

ΛΟΥΚΑΣ Χ. Ε. ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΔΗΣ

Μηχ. Μεταλλείων- Μεταλλουργός Μηχ.- Χημικός Μηχανικός ΕΜΠ

ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΣΤΑ ΛΙΜΑΝΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΙΑ,
 ΤΟΥ ΛΑΥΡΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΡΑΦΗΝΑΣ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΚΟΛΠΟ
 ΤΗΣ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ



00144238

Διδακτορική διατριβή που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών
 Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ. ΕΙΣ.	44238 tcd
COMP.	21844
ΤΑΞΗ	SSI 4'603 XAP
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2005

ΛΟΥΚΑΣ Χ. Ε. ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΔΗΣ

Μηχ. Μεταλλείων- Μεταλλουργός Μηχ.- Χημικός Μηχανικός ΕΜΠ

**ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΣΤΑ ΛΙΜΑΝΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΙΑ,
ΤΟΥ ΛΑΥΡΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΡΑΦΗΝΑΣ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΚΟΛΠΟ
ΤΗΣ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ**

Διδακτορική διατριβή που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών

Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2005

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα της παρούσας διδακτορικής διατριβής μου ανατέθηκε από την αν. καθηγήτρια του τμήματος Ναυτιλιακών σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς κα. Φ. Σακελλαριάδου, η οποία είχε την επίβλεψη της και την οποία ευχαριστώ θερμότατα για την πολύπλευρη καθοδήγησή της, τις πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις της και τη στήριξη της σε όλα τα στάδια της εκπόνησής της διατριβής.

Ευχαριστώ θερμά τον αν. καθηγητή του Χημικού τμήματος της Φυσικομαθηματικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Μ. Δασενάκη, μέλος της Συμβουλευτικής επιτροπής, για τις χρήσιμες συμβουλές και υποδείξεις του, τη συμπαράστασή του και τη διάθεση του εργαστηρίου για το Πειραματικό τμήμα της εργασίας αυτής.

Ευχαριστώ θερμά τον αν. καθηγητή του τμήματος Ναυτιλιακών σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς κ. Β. Τσελέντη για τη βοήθεια, τις συμβουλές και τη συμπαράστασή του.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον Χημικό (M.Sc.) και υποψήφιο διδάκτορα Μ. Λαδάκη για τη βοήθειά του τόσο στο εργαστήριο και στη βιβλιογραφική στήριξη της διατριβής όσο και στα θέματα ηλεκτρονικού υπολογιστή σελιδοποίησης και εκτύπωσης της εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζω στο Φυσικό Χ. Τερζίδη για τη βοήθειά του σε θέματα ηλεκτρονικού υπολογιστή και στη σελιδοποίηση της εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον Μηχανικό Μεταλλείων - Μεταλλουργό Κ. Αραμπατζή για τη βοήθειά του σε θέματα τόσο ηλεκτρονικού υπολογιστή, όσο και Μεταλλευτικής.

Επιπλέον θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον αν. καθηγητή του Φαρμακευτικού τμήματος της Φυσικομαθηματικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Β. Ρούσση για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διάθεση σκάφους στις δειγματοληψίες.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζω στη Χημικό (M.Sc.) Μ. Μαρουλάκου για τη αποτελεσματική συνεργασία που είχαμε κατά την εκπόνηση αυτής της διατριβής καθώς και για τις πολύτιμες παρατηρήσεις της.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά το Δρα Χημικό Σ. Καραβώλτσο για την σημαντική βοήθειά του στο εργαστήριο.

Επιπλέον θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στο ελληνικό γραφείο της Greenpeace για τη δυνατότητα χρήσης της βιβλιοθήκης και το Διευθυντή του Ν. Χαραλαμπίδη για τις πολύτιμες πληροφορίες, παρατηρήσεις και συμβουλές του.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζω στο Δρα Γεωχημικό Λ. Μάντζο για τη βοήθειά του σε γεωλογικά και τεχνικά θέματα και τη συμπαράστασή του.

Ακόμη, θερμές ευχαριστίες εκφράζω στους ερευνητές του ΕΚΘΕ κ.κ. Χ. Αναγνώστου και Δ. Γεωργόπουλο για τις πολύτιμες παρατηρήσεις τους.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στο Δρα Μηχανικό Μεταλλείων - Μεταλλουργό Χ. Ρούμπο για τη βοήθειά του σε θέματα Μεταλλευτικής, στο Φυσικό Ν. Ζιακόπουλο, το Μαθηματικό Δ. Ζιακόπουλο (ΕΜΥ), τον αν. καθηγητή του Χημικού τμήματος της Φυσικομαθηματικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών Ν. Ψαρουδάκη, την ερευνήτρια του ΕΚΘΕ Α. Παυλίδου και τον Χημικό (Μ.Σc.) Η. Αδριανό για τη βοήθειά τους στη χρήση του προγράμματος surfer, στον πλωτάρχη (ΔΣ) Χημικό Μηχανικό Η. Σαμπατακάκη για τη βοήθειά του σε λιμενικά και ναυτιλιακά θέματα, στη Μηχανικό Μεταλλείων - Μεταλλουργό (Μ.Σc.) Μ. Δρόσου για τη βοήθειά της σε θέματα Πετρογραφίας και Γεωλογίας, στο skipper Χ. Τουρκολιά για τη βοήθειά του σε θέματα σχετικά με τους όρμους και τις μαρίνες, στην Περιβαλλοντολόγο (Μ.Σc) Ρ. Καργιώτη για τη συνεργασία στη μέτρηση του TOC και στους Χημικούς του Γενικού Χημείου του Κράτους (Τσόχα) Θ. Κωνσταντίνου και Σ. Μπαστούνη για τις πολύτιμες συμβουλές τους σχετικά με τη χρήση των οργάνων μέτρησης.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές του Χημικού τμήματος της Φυσικομαθηματικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών που έτυχε να μοιραστούμε το εργαστήριο και να έχουμε κοινές δειγματοληψίες για την άψογη συνεργασία.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στο Λιμενικό Σώμα, και ιδιαίτερα στα Κεντρικά Λιμεναρχεία Πειραιώς και Ραφήνας και στο Λιμεναρχείο Λαυρίου, όπως και στον ΟΑΠ, για τη διάθεση σκάφους για τις δειγματοληψίες. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στους αξιωματικούς και στα πληρώματα των σκαφών που διατέθηκαν για το σκοπό αυτό.

