνει τη την ισχυρή στρωμάτωση στον Σαρωνικό Κόλπο. Κατά τη ψυχρή περίοδο Φεβρουαρίου – Μαρτίου τα ύδατα είναι πλήρως ομογενοποιημένα με εξαίρεση τη θαλάσσια μάζα της Δυτικής λεκάνης. Υπάρχουν επιδράσεις υδάτων χαμηλότερης αλατότητας στα ύδατα του Σαρωνικού, με αποτέλεσμα να διακόπτεται η αύξηση της αλατότητας με το βάθος. Η ανανέωση των υδάτων της θαλάσσιας μάζας της Δυτικής λεκάνης για βάθη μεγαλύτερα των 190-200m είναι μικρής έκτασης και περιορισμένη χρονικά.

Το 1995 στα πλαίσια του προγράμματος MED-POL (UNEP-MONITORING), του Σαρωνικού κόλπου πραγματοποιήθηκαν τέσσερις εποχιακές πλόες με το Ωκεανογραφικό σκάφος ΑΙΓΑΙΟ. Για την χειμερινή περίοδο Δεκεμβρίου – Φεβρουαρίου, οι θαλάσσιες μάζες Ελευσίνας, Εσωτερικού, Κεντρικού και Εξωτερικού Κόλπου εμφανίζονται στο Τ/S διάγραμμα ως υδάτινοι τύποι, ενώ η Δυτική Λεκάνη διατηρείται ως θερμή μάζα. Κατά την εαρινή περίοδο αρχίζει η θέρμανση πρώτα των επιφανειακών υδάτων και με την πάροδο του χρόνου επηρεάζονται τα ύδατα σε μεγαλύτερα βάθη. Οι θαλάσσιοι τύποι που υπήρχαν τον Φεβρουάριο αναπτύσσονται πλέον σε θαλάσσιες μάζες και τον Ιούλιο παρατηρείται η ισχυρότερη στρωμάτωση που όμως επιμένει και τον Οκτώβριο. Το επιφανειακό στρώμα εκτείνεται μέχρι 10m τον Ιούλιο και 25m τον Οκτώβριο για αβαθείς περιοχές (<40m) και τα εύρη θερμοκρασίας και αλατότητας είναι 24.87 μέχρι 25.90 °C, 39.25-39.28 psu και αντιστοίχως κατά τον Οκτώβριο 21.18-21.34 °C, 39.15-39.16 psu. Για το βαθύτερο στρώμα οι διακυμάνσεις των ίδιων παραμέτρων είναι 15.22-24.87 °C, 38.99-39.28 psu κατά τον Ιούλιο και 16.09-21.18 °C ,38.62-39.16 psu κατά τον Οκτώβριο. Για τις βαθύτερες περιοχές οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας και αλατότητας για την στήλη του ύδατος είναι τον Ιούλιο 12.79-25.90 °C και 38.60-39.30 psu. Παρατηρείται μια εποχιακή μετακίνηση των Τ/S χαρακτηριστικών περίπου κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού που σημαίνει ότι τα ύδατα καθίστανται ψυχρότερα και χαμηλότερης αλατότητας κατά την χειμερινή περίοδο από την αντίστοιχη θερινή. Μια επίδραση υδάτων χαμηλότερης αλατότητας κατά τη χειμερινή περίοδο από την αντίστοιχη θερινή. Μια επίδραση υδάτων χαμηλότερης αλατότητας που παρατηρείται τον Ιούλιο περί τα βάθη 45-60 m για τον Εσωτερικό Κόλπο και 20-35m για τον Κεντρικό διακόπτει την αύξηση της αλατότητας με το βάθος. Παρόμοιες επιδράσεις έχουν παρατηρηθεί και σε προηγούμενους πλόες ιδιαίτερα στη θαλάσσια μάζα του Εξωτερικού Κόλπου και αποδίδονται σε επιδράσεις υδάτων γαμηλότερης αλατότητας από το Αιγαίο που είναι ύδατα πηγής για τον Σαρωνικό Κόλπο. Από την ανάλυση των τύπων κυκλοφορίας των υδάτων του Σαρωνικού προκύπτει από τους Hopkins and Coachman (1975); ότι ένας κυκλοφοριακός τύπος αναπτύσσεται σε χρονικό διάστημα μικρότερο της ημέρας εφόσον ο άνεμος είναι δυνατός (Griggs et al., 1978).

Για μια όμως πλήρης ανάπτυξη ενός κυκλοφοριακού τύπου, όπου οι μάζες ύδατος προσαρμόζονται προς την ροή απαιτούνται τρεις μέρες. Στην περίπτωση ενός σταθερού κυκλοφοριακού τύπου η πλήρης ανανέωση των υδάτων του Κόλπου θα απαιτούσε χρόνο μέχρι δύο εβδομάδες. Επειδή όμως στην περιοχή του Σαρωνικού το πεδίο των ανέμων είναι μεταβλητό, οι κυκλοφοριακοί τύποι δεν είναι σταθεροί. Κατόπιν τούτου, έχει υπολογισθεί

ότι ο χρόνος ανανεώσεως των υδάτων του Ανατολικού Σαρωνικού Κόλπου είναι περί τον ένα μήνα.



Εικόνα 2.5.1: Θαλάσσια κυκλοφορία στο Σαρωνικό κόλπο (Kontoyannis, 2009).

2.5. Πηγές ρύπανσης της ευρύτερης περιοχής

Ο Σαρωνικός κόλπος είναι από τις ελάχιστες περιοχές στην Ελλάδα, στην οποία παρακολουθείται συστηματικά η ποιότητα της από το 1985 και μετά, στο πλαίσιο εθνικών και περιφερειακών προγραμμάτων. Από το 1985 ως το 2004 με το «Εθνικό Πρόγραμμα Παρακολούθησης για την αξιολόγηση και έλεγγο της θαλάσσιας ρύπανσης στη Μεσόγειο» (MED-POL) MAP/UNEP και από το 2004 μέχρι το 2014 από το πρόγραμμα «Παρακολούθηση οικοσυστήματος Σαρωνικού υπό την επίδραση του αγωγού εκροής λυμάτων της Ψυττάλειας» που χρηματοδοτεί η ΕΥΔΑΠ. Παράλληλα από το 2011 ο Σαρωνικός εντάχθηκε στο Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων (ΦΕΚ 2017/2011) ενώ οι συστηματικές δειγματοληψίες ξεκίνησαν το 2012 (Παρασκευοπούλου, Β., 2009). Ο Σαρωνικός Κόλπος δεχόταν και συνεχίζει να δέχεται πολύ σημαντικό ρυπαντικό φορτίου και ήταν η πρώτη θαλάσσια περιοχή που εμφάνισε έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα λόγω της ραγδαίας βιομηχανικής και οικιστικής ανάπτυξης στην Αθήνα, τον Πειραιά και την Αττική γενικότερα. Αξίζει να σημειωθεί ότι γύρω από τις ακτές του Σαρωνικού έχει συγκεντρωθεί περίπου το 40% του ελληνικού πληθυσμού καθώς και μεγάλος αριθμός βιομηχανικών και λιμενικών δραστηριοτήτων. Στις ακτές του Σαρωνικού, βρίσκονται συγκεντρωμένες οι περισσότερες και μεγαλύτερες βιομηχανίες της Αττικής, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται διυλιστήρια πετρελαίου, ναυπηγεία, χυτήρια, βιομηχανίες τσιμέντου, χημικές βιομηχανίες, μικρά βυρσοδεψεία, μονάδες προϊόντων, νηματουργεία, μονάδες γαλακτοκομικών εμφιάλωσης αναψυκτικών. οινοπνευματοποιεία, μονάδες επεξεργασίας τροφίμων και ποτών κ.α. Επίσης, υπάρχουν οι σημαντικότερες λιμενικές, ναυτικές και ναυπηγοεπισκευαστικές εγκαταστάσεις της Ελλάδας. Το λιμάνι του Πειραιά είναι ένα από τα σημαντικότερα της Μεσογείου, με περίπου 5000 πλοία το χρόνο να αγκυροβολούν εκεί. Τέλος, οι τουριστικές δραστηριότητες που είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένες τόσο στις ακτές της Αττικής, όσο και στις ακτές της Πελοποννήσου, συνεισφέρουν κι αυτές στη ρύπανση του Σαρωνικού. Στις παραπάνω πηγές ρύπανσης πρέπει να προσθέσουμε τις παραλιακές λεωφόρους με τη μεγάλη κίνηση των αυτοκινήτων καθώς και τα αεροδρόμια της Αττικής (Λασκαράτος και Καλτσουνίδης, 1989).

2.6. Βιομηχανικά απόβλητα (Κόλπος Ελευσίνας)

Τα βιομηχανικά απόβλητα στο Σαρωνικό κόλπο και ειδικότερα στον κόλπο της Ελευσίνας προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης γύρω από τη βιομηχανική ζώνη της περιοχής. Η νομοθετημένη έκταση της βιομηχανικής περιοχής του Θριάσιου Πεδίου που γειτνιάζει με τη θάλασσα είναι 2500 στρέμματα. Από τα 15 χιλιόμετρα ακτών τα 12 χιλιόμετρα έχουν καταληφθεί από τις λιμενικές δραστηριότητες των βιομηχανιών-βιοτεχνιών. Ενδεικτικά έχουν αναπτυχθεί κατά διαστήματα 1623 βιομηχανικές μονάδες. Οι κυριότερες από αυτές είναι:

- 1) Διυλιστήρια (ΕΛ.ΠΕ. Ασπροπύργου και Ελευσίνας)
- Χαλυβουργεία (ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΉ στην Ελευσίνα, ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑ ΕΛΛΑΔΑΣ στον Ασπρόπυργο)
- 3) Εργοστάσια Τσιμέντου (ΤΙΤΑΝ,ΧΑΛΥΨ)
- 4) Ναυπηγεία (Ελληνικά Ναυπηγεία, Ναυπηγεία Ελευσίνας)
- 5) Διακίνησης και αποθήκευσης πετρελαιοειδών (ΠΕΤΡΟΓΚΑΖ,ΕΚΟ,ΕΚΟΛΙΝΑ,ΒΡ HELLAS, SHELLIGAS, ETEKAA.E, BPHELLASS.E, CYCLONA.E (πρώην TOTHELLAS), ELPETROLA.E).
- 6) Τυποποίησης & αποθήκευσης φυτοφαρμάκων (LAPAFARM, ΕΛΛΑΓΡΕΤ)
- 7) Ελληνικά Αμυντικά Συστήματα Α.Β.Ε.Ε (ΕΒΟ ΠΥΡΚΑΛ)

Στην ευρύτερη περιοχή του Θριασίου Πεδίου λειτουργούν εκτός από τις παραπάνω και πολλές άλλες μικρότερες βιομηχανίες διακίνησης πετρελαίου, πλαστικών, χημικές, χαρτοβιομηχανία, λατομεία, μονάδες αναγέννησης ορυκτελαίων κλπ.

Οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις που σχετίζονται με τις παραπάνω δραστηριότητες μπορούν να εστιάσουν στις εξής:

Σε βιομηχανικά απόβλητα, προερχόμενα είτε από χερσαίες διαρροές είτε από ατμοσφαιρικές εναποθέσεις, όπως είναι τα ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια και η φωτοχημική ρύπανση (οξείδια αζώτου, όζοντος και ολικών υδρογονανθράκων).

 Στη διακίνηση, επισκευή και ναυπήγηση πλοίων, παροπλισμένα αγκυροβολημένα πλοία, διαλυτήρια πλοίων, πετρελαιοκηλίδες από ατυχήματα και καταβύθιση με χρήση ειδικών απορρυπαντικών ουσιών.

 Σε εργασίες επιχωμάτωσης με μεταλλουργικές σκουριές και αδρανή υλικά από διάφορες βιομηχανίες (1000 στρέμματα θάλασσας, περίπου).

Σε εστιακά σημεία (όπως είναι το ρέμα του Αγ. Γεωργίου, που μετέφεραν τα υγρά απόβλητα των βυρσοδεψείων, της Βιοχαρτικής, της Βιασφάλτ καθώς και τα στραγγίσματα του Χώρου Ταφής Απορριμμάτων των Άνω Λιοσίων) (Τεχνική Έκθεση Προγράμματος Αριστεία ISMET-XOMAREN 640, 2015, Έκθεση Δήμου Ελευσίνας για την ρύπανση του Θριάσιου Πεδίου, 2011).

2.7. Εξέλιξη της ρύπανσης από αστικά λύματα

Μέχρι το 1994, τα ανεπεξέργαστα λύματα της Αθήνας διοχετεύονταν στο Κερατσίνι και απευθείας στο Σαρωνικό Κόλπο από τον Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (KAA), με αποτέλεσμα την έντονη ρύπανση και τελικό ευτροφισμό της περιοχής. Μια ποσότητα από αυτά τα λύματα μέσω της θαλάσσιας κυκλοφορίας εισερχόταν από τον ανατολικό δίαυλο της Ελευσίνας μέσα στον Κόλπο (20% περίπου). Πρόσφατα (2012) μπήκε σε λειτουργία η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων Θριασίου που θα εξυπηρετεί τα οικιστικά κέντρα και τις βιομηχανικές και βιοτεχνικές περιοχές των δήμων Ασπροπύργου, Ελευσίνας και Μάνδρας-Ειδυλλίας της Δυτικής Αττικής (Εκθεση Δήμου Ελευσίνας για την ρύπανση του Θριάσιου Πεδίου,2011).

Από το 1994 και μετά ξεκίνησε η λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας στο νησάκι Ψυττάλεια (πρωτοβάθμια ως το 2004 και από εκεί και μετά δευτεροβάθμια). Τα επεξεργασμένα λύματα διοχετεύονται πλέον στον Ανατολικό Σαρωνικό Κόλπο και σε βάθος 65μέτρων περίπου. Η κύρια μονάδα επεξεργασίας λυμάτων στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, με μέση παροχή εισερχομένων λυμάτων της τάξης των 730.000 κ.μ. ημερησίως ,είναι το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ), με δυναμικότητα ισοδύναμου πληθυσμού 5.600.000 κατοίκων. Η επεξεργασία λυμάτων στο ΚΕΛΨ περιλαμβάνει προ επεξεργασία, πρωτοβάθμια επεξεργασία και προχωρημένη δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με απομάκρυνση αζώτου, επεξεργασία ιλύος και συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Έως το 1998, το ΚΕΛΨ λειτουργούσε πιλοτικά, ενώ το 2004 τα λύματα περνούν από δευτερογενή επεξεργασία, με στόχο να μειωθεί το οργανικό άζωτο και να αντιστραφεί η τάση ευτροφισμού. Μέσω της επεξεργασίας τα αιωρούμενα στερεά και το οργανικό φορτίου των λυμάτων μειώνονται κατά 93% περίπου και το ολικό άζωτο μειώνεται κατά 80% περίπου με αποτέλεσμα τη θεαματική βελτίωση και την επαναποίκηση των βενθικών οικοσυστημάτων του όρμου στη δυτική του πλευρά. Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Θριασίου (ΚΕΛΨ) λειτουργεί από το 2012 (Α' φάση) ,εξυπηρετώντας τους Δήμους Ασπροπύργου, Ελευσίνας και Μάνδρας – Ειδυλλίας που μέχρι πρόσφατα στερούνταν αποχέτευσης. Η Α΄ φάση του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στο Θριάσιο Πεδίο έχει δυναμικότητα 117.000 ισοδύναμων κατοίκων που αντιστοιχούν σε 21.000 κ.μ λυμάτων ημερησίως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1. Περιοχή μελέτης – Θέσεις Δειγματοληψίας

Η δειγματοληψία των πυρήνων πραγματοποιήθηκε στον Βόρειο-Ανατολικό Σαρωνικό κόλπο (Εικόνα 4.1.1) από το ωκεανογραφικό σκάφος «Αιγαίο» του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) κατά τους ημερομηνίες 10-11/10/2017 μέσω χρήσης του οργάνου Multi-corer. Οι σταθμοί δειγματοληψίας που μελετήθηκαν στα πλαίσια τους συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας απεικονίζονται τόσο τους Εικόνα 3.1.1^α & Εικόνα 3.1.1^β όσο και στον Πίνακα 3.1.1 του Παραρτήματος στον οποίο αποτυπώνονται τους οι γεωγραφικές συντεταγμένες αυτών καθώς και τα αντίστοιχα βάθη συλλογής τους.



(a)



(ß)

Εικόνα 3.1.1 (α) Απεικόνιση των σταθμών δειγματοληψίας στο ΒΑ τμήμα του Σαρωνικού Κόλπου-Κόλπος Ελευσίνας(google map) και (β) Απεικόνιση των υπόλοιπων σταθμών δειγματοληψίας του Σαρωνικού Κόλπο(Google Map).

| 10/10/2017 Ωκεανογραφικό Σκάφος "Αιγαίο" ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε στον Σαρωνικό Κόλπο | | | | |
|--|-----------|-------------------|------------------|------------------------|
| ΣΤΑΘΜΟΣ | ΒΑΘΟΣ (m) | ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ | ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ |
| EL1 | 21,5 | 38° 00' 21''N | 23° 34′ 19″E | Πυρήνας μήκους 42 cm |
| EL5 | 22 | 38 °00' 18''N | 23 °31′ 53″E | Πυρήνας μήκους 46 cm |
| UN5A | 144 | 37 °53′ 27″N | 23° 04' 30''E | Πυρήνας μήκους 52 cm |
| UN6A | 164,8 | 37 °51′ 37″N | 23 °15′ 56″ E | Πυρήνας μήκους 54 cm |
| UN13 | 220 | 37 °39′ 52′′N | 23 °47′ 45′′E | Πυρήνας μήκους 51,5 cm |
| S2 | 32 | 38 °00' 28''N | 23 °27′ 32″E | Πυρήνας μήκους 45 cm |
| S7B | 90 | 37° 53′ 43″′N | 23 °35′ 25″′E | Πυρήνας μήκους 42 cm |

Πίνακας 3.1.1: Περιοχή μελέτης Σαρωνικού Κόλπου

Μετά τη δειγματοληψία των πυρήνων μετρήθηκαν οι φυσικές ιδιότητες τους (παραδείγματος χάρη της μαγνητικής τους επιδεκτικότητας) μέσω χρήσης του οργάνου Multi-Sensor Core Logger.

3.2. Μακροσκοπική εξέταση πυρήνων

Μετά τη δειγματοληψία, οι πυρήνες μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Ιζηματολογίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) της Αναβύσσου για την κοπή των πυρήνων (Εικόνα 3.2.1), τη φωτογράφηση τους τη μέτρηση της διατμητικής αντοχής αυτών (Εικόνα 3.2.2) καθώς και τη μακροσκοπική περιγραφή αυτών.



Εικόνα 3.2.1: Κοπή των πυρήνων στο εργαστήριο Ιζηματολογίας στο Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) της Αναβύσσου.



Εικόνα 3.2.2: Μέτρηση της διατμητικής αντοχής των πυρήνων δειγματοληψίας στο εργαστήριο Ιζηματολογίας στο Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) της Αναβύσσου.

3.3. Κοκκομετρική Εξέταση των πυρήνων δειγματοληψίας

Μετά την κοπή των πυρήνων δειγματοληψίας, ο πυρήνας Α χρησιμοποιήθηκε για μέτρηση των φυσικών ιδιοτήτων καθώς και της διατμητικής αντοχής αυτών όπως αναφέρθηκε παραπάνω καθώς και για την εξέταση της κοκκομετρίας αυτών ως προς τη σύσταση τους σε άμμο (sand) - ιλύ (silk) - άργιλο (clay). Συγκεκριμένα στο εργαστήριο Ιζηματολογίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) της Αναβύσσου, για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής σύστασης των ιζημάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του υγρού κοσκινίσματος για τον διαχωρισμό του κλάσματος της άμμου (διάμετρος κόκκων >63 pm, Folk, 1974) με την χρήση κόσκινου διαμέτρου οπής 63μm ενώ η λεπτόκοκκη φάση της ιλύος και της αργίλου αναλύθηκε με την χρήση συσκευής SEDIGRAPH Plus III. Πρακτικά αρχικά συλλέχθηκε υλικό 3-5 gr ανά ~10cm του πυρήνα, το οποίο εν συνεχεία παρέμεινε στο φούρνο σε θερμοκρασίας 60°C, για 3 ημέρες ώστε να ξηραθεί πλήρως. Στη συνέχεια, το κάθε ξηρό πλέον δείγμα ζυγίστηκε σε ζυγαριά ακριβείας και συλλέχθηκε υλικό ~ 3± 0,2 gr,το οποίο τοποθετήθηκε σε ποτήρι ζέσεως 100ml. Έπειτα, προστέθηκαν 20 ml διαλύματος εξαμεταφωσφορικού νατρίου (Calgon, με συγκέντρωση 5,5 gr/λίτρο) όπου παρέμεινε για μια ώρα μέχρι να διαλυθεί υποβοηθούμενο και με απαλές αναδεύσεις. Το διάλυμα εξαμεταφωσφορικού νατρίου

χρησιμοποιείται ως διασκορπιστικό μέσο ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα κροκίδωσης στο τελικό διάλυμα. Ακολούθως με την χρήση κόσκινου 63 μm γίνεται το υγρό κοσκίνισμα με τη βοήθεια διαλύματος Calgon, ώστε να διαχωριστεί το κατακρατούμενο στο κόσκινο κλάσμα της άμμου (διάμετρος κόκκων >63 μm) από τη λεπτόκοκκη φάση της ιλύος (διάμετρος κόκκων 63-4 μm) και της αργίλου (διάμετρος κόκκων <4 μm). Η ποσότητα της ιλύος και της αργίλου συλλέγεται σε ποτήρι ζέσεως 100 ml, αναδεύτηκε εκ νέου μέσω χρήσης υπερήχου και ειδικού αναδευτήρα για 1 λεπτό και ακολούθησε εισαγωγή του στον υποδοχέα του μηχανήματος Sedigraph Plus III μέσω χρήσης υδροβολέα (διαλύματος 5,5 gr/L Calgon) με σκοπό τον μετέπειτα διαχωρισμό τους στο μηχάνημα Sedigraph III Plus (Εικόνα 3.3.1).



Εικόνα 3.3.1: Υπολογισμός των επιμέρους ποσοστών ιλύος και αργίλου μέσω χρήσης του μηχανήματος Sedigraph III Plus,στο εργαστήριο Γεωχημείας-Ακτινών-Χ του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) της Αναβύσσου.

Από την άλλη η ποσότητα της άμμου ξεπλένεται με αποσταγμένο νερό, ξηραίνεται σε φούρνο στους 60 °C και στην συνέχεια ζυγίζεται. Ακολούθως συνυπολογίζοντας τα ποσοστά (%) της αναλογίας των κοκκομετρικών τάξεων από την ανάλυση, την ποσότητα του διασκορπιστικού μέσου που χρησιμοποιήθηκε, του ξηρού βάρους, του συνολικού βάρους του δείγματος και του βάρους του κλάσματος της άμμου, υπολογίζονται τα εκατοστιαία ποσοστά της άμμου, της ιλύος, και της αργίλου για κάθε δείγμα. Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των ιζημάτων κατά Folk με την προβολή τους σε τριγωνικό διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης λεπτόκοκκων ιζημάτων το οποίο φαίνεται στο σχήμα 2.4 (Folk, 1974). Τέλος, ακολούθησε υπολογισμός του ολικού ποσοστού άμμου-ιλύος & αργίλου για το εκάστοτε δείγμα με σκοπό την λεπτομερή εξέταση της κοκκομετρίας αυτών.