Τέλος (last but not least) θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμότατα τους γονείς μου και τον αδελφό μου για τη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής αυτής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	9
2. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	12
2.1. Βιοχημικός ρόλος βαρέων μετάλλων.....	12
2.2. Πηγές βαρέων μετάλλων στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	13
2.3. Κατανομή των βαρέων μετάλλων στη θάλασσα	15
2.4. Ιζήματα	16
2.4.1. Διαδικασίες ενσωμάτωσης των μετάλλων στα ιζήματα.....	16
2.4.2. Προσοφημένα.....	16
2.4.3. Σχετιζόμενα με ανθρακικά.....	17
2.4.4. Συνδεδεμένα με οξειδία σιδήρου και μαγγανίου	17
2.4.5. Συνδεδεμένα με οργανική ύλη	18
2.4.6. Σουλφίδια.....	18
2.4.7. Ενωμένα με πυρίτιο μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα ορυκτών	18
2.5. Μεταβολές στα ιζήματα μετά την απόθεση / διαγένεση	19
3. ΛΙΜΑΝΙΑ, ΝΑΥΠΗΓΟΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	20
3.1. Ρύπανση από λιμενικές υπηρεσίες.....	20
3.2. Ρύπανση από σκουριά και υφαλοχρώματα	21
3.3. Ρύπανση στη ναυπηγοεπισκευαστική ζώνη	21
3.4. Γενικότερη ρύπανση	22
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	24
4.1. Βασικός στόχος της μελέτης.....	24
4.2. Επιλογή της μελέτης ιζημάτων	24
4.3. Δειγματοληψία.....	25
4.4. Προκατεργασία δειγμάτων.....	26
4.5. Προσδιορισμός οργανικού άνθρακα.....	26
4.6. Προσδιορισμός περιεχόμενων ανθρακικών αλάτων (ανθρακικού ασβεστίου).....	27

4.7. Προσδιορισμός ολικών συγκεντρώσεων των μετάλλων.....	27
4.8. Προσδιορισμός των γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων.....	28
4.9. Οργανολογία	30
5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ.....	31
5.1. Υπολογισμός αποθεμάτων – Γεωστατιστική	31
5.2. Κάνναβος δειγματοληψίας-φαινόμενο κόκκου-επεξεργασία δεδομένων.....	33
5.3. Ισοπεριεκτικοί χάρτες: τρόποι επεξεργασίας αποτελεσμάτων	34
5.4. Γεωμετρικές μέθοδοι.....	35
5.4.1. Μέθοδος των τομών (mean-area method).....	35
5.4.2. Μέθοδος των τετραγώνων και ορθογωνίων	36
5.4.3. Μέθοδος των πολυγώνων (polygon method)	36
5.4.4. Μέθοδος των τριγώνων (triangle method)	37
5.5. Μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων (inverse distance to power method)	41
5.6. Μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα (nearest neighbor method).....	41
5.7. Μέθοδος τοπικών υπολογισμών	42
5.8. Μέθοδος ελάχιστης καμπυλότητας (minimum curvature method).....	43
5.9. Μέθοδος κρίγκινγκ (kriging).....	43
5.10. Μέθοδος συναρτήσεων βασισμένων στην απόσταση (radial basis function method).....	44
5.11. Μέθοδος πολωνομικής παλινδρόμησης (polynomial regression method).....	45
5.12. Επιλογή μεθόδου απεικόνισης.....	45
6. ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΡΑΦΗΝΑΣ	47
6.1. Γεωλογία	47
6.2. Αναλυτικά αποτελέσματα.....	48
6.2.1. Σίδηρος.....	48
6.2.2. Αργίλιο	49
6.2.3. Μαγγάνιο	64
6.2.4. Νικέλιο	64
6.2.5. Χρόμιο	65
6.2.6. Μόλυβδος	65
6.2.7. Ψευδάργυρος.....	66

6.2.8. Χαλκός.....	66
6.2.9. Κάδμιο και κασσίτερος.....	66
6.2.10. Ανθρακικά και οργανικός άνθρακας.....	67
6.3. Σχόλια και συμπεράσματα.....	67
7. ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΛΑΥΡΙΟΥ.....	70
7.1. Γεωλογία.....	70
7.2. Αναλυτικά αποτελέσματα.....	71
7.2.1. Σίδηρος.....	91
7.2.2. Αργίλιο.....	91
7.2.3. Μαγγάνιο.....	92
7.2.4. Νικέλιο.....	92
7.2.5. Χρόμιο.....	93
7.2.6. Μόλυβδος.....	93
7.2.7. Ψευδάργυρος.....	94
7.2.8. Χαλκός.....	94
7.2.9. Κάδμιο.....	95
7.2.10. Κασσίτερος.....	95
7.2.11. Ανθρακικά και οργανικός άνθρακας.....	96
7.3. Σχόλια και συμπεράσματα.....	96
8. Ο ΚΟΛΠΟΣ ΚΑΙ ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ.....	100
8.1. Σαρωνικός κόλπος.....	100
8.2. Ο κόλπος της Ελευσίνας.....	101
8.3. Γεωλογία.....	104
8.4. Αναλυτικά αποτελέσματα.....	104
8.4.1. Επιφανειακά δείγματα.....	105
8.4.2. Πυρήνες.....	134
8.5. Σχόλια και συμπεράσματα.....	198
8.5.1. Επιφανειακά δείγματα.....	198
8.5.2. Πυρήνες.....	201
9. ΟΙ ΜΑΡΙΝΕΣ ΤΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ.....	206
9.1. Γεωλογία.....	206
9.2. Αναλυτικά αποτελέσματα.....	206
9.2.1. Σίδηρος.....	207

9.2.2. Αργίλιο	207
9.2.3. Μαγγάνιο	207
9.2.4. Νικέλιο	207
9.2.5. Χρώμιο	207
9.2.6. Μόλυβδος	207
9.2.7. Ψευδάργυρος.....	212
9.2.8. Χαλκός.....	212
9.2.9. Κάδμιο	212
9.2.10. Κασσίτερος	212
9.3. Σχόλια και συμπεράσματα	212
10. ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΙΑ	214
10.1. Το Μικρολίμανο (Τουρκολίμανο).....	215
10.2. Η μαρίνα Ζέας (Πασαλιμάνι).....	235
10.3. Γεωλογία	235
10.4. Αναλυτικά αποτελέσματα: Η μαρίνα Ζέας και το Μικρολίμανο.....	236
10.4.1. Επιφανειακά δείγματα	236
10.4.2. Πυρήνες	241
10.4.3. Σχόλια και συμπεράσματα	244
10.5. Αναλυτικά αποτελέσματα :Το επιβατικό λιμάνι	247
10.5.1. Σίδηρος	247
10.5.2. Αργίλιο	248
10.5.3. Μαγγάνιο	267
10.5.4. Νικέλιο.....	267
10.5.5. Χρώμιο	268
10.5.6. Μόλυβδος	269
10.5.7. Ψευδάργυρος.....	270
10.5.8. Χαλκός.....	270
10.5.9. Κάδμιο	271
10.5.10. Κασσίτερος	272
10.5.11. Ανθρακικά.....	272
10.5.12. Οργανικός άνθρακας.....	273
10.5.13. Σχόλια και συμπεράσματα	273
10.6. Αναλυτικά αποτελέσματα: Το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό λιμάνι.....	278
10.6.1. Σίδηρος	279
10.6.2. Αργίλιο	279

10.6.3. Μαγγάνιο	280
10.6.4. Νικέλιο.....	280
10.6.5. Χρώμιο	281
10.6.6. Μόλυβδος	281
10.6.7. Ψευδάργυρος.....	305
10.6.8. Χαλκός.....	305
10.6.9. Κάδμιο	306
10.6.10. Κασσίτερος	306
10.6.11. Ανθρακικά.....	306
10.6.12. Οργανικός άνθρακας.....	306
10.6.13. Σχόλια και συμπεράσματα	307
11. ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΙΑ: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ.....	311
12. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	321
12.1. Εξίσωση επιφάνειας.....	321
12.2. Εξίσωση καμπύλης.....	322
12.3. Εφαρμογή.....	324
12.3.1. Το λιμάνι της Ραφήνας	324
12.3.2. Το λιμάνι του Λαυρίου	326
12.3.3. Ο κόλπος της Ελευσίνας	327
12.3.4. Το επιβατικό λιμάνι του Πειραιά.....	327
12.3.5. Το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό λιμάνι του Πειραιά	329
12.3.6. Το λιμάνι του Πειραιά: Συνολική θεώρηση	437
12.3.7. Συμπεράσματα	437
12.4. Συνδυασμός εξισώσεων	438
12.5. Εφαρμογή και έλεγχος	441
13. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	444
13.1. Λιμάνι του Πειραιά.....	444
13.2. Μαρίνα Ζέας και Μικρολίμανο	445
13.3. Μαρίνες του Σαρωνικού	445
13.4. Ραφήνα.....	445
13.5. Λαύριο.....	446
13.6. Κόλπος της Ελευσίνας	447
13.7. Μεταλλευτική και μελέτες ρύπανσης.....	447

13.8. Χρήση χαρτών και μοντέλων..... 447

13.9. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα 448

13.9.1. Πειραιάς..... 448

13.9.2. Μαρίνα Ζέας και Μικρολίμανο..... 449

13.9.3. Μαρίνες του Σαρωνικού 450

13.9.4. Λαύριο 451

13.9.5. Ραφήνα..... 451

13.9.6. Ελευσίνα 452

13.9.7. Χρήση χαρτών και κατασκευή μοντέλων 453

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 454

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ..... 473

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για τις χώρες της Μεσογείου, η παράκτια ζώνη αποτελεί ένα δυναμικό σύστημα με μεγάλη οικονομική και περιβαλλοντική σημασία. Ένας μεγάλος αριθμός δραστηριοτήτων αναπτύσσονται σε αυτή και ένας μεγάλος συνδυασμός απαιτήσεων εκδηλώνονται προς τους πόρους της. Η παράκτια ζώνη συγκεντρώνει τις ευνοϊκές προϋποθέσεις για τη μόνιμη και εποχιακή εγκατάσταση κατοίκων, τον τουρισμό και την αναψυχή, την αλιεία, την ιχθυοκαλλιέργεια και οστρακοκαλλιέργεια, την αγροτική ανάπτυξη (π.χ. δέλτα ποταμών) τη δημιουργία υποδομών για τις μεταφορές και τη βιομηχανική ανάπτυξη. Η επιτυχής και αποδοτική λειτουργία όλων αυτών των δραστηριοτήτων εξαρτάται καθοριστικά από την καλή ποιότητα του θαλασσιού περιβάλλοντος, του οποίου η υποβάθμιση μπορεί να επιφέρει καθοριστικά οικονομικά και κοινωνικά πλήγματα στις μεσογειακές χώρες. Ταυτόχρονα όμως, όλες αυτές οι δραστηριότητες ασκούν μεγάλη πίεση στις προσκείμενες θάλασσες, που αποτελούν και τον τελικό αποδέκτη των απορροών τους.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει σημειωθεί μια σημαντική αύξηση στο ρυθμό διάθεσης υγρών αποβλήτων στη θάλασσα. Η αύξηση αυτή οφείλεται όχι μόνο στην αύξηση του πληθυσμού στην παράκτια ζώνη, αλλά και στη βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης του πληθυσμού αυτού. Ο συνδυασμός των παραγόντων αυτών έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη κατανάλωση νερού και συνεπώς τη μεγαλύτερη παραγωγή λυμάτων που έχουν σαν τελικό αποδέκτη τη θάλασσα. Στον μόνιμο πληθυσμό προστίθεται τους καλοκαιρινούς μήνες και ένας διαρκώς αυξανόμενος αριθμός τουριστών που παράγει ακόμη μεγαλύτερες ποσότητες λυμάτων, την ίδια περίοδο που συμβαίνει και η μέγιστη χρήση των παράκτιων νερών για αναψυχή. Παράλληλα με τα αστικά λύματα, η επεκτεινόμενη βιομηχανική ανάπτυξη στα παράλια παράγει μεγάλους όγκους αποβλήτων που έχουν σαν τελικό προορισμό τη θάλασσα. Εκτός από τον όγκο, αλλάζει διαρκώς και η σύσταση των αποβλήτων, αφού νέες ενώσεις εισάγονται στις παραγωγικές διαδικασίες και στα διάφορα προϊόντα και νέες χρήσεις επινοούνται για τα γνωστά υλικά.