3.4. Μέτρηση του ποσοστού συγκέντρωσης των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων με τη μέθοδο Φθορισμού Ακτινών-Χ – XRF PW-2400

Μετά την κοπή των πυρήνων δειγματοληψίας, ο πυρήνας Β χρησιμοποιήθηκε για το προσδιορισμό της συγκέντρωσης των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στο ίζημα, ανά 10cm του πυρήνα δειγματοληψίας με τη μέθοδο Φθορισμού Ακτινών-Χ που ως μηχάνημα βρίσκεται στο εργαστήριο Γεωχημείας-ακτινών–Χ του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) της Αναβύσσου. Πριν τη χρήση του XRF θα τόσο για τα κύρια όσο και για τα ιχνοστοιχεία, θα πρέπει το ίζημα να κονιορτοποιηθεί μέσω χρήσης αχάτινου γουδιού. Μετά τη κονιορτοποιήση τους, τα δείγματα παρέμειναν στον φούρνο στους 60 °C για μια ημέρα και έπειτα τοποθετήθηκαν στον ξηραντήρα μέχρι τη ζύγιση τους σε ζυγό ακριβείας.

<u>Τα δείγματα που προοριζόντουσαν για προσδιορισμό των κύριων στοιχείων</u>, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε ποτηράκια ζέσεων 5,5 gr Claisse Lithium Tetraborate, 0,5 gr Alfa Aesar Lithium, 0,5gr διαλύματος βρωμιούχου λίθιου αναλογίας (0,5gr Ammonium Nitrate/25ml απιονισμένου νερού (mq) και 0,5gr κονιορτοποιημένου δείγματος με ακρίβεια ±0,0002. Έπειτα, τα δείγματα αναδεύτηκαν με σπάτουλα με σκοπό να ομογενοποιηθούν και τοποθετήθηκαν σε ειδικές πλατίνες ενώ τέλος προστέθηκαν περίπου 4 σταγόνες βρωμιούχου λίθιου με χρήση πιπέτας. Εν συνεχεία, τοποθετήθηκαν στο σύστημα XRF PW-2400 στο σύντηξης Claisse Fluxy-2400 (Εικόνα 3.4.1a).

<u>Τα δείγματα που προοριζόντουσαν για προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων</u>, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε ποτηράκια ζέσεων 1,25gr άμορφου βόρακα (Hoechst-War C) και 5gr κονιορτοποιημένου δείγματος με ακρίβεια ±0,0002. Έπειτα, τα δείγματα αναδεύτηκαν με σπάτουλα με σκοπό να ομογενοποιηθούν και τοποθετήθηκαν στον υποδοχέα του συστήματος XRF PW-2400 για τη παρασκευή δειγμάτων PRESS Powder (Εικόνα 3.4.1b).



Εικόνα 3.4.1. Απεικόνιση του συστήματος XRF PW-2004(a) για την παρασκευή δειγμάτων στα οποία προσδιορίστηκαν τα κύρια στοιχεία, (b) για την Παρασκευή δειγμάτων press powder στα οποία προσδιορίστηκαν τα ιχνοστοιχεία.

Τέλος, για την εγκυρότητα της προπαρασκευής των δειγμάτων στα οποία επρόκειτο να εφαρμοστεί η μέθοδος Φθορισμού Ακτινών X-XRF,υπολογίστηκε η απώλεια των στοιχείων λόγω εξάχνωσης, γνωστή ως LOI(Loss-on-Ignition). Συγκεκριμένα, αρχικά ζυγίστηκαν τα χωνευτήρια στα οποία θα τοποθετούνταν τα δείγματα μόνα τους. Έπειτα ζυγίστηκε 1-1,5gr κονιορτοποιημένου δείγματος σε ζυγό ακριβείας με τη βοήθεια υάλου ωρολογίου και το δείγμα τοποθετήθηκε σε χωνευτήρια. Έπειτα, τα χωνευτήρια που εμπεριείχαν το εκάστοτε δείγμα, τοποθετήθηκαν σε φούρνο θερμοκρασίας 1000°C για 2^{1/2} ώρες και στη συνέχεια μπήκαν σε ξηραντήρα μέχρι να ζυγιστούν εκ νέου σε ζυγό ακριβείας. Τέλος, ο προσδιορισμός του LOI έγινε με τον ακόλουθο τρόπο:

LOI= [((Βάρος χωνευτηρίου +δείγματος) – Βάρος μετά πύρανσης) / ((Βάρος χωνευτηρίου +δείγματος)-Βάρος χωνευτηρίου)] Χ 100.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνων

Μετά τη κοπή των πυρήνων δειγματοληψίας, οι πυρήνες περιεγράφηκαν μακροσκοπικά τόσο ως προς τη σύσταση τους όσο και ως προς το χρώμα τους μέσω χρήσης του διεθνώς αναγνωρισμένου χρωματολογικού οδηγού, Munsell Soil Color Chart στο εργαστήριο Γεωτεχνίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) της Αναβύσσου (Εικόνα 4.1.1-4.1.7). Βάση των παραπάνω, έγινε μια πρώτη περιγραφή των πυρήνων δειγματοληψίας, που παραθέτετε παρακάτω:

4.1.1. Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα EL-1

Η μακροσκοπική περιγραφή (χρώμα και σύσταση) του πυρήνα κατέληξε στις ακόλουθες δυο ενότητες (Εικόνα 4.1.1):



Εικόνα 4.1.1 :Εικόνα του πυρήνα EL-1 & μακροσκοπική περιγραφή του.

- **Ενότητα 1**^η: Η πρώτη/υπερκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 0-27cm και χαρακτηρίζεται ως αργιλώδης ιλύς με σποραδική εμφάνιση οργανικού υλικού.
- **Ενότητα 2**^η: Η δεύτερη/υποκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 27-42cm και χαρακτηρίζεται επίσης ως αργιλώδης ιλύς.

4.1.2. Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα EL-5

Η μακροσκοπική περιγραφή (χρώμα και σύσταση) του πυρήνα κατέληξε στις ακόλουθες τέσσερις ενότητες (Εικόνα 4.1.2):



Εικόνα 4.1.2: Εικόνα του πυρήνα EL-5 & μακροσκοπική περιγραφή του

- **Ενότητα 1**^η : Η πρώτη/υπερκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 0-15cm και χαρακτηρίζεται ως ιλύς με εμφάνιση άφθονων κελυφών.
- **Ενότητα 2^η :** Η δεύτερη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 15-20 cm και χαρακτηρίζεται επίσης ως ιλύς με συχνές εμφανίσεις θραυσμάτων.
- **Ενότητα 3**^η : Η τρίτη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 20-22cm και χαρακτηρίζεται επίσης ιλύς με λίγες εμφανίσεις θραυσμάτων.
- **Ενότητα 4**^η : Η τέταρτη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 22-46cm και χαρακτηρίζεται ως ιλύς.

4.1.3. Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα UN-5

Μακροσκοπικά όλος ο πυρήνας (0-52cm) και χαρακτηρίζεται ως αργιλώδης ιλύς. (Εικόνα 4.1.3)



Εικόνα 4.1.3: Εικόνα του πυρήνα UN-5 & μακροσκοπική περιγραφή του.

4.1.4. Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα UN-6A

Μακροσκοπικά, όλος ο πυρήνας (0-54cm) και χαρακτηρίζεται ως αργιλώδης ιλύς (Εικόνα 4.1.4):



Εικόνα 4.1.4: Εικόνα του πυρήνα UN-6A & μακροσκοπική περιγραφή του.

4.1.5. Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα UN-13

Η μακροσκοπική περιγραφή (χρώμα και σύσταση) του πυρήνα κατέληξε στις ακόλουθες δυο ενότητες (Εικόνα 4.1.5):

- **Ενότητα 1**^η: Η πρώτη/υπερκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 0-2cm και χαρακτηρίζεται ως αργιλώδης ιλύς.
- **Ενότητα 2^η:** Η δεύτερη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 2-51,5cm και χαρακτηρίζεται επίσης ως αργιλώδης ιλύς. Αν και από θέμα σύστασης οι δύο ενότητες είναι ίδιες, διαφοροποιούνται χρωματικά μεταξύ τους.



Εικόνα 4.1.5: Εικόνα του πυρήνα UN-13 & μακροσκοπική περιγραφή του.

4.1.6. Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα S2

Η μακροσκοπική περιγραφή (χρώμα και δομή) του πυρήνα κατέληξε στις ακόλουθες δυο ενότητες (Εικόνα 4.1.6):

- **Ενότητα 1**^η: Η πρώτη/υπερκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 0-14cm και χαρακτηρίζεται ως αργιλώδης ιλύς με σποραδική εμφάνιση θραυσμάτων κελυφών.
- **Ενότητα 2**^η: Η δεύτερη/υποκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 14-45cm και χαρακτηρίζεται επίσης ως αργιλώδης ιλύς.



Εικόνα 4.1.6: Εικόνα του πυρήνα S2 & μακροσκοπική περιγραφή του.

4.1.7. Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνα S7B

Η μακροσκοπική περιγραφή(χρώμα και δομή) του πυρήνα κατέληξε στις ακόλουθες δυο ενότητες (Εικόνα 4.1.7):

- **Ενότητα 1**^η: Η πρώτη/υπερκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 0-1,5cm και χαρακτηρίζεται ως αργιλώδης ιλύς με εμφάνιση θραυσμάτων από κελύφη.
- **Ενότητα 2**^η: Η δεύτερη/υποκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 1,5-42cm και χαρακτηρίζεται επίσης ως αργιλώδης ιλύς με εμφάνιση θραυσμάτων έως τα 10cm και παρατήρηση υλικού αγνώστου προέλευσης στα 23cm.



Εικόνα 4.1.7: Εικόνα του πυρήνα S7B & μακροσκοπική περιγραφή του.

4.2. Ιδιότητες Πυρήνων

4.2.1. Πυρήνας EL-1

4.2.1.1. Φυσικές ιδιότητες

Η κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων του πυρήνα EL-1 δίνεται στην Εικόνα 4.2.1α ενώ στον Πίνακα 4.2.1 του Παραρτήματος μπορεί κανείς να εξετάσει λεπτομερώς τα δεδομένα με βάση τα οποία κατασκευάστηκαν τα παρακάτω διαγράμματα.



EL1-depth: 21,5m

Εικόνα 4.2.1α: Κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων οι οποίες μετρήθηκαν για τον πυρήνα EL-1. Τα κοκκομετρικά δεδομένα παρουσιάζονται ως επι τοις εκατό ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου.

Κοκκομετρική Ανάλυση του πυρήνα EL-1

Σύμφωνα με τη ταξινόμηση κατά Folk(1974), ο πυρήνας EL-1 αποτελείται κυρίως από πηλό όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει στην Εικόνα 4.2.1β καθώς και στον Πίνακα 4.2.1 του Παραρτήματος και συγκεκριμένα:

Ενότητα 1^η: Η πρώτη/υπερκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από 0-27cm χαρακτηρίζεται ως αμμώδης πηλός (ιλύς και άργιλος) με σποραδική εμφάνιση

οργανικού υλικού. Το ποσοστό της άμμου εμφανίζει μέγιστη τιμή 24,49% και ελάχιστη τιμή 18,31%. Τα ποσοστά ιλύος και αργίλου εμφανίζουν μέγιστα ποσοστά που ανέρχονται στα 45,77% και 39,74% και ελάχιστα ποσοστά που κυμαίνονται στα 35,78% και 37,48% αντίστοιχα.

Ενότητα 2^η: Η δεύτερη/υποκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από 27-42cm και χαρακτηρίζεται επίσης ως αμμώδης πηλός. Συγκεκριμένα, η άμμος εμφανίζει μέγιστη τιμή που φτάνει τα 32,78% και ελάχιστη τιμή 30,54%. Το ποσοστό ιλύος και αργίλου εμφανίζουν μέγιστα ποσοστά που ανέρχονται στα 35,80% και 34,98% και ελάχιστα ποσοστά που κυμαίνονται στα 34,48% και 31,42% αντίστοιχα.



EL1-depth: 21.5 m

Εικόνα 4.2.1β: Διαγραμματική απεικόνιση του πυρήνα δειγματοληψίας EL-1 κατά Folk (1974).

P-wave velocity (ταχύτητα διάδοσης του ήχου)

Ενότητα 1^η: Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου (P-wave velocity) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-27cm, εμφανίζει μέση τιμή 1616,31m/sec.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 27-42 cm η τιμή της ταχύτητας διάδοσης του ήχου παρουσιάζει μερική αύξηση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 1624,65 m/sec.

Gamma density (γ-πυκνότητα)

Ενότητα 1^η: Η γ-πυκνότητα (gamma density) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-27cm, εμφανίζει μέση τιμή 1,795648 g/cm³.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 27-42 cm η τιμή της γ-πυκνότητας παρουσιάζει μερική αύξηση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 1,82522 g/cm³.

Magnetic Susceptibility (μαγνητική επιδεκτικότητα)

Ενότητα 1^η: Η μαγνητική επιδεκτικότητα (gamma density) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-27cm, εμφανίζει μέση τιμή 40,26 SI.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 27-42 cm η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας παρουσιάζει μερική μείωση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 36,70 SI.

Fractional porosity (πορώδες)

Ενότητα 1^η: Το πορώδες (fractional porosity) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-27cm, εμφανίζει μέση τιμή 0,553576.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 27-42 cm η τιμή του πορώδες παρουσιάζει μερική μείωση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 0,536406667.

4.2.1.2. Γεωτεχνικές ιδιότητες

Undrained Shear Strength (διατμητική αντοχή)

Ενότητα 1^η: Η διατμητική αντοχή (undrained shear strength) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-27cm, εμφανίζει μέση τιμή 5 kPa.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 27-42 cm η τιμή της διατμητικής αντοχής παρουσιάζει μερική αύξηση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 6,2 kPa.

4.2.2. Πυρήνας EL-5

4.2.2.1. Φυσικές ιδιότητες

Η κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων του πυρήνα EL-5 δίνονται τόσο στην Εικόνα 4.2.2a καθώς και στον Πίνακα 4.2.2 του Παραρτήματος και συγκεκριμένα:



Εικόνα 4.2.2α: Κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων οι οποίες μετρήθηκαν για τον πυρήνα EL-5. Τα κοκκομετρικά δεδομένα παρουσιάζονται ως επι τοις εκατό ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου.

Κοκκομετρική Ανάλυση του πυρήνα EL-5

Σύμφωνα με τη ταξινόμηση κατά Folk (1974), ο πυρήνας EL-5 αποτελείται κυρίως από πηλό όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει στην Εικόνα 4.2.2β καθώς και στον Πίνακα 4.2.2 του Παραρτήματος και συγκεκριμένα:

Ενότητα 1^η: Η πρώτη/υπερκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από 0-15cm Κα και χαρακτηρίζεται ως ιλύς με εμφάνιση άφθονων κελυφών. Το ποσοστό της άμμου εμφανίζει μέγιστη τιμή 12,53% και ελάχιστη τιμή 5,65%.Τα ποσοστά ιλύος και αργίλου εμφανίζουν μέγιστα ποσοστά που ανέρχονται στα 61,68% και 58,90% και ελάχιστα ποσοστά που κυμαίνονται στα 28,57% και 32,67% αντίστοιχα. **Ενότητα 2**^η: Η δεύτερη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από 15-20 cm και χαρακτηρίζεται επίσης ως ιλύς με συχνές εμφανίσεις θραυσμάτων. Το ποσοστό της άμμου κυμαίνεται γύρω στο 5,58 %, τα ποσοστά ιλύος και αργίλου από την άλλη ανέρχονται σε ποσοστό 48,80 % και 45,62 % αντίστοιχα.

Ενότητα 3^η: Η τρίτη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από 20-22 cm και χαρακτηρίζεται επίσης ιλύς με λίγες εμφανίσεις θραυσμάτων. Το ποσοστό της άμμου κυμαίνεται γύρω στο 8,21%, τα ποσοστά ιλύος και αργίλου από την άλλη κυμαίνονται γύρω στο 44,12% και 47,68 % αντίστοιχα

Ενότητα 4^η: Η τέταρτη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από 22-46 cm και χαρακτηρίζεται ως ιλύς. Το ποσοστό της άμμου εμφανίζει μέγιστη τιμή 8,35% και ελάχιστη τιμή 0,01%. Τα ποσοστά ιλύος και αργίλου εμφανίζουν μέγιστα ποσοστά που ανέρχονται στα 48,50 % και 51,48% και ελάχιστα ποσοστά που κυμαίνονται στα 42,22 % και 49,43% αντίστοιχα.



Εικόνα 4.2.2β: Διαγραμματική απεικόνιση του πυρήνα δειγματοληψίας EL-5 κατά Folk (1974).

P-wave velocity (ταχύτητα διάδοσης του ήχου)

Ενότητα 1^η: Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου (P-wave velocity) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-15cm, εμφανίζει μέση τιμή 1630,92 m/sec. **Ενότητα 2**^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 15-20 cm η τιμή της ταχύτητας διάδοσης του ήχου παρουσιάζει μερική μείωση σε σχέση με την 1^η ενότητα, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 1613 m/sec.

Ενότητα 3^η: Η ενότητα αυτή αποτελεί συνέχεια της 2^η ενότητας και εκτείνεται από τα 20-22cm ενώ εμφανίζει παρόμοια μέση τιμή ταχύτητας διάδοσης του ήχου σε σχέση με την προηγούμενη ενότητα που κυμαίνεται γύρω στα 1607,5 m/sec.

Ενότητα 4^η: Η τελευταία ενότητα του πυρήνα EL-5 εκτείνεται από τα 22 έως τα 46cm, παρουσιάζει μερική μείωση με αποτέλεσμα να εμφανίζει μια μέση τιμή που κυμαίνεται ~ 1597,21 m/sec.

Gamma density (γ-πυκνότητα)

Ενότητα 1^η: Η γ-πυκνότητα (gamma density) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-15cm, εμφανίζει μέση τιμή 1,48 g/cm³.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 15-20 cm η τιμή της γ-πυκνότητας παρουσιάζει μερική αύξηση σε σχέση με την 1^η ενότητα, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 1,61 g/cm³.

Ενότητα 3^η: Η ενότητα αυτή αποτελεί συνέχεια της 2^η ενότητας και εκτείνεται από τα 20-22cm ενώ εμφανίζει παρόμοια μέση τιμή γ-πυκνότητας σε σχέση με την προηγούμενη ενότητα που κυμαίνεται γύρω στα 1,58 g/cm³.

Ενότητα 4^η: Η τελευταία ενότητα του πυρήνα EL-5 εκτείνεται από τα 22 έως τα 46cm, παρουσιάζει μερική αύξηση με αποτέλεσμα να εμφανίζει μια μέση τιμή γπυκνότητας που κυμαίνεται 1,71 g/cm³.

Magnetic Susceptibility (μαγνητική επιδεκτικότητα)

Ενότητα 1^η: Η μαγνητική επιδεκτικότητα (magnetic susceptibility) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-15cm, εμφανίζει μέση τιμή 10,84 SI.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 15-20 cm η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας παρουσιάζει μερική μείωση σε σχέση με την 1^η ενότητα, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 8,8 SI.

Ενότητα 3^η: Η ενότητα αυτή αποτελεί συνέχεια της 2^η ενότητας και εκτείνεται από τα 20-22cm ενώ εμφανίζει σημαντική αύξηση μαγνητικής επιδεκτικότητας σε σχέση με την προηγούμενη ενότητα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μέση τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας να κυμαίνεται γύρω στα 15 SI.

Ενότητα 4^η: Η τελευταία ενότητα του πυρήνα EL-5 εκτείνεται από τα 22 έως τα 46cm, παρουσιάζει σχεδόν διπλάσια τιμή σε σχέση με την 3^η ενότητα με αποτέλεσμα να εμφανίζει μια μέση τιμή μαγνητικής επιδεκτικότητας που κυμαίνεται ~ 34,79 SI.

Fractional porosity (πορώδες)

Ενότητα 1^η: Το πορώδες (fractional porosity) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-15cm, εμφανίζει μέση τιμή 0,73.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 15-20 cm η τιμή του πορώδους παρουσιάζει μερική μείωση σε σχέση με την 1^η ενότητα, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 0,66.

Ενότητα 3^η: Η ενότητα αυτή αποτελεί συνέχεια της 2^η ενότητας και εκτείνεται από τα 20-22cm ενώ εμφανίζει παρόμοια μέση τιμή πορώδους σε σχέση με την προηγούμενη ενότητα που κυμαίνεται γύρω στα 0,68.

Ενότητα 4^η: Η τελευταία ενότητα του πυρήνα EL-5 εκτείνεται από τα 22 έως τα 46cm, παρουσιάζει μερική μείωση με αποτέλεσμα να εμφανίζει μια μέση τιμή πορώδους που κυμαίνεται ~ 0,60.

4.2.2.2. Γεωτεχνικές ιδιότητες

Undrained Shear Strength (διατμητική αντοχή)

Ενότητα 1^η: Η διατμητική αντοχή (undrained shear strength) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-15cm, εμφανίζει μέση τιμή 0,48 m/sec.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 15-20 cm η τιμή της διατμητικής αντοχής παρουσιάζει μερική αύξηση σε σχέση με την 1^{η} ενότητα, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 0,7 m/sec.

Ενότητα 3^η: Η ενότητα αυτή αποτελεί συνέχεια της 2^η ενότητας και εκτείνεται από τα 20-22cm ενώ εμφανίζει παρόμοια μέση τιμή διατμητικής αντοχής σε σχέση με την προηγούμενη ενότητα που κυμαίνεται γύρω στα 0,8 m/sec.

Ενότητα 4^η: Η τελευταία ενότητα του πυρήνα EL-5 εκτείνεται από τα 22 έως τα 46cm, παρουσιάζει σημαντική αύξηση με αποτέλεσμα να εμφανίζει μια μέση τιμή που κυμαίνεται ~ 1,63 m/sec.

4.2.3. Πυρήνας UN-5

4.2.3.1. Φυσικές ιδιότητες

Η κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων του πυρήνα UN-5 δίνονται τόσο στην Εικόνα 4.2.3α όσο και στον Πίνακα 4.2.3 του Παραρτήματος και συγκεκριμένα:

UN5-depth:144m



Εικόνα 4.2.3α: Κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων οι οποίες μετρήθηκαν για τον πυρήνα UN-5. Τα κοκκομετρικά δεδομένα παρουσιάζονται ως επι τοις εκατό ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου.

Κοκκομετρική Ανάλυση του πυρήνα UN5

Σύμφωνα με τη ταξινόμηση κατά Folk (1974), ο πυρήνας UN5 που εκτείνεται σε μήκος από 0-52cm, αποτελείται κυρίως από πηλό όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει στην Εικόνα 4.2.3β καθώς και στον Πίνακα 4.2.3 του Παραρτήματος. Συγκεκριμένα, το ποσοστό της άμμου εμφανίζει μέγιστη τιμή 1,01% και ελάχιστη τιμή 0,31%. Τα ποσοστά ιλύος και αργίλου εμφανίζουν μέγιστα ποσοστά που ανέρχονται στα 60,11% και 47,76% και ελάχιστα ποσοστά που κυμαίνονται στα 51,31% και 39,54% αντίστοιχα.

UN5-depth:144m



Εικόνα 4.2.3β: Διαγραμματική απεικόνιση του πυρήνα δειγματοληψίας UN-5 κατά Folk (1974).

P-wave velocity (ταχύτητα διάδοσης του ήχου)

Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου (P-wave velocity) εμφανίζει μια μέση τιμή 1596,20 m/sec.

Gamma density (γ-πυκνότητα):

Η γ-πυκνότητα (gamma density) εμφανίζει μια μέση τιμή 1,6513 g/cm³.

Magnetic Susceptibility (μαγνητική επιδεκτικότητα)

Η μαγνητική επιδεκτικότητα (gamma density) εμφανίζει μια μέση τιμή 44,94 SI.

Fractional porosity (πορώδες)

Το πορώδες (fractional porosity) εμφανίζει μια μέση τιμή 0,63.

4.2.3.2. Γεωτεχνικές ιδιότητες

Undrained Shear Strength (διατμητική αντοχή)

Η διατμητική αντοχή (undrained shear strength) εμφανίζει μια μέση τιμή 1,48 kPa.

4.2.4. Πυρήνας UN-6A

4.2.4.1. Φυσικές ιδιότητες

Η κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων του πυρήνα UN-6A δίνονται στην Εικόνα 4.2.4α καθώς και στον Πίνακα 4.2.4 του Παραρτήματος και συγκεκριμένα:

UN6-depth:164,8m



Εικόνα 4.2.4α: Κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων οι οποίες μετρήθηκαν για τον πυρήνα UN-6.Τα κοκκομετρικά δεδομένα παρουσιάζονται ως επι τοις εκατό ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου.

Κοκκομετρική Ανάλυση του πυρήνα UN-6A

Σύμφωνα με τη ταξινόμηση κατά Folk (1974), ο πυρήνας UN-6A αποτελείται κυρίως από πηλό όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει στην Εικόνα 4.2.4β καθώς και στον Πίνακα 4.2.4 του Παραρτήματος. Συγκεκριμένα, το ποσοστό της άμμου εμφανίζει μέγιστη τιμή 5,77% και ελάχιστη τιμή 0,84%. Τα ποσοστά ιλύος και αργίλου εμφανίζουν μέγιστα ποσοστά που ανέρχονται στα 53,92% και 52,32% και ελάχιστα ποσοστά που κυμαίνονται στα 46,88% και 42,57% αντίστοιχα.

UN6A-depth: 164.8 m



Εικόνα 4.2.4β: Διαγραμματική απεικόνιση του πυρήνα δειγματοληψίας UN-6A κατά Folk (1974).

P-wave velocity (ταχύτητα διάδοσης του ήχου)

Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου (P-wave velocity) εμφανίζει μέση τιμή 1589,16m/sec.

Gamma density (γ-πυκνότητα)

Η γ-πυκνότητα (gamma density) εμφανίζει μέση τιμή 1,62 g/cm³.

Magnetic Susceptibility (μαγνητική επιδεκτικότητα)

Η μαγνητική επιδεκτικότητα (gamma density) εμφανίζει μέση τιμή 34,30 SI.

Fractional porosity (πορώδες)

Το πορώδες (fractional porosity) εμφανίζει μέση τιμή 0,66.

4.2.4.2. Γεωτεχνικές ιδιότητες

Undrained Shear Strength (διατμητική αντοχή)

Η διατμητική αντοχή (undrained shear strength) εμφανίζει μέση τιμή 2,00 kPa.

4.2.5. Πυρήνας UN-13

4.2.5.1. Φυσικές ιδιότητες

Η κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων του πυρήνα UN-13 δίνονται στην Εικόνα 4.2.5α καθώς και στον Πίνακα 4.2.5 του Παραρτήματος και συγκεκριμένα:



Εικόνα 4.2.5α: Κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων οι οποίες μετρήθηκαν για τον πυρήνα UN-13.Τα κοκκομετρικά δεδομένα παρουσιάζονται ως επι τοις εκατό ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου.

P-wave velocity (ταχύτητα διάδοσης του ήχου)

Ενότητα 1^η: Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου (P-wave velocity) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-2cm, εμφανίζει μέση τιμή 1618,25m/sec.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 2-52 cm η τιμή της ταχύτητας διάδοσης του ήχου παρουσιάζει μερική αύξηση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 1605,76 m/sec.

UN13-depth: 220 m



Εικόνα 4.2.5β: Διαγραμματική απεικόνιση του πυρήνα δειγματοληψίας UN-13 κατά Folk (1974).

Gamma density (γ-πυκνότητα)

Ενότητα 1^η: Η γ-πυκνότητα (gamma density) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-2cm, εμφανίζει μέση τιμή 1,61 g/cm³.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 2-52 cm η τιμή της γ-πυκνότητας παρουσιάζει μερική αύξηση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 1,79 g/cm³.

Magnetic Susceptibility (μαγνητική επιδεκτικότητα)

Ενότητα 1^η: Η μαγνητική επιδεκτικότητα (gamma density) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-2 cm, εμφανίζει μέση τιμή 23,55 SI.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 2-52 σε μια μέση τιμή ~ 36,56 SI.

Fractional porosity (πορώδες)

Ενότητα 1^η: Το πορώδες (fractional porosity) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-2cm, εμφανίζει μέση τιμή 0,63.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 2-52 cm η τιμή του πορώδες παρουσιάζει μερική μείωση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~0,55.

Undrained Shear Strength (διατμητική αντοχή)

Ενότητα 1^{η} : Η διατμητική αντοχή (undrained shear strength) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-2cm, εμφανίζει μέση τιμή 0,90 kPa.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 2-52 cm η τιμή της διατμητικής αντοχής παρουσιάζει μερική αύξηση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 1,22kPa.

4.2.6. Πυρήνας S2

4.2.6.1. Φυσικές ιδιότητες

Η κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων του πυρήνα S2 δίνονται στην Εικόνα 4.2.6α καθώς και στον Πίνακα 4.2.6 του Παραρτήματος και συγκεκριμένα:



Εικόνα 4.2.6α: Κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων οι οποίες μετρήθηκαν για τον πυρήνα S2. Τα κοκκομετρικά δεδομένα παρουσιάζονται ως επι τοις εκατό ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου.

70
Κοκκομετρική Ανάλυση του πυρήνα S-2

Σύμφωνα με τη ταξινόμηση κατά Folk (1974), ο πυρήνας S2 που εκτείνεται σε μήκος από 0-45 cm, αποτελείται κυρίως από πηλό όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει τόσο στην Εικόνα 4.2.6β όσο και στον Πίνακα 4.2.6 του Παραρτήματος και συγκεκριμένα:

Ενότητα 1^η: Η πρώτη/υπερκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 0-14cm και χαρακτηρίζεται ως πηλός με σποραδική εμφάνιση θραυσμάτων κελυφών. Το ποσοστό της άμμου φτάνει έως το 4,17% ενώ της ιλύος και της αργίλου κυμαίνεται από 38,78% έως 57,23% και από 42,77% έως 57,05% αντίστοιχα.

Ενότητα 2^η: Η δεύτερη/υποκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 14-45cm και χαρακτηρίζεται επίσης ως πηλός. Το ποσοστό της άμμου κυμαίνεται από 1,29 έως 7,11% ενώ της ιλύος και της αργίλου από 38,71% έως 50,48 % και από 48,24% έως 57,30 % αντίστοιχα.



Εικόνα 4.2.6β: Διαγραμματική απεικόνιση του πυρήνα δειγματοληψίας S2 κατά Folk (1974).

P-wave velocity (ταχύτητα διάδοσης του ήχου)

Ενότητα 1^η: Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου (P-wave velocity) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-14 cm, εμφανίζει μέση τιμή 1613,40 m/sec.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 14-45 cm η τιμή της ταχύτητας διάδοσης του ήχου παρουσιάζει μερική μείωση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 1598,33 m/sec.

Gamma density (γ-πυκνότητα)

Ενότητα 1^η: Η γ-πυκνότητα (gamma density) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-14cm, εμφανίζει μέση τιμή 1,45 g/cm³.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 14-45 cm η τιμή της γ-πυκνότητας παρουσιάζει μερική αύξηση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 1,62 g/cm³.

Magnetic Susceptibility (μαγνητική επιδεκτικότητα)

Ενότητα 1^η: Η μαγνητική επιδεκτικότητα (gamma density) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-14cm, εμφανίζει μέση τιμή 2,73 SI.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 14-45 cm η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας παρουσιάζει μερική μείωση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 13,58 SI.

Fractional porosity (πορώδες)

Ενότητα 1^η: Το πορώδες (fractional porosity) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-14cm, εμφανίζει μέση τιμή 0,76.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 14-45 cm η τιμή του πορώδες παρουσιάζει μερική μείωση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~0,65.

4.2.6.2. Γεωτεχνικές ιδιότητες

Undrained Shear Strength (διατμητική αντοχή)

Ενότητα 1^η: Η διατμητική αντοχή (undrained shear strength) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-14cm, εμφανίζει μέση τιμή 1,34 kPa.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 14-45 cm η τιμή της διατμητικής αντοχής παρουσιάζει μερική αύξηση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 1,38 kPa.

4.2.7. Πυρήνας S7B

4.2.7.1. Φυσικές ιδιότητες

Η κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων του πυρήνα S7B δίνονται στην Εικόνα 4.2.7α καθώς και στον Πίνακα 4.2.7 του Παραρτήματος και συγκεκριμένα:



Εικόνα 4.2.7α: Κατακόρυφη κατανομή των ιδιοτήτων οι οποίες μετρήθηκαν για τον πυρήνα S7-B.Τα κοκκομετρικά δεδομένα παρουσιάζονται ως επι τοις εκατό ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου.

Κοκκομετρική Ανάλυση του πυρήνα S-7B

Σύμφωνα με τη ταξινόμηση κατά Folk (1974), ο πυρήνας S-7B που εκτείνεται σε μήκος από 0-42 cm, αποτελείται κυρίως από πηλό όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει τόσο στην Εικόνα 4.2.7β όσο και στον Πίνακα 4.2.7 του Παραρτήματος και συγκεκριμένα:

Ενότητα 1^η : Η πρώτη/υπερκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 0-1,5cm και χαρακτηρίζεται ως πηλώδης άμμος με εμφάνιση θραυσμάτων από κελύφη. Η άμμος ανέρχεται σε ποσοστό ~64,35% ενώ η ιλύς και η άργιλος κυμαίνεται σε ποσοστό 20,57% και 15,08 % αντίστοιχα.

Ενότητα 2^η : Η δεύτερη/υποκείμενη ενότητα εκτείνεται σε μήκος από το διάστημα 1,5-42cm και χαρακτηρίζεται ως πηλός με εμφάνιση θραυσμάτων έως τα 10cm και παρατήρηση υλικού αγνώστου προέλευσης στα 23cm. Η άμμος εμφανίζει μέγιστη τιμή που ανέρχεται σε ποσοστό 13,40% και ελάχιστη τιμή 0,09%. Η ιλύς και η άργιλος από την άλλη εμφανίζουν μέγιστες τιμές που ανέρχονται ~66% και 33,91% και ελάχιστες τιμές που κυμαίνονται ~ 55,49% και 31,11% αντίστοιχα.



Εικόνα 4.2.7β:Διαγραμματική απεικόνιση του πυρήνα δειγματοληψίας S7-B κατά Folk (1974).

P-wave velocity (ταχύτητα διάδοσης του ήχου)

Ενότητα 1^η : Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου (P-wave velocity) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-1,5cm, εμφανίζει μέση τιμή 1639,31 m/sec.

Ενότητα 2^η : Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 1,5-42 cm η τιμή της ταχύτητας διάδοσης του ήχου παρουσιάζει μερική αύξηση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 1636,66 m/sec.

Gamma density (γ-πυκνότητα)

Ενότητα 1^η: Η γ-πυκνότητα (gamma density) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-1,5cm, εμφανίζει μέση τιμή 1,73 g/cm³.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 1,5-42 cm η τιμή της γ-πυκνότητας παρουσιάζει μερική αύξηση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 1,84 g/cm³.

Magnetic Susceptibility (μαγνητική επιδεκτικότητα)

Ενότητα 1^η: Η μαγνητική επιδεκτικότητα (gamma density) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-1,5 cm εμφανίζει μέση τιμή 38,73 SI. **Ενότητα 2**^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 1,5-42 cm η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας παρουσιάζει μερική μείωση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 35,57 SI.

Fractional porosity (πορώδες)

Ενότητα 1^η: Το πορώδες (fractional porosity) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-1,5 cm εμφανίζει μέση τιμή 0,52.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 1,5-42 cm η τιμή του πορώδες παρουσιάζει μερική μείωση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 0,53 .

4.2.7.2. Γεωτεχνικές ιδιότητες

Undrained Shear Strength (διατμητική αντοχή)

Ενότητα 1^η: Η διατμητική αντοχή (undrained shear strength) στην ενότητα που εκτείνεται από 0-1,5 cm εμφανίζει μέση τιμή 1,5 kPa.

Ενότητα 2^η: Στην ενότητα αυτή που εκτείνεται σε μήκος από τα 1,5 - 42 cm η τιμή της διατμητικής αντοχής παρουσιάζει μερική αύξηση, φτάνοντας σε μια μέση τιμή ~ 2,68 kPa.

4.3. Αποτελέσματα υπολογισμού του ποσοστού συγκέντρωσης των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων με τη μέθοδο XRF

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων καθώς και οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων (ppm) απεικονίζονται στους Πίνακες 4.3.1 & 4.3.2 αντίστοιχα του Παραρτήματος ενώ υπάρχουν και αντίστοιχα διαγράμματα που απεικονίζουν τα πιο σημαντικά από τα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία.

4.3.1. Συγκέντρωση των κύριων στοιχείων στους πυρήνες

<u>Αργίλιο (Al)</u>

Η επιφανειακή συγκέντρωση του Al (Εικ. 4.3.1) εμφανίζει μέγιστη τιμή στον πυρήνα EL5 (41641 ppm) που βρίσκεται στον βορειοανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στο χώρο της Ελευσίνας και ελάχιστη τιμή στον πυρήνα UN5 (21727 ppm) που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο. Πιο συγκεκριμένα:

- Ο πυρήνας EL1 που βρίσκεται στον βορειοανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στο κόλπο της Ελευσίνας εμφανίζει μέγιστη τιμή 33288ppm σε βάθος 20-21cm και ελάχιστη 25888ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα.
- Ο πυρήνας EL5 εμφανίζει μέγιστη τιμή 41641ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα και ελάχιστη σε βάθος 10-11cm.
- Ο πυρήνας UN5εμφανίζει μέγιστη τιμή 25206 ppm σε βάθος 20-21cm και ελάχιστη 21727ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα.
- Ο πυρήνας UN6A που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό Κόλπο εμφανίζει μέγιστη τιμή 28028ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα και ελάχιστη 23263 ppm σε βάθος 10-11cm.
- Ο πυρήνας UN13 που βρίσκεται στον νότο Σαρωνικό κόλπο εμφανίζει μέγιστη τιμή 29725ppm σε βάθος 30-31cm και ελάχιστη 25888ppm σε βάθος 50,5-51,5cm.
- Ο πυρήνας S2 που βρίσκεται στον βορειοανατολικό Σαρωνικό κόλπο κααι συγκεκριμένα στον Κόλπο της Ελευσίνας εμφανίζει μέγιστη τιμή 39041ppm σε βάθος 30-31cm και ελάχιστη 27219ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα.

Τέλος, ο πυρήνας S7B που βρίσκεται στον ανατολικό κόλπο και συγκεκριμένα έξω από την Ψυτάλλεια παρουσιάζει μέγιστη τιμή 21762ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα και 18779 ppm σε βάθος 30-31cm.



Εικόνα 4.3.1.: Απεικόνιση της συγκέντρωσης του αργιλίου(Al) στους πυρήνες δειγματοληψίας κατά το έτος 2017.

<u>Πυρίτιο (Si)</u>

Η επιφανειακή συγκέντρωση του Si (Εικ. 4.3.2) εμφανίζει μέγιστη τιμή (159719ppm) και ελάχιστη τιμή (88869ppm) στον ίδιο πυρήνα, EL5 που βρίσκεται στον βορειοανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας σε βάθος 30,5-31,5cm & 10-11cm αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα:

- Ο πυρήνας EL1 που βρίσκεται στον βορειοανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας, εμφανίζει μέγιστη τιμή 153605ppm σε βάθος 20-21cm και ελάχιστη 113739ppm στο πρώτο του πυρήνα.
- Ο πυρήνας EL5 εμφανίζει μέγιστη τιμή 159719ppm σε βάθος 30,5-31,5cm του πυρήνα και ελάχιστη 88869 σε βάθος 10-11cm.
- Ο πυρήνας UN5A που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο εμφανίζει μέγιστη τιμή 127922 ppm σε βάθος 50,5-51,5ppm και ελάχιστη 117748ppm σε βάθος 20-21 cm του πυρήνα.
- Ο πυρήνας UN6A που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο εμφανίζει μέγιστη τιμή 117940ppm σε βάθος 53-54cm του πυρήνα και ελάχιστη 105101ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα.
- Ο πυρήνας UN13 που βρίσκεται στον νότιο Σαρωνικό κόλπο εμφανίζει μέγιστη τιμή 128749 ppm σε βάθος 50,5-51,5cm και ελάχιστη 132379 ppm σε βάθος 30-31 cm του πυρήνα.
- Ο πυρήνας S2 που βρίσκεται στον βορειοανατολικό Σαρωνικό κόλπο εμφανίζει μέγιστη τιμή 140981ppm σε βάθος 30-31cm και ελάχιστη 106291ppm σε βάθος 10-11cm του πυρήνα.
- Τέλος, ο πυρήνας S7B βρίσκεται στον ανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα έξω από την Ψυτάλλεια, παρουσιάζει μέγιστη τιμή 128165ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα και ελάχιστη 107635 ppm σε βάθος 24-25cm.



Εικόνα 4.3.2: Απεικόνιση της συγκέντρωσης του πυριτίου (Si) στους πυρήνες δειγματοληψίας κατά το έτος 2017.

<u>Ασβέστιο (Ca)</u>

Η επιφανειακή συγκέντρωση του Ca εμφανίζει μέγιστη τιμή στον πυρήνα S7B(218004ppm) που βρίσκεται στον ανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα έξω από την Ψυτάλλεια και ελάχιστη τιμή στον πυρήνα EL5(105866ppm),που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας. Πιο συγκεκριμένα:

- Ο πυρήνας EL1, που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας εμφανίζει μέγιστη τιμή 195961ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα και ελάχιστη 147217ppm σε βάθος 20-21cm.
- Ο πυρήνας EL5 εμφανίζει μέγιστη τιμή 154675ppm σε βάθος 10-11cm του πυρήνα και ελάχιστη 105866 στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα.
- Ο πυρήνας UN5A, που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο, εμφανίζει μέγιστη τιμή 172411ppm σε βάθος 30-31ppm και ελάχιστη 163968ppm σε βάθος 50,5-51,5cm του πυρήνα.
- Ο πυρήνας UN6A, που βρίσκεταις τον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο, εμφανίζει μέγιστη τιμή 185739ppm σε βάθος 10-11cm του πυρήνα και ελάχιστη 172575ppm σε βάθος 40-41cm του πυρήνα.
- Ο πυρήνας UN13, που βρίσκεται στον νότιο Σαρωνικό κόλπο, εμφανίζει μέγιστη τιμή 187089ppm σε βάθος 50,5-51,5cm και ελάχιστη 172575 ppm σε βάθος 40-41cm του πυρήνα.
- Ο πυρήνας S2 που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας, εμφανίζει μέγιστη τιμή 150089ppm σε βάθος 40-41cm και ελάχιστη 129024ppm σε βάθος 30-31cm του πυρήνα.
- Τέλος, ο πυρήνας S7B, που βρίσκεται στον ανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα έξω από την Ψυτάλλεια, παρουσιάζει μέγιστη τιμή 218004ppm σε βάθος 30-31cm του πυρήνα και ελάχιστη 187961 ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα.



Εικόνα 4.3.3: Απεικόνιση της συγκέντρωσης του ασβεστίου (Ca) στους πυρήνες δειγματοληψίας κατά το έτος 2017.

<u>Σίδηρος (Fe)</u>

Η επιφανειακή συγκέντρωση του Fe εμφανίζει μέγιστη τιμή στον πυρήνα UN5(14751 ppm), που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο και ελάχιστη τιμή στον πυρήνα S7B (8484ppm),. που βρίσκεται στον ανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα έξω από την Ψυτάλλεια

Πιο συγκεκριμένα:

- Ο πυρήνας EL1, που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας, εμφανίζει μέγιστη τιμή 12288ppm σε βάθος 20-21cm του πυρήνα και ελάχιστη 10561ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα.
- Ο πυρήνας EL5, που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας, εμφανίζει μέγιστη τιμή 14160ppm σε βάθος 45-46cm του πυρήνα και ελάχιστη 11970ppm σε βάθος 10-11cm του πυρήνα.
- Ο πυρήνας UN5A εμφανίζει μέγιστη τιμή 14751ppm σε βάθος 50,5-51,5ppm και ελάχιστη 13684ppm σε βάθος 40-41cm του πυρήνα.
- Ο πυρήνας UN6A, που βρίσκεταις τον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο, εμφανίζει μέγιστη τιμή 12887ppm σε βάθος 53-54cm του πυρήνα και ελάχιστη 10978ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα.
- Ο πυρήνας UN13, που βρίσκεται στον νότιο Σαρωνικό κόλπο, εμφανίζει μέγιστη τιμή 12966ppm σε βάθος 30-31cm και ελάχιστη 10605ppm σε βάθος 50,5-51,5cm του πυρήνα.
- Ο πυρήνας S2, που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας, εμφανίζει μέγιστη τιμή 14341ppm σε βάθος 20-21cm και ελάχιστη 11902ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα.
- Τέλος, ο πυρήνας S7B παρουσιάζει μέγιστη τιμή 9025ppm σε βάθος 30-31cm του πυρήνα και ελάχιστη 8484ppm στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα.





4.3.2. Συγκέντρωση των κύριων ιχνοστοιχείων στους πυρήνες

<u>Αρσενικό (As)</u>

Η επιφανειακή συγκέντρωση του As εμφανίζει μέγιστη τιμή στον πυρήνα S7B (22.1 ppm), που βρίσκεται στον ανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα έξω από την Ψυτάλλεια και ελάχιστη τιμή στον πυρήνα UN13 (7.6 ppm), που βρίσκεται στον νότιο Σαρωνικό κόλπο. Η συγκέντρωση δε του As εμφανίζει πτωτική τάση σε σχέση με το βάθος σε όλους τους πυρήνες εκτός του EL5, που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας.