Ειδική περίπτωση αποτελούν τα λιμάνια, όπου πέρα από τη διέλευση, παραμονή και (κάποιες φορές) επισκευή πλοίων και τη διακίνηση επιβατών και εμπορευμάτων υπάρχει το χαρακτηριστικό της σχετικής στασιμότητας των νερών, που οδηγεί σε συσσώρευση μεγάλου όγκου αποβλήτων σε περιορισμένο χώρο, άρα και σε ψηλότερες συγκεντρώσεις.

Ανάμεσα στις επιβλαβείς ουσίες των αποβλήτων, τα βαρέα μέταλλα συνιστούν μια ομάδα με σοβαρές επιπτώσεις στους θαλασσίους οργανισμούς, αφού αποτελούν αθροιστικούς ρύπους στα φυσικά συστήματα και παρεμβαίνουν στην τροφική αλυσίδα των οργανισμών, διαταράσσοντας την πάντα ευαίσθητη οικολογική ισορροπία. Οξεία τοξικά φαινόμενα ή χρόνιες επιδράσεις είναι δυνατόν να επηρεάσουν την υγεία, ανάπτυξη και αναπαραγωγική ικανότητα των θαλασσιών ειδών και να βλάψουν όχι μόνο τις βιοκοινωνίες τους, αλλά και τον τελικό καταναλωτή, τον άνθρωπο. Η τελική κατάληξη των βαρέων μετάλλων είναι η απόθεσή τους στα ιζήματα του

πυθμένα της θάλασσας. Η διαρκής συσσώρευση ρύπων μπορεί να μετατρέψει το ίζημα σε δευτερογενή πηγή ρύπανσης, ανάλογα με τις φυσικοχημικές συνθήκες που διαμορφώνονται στη θάλασσα μάζα. Έτσι, το ίζημα του πυθμένα αποτελεί μια καθοριστική φάση για το θαλάσσιο σύστημα και η μελέτη του αποδεικνύεται ουσιαστική για την κατανόηση των μηχανισμών που ρυθμίζουν την πορεία των βαρέων μετάλλων μέσα σ' αυτό.

Στη Μεσόγειο, και κατ' επέκταση στις ελληνικές θάλασσες, οι επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας φαίνεται ότι εντοπίζονται κοντά στην ακτή, στην άμεση γειτονία των σημείων διάθεσης τους. Η κατανόηση των μηχανισμών της ρύπανσης είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη διαμόρφωση διαχειριστικών τακτικών για την αντιμετώπισή της, ανάγκη που απορρέει όχι μόνο από την οικονομική της σημασία αλλά και από τη σπουδαιότητα της προστασίας και διατήρησης της φυσικής θαλάσσιας οικολογίας της περιοχής.

Στα πλαίσια αυτής της αναζήτησης εντάσσεται και η εργασία αυτή. Στο πρώτο κεφάλαιο τίθεται ο σκοπός της μελέτης αυτής. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται το θέμα των βαρέων μετάλλων και στο τρίτο κεφάλαιο το θέμα των λιμανιών από περιβαλλοντική άποψη. Στο τέταρτο κεφάλαιο εκτίθεται η μεθοδολογία της έρευνας, όσο αφορά τη δειγματοληψία και την κατεργασία των δειγμάτων καθώς και την επιλογή των μεθόδων χημικής ανάλυσης. Το πέμπτο κεφάλαιο εξετάζει τα ιζήματα από πλευράς γεωστατιστικής και παρουσιάζει την κατασκευή ισοπερικτικών χαρτών (contour maps). Στα κεφάλαια έξι έως οκτώ παρουσιάζονται τα στοιχεία για τα λιμάνια της Ραφήνας, του Λαυρίου και της Ελευσίνας αντίστοιχα. Στα κεφάλαια εννέα και δέκα παρουσιάζονται οι μαρίνες του Σαρωνικού και το λιμάνι του Πειραιά (μαζί με τη μαρίνα Ζέας και το Μικρολίμανο) αντίστοιχα. Το ενδέκατο κεφάλαιο εξετάζει το λιμάνι του Πειραιά συνολικά. Το δωδέκατο κεφάλαιο εκθέτει την ανάπτυξη ενός μοντέλου που μπορεί να προσδιορίσει τα χημικά χαρακτηριστικά ενός λιμανιού με βάση τη μελέτη των υπαρχόντων στοιχείων και το δέκατο τρίτο κεφάλαιο εκθέτει τα συμπεράσματα της μελέτης και τις προτάσεις για περαιτέρω έρευνα. Στο τέλος παρατίθεται η βιβλιογραφία, ενώ όλες οι πληροφορίες για τη δειγματοληψία, τα αποτελέσματα των μετρήσεων, οι συσχετίσεις, οι ισοπερικτικοί χάρτες καθώς και άλλες πληροφορίες για τις περιοχές δειγματοληψίας περιέχονται στο παράρτημα.

1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στα πλαίσια της σωστής διαχείρισης του περιβάλλοντος το πρώτο που χρειάζεται είναι η σωστή πληροφόρηση για τις πηγές της ρύπανσης και τις επιπτώσεις της δράσης τους. Τα λιμάνια είναι μια ξεχωριστή περίπτωση της παράκτιας ζώνης, όπως εξετάζεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Κάθε λιμάνι έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και απαιτεί το δικό του τρόπο βέλτιστης διαχείρισης (Wooldridge 1998, Wollldridge et al 1999). Για το λιμάνι του Πειραιά σίγουρα υπάρχει αρκετός δρόμος μέχρι το σημείο να μπορεί να ειπωθεί ότι τα πάντα βρίσκονται υπό έλεγχο. Στο πλαίσιο της προσπάθειας αυτής εντάσσεται αυτή η μελέτη.