Πιο συγκεκριμένα:

Οι πυρήνες EL5,ο UN6 που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο,ο S2 που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας & S7B εμφανίζουν μέγιστη συγκέντρωση As σε βάθος 10-11 cm με τιμές (30,1 ppm), (14,6 ppm), (17 ppm) & (24,7 ppm). Οι ίδιοι πυρήνες εμφανίζουν δε ελάχιστη συγκέντρωση As (19,4 ppm) σε βάθος 0-1 cm για τον πυρήνα EL5 (11,6 ppm) σε βάθος 30-31 cm (11,6 ppm) για τον πυρήνα UN6A, σε βάθος 20-21cm (8,3 ppm) για τον πυρήνα S2 και τέλος σε βάθος 30-31 cm (15,4 ppm) για τον πυρήνα S7B.

Ακόμη, παρατηρείται μέγιστη συγκέντρωση As (15,7 ppm) για το πρώτο εκατοστό του πυρήνα EL1 (9,4 ppm) σε βάθος 20-21 cm, που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας, (9,4 ppm) για τον πυρήνα UN5 που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο και (11,3 ppm) σε βάθος 30-31 cm για τον πυρήνα UN13. Οι ίδιοι δε πυρήνες εμφανίζουν ελάχιστη συγκέντρωση (14,2 ppm) σε βάθος 10-11 cm (6,7 ppm) σε βάθος 40-41 cm και (4,2 ppm) για βάθος 20-21 cm.





<u>Χρώμιο (Cr)</u>

Η επιφανειακή συγκέντρωση του Cr εμφανίζει μέγιστη τιμή στον πυρήνα UN5 (318 ppm), που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο και ελάχιστη τιμή στον πυρήνα UN6A (140 ppm), που βρίσκεταις τον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο. Η συγκέντρωση δε του Cr εμφανίζει πτωτική τάση σε σχέση με το βάθος σε όλους τους πυρήνες πέραν του UN6A & του UN13 που βρίσκεται στον νότιο Σαρωνικό κόλπο.

Πιο συγκεκριμένα:

Οι πυρήνες EL1, EL5 που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας & ο S7B που βρίσκεται στον ανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα έξω από την Ψυτάλλεια, εμφανίζουν μέγιστη επιφανειακή συγκέντρωση Cr με τιμές (144,2 ppm), (185,2 ppm), (179,6 ppm) αντίστοιχα. Οι ίδιοι πυρήνες εμφανίζουν ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης Cr (117 ppm) σε βάθος 30-31 cm, (127,3 ppm) σε βάθος 40-41 cm αντίστοιχα.

Σχετικά με τους πυρήνες UN13 & S2 που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας, παρατηρείται ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης Cr σε βάθος 40-41 cm με τιμές (146,4 ppm) & (131,2 ppm) αντίστοιχα & μέγιστη τιμή συγκέντρωσης για τον μεν πυρήνα UN13 (198,6 ppm) σε βάθος 50-51 cm & για τον πυρήνα S7B (179,6 ppm) στο πρώτο ένα εκατοστό του πυρήνα.

Τέλος,σχετικά με τους πυρήνες UN5 & UN6A παρατηρείται μέγιστη τιμή συγκέντρωσης Cr (328 ppm) σε βάθος 50-51 cm & (161,3 ppm) σε βάθος 30-31 cm αντίστοιχα.

Οι ίδιοι δε πυρήνες εμφανίζουν ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης (295,3 ppm) σε βάθος 30-31 cm & (139,7 ppm) σε βάθος 20-21 cm αντίστοιχα.



Εικόνα 4.3.6: Απεικόνιση της συγκέντρωσης του χρωμίου(Cr) στους πυρήνες δειγματοληψίας κατά το έτος 2017.

<u>Χαλκός (Cu)</u>

Η επιφανειακή συγκέντρωση του Cr εμφανίζει μέγιστη τιμή στον πυρήνα EL5 (164 ppm) που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας και ελάχιστη τιμή στον πυρήνα UN13 (16,4 ppm) που βρίσκεται στον νότιο Σαρωνικό κόλπο.Η συγκέντρωση δε του Cr εμφανίζει πτωτική τάση σε σχέση με το βάθος σε όλους τους πυρήνες.

Πιο συγκεκριμένα,:

Οι πυρήνες EL1 που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας, EL5, UN6A που βρίσκεται τον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο & o S7B που βρίσκεται στον ανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα έξω από την Ψυτάλλεια, εμφανίζουν μέγιστη επιφανειακή τιμή (48,7 ppm), (164 ppm), (23,2 ppm) & (145,3 ppm) αντίστοιχα. Οι ίδιοι πυρήνες εμφανίζουν ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης Cr με τιμές (13,1 ppm) για τον πυρήνα EL1 (14,7 ppm) για τον πυρήνα EL5 (17,2 ppm) (9,7 ppm) για τον πυρήνα S7B για βάθος 30-31 cm ενώ (17,2 ppm) εμφανίζει ο UN6A για βάθος 20-21 cm.

Σχετικά με τους πυρήνες UN13 & S2 που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας, εμφανίζουν μέγιστη τιμή συγκέντρωσης (21,4 ppm) & (36,8 ppm) σε βάθος 10-11 cm και ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης (16,1 ppm) σε βάθος 50-51 cm & (20,2 ppm) σε βάθος 30-31 cm.

Τέλος, ο πυρήνας UN5 που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο εμφανίζει μέγιστη τιμή συγκέντρωσης (26,9 ppm) σε βάθος 50-51 cm και ελάχιστη (12 ppm) σε βάθος 30-31 cm.



Εικόνα 4.3.7: Απεικόνιση της συγκέντρωσης του χαλκού (Cu) στους πυρήνες δειγματοληψίας κατά το έτος 2017.

<u>Μόλυβδος (Pb)</u>

Η επιφανειακή συγκέντρωση του Pb εμφανίζει μέγιστη τιμή στον πυρήνα EL5 (184,5 ppm) που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας και ελάχιστη τιμή στον πυρήνα UN13 (42,6 ppm) που βρίσκεται στον νότιο Σαρωνικό κόλπο. Η συγκέντρωση δε του Pb εμφανίζει πτωτική τάση σε σχέση με το βάθος σε όλους τους πυρήνες με μόνη εξαίρεση τον UN6A πυρήνα που βρίσκεται τον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο.

Πιο συγκεκριμένα:

Οι πυρήνες EL1 που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας, UN5 που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο & o UN13 εμφανίζουν μέγιστη επιφανειακή συγκέντρωση (99,8 ppm), (53,7 ppm) & (42,6 ppm) αντίστοιχα. Ελάχιστη συγκέντρωση Pb εμφανίζουν οι ίδιοι πυρήνες για βάθος 40-41 cm (23,8 ppm), (22,7 ppm) & (29,1 ppm) αντίστοιχα.

Οι πυρήνες πάλι S2 που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας & S7B που βρίσκεται στον ανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα έξω από την Ψυτάλλεια εμφανίζουν μέγιστη τιμή (89,9 ppm) & (190,4 ppm) σε βάθος 10-11 cm και ελάχιστη τιμή (42,9 ppm)για βάθος 30-31 cm & (20,1 ppm) για βάθος 40-41 cm.

Τέλος, οι πυρήνες EL5 & UN6A εμφανίζουν μέγιστη τιμή (196,2 ppm) για βάθος 10-11 cm & (88,1 ppm) για βάθος 30-3 1cm ενώ ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης Pb εμφανίζουν σε βάθος 30-31 cm (27,4 ppm) για το μεν πυρήνα EL5 & σε βάθος 10-11 cm (58,4 ppm) για τον πυρήνα UN6A.

90



Εικόνα 4.3.8: Απεικόνιση της συγκέντρωσης του μολύβδου (Pb) στους πυρήνες δειγματοληψίας κατά το έτος 2017.

<u>Νικέλιο (Ni)</u>

Η επιφανειακή συγκέντρωση του Νi εμφανίζει μέγιστη τιμή στον πυρήνα UN5 (341,5 ppm) που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο και ελάχιστη τιμή στον πυρήνα EL1 (74,7 ppm) που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας. Η συγκέντρωση δε του Ni εμφανίζει αυξητική τάση σε σχέση με το βάθος στους πυρήνες EL1, UN5, UN6A στον βορειοδυτικό & S2 στον βορειοανατολικό Σαρωνικό Κόλπο.

Πιο συγκεκριμένα"

Οι πυρήνες EL1, UN5 & UN6A εμφανίζουν ελάχιστη επιφανειακή τιμή (74,7 ppm), (341,5 ppm) & (105,4 ppm) και μέγιστη τιμή (83,4 ppm) σε βάθος 20-21 cm για τον πυρήνα EL1 (416,3 ppm) σε βάθος 50-51 cm για τον πυρήνα UN5 & (123,7 ppm) σε βάθος 30-31 cm για τον πυρήνα UN6A.

Από την άλλη, οι πυρήνες UN13 που βρίσκεται στον νότιο Σαρωνικό κόλπο & S7B που βρίσκεται στον ανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα έξω από την Ψυτάλλειαεμφανίζουν ελάχιστη συγκέντρωση Ni (188,3 ppm) & (132,6 ppm) αντίστοιχα. Οι ίδιοι πυρήνες εμφανίζουν μέγιστη τιμή (237,5 ppm) σε βάθος 50-51 cm και (174 ppm) σε βάθος 20-21 cm.

Τέλος, οι πυρήνες EL5 που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας & S2 εμφανίζουν μέγιστη τιμή (112,7 ppm) & (85,7 ppm) στο πρώτο εκατοστό του πυρήνα και σε βάθος 30-31 cm αντίστοιχα ενώ ελάχιστη συγκέντρωση Ni εμφανίζουν ο μεν EL5 (81,9 ppm) σε βάθος 10-11 cm και ο S2 (80,7 ppm) στο πρώτο εκατοστό του.



Εικόνα 4.3.9: Απεικόνιση της συγκέντρωσης του νικελίου (Ni) στους πυρήνες δειγματοληψίας κατά το έτος 2017.

Ψευδάργυρος (Zn)

Η επιφανειακή συγκέντρωση του Zn εμφανίζει μέγιστη τιμή στον πυρήνα EL5 (447,7 ppm) που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας και ελάχιστη τιμή στον πυρήνα UN5 (70,5 ppm) που βρίσκεται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο. Η συγκέντρωση δε του Zn εμφανίζει πτωτική τάση σε σχέση με το βάθος σε όλους τους πυρήνες πέραν του EL5.

Πιο συγκεκριμένα

Οι πυρήνες EL1 που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας, UN5 & UN13 που βρίσκεται στον νότιο Σαρωνικό κόλπο, εμφανίζουν μέγιστη επιφανειακή συγκέντρωση Zn με τιμές (267,8 ppm), (70,5 ppm) & (73,7 ppm) αντίστοιχα ενώ ελάχιστη συγκέντρωση εμφανίζουν οι ίδιοι πυρήνες σε βάθος 40-41 cm με τιμή (62,8 ppm) για τον πυρήνα EL1, σε βάθος 50-51 cm με τιμή (52,7 cm) για τον πυρήνα UN5 & σε βάθος 40-41 cm με τιμή (46,3 ppm) για τον πυρήνα UN13.

Σχετικά με τους πυρήνες EL5, S2 που βρίσκεται στον βορειανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας & S7B που βρίσκεται στον ανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα έξω από την Ψυτάλλεια η συγκέντρωση του Zn εμφανίζει μέγιστη τιμή (720,3 ppm), (117,7 ppm) & (446,5 ppm) σε βάθος 10-11 cm. Οι ίδιοι πυρήνες εμφανίζουν ελάχιστη συγκέντρωση Zn σε βάθος 30-31 cm (69,7 ppm) για τον πυρήνα EL5 (72,7 ppm) για τον πυρήνα S2 & (63,4 ppm) για τον πυρήνα S7B.

Τέλος, ο πυρήνας UN6A παρουσιάζει μέγιστη τιμή (106,3 ppm) σε βάθος 30-31 cm & ελάχιστη τιμή (82,4 ppm) σε βάθος 40-41 cm.



Εικόνα 4.3.10: Απεικόνιση της συγκέντρωσης του ψευδαργύρου (Zn) στους πυρήνες δειγματοληψίας κατά το έτος 2017.

4.4. Παράγοντα Εμπλουτισμού SEF

Σχετικά με τον παράγοντα εμπλουτισμού SEF για τα στοιχεία που απεικονίζονται στον Πίνακα 4.4.1.

Πίνακας 4.4.1: Απεικόνιση παράγοντα εμπλουτισμού για τα κύρια στοιχεία των πυρήνων δειγματοληψίας.

| Πυρήνας EL1 | SEFSi | SEFP | SEFK | SEFCa | SEFTi | SEFFe | SEFNa | SEFMg | |
|-------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| EL-1(0-1) | 1,0 | 1,4 | 1,0 | 1,4 | 1,0 | 1,1 | 1,5 | 1,1 | |
| EL-1(10-11) | 1,0 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |
| EL-1(20-21) | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 0,8 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |
| EL-1(30-31) | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | |
| EL-1(41-42) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | |
| | -/- | -/- | -/- | -/- | -/- | -/- | -/- | -/- | |
| Πυρήνας FL5 | SEESi | SEEP | SEEK | SEECa | SEETI | SEFFe | SEENa | SEEMe | |
| FL-5(0-1) | 0.8 | 1.9 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 1.7 | 1.0 | |
| EL-5(10-11) | 0.7 | 3.5 | 0.7 | 1.6 | 0.7 | 1 1 | 23 | 1.4 | |
| EL-5(18-19) | 0.8 | 1.5 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 1.4 | 11 | |
| EL-5(20 5-21 5) | 1.0 | 17 | 11 | 1 2 | 1.0 | 1 1 | 17 | 1 1 | |
| EL-5(30 5-31 5) | 1,0 | 1.0 | 11 | 11 | 11 | 1.0 | 13 | 1 1 | |
| EL-5(45-46) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | |
| 22-3(43-40) | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |
| Πυρήγας UN5 | SEESI | SEEP | SEEK | SEECa | SEETI | SEFER | SEENa | SEEMa | |
| UN-5(0-1) | 1 1 | 1.6 | 11 | 1 2 | 1 1 | 1 1 | 14 | 1.0 | |
| UN-5(10-11) | 1.0 | 13 | 1.0 | 11 | 1.0 | 1.0 | 1 3 | 1.0 | |
| UN-5(20-21) | 0.9 | 11 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1,3 | 0.9 | |
| UN-5 (30-31) | 1.0 | 11 | 1.0 | 11 | 1.0 | 0,5 | 11 | 0,5 | |
| UN-5 (40-41) | 1,0 | 1.0 | 11 | 11 | 1,0 | 1.0 | 11 | 1.0 | |
| UN-5(50 5-51 5) | 1,0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1,0 | 1,0 | 1.0 | 1,0 | |
| 011 0(00,0 01,0) | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |
| Πυρήνας ΗΝ6Α | SEESI | SEEP | SEEK | SEECa | SEETI | SEFFe | SEENa | SEEMø | |
| $UN-6\Delta(0-1)$ | 0.86 | 1 22 | 0.74 | 0.95 | 0.83 | 0.82 | 1 24 | 0.94 | |
| UN-64(10-11) | 1.09 | 1 38 | 1.03 | 1.21 | 1.07 | 1.03 | 1.56 | 1 10 | |
| UN-64(20-21) | 0.98 | 1.06 | 0.93 | 1.03 | 0.94 | 0.96 | 1.24 | 1.01 | |
| UN-6A(30-31) | 1.05 | 1.09 | 1.05 | 1.12 | 1.03 | 1.03 | 1.20 | 1.06 | |
| UN-6A (40-41) | 0.99 | 0.96 | 1.00 | 0.98 | 0.97 | 0.99 | 1.14 | 1.00 | |
| UN-6A (53-54) | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | |
| | | | | | | | | | |
| Πυρήνας UN13 | SEFSi | SEFP | SEFK | SEFCa | SEFTI | SEFFe | SEFNa | SEFMg | |
| UN-13(0-1) | 0.9 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.1 | 1.2 | 1.0 | |
| UN-13 (10-11) | 0,9 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,0 | |
| UN-13 (20-21) | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,0 | |
| UN-13 (30-31) | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 0,9 | 1,0 | |
| UN-13(40-41) | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | |
| UN-13(50,5-51,5) | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |
| | | | | | | | | | |
| Πυρήνας S2 | SEFSi | SEFP | SEFK | SEFCa | SEFTi | SEFFe | SEFNa | SEFMg | |
| S2(0-1) | 1,03 | 2,72 | 0,97 | 1,31 | 1,03 | 1,16 | 2,47 | 1,32 | |
| S2(10-11) | 0,94 | 2,12 | 0,91 | 1,26 | 0,92 | 1,12 | 2,36 | 1,28 | |
| S2(20-21) | 1,02 | 1,30 | 1,04 | 0,95 | 1,03 | 1,10 | 1,35 | 1,12 | |
| S2(30-31) | 0,92 | 1,02 | 0,90 | 0,83 | 0,91 | 0,95 | 0,98 | 1,02 | |
| S2 (40-41) | 0,99 | 1,01 | 0,99 | 1,10 | 0,99 | 0,99 | 1,10 | 1,04 | |
| S2 (44-45) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |
| | | | | | | | | | |
| Πυρήνας S7B | SEFSi | SEFP | SEFK | SEFCa | SEFTi | SEFFe | SEFNa | SEFMg | |
| S7B (0-1) | 1,10 | 1,55 | 0,78 | 0,87 | 0,86 | 0,92 | 1,15 | 0,90 | |
| S7B (10-11) | 1,12 | 1,63 | 0,98 | 1,07 | 0,99 | 1,09 | 1,20 | 1,08 | |
| S7B (20-21) | 1,15 | 1,47 | 1,02 | 1,10 | 1,03 | 1,07 | 1,21 | 1,05 | |
| S7B (24-25) | 1,04 | 1,33 | 1,01 | 1,11 | 0,98 | 1,06 | 1,27 | 1,07 | |
| S7B (30-) | 1,09 | 1,41 | 1,05 | 1,18 | 1,03 | 1,13 | 1,15 | 1,09 | |
| S7B (40,5-41,5) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Για τους πυρήνες EL1, UN5, UN6A, UN13 & S7B παρατηρείται ότι ο συντελεστής εμπλουτισμού για τα σημαντικότερα κύρια στοιχεία είναι μικρότερος του 2. Αυτό σημαίνει ότι ο εμπλουτισμός είναι ελάχιστος και συνεπώς η ρύπανση είναι από μηδενική έως ελάχιστη. Το ίδιο συμβαίνει επίσης και στους πυρήνες EL5 που βρίσκεται στον βορειοανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας & o S2 που βρίσκεται στον βορειοανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στον κόλπο της Ελευσίνας. Συγκεκριμένα, ο φώσφορος και το νάτριο εμφανίζουν τιμές για τον συντελεστή εμπλουτισμού 3,5 & 2,3 αντιστοιχεί σε βάθος 10-11cm του πυρήνα EL5. Οι συγκεκριμένες τιμές κατατάσσονται στην κατηγορία $2 \le SEF \le 5$ που σημαίνει μέτριο εμπλουτισμό και άρα μέτρια ρύπανση.

Τέλος, **στον πυρήνα S2** σε βάθος 0-1 cm καθώς και σε βάθος 10-11 cm ο συντελεστής εμπλουτισμού για τον φώσφορο και το νάτριο εμφανίζει τιμές γύρω στο 2, οι οποίες επίσης κατατάσσονται στη κατηγορία $2\leq$ SEF \leq 5 που σημαίνει μέτριο εμπλουτισμό και άρα μέτρια ρύπανση ενώ συγκεκριμένα για το φώσφορο, υψηλό ποσοστό ενδεχομένως οφείλεται σε ύπαρξη οργανικού υλικού.

Σχετικά με τον παράγοντα εμπλουτισμού SEF για τα ιχνοστοιχεία που απεικονίζονται στον Πίνακα 4.4.2 :

Για τους πυρήνες UN5 & UN6A που βρίσκονται στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο, UN13 που βρίσκεται στον νότιο Σαρωνικό κόλπο & S7B που βρίσκεται στον ανατολικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα έξω από την Ψυτάλλεια,παρατηρείται ότι ο συντελεστής εμπλουτισμού για τα σημαντικότερα ιχνοστοιχεία είναι μικρότερος του 2 πλην ελαχίστων εξαιρέσεων όπου είναι μέτριος. Αυτό σημαίνει ότι η ρύπανση είναι από μηδενική έως μέτρια. Αντίθετα στους πυρήνες EL1, EL5 &S2 παρατηρείται ότι ο συντελεστής εμπλουτισμού είναι από μέτριος έως σημαντικός. Συγκεκριμένα, ο χαλκός, ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος εμφανίζουν σημαντικό εμπλουτισμό για το βαθος (0-1 cm) & (10-11 cm) του πυρήνα S2 που σημαίνει στι η ρύπανσης. Επίσης, για τα ίδια στοιχεία (χαλκός, μόλυβδος & ψευδάργυρος) για τον μεν χαλκό και σημαντικός για το ν μόλυβδος & για το ψευδάργυρο. Αυτό σημαίνει ότι η ρύπανση κυμαίνεται από μέτρια έως σημαντικού ποσοστού. Τέλος, για τον πυρήνα EL5 σε όλο σχεδόν το βάθος του τα ίδια στοιχεία (χαλκός, μόλυβδος & ψευδάργυρος) εμφανίζουν σημαντικό εμπλουτισμό και άρα σημαντικό ποσοστού. Τέλος, για τον πυρήνα EL5 σε όλο σχεδόν το βάθος του τα ίδια στοιχεία (χαλκός, μόλυβδος & ψευδάργυρος) εμφανίζουν σημαντικό εμπλουτισμό και άρα σημαντικό ποσοστού. Τέλος, για τον πυρήνα EL5 σε όλο σχεδόν το βάθος του τα ίδια στοιχεία (χαλκός, μόλυβδος & ψευδάργυρος) εμφανίζουν σημαντικό εμπλουτισμό και άρα

| Πυρήνας EL1 | SEFAs | SEFCr | SEFCu | SEFNI | SEFPb | SEFZn |
|--|--|---|---|---|--|---|
| EL-1(0-1) | 1,27 | 1,47 | 4,36 | 1,17 | 5,03 | 5, |
| EL-1(10-11) | 0,95 | 0,99 | 1,31 | 1,03 | 1,27 | 1, |
| EL-1(20-21) | 0,91 | 0,96 | 1,24 | 1,02 | 1,64 | 1, |
| EL-1(30-31) | 1,04 | 1,05 | 1,03 | 1,04 | 1,25 | 1, |
| EL-1(41-42) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1, |
| | | | | | | |
| Πυρήνας ELS | SEFAs | SEFCr | SEFCu | SEFNI | SEFPb | SEFZn |
| EL-5(0-1) | 0,74 | 1,44 | 13,54 | 1,10 | 7,46 | 6, |
| EL-5(10-11) | 1,50 | 1,30 | 11,21 | 1,04 | 10,35 | 13, |
| EL-5(18-19) | 0,69 | 1,01 | 3,35 | 0,98 | 3,46 | 4, |
| EL-5(20,5-21,5) | 1,05 | 1,24 | 5,79 | 1,21 | 5,55 | 4, |
| EL-5(30,5-31,5) | 0,99 | 1,06 | 1,30 | 1,07 | 1,19 | 1, |
| EL-5(45-46) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1, |
| _ / | | | | | | |
| Πυρηνας UN5 | SEFAs | SEFCr | SEFCU | SEFNI | SEFPD | SEFZn |
| UN-5(U-1) | 1,32 | 1,10 | 1,12 | 0,93 | 2,33 | 1, |
| UN-5(10-11) | 1,21 | 1,01 | 0,85 | 0,89 | 1,50 | 1, |
| UN-5(20-21) | 1,16 | 0,89 | 0,70 | 0,82 | 0,92 | 0, |
| UN-5 (30-31) | 1,02 | 0,93 | 0,46 | 0,86 | 0,91 | 1, |
| UN-5 (40-41) | 0,90 | 0,98 | 0,74 | 0,91 | 0,92 | 1, |
| UN-5(50,5-51,5) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1, |
| Πυράνας ΠΝ6Α | SEEAs | SEECr | SEECH | SEENI | SEEDb | SEE7n |
| UN-64(0-1) | 0.93 | 0.94 | 0.98 | 0.81 | 1.16 | 1 |
| UN-6A(10-11) | 1 25 | 1.08 | 1 54 | 0.95 | 1 32 | 1 |
| UN-6A(20-21) | 0.55 | 0.95 | 1 25 | 0,55 | 1.00 | 1 |
| UN-6A(20-21) | 1.55 | 1.00 | 1,25 | 0,91 | 1,00 | 1 |
| UN 64 (40 41) | 1,55 | 1,00 | 1,19 | 0,99 | 1,07 | 1, |
| UN 64 (62 64) | 1.00 | 1.00 | 1,08 | 1.00 | 1.00 | 0, |
| UN-0A (53-54) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1, |
| Πυρήνας UN13 | SEFAs | SEFCr | SEFCu | SEFNI | SEFPb | SEFZn |
| UN-13(0-1) | 2,47 | 1.00 | 1.11 | 1.05 | 2,78 | 1.0 |
| UN-13 (10-11) | 2.62 | 1.07 | 1.11 | 1.14 | 2.87 | 1. |
| UN-13 (20-21) | 2.01 | 0.98 | 0.80 | 1.08 | 2.76 | 1. |
| UN-13 (30-31) | 1.84 | 1.07 | 1.01 | 1,13 | 3,82 | 1 |
| UN-13(40-41) | 2,34 | 1.02 | 0.94 | 1 03 | 2 72 | 1 |
| UN-13(50,5-51,5) | 1,00 | 1,02 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,0 |
| | - | | | | - | |
| | | | | | CEED | SEFZn |
| Πυρήνας S2 | SEFAs | SEFCr | SEFCu | SEFNI | SEFPD | |
| Πυρήνας <mark>S2</mark> S2(0-1) | SEFAs 1,466 | SEFCr 1,697 | SEFCu 17,283 | SEFNI 1,552 | 6,686 | 8,7 |
| Πυρήνας <mark>S2</mark> S2(0-1) S2(10-11) | SEFAs 1,466 1,549 | SEFCr 1,697 1,436 | SEFCu 17,283 5,845 | 1,552 1,554 | 6,686 10,109 | 8,7 8,3 |
| Πυρήνας S2 S2(0-1) S2(10-11) S2(20-21) | SEFAs 1,466 1,549 1,051 | SEFCr 1,697 1,436 1,181 | SEFCu 17,283 5,845 1,818 | 1,552 1,554 1,365 | 6,686 10,109 1,970 | 8,7 8,3 1,5 |
| Πυρήνας S2 S2(0-1) S2(10-11) S2(20-21) S2(30-31) | SEFAs 1,466 1,549 1,051 0,985 | SEFCr 1,697 1,436 1,181 1,036 | SEFCu 17,283 5,845 1,818 1,534 | 1,552 1,554 1,365 1,162 | 6,686 10,109 1,970 0,956 | 8,7 8,3 1,5 0,9 |
| Πυρήνας S2 S2(0-1) S2(10-11) S2(20-21) S2(30-31) S2 (40-41) | SEFAs 1,466 1,549 1,051 0,985 0,811 | SEFCr 1,697 1,436 1,181 1,036 1,092 | SEFCu 17,283 5,845 1,818 1,534 0,915 | 5EFNI 1,552 1,554 1,365 1,162 1,142 | 6,686 10,109 1,970 0,956 0,896 | 8,7 8,3 1,5 0,9 1,0 |
| Πυρήνας S2 S2(0-1) S2(10-11) S2(20-21) S2(30-31) S2 (40-41) S2 (44-45) | SEFAs 1,466 1,549 1,051 0,985 0,811 1,000 | SEFCr 1,697 1,436 1,181 1,036 1,092 1,000 | SEFCu 17,283 5,845 1,818 1,534 0,915 1,000 | SEFNI 1,552 1,554 1,365 1,162 1,142 1,000 | 6,686 10,109 1,970 0,956 0,896 1,000 | 8,7 8,3 1,5 0,9 1,0 1,0 |
| Πυρήνας S2 S2(0-1) S2(10-11) S2(20-21) S2(30-31) S2 (40-41) S2 (44-45) Παράμαρ C22 | SEFAs 1,466 1,549 1,051 0,985 0,811 1,000 | SEFCr 1,697 1,436 1,181 1,036 1,092 1,000 | SEFCu 17,283 5,845 1,818 1,534 0,915 1,000 | SEFNI 1,552 1,554 1,365 1,162 1,142 1,000 | 6,686 10,109 1,970 0,956 0,896 1,000 | 8,7 8,3 1,5 0,9 1,0 1,0 |
| Πυρήνας S2 S2(0-1) S2(10-11) S2(20-21) S2(30-31) S2 (40-41) S2 (44-45) Πυρήνας S7B S7B (0-1) | SEFAs 1,466 1,549 1,051 0,985 0,811 1,000 SEFAs | SEFCr 1,697 1,436 1,181 1,036 1,092 1,000 SEFCr | SEFCu 17,283 5,845 1,818 1,534 0,915 1,000 SEFCu | SEFNI 1,552 1,554 1,365 1,162 1,142 1,000 SEFNI 0 822 | 6,686 10,109 1,970 0,956 0,896 1,000 SEFPb | 8,7 8,3 1,5 0,9 1,0 1,0 SEFZn |
| Πυρήνας S2 S2(0-1) S2(10-11) S2(20-21) S2(30-31) S2 (40-41) S2 (44-45) Πυρήνας S7B S7B [0-1] S7B [0-1] | SEFAs 1,466 1,549 1,051 0,985 0,811 1,000 SEFAs 1,432 | SEFCr 1,697 1,436 1,181 1,036 1,092 1,000 SEFCr 0,377 | SEFCu 17,283 5,845 1,818 1,534 0,915 1,000 SEFCu 2,192 | SEFNI 1,552 1,554 1,365 1,162 1,142 1,000 SEFNI 0,822 0,822 | 6,686 10,109 1,970 0,956 0,896 1,000 SEFPb 2,173 | 8,7 8,3 1,5 0,9 1,0 1,0 SEFZn |
| Πυρήνας S2 S2(0-1) S2(10-11) S2(20-21) S2(30-31) S2 (40-41) S2 (44-45) Πυρήνας S7B S7B [0-1] S7B [10-11] S7B [10-11] | SEFAs 1,466 1,549 1,051 0,985 0,811 1,000 SEFAs 1,432 1,910 | SEFCr 1,697 1,436 1,181 1,036 1,092 1,000 SEFCr 0,377 1,254 1,102 | SEFCu 17,283 5,845 1,818 1,534 0,915 1,000 SEFCu 2,192 2,864 1,267 | SEFNI 1,552 1,554 1,365 1,162 1,142 1,000 SEFNI 0,822 0,942 | 6,686 10,109 1,970 0,956 0,896 1,000 SEFPb 2,173 3,642 | 8,7 8,3 1,5 0,9 1,0 1,0 SEFZn 1,7 2,66 |
| Πυρήνας S2 S2(0-1) S2(10-11) S2(20-21) S2(30-31) S2 (40-41) S2 (44-45) Πυρήνας S7B S7B (0-1) S7B (10-11) S7B (20-21) | SEFAs 1,466 1,549 1,051 0,985 0,811 1,000 SEFAs 1,432 1,910 0,948 | SEFCr 1,697 1,436 1,181 1,036 1,092 1,000 SEFCr 0,377 1,254 1,193 1,057 | SEFCu 17,283 5,845 1,818 1,534 0,915 1,000 SEFCu 2,192 2,864 1,867 | SEFNI 1,552 1,554 1,365 1,162 1,142 1,000 SEFNI 0,822 0,942 0,989 | 6,686 10,109 1,970 0,956 0,896 1,000 SEFPb 2,173 3,642 2,100 | 8,7 8,3 1,5 0,9 1,0 1,0 SEFZn 1,7 2,6 1,9 |
| Πυρήνας S2 S2(0-1) S2(10-11) S2(20-21) S2(30-31) S2 (40-41) S2 (44-45) Πυρήνας S7B S7B (0-1) S7B (20-21) S7B (20-21) S7B (24-25) | SEFAs 1,466 1,549 1,051 0,985 0,811 1,000 SEFAs 1,432 1,910 0,948 1,538 | SEFCr 1,697 1,436 1,181 1,036 1,092 1,000 SEFCr 0,377 1,254 1,193 1,088 1,044 | SEFCu 17,283 5,845 1,818 1,534 0,915 1,000 SEFCu 2,192 2,864 1,867 1,582 | SEFNI 1,552 1,554 1,365 1,162 1,142 1,000 SEFNI 0,822 0,942 0,982 0,988 0,988 | 6,686 10,109 1,970 0,956 0,896 1,000 SEFPb 2,173 3,642 2,100 1,749 | 8,7 8,3 1,5 0,9 1,0 1,0 5EFZn 1,7 2,6 1,9 1,6 |

Πίνακας 4.4.2: Απεικόνιση παράγοντα εμπλουτισμού για τα ιχνοστοιχεία των πυρήνων δειγματοληψίας.

Κριτήρια Ποιότητας Ιζημάτων (ERL-ERM & TEL-PEL)

Σχετικά με τα Κριτήρια Ποιότητας Ιζημάτων ERL-ERM & TEL-PEL που απεικονίζονται στον Πίνακα 4.5.1.

Πίνακας 4.5.1: Απεικόνιση του κριτηρίου ποιότητας των ιζημάτων των πυρήνων δειγματοληψίας.

| | | ER | IMI-ERL | | | | | | | TEL-PEL | | | | |
|--------------|---------|---------|------------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Δείγμα | As(ppm) | Cr(ppm) | Cu(ppm) | Ni(ppm) | Pb(ppm) | Zn(ppm) | | Δείγμα | As(ppm) | Cr(ppm) | Cu(ppm) | Ni(ppm) | Pb(ppm) | Zn(ppm) |
| EL-10-1 | | | | | | | | EL-1 0-1 | | | | | | |
| EL-1 10-11 | | | | | | | | EL-1 10-11 | | | | | | |
| EL-1 20-21 | | | | | | | | EL-1 20-21 | | | | | | |
| EL-1 30-31 | | | | | | | | EL-1 30-31 | | | | | | |
| EL-1 40-41 | | | | | | | | EL-1 40-41 | | | | | | |
| EL-5 0-1 | | | | | | | | EL-5 0-1 | | | | | | |
| EL-5 10-11 | | | | | | | | EL-5 10-11 | | | | | | |
| EL-5 18-19 | | | | | | | | EL-5 18-19 | | | | | | |
| EL-5 20-21 | | | | | | | | EL-5 20-21 | | | | | | |
| EL-5 30-31 | | | | | | | | EL-5 30-31 | | | | | | |
| EL-5 40-41 | | | | | | | | EL-5 40-41 | | | | | | |
| UN-5A 0-1 | | | | | | | | UN-5A 0-1 | | | | | | |
| UN-5A 10-11 | | | | | | | | UN-5A 10-11 | | | | | | |
| UN-5A 20-21 | | | | | | | | UN-5A 20-21 | | | | | | |
| UN-5A 30-31 | | | | | | | | UN-5A 30-31 | | | | | | |
| UN-5A 40-41 | | | | | | | | UN-5A 40-41 | | | | | | |
| UN-5A 50-51 | | | | | | | | UN-5A 50-51 | | | | | | |
| UN-13 0-1 | | | | | | | | UN-13 0-1 | | | | | | |
| UN-13 10-11 | | | | | | | | UN-13 10-11 | | | | | | |
| LIN-12 20-21 | | | | | | | | LIN-12 20-21 | | | | | | |
| UN-15 20-21 | | | | | | | | UN-13 20-21 | | | | | | |
| UNI 12 40 41 | | | | | | | | UN 13 40 41 | | | | | | |
| UN-13 40-41 | | | | | | | | UN-13 40-41 | | | | | | |
| UN-13 50-51 | | | | | | | | UN-13 50-51 | | | | | | |
| UN-6A 0-1 | | | | | | | | UN-6A 0-1 | | | | | | |
| UN-6A 10-11 | | | | | | | | UN-6A 10-11 | | | | | | |
| UN-6A 20-21 | | | | | | | | UN-6A 20-21 | | | | | | |
| UN-6A 30-31 | | | | | | | | UN-6A 30-31 | | | | | | |
| UN-6A 40-41 | | | | | | | | UN-6A 40-41 | | | | | | |
| UN-6A 53-54 | | | | | | | | UN-6A 53-54 | | | | | | |
| S2 0-1 | | | | | | | | S2 0-1 | | | | | | |
| S2 10-11 | | | | | | | | S2 10-11 | | | | | | |
| S2 20-21 | | | | | | | | S2 20-21 | | | | | | |
| S2 30-31 | | | | | | | | S2 30-31 | | | | | | |
| S2 40-41 | | | | | | | | S2 40-41 | | | | | | |
| S2 44-45 | | | | | | | | S2 44-45 | | | | | | |
| S7B 0-1 | | | | | | | | S7B 0-1 | | | | | | |
| S7B 10-11 | | | | | | | | S7B 10-11 | | | | | | |
| S7B 20-21 | | | | | | | | S7B 20-21 | | | | | | |
| S7B 24-25 | | | | | | | | S7B 24-25 | | | | | | |
| S7B 30-31 | | | | | | | | S7B 30-31 | | | | | | |
| S7B 40-41 | | | | | | | | S7B 40-41 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ποσοσ | πό εμφά | νισης αρνη | τικών βια | λογικών ε | πιπτώσεων | / (% |) | | | | | | |
| | | | ERM-ERL | | | | | | | TEL-PEL | | | | |
| | As(ppm) | Cr(ppm) | Cu(ppm) | Ni(ppm) | Pb(ppm) | Zn(ppm) | | | As(ppm) | Cr(ppm) | Cu(ppm) | Ni(ppm) | Pb(ppm) | Zn(ppm) |
| | 5 | 2,9 | 9,4 | 1,9 | 8 | 6,1 | | | 2,7 | 3,5 | 9 | 3,3 | 5,8 | 3,8 |
| | 11.1 | 21.1 | 29.1 | 16.7 | 35.8 | 47 | | | 12.9 | 15.4 | 21.9 | 8.4 | 25.8 | 27.2 |
| | 62 | 05 | 02 7 | 16.0 | 00.2 | 60.0 | | | 70.0 | 50.0 | 55.0 | | ,- | 64.0 |

Σχετικά με τα Κριτήρια Ποιότητας Ιζημάτων ERL-ERM & TEL-PEL του Πίνακα 4.5.1. :

<u>Το αρσενικό (As)</u> κυρίως στους πυρήνες EL1, EL5, S2 & S7B εμφανίζεται να προκαλεί ένα ποσοστό εμφάνισης αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων που αντιστοιχεί σε ~ 11,1 - 12,9%. Αυτό σημαίνει ότι η ρύπανση που προκαλείται στον βορειοανατολικό Σαρωνικό κόλπο είναι μέτρια και αυτό έχει αρκετά αρνητικό αντίκτοικο στους θαλάσσιους οργανισμούς. Από την άλλη, στους πυρήνες UN5,UN6A & UN13 το αντίστοιχο ποσοστό εμφάνισης αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων κυμαίνεται 2,7-5 % που σημαίνει ότι στον βορειοδυτικό και στον νότιο Σαρωνικό κόλπο η ρύπανση είναι χαμηλή και συνεπώς οι βιολογικές επιπτώσεις είναι αρκετά πιο λίγες στις συγκεκριμένες θαλάσσιες περιοχές του Σαρωνικού κόλπου.

<u>Το χρώμιο (Cr)</u> στους πυρήνες EL1, EL5, UN13, S2 & S7B έχει ποσοστό εμφάνισης αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων που κυμαίνεται σε 15,4-21,1% και το οποίο σημαίνει μέτρια μόλυνση. Ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό 52,9-95% εμφανίζει το επιφανειακό τμήμα του πυρήνας EL5,όλος ο πυρήνας UN5A,το τμήμα 30-31cm του πυρήνα UN13,όλος σχεδόν ο πυρήνας UN6 & τα πρώτα 11cm του πυρήνα S2.

<u>Ο χαλκός (Cu)</u> που παρατηρείται εν μέρη στους πυρήνες EL5 (σε βάθος 0-1cm) & στα πρώτα 11cm του πυρήνα S2 έχει ποσοστό εμφάνισης αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων σε 55,9-88,7% που είναι αρκετά υψηλό. Στους υπόλοιπους πυρήνες το ποσοστό εμφάνισης αρνητικών επιπτώσεων είναι αρκετά πιο χαμηλά και κυμαίνεται σε ποσοστό ~9-29,1%.

<u>Το νικέλιο (Ni)</u> που παρατηρείται ότι σε όλους τους πυρήνες έχει το ποσοστό εμφάνισης αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων είναι αρκετά υψηλό και κυμαίνεται 9,4-16,9%.

<u>Ο μόλυβδος (Pb) που</u> παρατηρείται στους πυρήνες EL5 σε βάθος 0-11 & 20-21 cm καθώς και στα πρώτα 11cm του πυρήνα S7B παρουσιάζει ποσοστό εμφάνισης επιπτώσεων ~64,8-69,8% ενώ σε όλο το υπόλοιπο τμήμα τους καθώς και σε όλους τους υπόλοιπους πυρήνες το κριτήριο ποιότητας κυμαίνονταν κατά βάση μεταξύ του ERL-ERM και δευτερευόντως ήταν < ERL. Αυτό αντιστοιχεί σε ποσοστό εμφάνισης αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων ~ 25,8-35,8% και 5,8-8% αντίστοιχα.

<u>Ο ψευδάργυρος (Zn)</u> στους πυρήνες EL5(σε βάθη 0-19cm), & S2 (σε βάθη 0-11cm) έχειποσοστό εμφάνισης επιπτώσεων 64,8-69,8%,. ενώ σε όλους σχεδόν τους υπόλοιπους πυρήνες αλλά και στα υπόλοιπα τμήματα των παραπάνω πυρήνων (EL5 & S2) παρατηρείται ποσοστό εμφάνισης αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων πολύ μικρό ~ 3,8-6,1%.

100

4.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων

4.5.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων παρούσας δειγματοληψίας με εκείνη του 1999

Στον Πίνακα 4.6.1 δίνονται οι συγκρίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων των συγκεντρώσεων (σε ppm) στο πρώτο εκατοστό από τους τωρινούς (2017 – Εικ. 4.6.1α) πυρήνες δειγματοληψίας από τον Κόλπο του Σαρωνικού με τα αποτελέσματα από παλαιότερη (1999 – Εικ. 4.6.1.β) δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε το έτος 1999 (*Ρόζη, 2001*) σε σχεδόν τους ίδιους σταθμούς σε επιφανειακά ιζήματαα. Το γεγονός επίσης ότι έγινε παρόμοια εργαστηριακή ανάλυση για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων (σε ppm), συντέλεσε στην εύκολη σύγκριση της περιβαλλοντικής κατάστασης σε ένα εύρος χρόνου 18 ετών (1999-1^η δειγματοληψία με 2017-τωρινή δειγματοληψία).