Με τη δειγματοληψία και τη χημική ανάλυση του ιζήματος έχουμε μια εικόνα της κατάστασης που επικρατεί από την πλευρά των βαρέων μετάλλων και με τον εντοπισμό των πηγών ρύπανσης και τη συσχέτιση πηγών – αποτελέσματος δίνεται μια εικόνα του τι πρέπει να αλλάξει για να οδηγηθούμε σε ένα καλύτερο περιβαλλοντικά λιμάνι, με τη σωστή διαχείριση σε όλες τις δραστηριότητές του.

Με τη μελέτη και άλλων λιμανιών με διαφορετικά χαρακτηριστικά αναδεικνύεται η σημασία των ιδιαιτεροτήτων του λιμανιού υπό μελέτη και οι ιδιαίτεροι τρόποι δράσης που απαιτούνται. Έτσι έγινε η επιλογή ενός λιμανιού με μικρή κίνηση και με μικρό αναμενόμενο ρυπαντικό φορτίο (Ραφήνας), ενός λιμανιού με μικρή κίνηση και μεγάλο αναμενόμενο ρυπαντικό φορτίο λόγω ιδιαίτερης γεωλογίας και μεταλλευτικής και μεταλλουργικής δραστηριότητας (Λαυρίου) και της περιοχής ενός λιμανιού με μεγάλο αναμενόμενο ρυπαντικό φορτίο σε έναν κλειστό κόλπο (Ελευσίνας). Όσο για το λιμάνι του Πειραιά έγινε δειγματοληψία κύρια από το λιμάνι διακίνησης επιβατών, επειδή αυτό είναι ο πρώτος στόχος, αλλά και από το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό λιμάνι. Η μαρίνα Ζέας και το Μικρολιμάνο εξετάστηκαν για λόγους σύγκρισης. Για τον ίδιο λόγο εξετάστηκαν και δείγματα από άλλες μαρίνες του Σαρωνικού. Σύγκριση της ετήσιας κίνησης των λιμανιών του Πειραιά, της Ελευσίνας, του Λαυρίου και της Ραφήνας δίνεται στον Πίνακα 1.1. (τα εμπορεύματα δίνονται σε μετρικούς τόνους).

Κατά την απόδοση των αποτελεσμάτων με τη βοήθεια ισοχημικών χαρτών, κρίθηκε απαραίτητη μια σύντομη ανάλυση των ομοιοτήτων μιας μελέτης ρύπανσης μιας περιοχής με μια μελέτη ενός κοιτάσματος από τη σκοπιά της Μεταλλευτικής. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αξιοποιηθούν η εμπειρία, οι μέθοδοι και τα «εργαλεία» της Μεταλλευτικής σε αυτή τη μελέτη. Στη συνέχεια κρίθηκε απαραίτητη η κάλυψη ενός κενού που υπήρχε, όσον αφορά τους δυνατούς τρόπους που υπάρχουν για τη παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε χάρτες, με σκοπό τη δυνατότητα επιλογής του καταλληλότερου κάθε φορά τρόπου παρουσίασης. Μετά την εξέταση των δειγμάτων, την παρουσίασή τους σε χάρτες και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, χρειάζεται και ένας οδηγός δράσης για διαχρονική παρακολούθηση της πορείας του λιμανιού μετά από κάθε ενέργεια. Να υπάρχει δηλαδή η δυνατότητα με τις ελάχιστες λήψεις δειγμάτων και τις ελάχιστες δυνατές αναλύσεις να δίνεται μια σαφής εικόνα για την

κατάσταση του πυθμένα του λιμανιού. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε ένα μοντέλο που δίνει την κατανομή των ρύπων στον πυθμένα του λιμανιού με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από τη μελέτη αυτή. Το μοντέλο αυτό είναι βέβαια μια πρώτη προσπάθεια προς την κατεύθυνση αυτή και φυσικά έχει τη δυνατότητα και πρέπει να εμπλουτίζεται και, αν κριθεί απαραίτητο, να αναθεωρηθεί αν νέα στοιχεία έρθουν στην επιφάνεια, καθώς υπάρχουν και άλλες πληροφορίες που πρέπει να συγκεντρωθούν για μια πιο αποτελεσματική εικόνα της κατάστασης.

Φιλοδοξία αυτής της μελέτης είναι η απόδειξη της δυνατότητας πρόβλεψης της περιβαλλοντικής κατάστασης ενός θαλασσιού οικοσυστήματος με τα ελάχιστα δυνατά δείγματα και η κατάδειξη της σπουδαιότητας των περαιτέρω απαιτούμενων πληροφοριών (μη διαθέσιμων σήμερα) για μια καλύτερη γνώση της κατάστασης, με απώτερο στόχο ένα καλό αρχικά και βέλτιστο στη συνέχεια πρόγραμμα διαχείρισης ενός λιμανιού. Η διαπίστωση της δυνατότητας αυτής μπορεί να οδηγήσει σε μια πιο αποτελεσματικότερη διαχείριση όλων των λιμανιών και κυρίως του πρώτου λιμανιού της χώρας.

Πίνακας 1.1. Ετήσια επιβατική και εμπορική κίνηση των λιμανιών του Πειραιά (www.olp.gr), της Ελευσίνας, του Λαυρίου και της Ραφήνας (www.yen.gr).






Λιμάνι	Επιβάτες	Οχήματα	Εμπορεύματα (μετρικοί τόνοι)
Πειραιά (*)	7.845.500	1.452.000	18.000.000
Ελευσίνας	665.000		2.666.000
Λαύριον	250.000	75.000	
Ραφήνας	1740.000	320.000	

(*)Αν στο λιμάνι του Πειραιά συνυπολογιστεί η κίνηση του πορθμείου Περάματος – Σαλαμίνας, η κίνηση ανέρχεται σε 19.000.000 επιβάτες, καθιστώντας το πρώτο σε κίνηση στην Ευρώπη και τρίτο στον κόσμο (www.olp.gr).



Το σύστημα λιμένων της Ελλάδας

Το σύστημα λιμένων της Αττικής

-  ΚΕΝΤΡΙΚΑ ΛΙΜΕΝΑΡΧΕΙΑ
-  ΛΙΜΕΝΑΡΧΕΙΑ
-  ΥΠΟΛΙΜΕΝΑΡΧΕΙΑ
-  ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ
-  ΛΙΜΕΝΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Υπόμνημα

Σχήμα 1.1. Τα λιμάνια του Πειραιά, της Ελευσίνας, της Ραφήνας και του Λαυρίου στο σύστημα λιμένων της Ελλάδας και της Αττικής, σύμφωνα με το YEN (www.yen.gr/ports).

2. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Τα βαρέα μέταλλα, αν και συνιστούν μαζί με τα ραδιενεργά και τα συνθετικά οργανικά τις τρεις κύριες ομάδες ρύπων στο περιβάλλον, είναι φυσικά συστατικά του στερεού φλοιού της γης. Σαν βαρέα μέταλλα χαρακτηρίζονται τα μέταλλα που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από 5,0 g/cm³ (Förstner and Wittmann 1983) ή, κατ' άλλους, σχετική ατομική μάζα (ατομικό βάρος) μεγαλύτερη του 20, που είναι η σχετική ατομική μάζα του Ca (Mason 1991). Από την ομάδα αυτή εξαιρούνται τα αλκάλια, οι αλκαλικές γαίες, οι λανθανίδες και οι ακτινίδες. Για λόγους καλύτερης ερμηνείας στην ομάδα συμπεριλαμβάνονται και στοιχεία που δεν ικανοποιούν τον χημικό ορισμό, όπως τα ελαφρύτερα μέταλλα Al και Li και κάποια μεταλλοειδή όπως τα As, Se, Sb (Stephenson 1987, Campbell 1988). Ο όρος στην εργασία αυτή θα χρησιμοποιηθεί με την τελευταία έννοια.

Από πλευράς φυσικής αφθονίας, τα βαρέα μέταλλα καλύπτουν μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων. Κάποια από αυτά, όπως το αργίλιο και ο σίδηρος, είναι από τα αφθονότερα στοιχεία της λιθόσφαιρας, με συγκεντρώσεις εκφραζόμενες σε % κατά βάρος, ενώ τα περισσότερα και πλέον τοξικά απαντώνται σε χαμηλές συγκεντρώσεις στα φυσικά συστήματα και χαρακτηρίζονται σαν ιχνοστοιχεία. Διάφοροι ορισμοί έχουν προταθεί για τα ιχνοστοιχεία, που αν και διαφέρουν ως προς τη διατύπωση, στην πράξη οδηγούν στο χαρακτηρισμό των ίδιων στοιχείων σαν ιχνοστοιχείων, ώστε να μην προκύπτει σύγχυση κατά τη χρήση του όρου. Συγκεκριμένα, ως ιχνοστοιχεία αναφέρονται τα στοιχεία με συγκέντρωση κάτω του 0,1% στη λιθόσφαιρα (Förstner and Wittmann 1983), ή με συγκέντρωση μικρότερη του 1 ppm (μg/mL) στο θαλασσινό νερό (Riley and Chester 1971, Brewer 1975, Millero and Sohn 1992), ενώ από άλλους έχει προταθεί σαν ορισμός η περιοχή συγκεντρώσεων 0,05 έως 50 nM στο θαλασσινό νερό (Bruland 1983).

2.1. Βιοχημικός ρόλος βαρέων μετάλλων

Παρά τις ιδιαίτερα χαμηλές τους συγκεντρώσεις, τα βαρέα μέταλλα έχουν πολύ μεγάλη σημασία για τη ζωή των οργανισμών, στους οποίους επιδρούν θετικά ή αρνητικά. Παρεμβαίνουν στις βιοχημικές τους λειτουργίες με ποικίλους τρόπους, συμμετέχοντας έτσι στις μεταβολικές διαδικασίες και επηρεάζοντας τη φυσιολογία των οργανισμών (Cotton and Wilkinson 1980, Van Loon 1985).

Από περιβαλλοντική σκοπιά, δύο παράγοντες έχουν ιδιαίτερη σημασία για την ταξινόμηση των στοιχείων, η τοξικότητα και η διαθεσιμότητα, η οποία καθορίζει την ευκολία με την οποία προσλαμβάνονται από τους οργανισμούς. Με βάση αυτά τα κριτήρια, τα στοιχεία μπορούν να ταξινομηθούν σε (α) μη επικίνδυνα, (β) τοξικά αλλά πολύ δυσδιάλυτα ή πολύ σπάνια και (γ) πολύ τοξικά και διαθέσιμα (Wood 1974). Επέκταση της προηγούμενης ταξινόμησης αποτελεί και η κατάταξη που περιλαμβάνει και τα ιόντα των στοιχείων (Nieboer and Richardson 1980). Σύμφωνα με αυτή, διακρίνονται τρεις κατηγορίες ιόντων: (α) πολύ τοξικά, (β) ενδιάμεσης

τοξικότητας και (γ) χαμηλής τοξικότητας.

Στα υδατικά οικοσυστήματα η τοξικότητα των μετάλλων εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, όπως (Bryan 1976, Campbell et al. 1988, Brezonik et al. 1991):

1. Η μορφή στην οποία βρίσκεται το μέταλλο (ανόργανη ή οργανική, διαλυτή ή σωματιδιακή, αν είναι ελεύθερο ιόν ή σύμπλοκο, αν είναι προσροφημένο ή ενσωματωμένο στα ιζήματα).
2. Η φύση του μεταλλικού ιόντος και οι τάσεις ανταγωνισμού ή συνέργειας μεταξύ των μετάλλων για συμπλοκοποίηση.
3. Παράγοντες που επηρεάζουν τη φυσιολογία των οργανισμών ή / και τις φωτοχημικές μορφές των μετάλλων (θερμοκρασία, αλατότητα, φως, pH, pE).
4. Η φύση του οργανισμού (είδος, φάση στον αναπαραγωγικό κύκλο, ηλικία, φύλο, διατροφή, θέση στο τροφικό πλέγμα κ.λ.π.).
5. Το είδος της μετρούμενης αντίδρασης (οξεία τοξικότητα, βιοσυσσώρευση, διάφοροι τύποι χρόνιων επιπτώσεων κ.λ.π.).