Πίνακας 4.6.1: Σύγκριση των αποτελεσμάτων των πυρήνων δειγματοληψίας κατά το έτος 2017 σε σχέση με εκείνη του 1999 στην περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου.

| TEPIOXH MEAE | | A ROATOT ATO | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|---|---|
| Σταθμοί | Ni(ppm) | Cu(ppm) | Cr(ppm) | Mn(ppm) | Pb(ppm) | Zn(ppm) | Fe (ppm) |
| EL-1 0-1 | 74,70 | 48,70 | 144,20 | 366,20 | 99,80 | 267,80 | 10561 |
| EL-5 0-1 | 76,30 | 164,00 | 185,20 | 347,60 | 184,50 | 447,70 | 13472 |
| UN-5A 0-1 | 341,50 | 26,50 | 318,00 | 578,10 | 53,70 | 70,50 | 13821 |
| UN-6A 0-1 | 198,20 | 16,40 | 140,00 | 550,90 | 42,60 | 73,70 | 10978 |
| UN-13 0-1 | 105,40 | 23,20 | 192,90 | 889,60 | 59,10 | 104,80 | 11977 |
| S2 0-1 | 155,90 | 145,30 | 152,60 | 289,20 | 119,00 | 438,50 | 11902 |
| S7B 0-1 | 80.70 | 31.60 | 179.60 | 300 70 | 60.20 | 84.60 | 8484 |
| | 00,70 | 51,00 | 175,00 | 330,70 | 00,20 | 04,00 | 0404 |
| | 00,70 | 51,00 | 175,00 | 350,70 | 00,20 | 04,00 | 0101 |
| | 00,70 | 51,00 | 175,00 | 350,70 | 00,20 | 04,00 | 0101 |
| | ΤΗΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟ | | ΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥ | ΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩ | ου,20 | | ΗΨΙΑ 1999 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕ Σταθμοί | ΤΗΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟ Ni(ppm) | от,00 РҮ КОЛПОҮ АПС Сu(ppm) | ΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥ Cr(ppm) | ΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩ Μη(ppm) | N METAΛΛΩΝ Pb(ppm) | I -ΔΕΙΓΜΑΤΟΛ Zn(ppm) | HΨIA 1999 Fe (ppm) |
| ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕ Σταθμοί 1 | THΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟ Ni(ppm) 234 | 91,00 Y КОЛПОУ АПО Cu(ppm) 153 | ΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΙ Cr(ppm) 47 | ΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩ Μn(ppm) 279 | 00,20 2N ΜΕΤΑΛΛΩΝ Pb(ppm) 498 | -ΔΕΙΓΜΑΤΟΛ Zn(ppm) 476 | HΨIA 1999 Fe (ppm) 14010 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕ Σταθμοί 1 2 | THΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟ Ni(ppm) 234 241 | 91,00 Y КОЛПОУ АПО Cu(ppm) 153 178 | TEΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΙ Cr(ppm) 47 122 | κεντρωχεών το Μn(ppm) 279 316 | 00,20 2N ΜΕΤΑΛΛΩΝ Pb(ppm) 498 365 | 24,00 Ι -ΔΕΙΓΜΑΤΟΛ Ζη(ppm) 476 269 | HΨIA 1999 Fe (ppm) 14010 16880 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕ Σταθμοί 1 2 5 | THΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟ Ni(ppm) 234 241 98 | 91,60 РҮ КОЛПОҮ АПО Си(ppm) 153 178 45 | TEΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΙ Cr(ppm) 47 122 173 | KENTPΩΣΕΩΝ ΤΩ Μn(ppm) 279 316 506 | 00,20 2N METAΛΛΩΝ Pb(ppm) 498 365 153 | Ι -ΔΕΙΓΜΑΤΟΛ Ζn(ppm) 476 269 77 | HΨIA 1999 Fe (ppm) 14010 16880 10610 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕ Σταθμοί 1 2 5 6 | ΤΗΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟ Νί(ppm) 234 241 98 248 | 91,60 РҮ КОЛПОҮ АПО Си(ppm) 153 178 45 61 | ΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΙ Cr(ppm) 47 122 173 170 | ΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩ Μn(ppm) 279 316 506 927 | 00,20 2N METAΛΛΩΝ Pb(ppm) 498 365 153 58 | ΔΕΙΓΜΑΤΟΛ Ζn(ppm) 476 269 77 95 | HΨIA 1999 Fe (ppm) 14010 16880 10610 22380 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕ Σταθμοί 1 2 5 6 13 | THΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟ Ni(ppm) 234 241 98 248 156 | У КОЛПОУ АПО Си(ppm) 153 178 45 61 55 | TEΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΙ Cr(ppm) 47 122 173 170 49 | ΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩ Μn(ppm) 279 316 506 927 842 | 00,20 N METAΛΛΩΝ Pb(ppm) 498 365 153 58 183 | ΔΕΙΓΜΑΤΟΛ Ζn(ppm) 476 269 77 95 103 | HΨIA 1999 Fe (ppm) 14010 16880 10610 22380 11460 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕ Σταθμοί 1 2 5 6 13 3 | THΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟ Ni(ppm) 234 241 98 248 156 237 | 91,00 97 КОЛПОУ АПО Си(ppm) 153 178 45 61 55 141 | TEΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΙ Cr(ppm) 47 122 173 170 49 110 | Mn(ppm) 279 316 506 927 842 246 | 00,20 N METAΛΛΩΝ Pb(ppm) 498 365 153 58 183 162 | ΔΕΙΓΜΑΤΟΛ Ζn(ppm) 476 269 77 95 103 524 | HΨIA 1999 Fe (ppm) 14010 16880 10610 22380 11460 18590 |



.(a)



Εικόνα 4.6.1. (α): Χάρτης απεικόνισης των σταθμών δειγματοληψίας κατά το έτος 2017 και (β): Χάρτης απεικόνισης των σταθμών δειγματοληψίας κατά το έτος 1999 (Ρόζη, 2001). Πιο συγκεκριμένα:

Στο νικελίου (Ni) παρατηρείται μείωση στους πυρήνες EL1 (πρώην πυρήνας 1), EL5 (πρώην πυρήνας 2) ενώ ο UN6A (πυρήνας 6) & S2 (πυρήνας 3) σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999. Αντίθετα, αύξηση του νικελίου εμφανίζεται για τον πυρήνα UN5A (πυρήνας 5) ενώ περίπου ίδιες τιμές εμφανίζονται στους πυρήνες UN13 (πυρήνας 13) & S7B (πυρήνας C8A).

Στο χαλκό (Cu) παρατηρείται μείωση για τους πυρήνες EL1, UN5, UN6A, S7B & UN13 σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999. Αντίθετα, ίδιες περίπου τιμές εμφανίζεται για τους πυρήνες EL5 & S2 σε σχέση με το νικέλιο (Ni) σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999.

Στο χρώμιο (Cr) παρατηρείται μείωση για τον πυρήνα UN6A σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999 ενώ αύξηση σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999 εμφανίζεται για τους πυρήνες EL1, EL5, UN5A, UN13, S2 & S7B.

Στο μαγγάνιο (Mn) παρατηρείται μείωση για τον πυρήνα UN6A σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999. Αντίθετα για τους πυρήνες EL1, EL5, UN5A & S7B παρατηρείται αύξηση σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999 ενώ ίδιες περίπου τιμές εμφανίζουν οι πυρήνες UN13 & S2.

Στο μόλυβδο (Pb) παρατηρείται μείωση για όλους τους πυρήνες σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999.

Στον ψευδάργυρο (Zn) παρατηρείται μείωση για τους πυρήνες EL1, UN6A & S2 σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999. Αύξηση από την άλλη παρατηρείται για τους πυρήνες EL5 & S7B ενώ ίδιες περίπου τιμές εμφανίζουν οι πυρήνες UN5 & UN13 σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999.

Στο σίδηρο (Fe) παρατηρείται μείωση για τους πυρήνες EL1, EL5, UN6A & S2 σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999. Από την άλλη αύξηση εμφανίζουν οι πυρήνες UN5 & S7B σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999 ενώ ίδιες περίπου τιμές εμφανίζει ο πυρήνας UN13 σε σχέση με τη δειγματοληψία του 1999.

103

4.5.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων παρούσας δειγματοληψίας με άλλες περιοχές

Στον Πίνακα 4.6.2 δίνονται οι συγκρίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων των συγκεντρώσεων (σε ppm) από τη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε το 2017 στη περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου με τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων (σε ppm) από τη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε κατά το έτος 2014 - 2015 από την περιοχή του Βόρειου Ευβοϊκού Κόλπου (Καλλιαντέρη, 2016) καθώς και από τη δειγματοληψία στις εκβολές του Σπερχειού ποταμού και του Μαλιακού κόλπου (Ρουσελάκη, 2007).

Πίνακας 4.6.2: Σύγκριση των αποτελεσμάτων των πυρήνων δειγματοληψίας στον Σαρωνικό κόλπο,στο Βόρειο Ευβοικό κόλπο καθώς και στον Μαλιακό κόλπο και τις εκβολές του Σπερχειού ποταμού

| ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|-------|--|--|--|--|--|
| ΜΕΤΑΛΛΩΝ -ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ 2017 | | | | | | | | | | | |
| Σταθμοί | Ni(ppm) | Cu(ppm) | Mn(ppm) | Pb(ppm) | Zn(ppm) | Fe | | | | | |
| | (PP) | Ga(pp) | (pp) | · ~(pp) | (PP) | (ppm) | | | | | |
| EL-1 0-1 | 74,70 | 48,70 | 366,20 | 99,80 | 267,80 | 10561 | | | | | |
| EL-5 0-1 | 76,30 | 164,00 | 347,60 | 184,50 | 447,70 | 13472 | | | | | |
| UN-5A 0-1 | 341,50 | 26,50 | 578,10 | 53,70 | 70,50 | 13821 | | | | | |
| UN-6A 0-1 | 198,20 | 16,40 | 550,90 | 42,60 | 73,70 | 10978 | | | | | |
| UN-13 0-1 | 105,40 | 23,20 | 889,60 | 59,10 | 104,80 | 11977 | | | | | |
| S2 0-1 | 155,90 | 145,30 | 289,20 | 119,00 | 438,50 | 11902 | | | | | |
| S7B 0-1 | 80,70 | 31,60 | 390,70 | 60,20 | 84,60 | 8484 | | | | | |

| ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΥΒΟΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ | | | | | | | | | | |
|---|----------------|-----------|-----------|-----------|----------------|------------------|--|--|--|--|
| Σταθμοί | Ni(ppm) | Cu(ppm) | Mn(ppm) | Pb(ppm) | Zn(ppm) | Fe (ppm) | | | | |
| Κόλπος της Λάρυμνας και των μεταλλείων του εργοστασίου Λάρκο | 1180 - 2478 | 43.4-10.6 | 462-2021 | 5.6-15.3 | 298 -778 | 67807- 256783 | | | | |
| Μεγαλύτερη απόσταση από το εργοστάσιο,κοντά στη Μαλεσίνα(NEV7) | 526 | 31,5 | 605 | 8,2 | 160 | 55049 | | | | |
| Κοντά στη πόλη της Χαλκίδας στο κομμάτι προς τον Βόρειο Ευβοικό Κόλπο | 394 -283 | 16.5-16.9 | 299 -288 | 24.1-17.8 | 63.4 - 51.0 | 21369- 18945 | | | | |
| Μετά τη γέφυρα προς το Νότιο Ευβοικό και μέχρι τις εκβολές του ποταμού Λήλα | 79.6 - 412 | 27.6-73.8 | 414 - 603 | 0.35-41.4 | 85.5 - 123 | 28697- 37324 | | | | |

| ΠΕΡΙΟΧΗ | ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΑΙ ΜΑΛΙΑΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ -ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ 2014-2015 | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--|-----------|----------|------------|-----------|-------------|--|--|--|--|--|
| Σταθμοί | Ni(ppm) | Cu(ppm) | Mn(ppm) | Pb(ppm) | Zn(ppm) | Fe (ppm) | | | | | |
| Κεντρικός Μαλιακός Κόλπος | (-) | 44,6-53,4 | 660-2019 | 6,37-13,99 | 117-138 | 46652-50333 | | | | | |
| Εκβολές Σπερχειού | (-) | 22,4-29,7 | 990-1028 | 1,40-2,41 | 48,7-60,5 | 22086-28140 | | | | | |

Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει, το νικέλιο (Ni),το μαγγάνιο (Mn) και ο σίδηρος (Fe) εμφανίζονται ως μέγιστες τιμές στον Βόρειο Ευβοϊκό και ακολουθεί η περιοχή του Μαλιακού κόλπου και των εκβολών του Σπερχειού ενώ τις μικρότερες τιμές μπορεί κανείς να τις παρατηρήσει στο Βόρειο Ευβοικό Κόλπο. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ανάπτυξης πολλών ανθρωπίνων δραστηριοτήτων όπως χημικά απόβλητα που καταλήγουν στη θάλασσα, αστικά λύματα από αστικές δραστηριότητες και ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις, εργοστάσια αλλά κυρίως από τη μεταφορά σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων, από τη λειτουργία του εργοστασίου της ΛΑΡΚΟ καθώς και από τη παρουσία οφιολιθικών πετρωμάτων. Σχετικά με το ψευδάργυρο (Zn) παρατηρείται ότι οι τιμές υψηλότερες εμφανίζονται στον Σαρωνικό κόλπο και ακολουθεί η περιοχή του Βόρειου Ευβοικού Κόλπου ενώ οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στις εκβολές του Σπερχειού κόλπου και τον Μαλιακό κόλπο. Τέλος, σχετικά με τον χαλκό (Cu) και το μόλυβδο (Pb) παρατηρούνται περίπου ίδιες τιμές μεταξύ των περιοχών του Βόρειου Ευβοικού κόλπου και της περιοχής του Μαλιακού κόλπου και των εκβολών του Σπερχειού ποταμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κοκκομετρία:

- Οι πυρήνες EL1,EL5 & S2 βρίσκονται στην περιοχή της Ελευσίνας και συνεπώς η επίδραση των θαλάσσιων ιζημάτων καθώς και η ιζηματογένεση παρουσιάζει όπως είναι αναμενόμενο παρόμοια συμπεριφορά με αργιλώδη ιλύ να κυριαρχεί σε όλους τους πυρήνες καθώς και μερική εμφάνιση οργανικού υλικού και αριθμό ενοτήτων 2,5 και 2 αντίστοιχα.
- Από την άλλη, οι πυρήνες UN5 & UN6 εμφανίζουν ως κύριο συστατικό τον αργιλώδη ιλύ και μια ενότητα και βρίσκονται και οι δύο στο βορειοδυτικό Σαρωνικό Κόλπο.
- Οι πυρήνες UN13 στον νότιο & ο S7B στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο, εμφανίζουν δύο ενότητες και το κύριο υλικό είναι επίσης αργιλώδης ιλύς.
- Τέλος, όλοι οι πυρήνες αποτελούνται από λεπτόκοκκο υλικό (πηλό) κάτι που σίγουρα συντελεί στην μεγαλύτερη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο ίζημα και άρα συντήρηση του ρυπασμένου υλικού. Το γεγονός δε ότι το υλικό είναι λεπτόκοκκο οφείλεται στο ότι η δειγματοληψία δεν έγινε παράκτια των ακτών του Σαρωνικού Κόλπου αλλά στην ανοιχτή θάλασσα.

Σύγκριση κυρίων στοιχείων & ιχνοστοιχείων για κάθε πυρήνα δειγματοληψίας:

- Το Al, Si, Pb & Zn εμφανίζονται σε μέγιστη τιμή στον πυρήνα EL5 δηλαδή στην περιοχή της Ελευσίνας λόγω πολύ έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας ενώ και ελάχιστη στον πυρήνα UN5 όπου υπάρχει μια μόνο πολύ μικρή βιομηχανική ζώνη πλησίον της περιοχής δειγματοληψίας.
- Ο Cu παρουσιάζει μέγιστη τιμή επίσης στον χώρο της Ελευσίνας (πυρήνας) και ελάχιστη στον πυρήνα UN13 που βρίσκεται αρκετά πιο μακριά από την επίδραση που έχει οποιαδήποτε ανθρωπογενής επίδραση(βιομηχανική δράση στον χώρο της Ελευσίνας και της Ψυττάλειας).
- Το Ca εμφανίζεται σε μέγιστη τιμή στον πυρήνα EL1 και σε ελάχιστη τιμή στον πυρήνα EL5.
- Το Cr & Fe παρουσιάζουν μέγιστη τιμή στον πυρήνα UN5 και ελάχιστη για στον πυρήνα UN6A & S7B αντίστοιχα.
- Το Μη παρουσιάζει μέγιστη & τιμή στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο(πυρήνας UN6A) και ελάχιστη στον χώρο κοντά στη Ψυττάλεια(πυρήνας S7B).

Το Νι παρουσιάζει μέγιστη τιμή στον βορειοδυτικό Σαρωνικό κόλπο (πυρήνας UN5) λόγω γεωλογίας (οφιολιθικού υλικού-ηφαίστειο Μεθάνων) και ελάχιστη στον πυρήνα EL1.

Σύγκριση πρόσφατης δειγματοληψία (2017) με παλαιότερη (1999):

- Στον χώρο της Ελευσίνας και της Ψυττάλειας που είναι μια βιομηχανική ζώνη παρατηρείται αύξηση του Cr & Mn στους πυρήνες EL1, EL5,UN13, S2 & S7B ενώ και ο Zn εμφανίζει αύξηση για τους πυρήνες EL5 & S7B και ο Cu έχει επίσης αυξημένη τιμή στον πυρήνα S2.
- Μείωση παρατηρείται στο Pb στους πυρήνες EL1, EL5, UN13, S2 S7B.
- Το Νι εμφανίζει επίσης μείωση στους πυρήνες EL1, EL5, UN13 & S2.
- Ο Cu παρουσιάζει ακόμη πτωτική τάση για τους πυρήνες EL1, EL5, UN13 & S7B.
- Ο Zn εμφανίζεται μειωμένος σε συγκέντρωση στους πυρήνες EL1,UN13 & S2.
- Ο Fe εμφανίζει αύξηση στους πυρήνες UN5 & S7B σε σχέση με τους αντίστοιχους πυρήνες 5 & C8A που συλλέχθηκαν το 1999.
- Στον βορειοδυτικό Σαρωνικό από την άλλη στους πυρήνες UN5 & UN6A παρατηρήθηκε μείωση του Cu,Cr & Zn σε σχέση με την πυρηνοληψία του 1999 ενώ μόνο για τον πυρήνα δειγματοληψίας UN6A παρατηρήθηκε μείωση και για τα στοιχεία του Ni,Cr & Mn.
- Τέλος, στο πυρήνα UN5 παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης των παραπάνω βαρέων μετάλλων σε σχέση με το έτος 1999.

Σύγκριση τιμών βαρέων μετάλλων του Σαρωνικού κόλπου με το βόρειο Ευβοϊκό κόλπο και τον Μαλιακό κόλπου:

- Το νικέλιο (Ni),το μαγγάνιο (Mn) & ο σίδηρος(Fe) εμφανίζονται ως μέγιστες τιμές στον Βόρειο Ευβοϊκό λόγω ανάπτυξης πολλών ανθρωπίνων δραστηριοτήτων καθώς και από τη παρουσία οφιολιθικών πετρωμάτων.
- Ο ψευδάργυρος(Zn) παρατηρείται σε υψηλότερες τιμές στον Σαρωνικό κόλπο ενώ χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στις εκβολές του Σπερχειού κόλπου και τον Μαλιακό κόλπο.
- Για τον χαλκό(Cu) & το μόλυβδο (Pb) παρατηρούνται περίπου ίδιες τιμές μεταξύ των περιοχών του Βόρειου Ευβοικού κόλπου και της περιοχής του Μαλιακού κόλπου και των εκβολών του Σπερχειού ποταμού.

Παράγοντας εμπλουτισμού για τα κύρια στοιχεία και για τα ιχνοστοιχεία - κριτήριο ποιότητας των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ERL - ERM & TEL - PEL:

- Όι πυρήνες EL5 & S2 παρουσιάζουν μέτριο εμπλουτισμό και συνεπώς μέτρια ρύπανση πιθανόν λόγω της έντονης βιομηχανικής δράσης στον κόλπο της Ελευσίνας ενώ οι πυρήνες EL1,UN5,UN6A,UN13 & S7B εμφανίζουν από μηδενικό έως ελάχιστο εμπλουτισμό και συνεπώς μηδενική έως ελάχιστη ρύπανση λόγω μειωμένης ή μηδενικής ανθρωπογενούς δραστηριότητας.
- Όσον αφορά το κριτήριο ποιότητας των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ERL-ERM & TEL-PEL παρατηρείται ότι ο μόλυβδος(Pb) & ο ψευδάργυρος(Zn) προκαλούν μικρό ποσοστό αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων στο Σαρωνικό κόλπο.
- Τέλος, το νικέλιο (Ni) για όλο τον Σαρωνικό καθώς και το χρώμιο (Cr) σε μεμονωμένα τμήματα των πυρήνων EL5,UN5,UN13 & S2 προκαλούν αρκετά υψηλό ποσοστό αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων (για το επιφανειακό υλικό του πυρήνα EL5,για όλο το πυρήνας UN5,στα 30-31cm για τον πυρήνα UN13,για όλο το πυρήνα UN6 και για τα πρώτα 11 εκατοστά του πυρήνα S2).
- Μέτρια ποσοστά αρνητικών βιολογικών επιπτώσεων από την άλλη,εμφανίζει το αρσενικό(As) & ο χαλκός (Cu) καθώς και το χρώμιο (Cr) για τους πυρήνες EL1 & S7B στον κόλπο της Ελευσίνας καθώς και έξω από την Ψυτάλλεια αντίστοιχα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ελληνόγλωσση

- **Γκίνη, Α., 2012.** Fe στον Σαρωνικό κόλπο 2008-2010, Πτυχιακή εργασία του τμήματος Χημείας, ΕΚΠΑ.
- Δασενάκης, Ε., 2010. Σημειώσεις μαθήματος "Χημική Θαλάσσια Ρύπανση", Π.Μ.Σ. Ωκεανογραφίας και Διαχείρισης Θαλάσσιου Περιβάλλοντος, ΕΚΠΑ.
- Καλλιαντέρη,.Ν.,2016.Βαρέα μέταλλα στην υδάτινη στήλη και τα ιζήματα του Κεντρικού και Βόρειου Ευβοϊκού Κόλπου, Ερευνητική εργασία διπλώματος ειδίκευσης Χημείας και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, Τμήμα Χημείας, ΕΚΠΑ, Αθήνα.
- Λασκαράτο, Α. και Ν. Καλτσουνίδης, 1989. Μελέτη της υδροδυναμικής δίαιτας του Εσωτερικού Σαρωνικού κόλπου και της ρύπανσής του από τη διάθεση λυμάτων της Αθήνας, Τελική Έκθεση Α', Τομέας Φυσικών Εφαρμογών, Τμήμα Φυσικής, ΕΚΠΑ.
- Παρασκευοπούλου **Β., 2005.** "Ανάπτυξη μεθοδολογίας προσδιορισμού μορφών χρωμίου σε υδατικά δείγματα", Μεταπτυχιακή εργασία Χημικής Ωκεανογραφίας, Π.Μ.Σ. Ωκεανογραφίας, ΕΚΠΑ.
- Παρασκευοπούλου, Β., 2009. Διακίνηση και χημική συμπεριφορά βαρέων μετάλλων σε θαλάσσια περιοχή επηρεαζόμενη από βιομηχανική ρύπανση (ΒΔ Σαρωνικός). Διδακτορική Διατριβή, Π.Μ.Σ. Ωκεανογραφίας, ΕΚΠΑ.
- **Ρόζη Ε., 2001.** "Βαρέα μέταλλα και πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες σε θαλάσσια ιζήματα: Η περίπτωση του Σαρωνικού κόλπου", Μεταπτυχιακή εργασία Χημικής Ωκεανογραφίας, Π.Μ.Σ. Ωκεανογραφίας, ΕΚΠΑ.
- **Ρουσελάκη Ε., 2007.** Επίπεδα και διακυμάνσεις συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στις εκβολές του Σπερχειού ποταμού και στον Μαλιακό Κόλπο. Μεταπτυχιακή Εργασία ΠΜΣ Ωκεανογραφίας, ΕΚΠΑ.
- **Τάτσης Λ., 2008.** Κοινοτική Νομοθεσία για την Προστασία και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων, ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη ΕΜΠ.
- **Φερεντίνος, Γ., Θεοδώρου, Α., Παπαθεοδώρου, Γ., 2003.** Πλανήτης Γη Τόμος Β: Υδρόσφαιρα, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα, 141-289.

Ξενόγλωσση

- Alloway B.J., Ayres D.C., 1997. "Chemical Principles of Environmental Pollution", p. 190-217, Blackie Academic & Professional: an imprint of Chapman and Hall.
- Barbetseas S., 1975 & 1976. An analysis of the water masses in the Gulf of Saronic, Greece, Sp. Rpt., M-102, SACLANTCEN, 57p., 1983.
- Barbetseas, S., 1990. Water Masses and Eutrophication in a Greek Anoxic Marine Bay, Toxicological and Environmental Chemistry, 28, pp. 11-23.
- Chester, R., 1990. Marine Geochemistry, Unwin Hyman, London, Boston, Sydney, Wellington.
- *Cox, 1995*, "The Elements on Earth. Inorganic Chemistry in the Environment", p. 26-29, 64-70,78-80, 105-106, 114-115, 154, 155-157, 177-183, 186-190, 192-193, 196, 277, 278-280, Oxford University Press.
- Dietrich, V., Gaitanakis, P., Mercolli, I., Oberhaensli, R., 1993. Geological map of Greece, Aegina Island, 1: 25000. Bulletin of the Geological Society of Greece 28, 555–566.
- *Ewing, G, Carpenter, C., 1973.* Windisch, Sediment distribution in the oceans: The Antlantic, Geological Society of America Bulletin, 84, pp.71-88.
- Forstner, U., Wittmann, G.T.W., 1979. Metal Pollution in the aquatic environment, 2nd edition, Springer Verlag, p. 7-12, 197-269.
- *Fytikas, M., 1988*, Geothermal situation in Greece. Geothermics. doi:10.1016/0375-6505(88)90085-5.
- Griggs, G. B., Grimanis, A. P., & Grimani, M. V. (1978). Bottom sediments in a polluted marine environment, Upper Saronikos Gulf, Greece. *Environmental geology*, 2(2), 97-106.
- Goldberg, E.D., 1954. Marine geochemistry. Chemical scavengers of the sea. J. Geol., 62: 249-255.
- Hopkins, T. S., & Coachman, L. K. (1975). Circulation patterns in the Saronikos Gulf in relation to the winds. Unpublished Interim Technical Report, 1.

- Karageorgis, A.P., Perissoratis, C., Anagnostou, C., 2005. Characteristics of surface sediments. In: Papathanassiou, E., Zenetos, A. (eds.), State of the Hellenic Marine Environment, HCMR Publ., Athens, 37-39.
- *Kontoyiannis H., 2009.* "Observations on the circulation of Saronikos Gulf: A Mediterranean embayment sea-border of Athens/Greece", Submitted to Journal of Geophysical Research –Oceans (as of May 2009 second review after revisions).
- Libes, S., 2009. Introduction to marine biogeochemistry, 2nd edition, Academic Press, Elsevier, p. 207-219, 299-421, 441-447, 609-659.
- Luoma N.S., 1995. "Prediction of Metal Toxicity in Nature from Bioassays: Limitations and Research Needs", in "Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems", Eds Tessier A., Turner D.R, IUPAC Series on Analytical and Physical Chemistry.
- Mason A.Z., and Jenkins K.D., 1995. "Metal detoxification in Aquatic Organisms", in "Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems", Eds Tessier A., Turner D.R, IUPAC Series on Analytical and Physical Chemistry of Environmental Systems, Volume 3, p. 482-491, John Wiley and Sons.
- Martin J.M, Nirel P., Thomas, A.J., 1987. "Sequential extraction techniques: Promises and Problems" Marine Chemistry, 22, 313-341.
- Nriagu., 1988. "Production and uses of chromium, in: Chromium in the natural and human environments", eds: Nriagu., Nieboer E., p. 81-103, John Wiley & Sons Inc.
- *Pickering W.F., 1986.* "Metal ion speciation-Soils and sediments (A review)", Ore Geology Reviews, 1, 83-146.
- Reinmann C. and de Caritat P., 2005. "Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors", Science of the Total Environment, 337, 91-107.
- Salomons W. and Förstner U., 1984. Salomons, W., & Förstner, U. (1984). Metals in the hydrocycle–Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg New York, 349.

ПАРАРТНМА

| Depth (cm) | PW Velocity (m/sec) | Gamma Density (gm/cc3) | Μαγνητική επιδεκτικότητα) Magnetic susceptibility (SI)) | Πορώδες (Fractional porosity) | Διατμητική Αντοχή (Shear strenght(kPa)) | |
|---------------|------------------------|------------------------------|--|-------------------------------------|--|--|
| 2 | | | | | 2 | |
| 3 | 1636 935 | 1 7633 | 33.034 | 0 5723 | 2 | |
| 4 | 1615 93 | 1 7442 | 36 7014 | 0.5834 | | |
| 5 | 1618,677 | 1,7097 | 36,5245 | 0.6034 | | |
| 6 | 1610,162 | 1,7698 | 36,5981 | 0.5686 | | |
| 7 | 1611.301 | 1.7922 | 38,5536 | 0.5556 | 5 | |
| 8 | 1614.735 | 1.7861 | 38.4452 | 0.5591 | | |
| 9 | 1617.721 | 1.8291 | 40.3874 | 0.5342 | | |
| 10 | 1615.402 | 1.7822 | 42,3046 | 0.5614 | | |
| 11 | 1605,341 | 1,76 | 42,2367 | 0,5743 | | |
| 12 | 1607,386 | 1,7841 | 42,2197 | 0,5603 | 5 | |
| 13 | 1614,247 | 1,8053 | 44,2657 | 0,548 | | |
| 14 | 1617,473 | 1,815 | 44,3013 | 0,5423 | | |
| 15 | 1611,048 | 1,7961 | 46,3895 | 0,5533 | | |
| 16 | 1612,198 | 1,8221 | 46,4455 | 0,5382 | | |
| 17 | 1613,124 | 1,8091 | 44,4976 | 0,5458 | | |
| 18 | 1619,822 | 1,8487 | 44,5513 | 0,5228 | | |
| 19 | 1617,284 | 1,8434 | 44,6051 | 0,5259 | 6 | |
| 20 | 1615,209 | 1,809 | 42,5948 | 0,5458 | | |
| 21 | 1614,981 | 1,7777 | 40,5828 | 0,564 | | |
| 22 | 1614,752 | 1,7967 | 40,5991 | 0,5529 | | |
| 23 | 1617,761 | 1,8414 | 38,6158 | 0,527 | | |
| 24 | 1625,431 | 1,8405 | 36,5686 | 0,5276 | 4 | |
| 25 | 1631,287 | 1,8287 | 36,5539 | 0,5344 | | |
| 26 | 1609,24 | 1,7995 | 34,5092 | 0,5514 | | |
| 27 | 1620,303 | 1,7373 | 34,5092 | 0,5874 | | |
| 28 | 1611,301 | 1,7728 | 36,5245 | 0,5668 | 4,4 | |
| 29 | 1609,695 | 1,7643 | 36,5098 | 0,5717 | | |
| 30 | 1608,093 | 1,7734 | 38,5226 | 0,5665 | | |
| 31 | 1610,15 | 1,7955 | 38,5071 | 0,5537 | | |
| 32 | 1623,308 | 1,814 | 40,5175 | 0,5429 | | |
| 33 | 1619,593 | 1,7837 | 40,5175 | 0,5605 | | |
| 34 | 1620,279 | 1,8264 | 40,4687 | 0,5357 | 7 | |
| 35 | 1628,65 | 1,8472 | 40,4036 | 0,5237 | | |
| 36 | 1645,393 | 1,8619 | 40,2901 | 0,5151 | | |
| 37 | 1633,326 | 1,8456 | 40,3387 | 0,5246 | | |
| 38 | 1623,281 | 1,8405 | 38,368 | 0,5275 | | |
| 39 | 1631,482 | 1,8636 | 36,4218 | 0,5141 | | |
| 40 | 1639,546 | 1,8818 | 32,4532 | 0,5036 | 7,2 | |
| 41 | 1637,923 | 1,8714 | 28,4766 | 0,5096 | | |

Πίνακας 4.2.1: Φυσικές & γεωτεχνικές ιδιότητες πυρήνα ΕL1.

| Donth (am) | PW Velocity | Gamma Density | Μαγνητική επιδεκτικότητα) Magnetic | Πορώδες (Fractional | Διατμητικη Αντοχή (Shear |
|------------|----------------|---------------|--|------------------------|--------------------------------|
| Depth (cm) | (m/sec) | (gm/ccs) | susceptionity (51)) | porosity) | strengnt(kra)) |
| 1 | | | | | |
| 2 | 1610 | 15 | 15 | 0.72 | 0.4 |
| 3 | 1610 | 1,5 | 15 | 0,73 | 0,4 |
| 4 | 1610 | 1,5 | 15 | 0,72 | |
| 5 | 1610 | 1,40 | 15 | 0,74 | |
| 7 | 1022 | 1,40 | 12 | 0,74 | |
| , o | 1759 | 1,40 | 11 | 0,73 | |
| ° | 1627 | 1,49 | 11 | 0,73 | |
| 10 | 1611 | 1,45 | 0 | 0,73 | |
| 10 | 1616 | 1,40 | 0 | 0,74 | |
| 12 | 1617 | 1,45 | 0 | 0,70 | |
| 12 | 1625 | 1,45 | 6 | 0,70 | 0.6 |
| 14 | 1622 | 1,40 | 0 | 0,75 | 0,0 |
| 14 | 1627 | 1,40 | 0 0 | 0,74 | |
| 15 | 1632 | 1,55 | 6 | 0,7 | |
| 10 | 1605 | 1,02 | 0 | 0,00 | |
| 19 | 1605 | 1,05 | 0 | 0,04 | |
| 10 | 1604 | 1,01 | 11 | 0,00 | |
| 19 | 1604 | 1,59 | 11 | 0,67 | 0.8 |
| 20 | 1028 | 1,58 | 11 | 0,08 | 0,8 |
| 21 | 1010 | 1,58 | 15 | 0,08 | |
| 22 | 1595 | 1,55 | 21 | 0,08 | |
| 25 | 1507 | 1,05 | 21 | 0,04 | |
| 24 | 1597 | 1,05 | 23 | 0,02 | |
| 25 | 1596 | 1,7 | 27 | 0,01 | |
| 20 | 1590 | 1,05 | 23 | 0,01 | |
| 27 | 1555 | 1,74 | 32 | 0,55 | |
| 20 | 1594 | 1,07 | 26 | 0,03 | |
| 20 | 1594 | 1,03 | 30 | 0,05 | |
| 21 | 1599 | 1,05 | 20 | 0,05 | |
| 22 | 1584 | 1,00 | 20 | 0,03 | 1 |
| 32 | 1509 | 1,00 | 30 | 0.62 | 1 |
| 33 | 1596 | 1,05 | 40 | 0,02 | |
| 25 | 1609 | 1 72 | 40 | 0.59 | |
| 36 | 1600 | 1 72 | 40 | 0.59 | |
| 37 | 1599 | 1 76 | 40 | 0.57 | |
| 38 | 1596 | 1 78 | 42 | 0.56 | |
| 39 | 1600 | 1 72 | 40 | 0.59 | |
| 40 | 1595 | 1 74 | 40 | 0.59 | |
| 41 | 1599 | 1.77 | 40 | 0.57 | |
| 42 | 1596 | 1 77 | 40 | 0.57 | |
| 42 | 1602 | 1 75 | 26 | 0.59 | |
| 43 | 1604 | 1,75 | 33 | 0.58 | 2.4 |
| 444 | 1607 | 1,75 | 22 | 0,50 | 3,4 |
| 45 | 1507 | 1,70 | 27 | 0,56 | |
| 40 | 1221 | 1,/8 | 23 | 0,00 | |

Πίνακας 4.2.2: Φυσικές & γεωτεχνικές ιδιότητες πυρήνα EL5.

| Depth (cm) | PW Velocity (m/sec) | Gamma Density (gm/cc3) | Μαγνητική επιδεκτικότητα) Magnetic susceptibility (SI)) | Πορώδες (Fractional porosity) | Διατμητική Αντοχή (Shear strenght(kPa) |
|------------|---------------------------|---------------------------|--|-------------------------------------|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | 1633 | 1,58 | 26,84 | 0,68 | |
| 3 | 1604 | 1,58 | 30,94 | 0,68 | |
| 4 | 1590 | 1,58 | 32,76 | 0,68 | 0,6 |
| 5 | 1586 | 1,58 | 34,80 | 0,68 | |
| 6 | 1597 | 1,61 | 36,78 | 0,66 | |
| 7 | 1599 | 1,60 | 38,80 | 0,67 | |
| 8 | 1590 | 1,58 | 38,88 | 0,68 | |
| 9 | 1595 | 1,60 | 38,80 | 0,67 | |
| 10 | 1590 | 1,55 | 40,65 | 0,70 | |
| 11 | 1598 | 1,41 | 40,60 | 0,78 | |
| 12 | 1613 | 1,63 | 42,61 | 0,65 | |
| 13 | 1605 | 1,62 | 44,97 | 0,65 | |
| 14 | 1601 | 1,55 | 44,91 | 0,70 | |
| 15 | 1607 | 1,53 | 46,76 | 0,71 | 0,6 |
| 16 | 1610 | 1,65 | 48,84 | 0,64 | |
| 17 | 1591 | 1,64 | 46,67 | 0,65 | |
| 18 | 1595 | 1,61 | 46,63 | 0,66 | |
| 19 | 1595 | 1,69 | 46,63 | 0,61 | |
| 20 | 1592 | 1,69 | 46,61 | 0,61 | |
| 21 | 1592 | 1,66 | 44,59 | 0,63 | |
| 22 | 1592 | 1,68 | 44,59 | 0,62 | |
| 23 | 1589 | 1,67 | 42,54 | 0,63 | |
| 24 | 1596 | 1,66 | 44,57 | 0,63 | |
| 25 | 1594 | 1,63 | 44,59 | 0,65 | 0,6 |
| 26 | 1590 | 1,66 | 44,61 | 0,63 | |
| 27 | 1593 | 1,65 | 42,61 | 0,64 | |
| 28 | 1593 | 1,68 | 44,68 | 0,62 | |
| 29 | 1590 | 1,69 | 44,75 | 0,61 | |
| 30 | 1593 | 1,68 | 46,86 | 0,62 | |
| 31 | 1603 | 1,72 | 45,18 | 0,60 | |
| 32 | 1597 | 1,70 | 47,58 | 0,61 | |
| 33 | 1594 | 1,71 | 47,39 | 0,61 | |
| 34 | 1594 | 1,67 | 46,92 | 0,63 | |
| 35 | 1604 | 1,68 | 48,88 | 0,62 | 1 |
| 36 | 1589 | 1,69 | 48,56 | 0,61 | |
| 37 | 1591 | 1,69 | 48,41 | 0,61 | |
| 38 | 1588 | 1,71 | 50,55 | 0,61 | |
| 39 | 1594 | 1,69 | 50,52 | 0,61 | |
| 40 | 1591 | 1,69 | 50,57 | 0,62 | |
| 41 | 1591 | 1,71 | 52,48 | 0,61 | |
| 42 | 1592 | 1,69 | 52,40 | 0,62 | |
| 43 | 1592 | 1,67 | 52,36 | 0,63 | |
| 44 | 1593 | 1,69 | 52,31 | 0,61 | |
| 45 | 1593 | 1,67 | 54,30 | 0,63 | |
| 46 | 1599 | 1,67 | 52,34 | 0,63 | |
| 47 | 1601 | 1,69 | 52,34 | 0,62 | |
| 48 | 1604 | 1.71 | 52,44 | 0.60 | |
| 49 | 1606 | 1.72 | 50.69 | 0.60 | |
| 50 | 1596 | 1,69 | 46,00 | 0.62 | 4.6 |
| 51 | 1597 | 1,73 | 40,66 | 0.59 | .,- |
| 52 | 1586.02 | 1 72 | 20.24 | 0.60 | |

| Πίνακας 4 2 3· | Φυσικές & | νεωτεγνικές | ιδιότητες | πυρήνα | UN5 |
|-----------------|-----------|-------------|-----------|--------|------|
| 110,0000 1.2.0. | | 1000000000 | | | 0110 |
| | -1 | | | | |

| Depth (cm) | PW Velocity (m/sec) | Gamma Density (gm/cc3) | Μαγνητική επιδεκτικότητα) Magnetic susceptibility (SI)) | Πορώδες (Fractional porosity) | Διατμητική Αντοχή (Shear strenght(kPa)) |
|------------|---------------------------|---------------------------|--|-------------------------------------|---|
| 1 | | (2/ | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | 1614 | 1,57 | 21,21 | 0,69 | |
| 4 | 1589 | 1,58 | 25,23 | 0,68 | |
| 5 | 1573 | 1,56 | 27,03 | 0,69 | |
| 6 | 1584 | 1,57 | 29,27 | 0,68 | 1,0 |
| 7 | 1587 | 1,58 | 31,37 | 0,68 | |
| 8 | 1589 | 1,58 | 31,37 | 0,68 | |
| 9 | 1589 | 1,58 | 33,36 | 0,68 | |
| 10 | 1594 | 1,57 | 35,36 | 0,68 | |
| 11 | 1587 | 1,58 | 37,40 | 0,68 | |
| 12 | 1583 | 1,59 | 39,39 | 0,68 | |
| 13 | 1580 | 1,58 | 41,39 | 0,68 | 0,4 |
| 14 | 1585 | 1,60 | 41,34 | 0,67 | |
| 15 | 1589 | 1,61 | 41,41 | 0,66 | |
| 10 | 1580 | 1,00 | 43,44 | 0,67 | |
| 17 | 1570 | 1,05 | 43,43 | 0,03 | |
| 10 | 1576 | 1,04 | 41,40 | 0,04 | 2.2 |
| 20 | 1570 | 1,02 | 39 55 | 0,00 | 3,2 |
| 20 | 1589 | 1,04 | 37,53 | 0,04 | |
| 21 | 1585 | 1,63 | 35.43 | 0,65 | |
| 23 | 1587 | 1,62 | 35,47 | 0.65 | |
| 24 | 1589 | 1.65 | 35.54 | 0,64 | |
| 25 | 1588 | 1,64 | 35,50 | 0,65 | |
| 26 | 1590 | 1,65 | 35,58 | 0,64 | |
| 27 | 1589 | 1,63 | 35,69 | 0,65 | |
| 28 | 1586 | 1,64 | 35,74 | 0,64 | |
| 29 | 1589 | 1,65 | 33,65 | 0,64 | |
| 30 | 1588 | 1,63 | 33,64 | 0,65 | |
| 31 | 1586 | 1,65 | 35,71 | 0,64 | |
| 32 | 1591 | 1,65 | 33,57 | 0,64 | |
| 33 | 1589 | 1,64 | 35,63 | 0,64 | |
| 34 | 1590 | 1,65 | 35,58 | 0,64 | |
| 35 | 1592 | 1,64 | 35,60 | 0,64 | |
| 36 | 1592 | 1,65 | 35,60 | 0,64 | |
| 37 | 1592 | 1,62 | 35,57 | 0,65 | |
| 38 | 1594 | 1,63 | 33,45 | 0,65 | |
| 39 | 1595 | 1,64 | 35,50 | 0,64 | |
| 40 | 1593 | 1,64 | 33,33 | 0,64 | |
| 41 | 1592 | 1,64 | 35,37 | 0,65 | |
| 42 | 1593 | 1,63 | 33,22 | 0,65 | |
| 43 | 1594 | 1,63 | 33,07 | 0,65 | |
| 44 | 1591 | 1,65 | 30,94 | 0,64 | |
| 45 | 1603 | 1,04 | 30,96 | 0,64 | 3,0 |
| 40 | 1500 | 1,04 | 20,80 | 0,64 | |
| 4/ | 1200 | 1,0/ | 16 56 | 0,03 | |
| 40 | 1303 | 1,00 | 10,50 | 0,00 | |
| 49 | | | | | |
| 51 | | | | | |
| 52 | | | | | |
| 52 | | | | | 2 |
| 55 | | | | | ۷, |

Πίνακας 4.2.4: Φυσικές & γεωτεχνικές ιδιότητες πυρήνα UN6A

| Depth (cm) 1 | PW Velocity (m/sec) | Gamma Density (gm/cc3) | Μαγνητική επιδεκτικότητα) Magnetic susceptibility (SI)) | Πορώδες (Fractional porosity) | Διατμητική Αντοχή (Shear strenght(kPa) |
|-----------------|---------------------|------------------------|--|----------------------------------|---|
| 2 | | | | | 0, |
| 3 | 1452 | 1,69 | 25,24 | 0,61 | |
| 4 | 1587 | 1,70 | 26,86 | 0,61 | |
| 5 | 1603 | 1,71 | 29,20 | 0,60 | |
| 6 | 1611 | 1,69 | 31,55 | 0,61 | |
| 7 | 1599 | 1,71 | 31,59 | 0,60 | |
| 8 | 1601 | 1,72 | 33,74 | 0,60 | |
| 9 | 1601 | 1,76 | 33,82 | 0,58 | |
| 10 | 1596 | 1,75 | 33,90 | 0,58 | |
| 11 | 1598 | 1,70 | 33,98 | 0,57 | |
| 12 | 1612 | 1,/3 | 34,03 | 0,59 | |
| 13 | 1605 | 1,72 | 33,94 | 0,60 | |
| 14 | 1599 | 1,/3 | 33,82 | 0,59 | |
| 15 | 1614 | 1,// | 35,85 | 0,57 | 1,0 |
| 10 | 1014 | 1,78 | 33,08 | 0,50 | |
| 17 | 1610 | 1,75 | 27.69 | 0,58 | |
| 10 | 1610 | 1,70 | 37,08 | 0,57 | |
| 20 | 1605 | 1,70 | 37,00 | 0,58 | |
| 20 | 1605 | 1,77 | 39,64 | 0,57 | |
| 22 | 1604 | 1,75 | 39.56 | 0,50 | |
| 23 | 1605 | 1,00 | 39.48 | 0,55 | |
| 20 | 1604 | 1.78 | 39.40 | 0.56 | |
| 25 | 1602 | 1.81 | 39.34 | 0.54 | 1.0 |
| 26 | 1602 | 1.79 | 41.36 | 0.56 | |
| 27 | 1601 | 1,76 | 41,36 | 0,58 | |
| 28 | 1599 | 1,79 | 41,36 | 0,56 | |
| 29 | 1604 | 1,80 | 41,38 | 0,55 | |
| 30 | 1600 | 1,79 | 43,44 | 0,56 | |
| 31 | 1604 | 1,81 | 43,46 | 0,54 | |
| 32 | 1607 | 1,80 | 43,50 | 0,55 | |
| 33 | 1605 | 1,83 | 43,52 | 0,53 | |
| 34 | 1608 | 1,83 | 43,53 | 0,54 | |
| 35 | 1612 | 1,82 | 43,52 | 0,54 | |
| 36 | 1609 | 1,81 | 43,50 | 0,54 | |
| 37 | 1611 | 1,84 | 43,50 | 0,53 | |
| 38 | 1613 | 1,84 | 41,43 | 0,53 | |
| 39 | 1616 | 1,86 | 39,39 | 0,52 | |
| 40 | 1627 | 1,87 | 41,48 | 0,51 | 1,4 |
| 41 | 1624 | 1,88 | 41,53 | 0,50 | |
| 42 | 1619 | 1,84 | 39,31 | 0,53 | |
| 43 | 1616 | 1,84 | 39,21 | 0,53 | |
| 44 | 1611 | 1,83 | 39,20 | 0,53 | |
| 45 | 1613 | 1,84 | 37,13 | 0,53 | |
| 46 | 1618 | 1,87 | 35,00 | 0,51 | |
| 47 | 1623 | 1,89 | 35,03 | 0,50 | |
| 48 | 161/ | 1,87 | 30,81 | 0,51 | |
| 49 | 1622 | 1,89 | 28,68 | 0,50 | |
| 50 | 1625 | 1,80 | 20,01 | 0,52 | 1,: |
| 51 | 1015 | 1,88 | 22,38 | 0,51 | |
| 32 | 1021 | 1,88 | 18,18 | 0,50 | |