Η γνώση της τοξικής επίδρασης των βαρέων μετάλλων στα θαλάσσια οικοσυστήματα οδήγησε στην ενσωμάτωση στο νομοθετικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης περιορισμών που αφορούν τη διάθεση αποβλήτων στη θάλασσα. Έτσι, με την οδηγία 76/464/EEC του 1976 η ΕΟΚ επεσήμανε την επικινδυνότητα για το θαλάσσιο αποδέκτη μιας σειράς τοξικών ρύπων, που περιέχονται αναλυτικά σε δύο λίστες: τη «Μαύρη Λίστα», για τις πιο επικίνδυνες και τη «Γκρίζα Λίστα», για τις λιγότερο επικίνδυνες ουσίες. Από πλευράς μετάλλων, στη «Μαύρη Λίστα» περιλαμβάνονται ο υδράργυρος και οι ενώσεις του, το κάδμιο και οι ενώσεις του και οι οργανομεταλλικές ενώσεις του κασσιτέρου, ενώ στη «Γκρίζα Λίστα» περιλαμβάνονται 20 μέταλλα και μεταλλοειδή καθώς και οι ενώσεις τους, μεταξύ των οποίων είναι ο ψευδάργυρος, ο χαλκός, το νικέλιο, το χρώμιο, ο μόλυβδος, το σελήνιο, το αρσενικό, το αντιμόνιο, το μολυβδένιο, ο κασσίτερος, ο άργυρος κ.α.

2.2. Πηγές βαρέων μετάλλων στο θαλάσσιο περιβάλλον

Όπως για πολλούς ρύπους, έτσι και για τα βαρέα μέταλλα, η θάλασσα, και ειδικότερα ο θαλάσσιος πυθμένας, αποτελεί τον τελικό αποδέκτη. Μια σειρά από φυσικές διεργασίες όπως η διάβρωση της παράκτιας ζώνης από τα κύματα και τους παγετώνες, η μεταφορά από την ξηρά με τα ποτάμια και τους παγετώνες, η υποθαλάσσια ηφαιστειακή δραστηριότητα και η ατμοσφαιρική κατακρήμνιση, είχαν και έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεταφορά βαρέων μετάλλων στο θαλάσσιο σύστημα. Η συσσώρευση των μετάλλων που προέρχονται από τις πηγές αυτές στα ιζήματα του πυθμένα διαμορφώνει τη βασική συγκέντρωση ή συγκέντρωση υποβάθρου (baseline / background concentration) σε κάθε περιοχή (Förstner and Wittmann 1983).

Τις τελευταίες δεκαετίες η ραγδαία βιομηχανική και αστική εξέλιξη δημιούργησαν μια άλλη κατηγορία πηγών που απελευθερώνουν συγκρίσιμες ή και συχνά μεγαλύτερες ποσότητες μετάλλων από τις φυσικές πηγές σε τοπική ή παγκόσμια κλίμακα και που χαρακτηρίζουμε σαν ανθρωπογενείς ή πολιτισμικές πηγές (Bruland et al. 1974, Bryan 1976, Wood and Goldberg 1977). Οι κυριότερες από αυτές είναι:

Εργασίες εξόρυξης

Η παραγωγή μετάλλων από την εξόρυξη και επεξεργασία ορυκτών συνόδευσε την ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού. Όμως, η εξόρυξη μεγάλου αριθμού και όγκου οικονομικά σημαντικών μετάλλων αυξήθηκε δραματικά τα τελευταία 60 περίπου χρόνια. Ο λόγος ήταν η ανάπτυξη της τεχνολογίας, που αφενός μεν δημιούργησε διαρκώς αυξανόμενες χρήσεις και εφαρμογές, αφετέρου δε εξασφάλισε αποτελεσματικότερες μεθόδους ανάκτησης μετάλλων από το στερεό φλοιό της γης (Stephenson 1987). Επιπλέον με τη σταδιακή εξάντληση των πλουσιότερων κοιτασμάτων και την δυνατότητα (λόγω αυξημένων τιμών και τεχνολογικής εξέλιξης) εκμετάλλευσης φτωχότερων κοιτασμάτων, αυξάνεται ο όγκων των εξορυσσόμενων πετρωμάτων (μεταλλευμάτων και στείρων), επιτείνοντας και άλλο το πρόβλημα.

Η παραγόμενη σκόνη και η απόπλυση των πλούσιων σε ιχνοστοιχεία υλικών που μεταφέρονται στην επιφάνεια του εδάφους αποτελούν σημαντική πηγή πολλών βαρέων μετάλλων. Η διαδικασία της εξόρυξης περιλαμβάνει την έκθεση θειούχων ορυκτών στον ατμοσφαιρικό αέρα, όπου, παρουσία υγρασίας (μόνιμο φαινόμενο σε παραθαλάσσιες περιοχές) αντιδρούν με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο σχηματίζοντας όξινα προϊόντα οξείδωσης (acid mine drainage). Το χαμηλό pH των προϊόντων αυτών ευνοεί τη διαλυτοποίηση μετάλλων που ήταν προηγούμενως δεσμευμένα στα ορυκτά (Stumm and Morgan 1970).

Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι το πρόβλημα μεγιστοποιείται όταν υπάρχουν εγκαταστάσεις φόρτωσης – εκφόρτωσης μεταλλεύματος στη θάλασσα περιοχή, όπως σε ειδικές εγκαταστάσεις μεταλλείων ή εργοστασίων επεξεργασίας μεταλλευμάτων ή σε λιμάνια που εξυπηρετούν τέτοιες λειτουργίες.

Βιομηχανικές δραστηριότητες

Η χρήση πρώτων υλών, αντιδραστηρίων και καταλυτών πλούσιων σε μέταλλα σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες και τις δραστικές συνθήκες οδηγούν στην απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων βαρέων μετάλλων, τα οποία μέσω υγρών και αέριων αποβλήτων καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες. Ιδιαίτερης βαρύτητας για το ρυπαντικό φορτίο μπορούν να αποβούν οι κατεργασίες στις ναυπηγοεπισκευαστικές ζώνες, ειδικά οι κατεργασίες του κήτους του πλοίου με αμμοβολή όταν δεν τηρούνται για λόγους «ευκολίας» και «οικονομίας» οι απαραίτητες προδιαγραφές για το υλικό της αμμοβολής. Σε λιμένες υπάρχει η επιπλέον επιβάρυνση σε κασσίτερο λόγω των υφαλοχρωμάτων των πλοίων.