Πίνακας 4.2.5: Φυσικές & γεωτεχνικές ιδιότητες πυρήνα UN13

| Denth (cm) | PW Velocity | Gamma Density (gm/cc3) | Μαγνητική επιδεκτικότητα) Magnetic suscentibility (SD) | Πορώδες (Fractional porosity) | Διατμητική Αντοχή (Shear strenght(kPa)) |
|------------|-------------|---------------------------|---|-------------------------------------|--|
| 1 | (m/sec) | (gm/ccs) | susceptionity (51)) | porosity) | strengit(Ki a)) |
| 2 | | | | | |
| 2 | | 1.44 | 4 | 0.76 | 1.6 |
| 3 | 1616 | 1,44 | 4 | 0,70 | 1,0 |
| 4 | 1610 | 1,45 | 2 | 0,70 | |
| 5 | 1610 | 1,40 | 2 | 0,75 | |
| 7 | 1610 | 1,40 | | 0,75 | |
| , o | 1609 | 1,44 | 2 | 0,70 | |
| 0 | 1609 | 1,45 | 2 | 0,70 | |
| 10 | 1611 | 1,40 | 4 | 0,75 | 1.2 |
| 10 | 1611 | 1,45 | 2 | 0,70 | 1,2 |
| 11 | 1014 | 1,45 | 2 | 0,70 | |
| 12 | 1013 | 1,40 | 4 | 0,75 | |
| 14 | 1012 | 1,40 | 2 | 0,75 | |
| 14 | 1605 | 1,47 | 4 | 0,74 | |
| 15 | 1602 | 1,47 | 4 | 0,73 | 10 |
| 10 | 1002 | 1,52 | 4 | 0,71 | 1,8 |
| 1/ | 1596 | 1,52 | 4 | 0,71 | 1.0 |
| 18 | 1012 | 1,52 | 4 | 0,71 | 1,2 |
| 19 | 1601 | 1,53 | 4 | 0,71 | |
| 20 | 1595 | 1,55 | 4 | 0,7 | |
| 21 | 1588 | 1,59 | 4 | 0,67 | |
| 22 | 1588 | 1,57 | 6 | 0,69 | |
| 23 | 1589 | 1,55 | 6 | 0,7 | |
| 24 | 1603 | 1,59 | 8 | 0,68 | |
| 25 | 1598 | 1,59 | 8 | 0,67 | |
| 26 | 1596 | 1,63 | 10 | 0,65 | |
| 27 | 1590 | 1,58 | 13 | 0,68 | |
| 28 | 1596 | 1,62 | 15 | 0,66 | |
| 29 | 1590 | 1,65 | 17 | 0,64 | |
| 30 | 1583 | 1,63 | 19 | 0,65 | |
| 31 | 1593 | 1,67 | 21 | 0,63 | |
| 32 | 1591 | 1,66 | 21 | 0,63 | |
| 33 | 1608 | 1,67 | 21 | 0,63 | |
| 34 | 1596 | 1,66 | 23 | 0,63 | |
| 35 | 1591 | 1,63 | 23 | 0,65 | |
| 36 | 1590 | 1,67 | 23 | 0,63 | |
| 37 | 1608 | 1,66 | 21 | 0,63 | |
| 38 | 1602 | 1,69 | 21 | 0,62 | |
| 39 | 1597 | 1,68 | 21 | 0,62 | |
| 40 | 1589 | 1,69 | 21 | 0,62 | |
| 41 | 1586 | 1,65 | 21 | 0,64 | |
| 42 | 1619 | 1,67 | 19 | 0,63 | |
| 43 | 1611 | 1,68 | 19 | 0,62 | 1,8 |
| 44 | 1606 | 1,7 | 17 | 0,61 | |
| 45 | 1613 | 1,7 | 15 | 0,61 | |
| 46 | 1606 | 1,75 | 13 | 0,58 | |
| | | | | | |

Πίνακας 4.2.6: Φυσικές & γεωτεχνικές ιδιότητες πυρήνα S2

| | PW Velocity | Gamma Density | Μαγνητική επιδεκτικότητα) Magnetic susceptibility | Πορώδες (Fractional | Διατμητική Αντογή |
|------------|-------------|---------------|---|------------------------|---------------------|
| Depth (cm) | (m/sec) | (gm/cc3) | (SD) | porosity) | (Shear strenght(kPa |
| 1 | (m/sec) | (gm/ccs) | (31)) | porosity) | (Shear Strenght(Kra |
| 2 | | | | | |
| 3 | 1667 534 | 1 7572 | 30.6833 | 0.5759 | 1 |
| 1 | 1637 691 | 1,7372 | 30,0033 | 0,5735 | 1 |
| 5 | 1641 204 | 1,7204 | 24 1504 | 0,5337 | |
| 6 | 1652 215 | 1,7017 | 26 721 | 0,5753 | |
| 7 | 1645 139 | 1,0420 | 38,8029 | 0,5265 | |
| 8 | 1641.032 | 1,845 | 38,6936 | 0,5236 | |
| <u> </u> | 1664 222 | 1,0045 | 40 7201 | 0,5130 | |
| 10 | 1656 426 | 1,0522 | 40,7301 | 0,5208 | 4 |
| 10 | 1631.09 | 1,0004 | 40,7501 | 0,5125 | 4 |
| 12 | 1634,006 | 1,0002 | 40,5005 | 0,5127 | |
| 12 | 1639,693 | 1,0251 | 40,5301 | 0,5377 | |
| 13 | 1624,083 | 1,8488 | 40,5338 | 0,5228 | |
| 14 | 1620.56 | 1,0304 | 40,5358 | 0,5288 | |
| 15 | 1030,50 | 1,823 | 40,5338 | 0,5377 | |
| 10 | 1023,537 | 1,8255 | 38,4702 | 0,5302 | |
| 1/ | 1644,749 | 1,8003 | 30,4218 | 0,5161 | |
| 18 | 1641,168 | 1,8505 | 36,4071 | 0,5217 | |
| 19 | 1650,734 | 1,8397 | 36,4071 | 0,528 | |
| 20 | 1634,096 | 1,8366 | 36,4951 | 0,5298 | 2,8 |
| 21 | 1626,121 | 1,8047 | 38,5536 | 0,5483 | |
| 22 | 1624,024 | 1,7892 | 38,5692 | 0,5573 | |
| 23 | 1623,105 | 1,8007 | 38,6313 | 0,5506 | |
| 24 | 1631,555 | 1,8548 | 40,7301 | 0,5193 | |
| 25 | 1639,87 | 1,8375 | 44,8934 | 0,5293 | |
| 26 | 1636,807 | 1,8519 | 44,984 | 0,5209 | |
| 27 | 1639,916 | 1,8473 | 45,0384 | 0,5236 | |
| 28 | 1639,218 | 1,8396 | 45,093 | 0,5281 | |
| 29 | 1630,47 | 1,832 | 43,1302 | 0,5325 | |
| 30 | 1630,969 | 1,8181 | 41,176 | 0,5406 | 4 |
| 31 | 1625,578 | 1,8178 | 37,1633 | 0,5407 | |
| 32 | 1622,981 | 1,8288 | 37,0883 | 0,5344 | |
| 33 | 1626,903 | 1,832 | 34,7884 | 0,5325 | |
| 34 | 1629,014 | 1,8395 | 32,7288 | 0,5281 | |
| 35 | 1641,36 | 1,8803 | 30,7328 | 0,5045 | |
| 36 | 1628,552 | 1,8601 | 30,708 | 0,5162 | |
| 37 | 1635,878 | 1,8685 | 28,6724 | 0,5113 | |
| 38 | 1628,584 | 1,8708 | 26,6996 | 0,51 | |
| 39 | 1630,238 | 1,8838 | 26,7104 | 0,5024 | |
| 40 | 1635,497 | 1,895 | 24,7555 | 0,4959 | 1,6 |
| 41 | 1646,576 | 1,8989 | 20,7131 | 0,4937 | |
| 42 | 1645,999 | 1,9094 | 16,477 | 0,4876 | |
| 43 | 1632,629 | | 10,2981 | | |

Πίνακας 4.2.7: Φυσικές & γεωτεχνικές ιδιότητες πυρήνα S7B

| Λείνικα | Al(ppm) | Si(ppm) | P (ppm) | K (ppm) | Ca (nnm) | Ti (ppm) | Fe (nnm) | Na (ppm) | Mg (nnm |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|
| EL 1.0.1 | 2 50 | 11.97 | 0.01 | 0.60 | 10.60 | 0.20 | 1.05 | 0.77 | 1.40 |
| EL-10-1 | 2,39 | 14.20 | 0,01 | 0,00 | 19,00 | 0,20 | 1,00 | 0,77 | 1,40 |
| EL-1 10-11 | 3,14 | 14,20 | 0,01 | 0,73 | 10,34 | 0,25 | 1,14 | 0,04 | 1,00 |
| EL-1 20-21 | 3,33 | 15,36 | 0,01 | 0,82 | 14,72 | 0,27 | 1,23 | 0,70 | 1,00 |
| EL-1 30-31 | 2,96 | 13,40 | 0,01 | 0,70 | 17,57 | 0,23 | 1,08 | 0,68 | 1,54 |
| EL-141-42 | 3,10 | 14,25 | 0,01 | 0,73 | 16,60 | 0,25 | 1,13 | 0,63 | 1,57 |
| EL-5 0-1 | 4,16 | 12,87 | 0,03 | 0,71 | 10,59 | 0,23 | 1,35 | 1,23 | 1,91 |
| EL-5 10-11 | 3,19 | 8,89 | 0,03 | 0,52 | 15,47 | 0,15 | 1,20 | 1,26 | 1,97 |
| EL-5 18-19 | 4,24 | 13,63 | 0,02 | 0,73 | 11,64 | 0,24 | 1,30 | 1,01 | 2,00 |
| EL-5 20,5-21,5 | 3,57 | 14,26 | 0,02 | 0,89 | 13,06 | 0,26 | 1,38 | 1,02 | 1,78 |
| EL-5 30,5-31,5 | 3,87 | 15,97 | 0,01 | 0,96 | 12,26 | 0,29 | 1,40 | 0,85 | 1,80 |
| EL-5 45-46 | 4,09 | 15,96 | 0,01 | 0,93 | 12,24 | 0,29 | 1,42 | 0,69 | 1,79 |
| UN-5A 0-1 | 2,17 | 11,95 | 0,02 | 0,54 | 16,98 | 0,20 | 1,38 | 0,82 | 3,47 |
| UN-5A 10-11 | 2,35 | 11,96 | 0,02 | 0,54 | 16,58 | 0,19 | 1,35 | 0,83 | 3,52 |
| UN-5A 20-21 | 2,52 | 11,77 | 0,01 | 0,52 | 16,44 | 0,19 | 1,34 | 0,75 | 3,54 |
| UN-5A 30-31 | 2,38 | 11,96 | 0,01 | 0,55 | 17,24 | 0,19 | 1,35 | 0,73 | 3,53 |
| UN-5A 40-41 | 2,33 | 12,22 | 0,01 | 0,57 | 16,89 | 0,19 | 1,37 | 0,71 | 3,60 |
| UN-5A 50,5-51,5 | 2,46 | 12,79 | 0,01 | 0,55 | 16,40 | 0,20 | 1,48 | 0,68 | 3,87 |
| UN-6A 0-1 | 2,80 | 10,51 | 0,02 | 0,49 | 17,46 | 0,19 | 1,10 | 0,92 | 2,64 |
| UN-6A 10-11 | 2,33 | 11,01 | 0,02 | 0,57 | 18,57 | 0,20 | 1,14 | 0,96 | 2,56 |
| UN-6A 20-21 | 2,62 | 11,14 | 0,02 | 0,58 | 17,79 | 0,20 | 1,19 | 0,86 | 2,63 |
| UN-6A 30-31 | 2,49 | 11,35 | 0,01 | 0,62 | 18,38 | 0,21 | 1,22 | 0,79 | 2,65 |
| UN-6A 40-41 | 2,68 | 11,52 | 0,01 | 0,64 | 17,26 | 0,21 | 1,27 | 0,81 | 2,68 |
| UN-6A 53-54 | 2,70 | 11,79 | 0,01 | 0,64 | 17,80 | 0,22 | 1,29 | 0,72 | 2,70 |
| UN-13 0-1 | 2,74 | 12,39 | 0,02 | 0,61 | 17,85 | 0,24 | 1,20 | 0,78 | 2,22 |
| UN-13 10-11 | 2,62 | 12,39 | 0,02 | 0,62 | 18,11 | 0,24 | 1,20 | 0,76 | 2,19 |
| UN-13 20-21 | 2,81 | 12,49 | 0,02 | 0,67 | 17,72 | 0,25 | 1,19 | 0,77 | 2,29 |
| UN-13 30-31 | 2,97 | 13,24 | 0,02 | 0,72 | 17,29 | 0,27 | 1,30 | 0,65 | 2,32 |
| UN-13 40-41 | 2,93 | 12,70 | 0,02 | 0,65 | 17,26 | 0,25 | 1,17 | 0,72 | 2,24 |
| UN-13 50,5-51,5 | 2,59 | 12,87 | 0,01 | 0,60 | 18,71 | 0,25 | 1,06 | 0,63 | 2,12 |
| S2 0-1 | 2,72 | 11,00 | 0,02 | 0,66 | 14,27 | 0,20 | 1,19 | 1,39 | 1,99 |
| S2 10-11 | 2,88 | 10,63 | 0,02 | 0,66 | 14,47 | 0,19 | 1,22 | 1,40 | 2,04 |
| S2 20-21 | 3,45 | 13,83 | 0,01 | 0,90 | 13,17 | 0,25 | 1,43 | 0,96 | 2,15 |
| S2 30-31 | 3,90 | 14,10 | 0,01 | 0,88 | 12,90 | 0,26 | 1,40 | 0,79 | 2,20 |
| S2 40-41 | 3,43 | 13,28 | 0,01 | 0,85 | 15.01 | 0,24 | 1,28 | 0,78 | 1.98 |
| S2 44-45 | 3,59 | 14.08 | 0,01 | 0,90 | 14.35 | 0,26 | 1,36 | 0,74 | 1.99 |
| S7B 0-1 | 2,18 | 12.82 | 0,02 | 0,40 | 18.80 | 0,18 | 0,85 | 0,67 | 1.86 |
| S7B 10-11 | 1.94 | 11.66 | 0.02 | 0,45 | 20.51 | 0,18 | 0,90 | 0,63 | 1.99 |
| S7B 20-21 | 1.91 | 11.73 | 0.01 | 0.45 | 20.73 | 0.19 | 0.87 | 0.62 | 1,91 |
| S7B 24-25 | 1,93 | 10.76 | 0.01 | 0.46 | 21 20 | 0.18 | 0.87 | 0.66 | 1 96 |
| S7B 30-21 | 1.82 | 10.99 | 0.01 | 0.46 | 21,20 | 0.18 | 0.90 | 0.58 | 1 9/ |
| 210 20-21 | 1,00 | 10,00 | 0,01 | 0,40 | 21,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 1,74 |

Πίνακας 4.3.1: Απεικόνιση των συγκεντρώσεων σε ppm των κύριων στοιχείων

| $\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | $\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 72,4 1,438,5 5,446,5 68,1 6,96 84,3 | 70,2 91,7 63,4 85,5 66,4 89,3 | |
|---|--|--|--|---|
| 5,5 5,4 44,7 10,0 12,1 5,6 10,3 43,4 17 86,1 2,9 3,8 44 17 47,9 2,9 3,8 44 17 47,9 | 41,7 10,0 12,1 43,4 17 86,1 44 17 47,9 | , 41,5 ,1 438,5 ,5 446,5 ,6 96 | 70,2 63,4 66,4 | |
| 5,3 5,4 41,7 10,0 8,6 10,3 43,4 17 2,9 3,8 44 17 | 41,7 10,0 43,4 17 44 17 | 0 1 1 1 0 | | |
| 5,3 3,4 41,3 5,6 10,3 43,4 2,9 3,8 44 | 43,4 | 19 11 9 | 18 16,5 18,3 | |
| 3,5 3,4 3,4 3,4 3,4 3,8 3,8 3,8 3,8 3,8 3,8 3,8 3,8 3,8 3,8 | | 93,9 89,4 88,5 | 93,7 88,1 87,3 | |
| r 9 6 7 | 3,8 3,8 | 29,2 29,2 46 10,5 | 4,4 3,1 5 | |
| | 3,6 2,9 | 2,7 4,1 3,4 5,1 | 5,4 5 6,7 | |
| 1212,4 | 1212,4 | 667,4 667,4 689 624,2 | 746,9 816,2 841,7 | |
| 3,5 | 3,5 | 10 0,c 6,4 4 | 3,6 3,6 3 | |
| 1,5 1,3 1,3 | 1,5 1,3 | 2,7 2,7 0,9 | 1,9 1,6 0,7 | |
| 45,5 48,3 48,3 | 45,5 48,3 48,3 | 40, 2 64, 2 63, 2 83, 3 | 90,6 83,3 88,2 | |
| 42,3 49,7 26,9 | 42,7 49,7 26,9 | 20,3 119 90,4 44,5 | 24,4 20,1 23,5 | |
| 60,7 84,1 95,3 | 00,7 84,1 95,3 | 23,3 [55,9 [65,2]] 174 | 67,4 (44,5 (32,6 | |
| 14,7 | 14,7 17,1 | 14,4 1 14,4 1 13,6 1 18,5 | 25,5 1 21 1 22,5 1 | |
| 5,7 6 | 5,7 6 | 6,4 8,3 | 8,7 7,6 8,5 | |
| 2,2 2,4 | 2,2 2,4 | 2,4 7,3 14 4,3 | 2,9 2,8 2,8 | |
| 1 2 6 | 1 - 6 | 2 7 1 0 | ,4 ,6 | |
| 36 36 36 | 365 | 3 33 | 362 355 371 | |
| 16,2 16,2 | 16,2 16,2 | 18,7 21,1 27,8 | 24,5 18,5 25 | |
| 99,9 39,9 | 99,9 39,9 | 144,8 144,8 87,4 100,8 | 82,6 79,8 80,9 | |
| 23,2 14 | 23,2 14 | 145,3 52 19,4 | 18,5 9,7 11,1 | |
| 134,4 131,2 135,5 | 131,2 135,5 135,5 | 179,6 160,8 158,6 | 157,2 145,6 139,7 | |
| 8,3 9,1 7,2 | 9,1 7,2 | 12,9 12,9 14,3 16 | 14 13,4 11,2 | |
| 33,4 41,9 35,4 | 41,9 35,4 | 37 37 43,6 43,4 | 54,5 49,6 51,6 | |
| 53,5 53,5 | 66,6 53,5 | 276,2 245,9 135,4 | 100,2 98,5 95,5 | |
| 140,9 | 140,4 147,5 140,9 | 161,8 161,8 161,3 196,1 | 209,4 201,5 204,1 | |
| | 12,9 9,7 | 22,1 24,7 20,1 | 21,3 15,4 19,9 | |
| 12,9 9,7 | | 71 7 | 30-31 40-41 44-45 | |
| 24-23 1.3,0 1 30-31 12,9 1 0,5-41,5 9,7 1 | 24-22 30-31 3,5-41,5 | 일학학회 | | |
| 15,0 15,0 | 0'C/ +'0+T 0'CT | 31 12,9 147,5 66,6 | 30-31 12,9 147,5 66,6 10,5-41,5 9,7 140,9 35,7 20,2-1 23,1 161,8 276,2 10-11 24,7 161,3 245,2 20-21 20,1 196,1 135,4 | XFB 20-31 12.9 147.5 66.6 8-40,5-41,5 9.7 140,9 53.3 8-40,5-41,5 9.7 140,9 53.3 52.0-2 22.1 161,8 276.5 52.0-11 24,7 161,3 245.7 52.0-21 20,1 196,1 135.4 52.0-21 20,1 196,1 135.4 52.40-31 21,3 209,4 1013.5 52.40-41 15,4 201,5 98.0 52.40-41 15,4 204,5 90.0 52.40-45 19,9 204,1 95.5 52.40-45 19,9 204,1 95.5 |

Πίνακας 4.3.2:Αποτελέσματα συγκέντρωσης των ιχνοστοιχείων σε ppm.

| Δείγμα(Sample) | Άμμος(sand) | Ιλύς(Silt) | Άργιλος(clay) |
|-----------------|-------------|------------|---------------|
| EL1(0-1) | 24,49 | 35,78 | 39,74 |
| EL1(10-11) | 18,31 | 44,21 | 37,48 |
| EL1(20-21) | 15,15 | 45,77 | 39,08 |
| EL1(30-31) | 32,78 | 35,80 | 31,42 |
| EL1(41-42) | 30,54 | 34,48 | 34,98 |
| EL5(0-1) | 5,65 | 61,68 | 32,67 |
| EL5(10-11) | 12,53 | 28,57 | 58,90 |
| EL5(18-19) | 5,58 | 48,80 | 45,62 |
| EL5(20,5-21,5) | 8,21 | 44,12 | 47,68 |
| EL5(30,5-31,5) | 0,01 | 48,50 | 51,48 |
| EL5(45-46) | 8,35 | 42,22 | 49,43 |
| UN5A (0-1) | 1,01 | 55,77 | 43,22 |
| UN5A(10-11) | 0,66 | 58,87 | 40,48 |
| UN5A(20-21) | 0,02 | 52,22 | 47,76 |
| UN5A(30-31) | 1,09 | 51,31 | 47,60 |
| UN5A(40-41) | 0,35 | 60,11 | 39,54 |
| UN5A(50,5-51,5) | 0,31 | 59,43 | 40,25 |
| UN6A(0-1) | 2,31 | 48,50 | 49,19 |
| UN6A(10-11) | 0,84 | 53,92 | 45,24 |
| UN6A(20-21) | 1,17 | 47,60 | 51,23 |
| UN6A(30-31) | 5,77 | 51,65 | 42,57 |
| UN6A(40-41) | 0,80 | 46,88 | 52,32 |
| UN6A(53-54) | 0,91 | 50,04 | 49,05 |
| UN13(0-1) | 4,17 | 54,10 | 41,73 |
| UN13(10-11) | 1,56 | 54,08 | 44,36 |
| UN13(20-21) | 2,68 | 55,67 | 41,65 |
| UN13(30-31) | 2,47 | 53,34 | 44,19 |
| UN13(40-41) | 4,21 | 51,71 | 44,07 |
| UN13(50,5-51,5) | 5,83 | 66,65 | 27,51 |
| S2(0-1) | 4,17 | 38,78 | 57,05 |
| S2(10-11) | 0,00 | 57,23 | 42,77 |
| S2(20-21) | 7,11 | 38,71 | 54,18 |
| S2(30-31) | 1,29 | 50,48 | 48,24 |
| S2(40-41) | 10,96 | 36,58 | 52,46 |
| S2(44-45) | 3,00 | 39,69 | 57,30 |
| S7B(0-1) | 64,35 | 20,57 | 15,08 |
| S7B(10-11) | 13,40 | 55,49 | 31,11 |
| S7B(20-21) | 5,97 | 62,66 | 31,38 |
| S7B(24-25) | 4,94 | 62,20 | 32,85 |
| S7B(30-31) | 0,09 | 66,01 | 33,91 |
| S7B(40,5-41,5) | 1,17 | 65,62 | 33,22 |

Πίνακας 4.2.7:Απεικόνιση των κοκκομετρικών αποτελεσμάτων