Αστικές περιοχές

Η συνάθροιση πληθυσμού στα αστικά κέντρα και οι κάθε είδους δραστηριότητες για την ικανοποίηση των καθημερινών αναγκών (διαμονή, διατροφή, βιολογικές λειτουργίες, υπηρεσίες, ψυχαγωγία) έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή αποβλήτων, τα οποία περιέχουν σημαντικές ποσότητες μετάλλων. Λόγω της αύξησης του αριθμού των αυτοκινήτων ανά κάτοικο, της αγοραστικής δύναμης και του καταναλωτισμού το φορτίο αυξάνεται.

Η μεγάλη σημασία του υγρού στοιχείου στη χωροθέτηση βιομηχανικών και αστικών συγκροτημάτων έχει ως συνέπεια τη συγκέντρωση τους στην άμεση γειτονία ποταμών και λιμνών και ιδίως στην παράκτια ζώνη. Αποτέλεσμα αυτής της συγκέντρωσης είναι η επιβάρυνση των υδάτινων αποδεκτών με κάθε είδους ρύπους, και βέβαια, με βαρέα μέταλλα. Η τελική συσσώρευση των στοιχείων αυτών στον πυθμένα έχει επιβάλει σχετικά πρόσφατα τη θεώρηση των ιζημάτων αυτών σαν μια σημαντική πηγή ρύπανσης των υδάτινων μαζών και βιοκοινωνιών της περιοχής (Baudo and Muntau 1990).

2.3. Κατανομή των βαρέων μετάλλων στη θάλασσα

Μετά την είσοδό τους στη θάλασσα και ανεξάρτητα από την πηγή τους, τα βαρέα μέταλλα κατανομούνται ανάμεσα σε τρεις φάσεις: Τη διαλυτή, την κolloειδή και τη σωματιδιακή. Αν και αυτές οι φάσεις αποτελούν συνεχές στο φάσμα μεγέθους των σωματιδίων, στην πράξη ξεχωρίζουμε δύο φάσεις με όριο μεταξύ τους τα 0,45 μm. Έτσι, η διαλυτή φάση περιλαμβάνει τα πραγματικά διαλυτά χημικά είδη και τα μικρά κolloειδή μεγέθους κάτω των 0,45 μm, ενώ η σωματιδιακή φάση ή αιωρούμενο ιζημα περιλαμβάνει σωματίδια και κolloειδή μεγαλύτερα των 0,45 μm.

Η τελική κατάληξη των αιωρουμένων σωματιδίων είναι η καταβύθιση με αποτέλεσμα τον σχηματισμό του ιζήματος του πυθμένα. Έτσι, η σύνδεση των βαρέων μετάλλων με τη σωματιδιακή ύλη απεικονίζεται στη σύσταση των σωματιδίων του ιζήματος του πυθμένα και γι' αυτό θα αναφερθεί αναλυτικά κατά την περιγραφή του ιζήματος.

Η κατανομή των βαρέων μετάλλων στις διάφορες φάσεις των θαλάσσιων αποδεκτών ρυθμίζεται από διεργασίες φυσικές, όπως η αραίωση και η διασπορά, χημικές, όπως η καθίζηση, η προσρόφηση, η συγκαταβύθιση και η κροκίδωση, και βιολογικές που περιλαμβάνουν την πρόσληψη και το μεταβολισμό των μετάλλων από τους υδρόβιους οργανισμούς. Η ποικιλία των διεργασιών αυτών συνεπάγεται τη συμμετοχή μεγάλου αριθμού παραγόντων στη ρύθμιση της λειτουργίας τους σε κάθε σύστημα. Έτσι, αφενός μεν οι υδροδυναμικές συνθήκες (κίνηση θαλασσιών μαζών, ύπαρξη πυκνοκλινούς) αφετέρου δε οι φυσικοχημικές (θερμοκρασία, pH, ιοντική ισχύς – που στη θάλασσα εκφράζεται με την αλατότητα, δυναμικό οξειδαναγωγής, συγκέντρωση και σύσταση οργανικής ύλης, παρουσία ανόργανων υποκαταστατών) διαφοροποιούν τα θαλάσσια περιβάλλοντα αλλά και την

τύχη των βαρέων μετάλλων μέσα σ' αυτά. Ιδιαίτερα σε περιοχές όπου διαμορφώνονται έντονες βαθμίδες (gradients) των προηγούμενων συνθηκών, οι διεργασίες κατανομής επηρεάζονται σημαντικά, με αποτέλεσμα τη δραστική απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων από τη θαλάσσια μάζα (Förstner and Wittmann 1983, Shumilin et al. 1993) μέσω της διαρκούς καταβύθισης των σωματιδίων.

2.4. Ιζήματα

Τα ιζήματα αποτελούνται από τα αδιάλυτα προϊόντα της διάβρωσης των εδαφών και της βιολογικής δραστηριότητας, μαζί με όλες τις διαλυτές μορφές που συνδέονται με τις στερεές φάσεις μέσω των διεργασιών που εξελίσσονται στη θαλάσσια μάζα κατά την καταβύθιση των αιωρούμενων σωματιδίων. Η σύσταση των ιζημάτων εξαρτάται από την προέλευση, τον τρόπο μεταφοράς και το περιβάλλον απόθεσης. Τα αδιάλυτα προϊόντα της διάβρωσης περιλαμβάνουν τα σταθερά μη διασπώμενα πρωτογενή ορυκτά και τα ορυκτά που σχηματίζονται στο περιβάλλον της διάβρωσης – κυρίως αργίλους και οξειδία σιδήρου και αργιλίου καθώς και τα άμορφα πρόδρομά τους. Η βιολογική δραστηριότητα συνεισφέρει χουμικά και άλλα αδιάλυτα οργανικά υλικά, αλλά και ανόργανες ενώσεις, όπως ανθρακικά, πυριτικά και φωσφορικά άλατα, σαν συστατικά των σκελετικών δομών. Μετά την απόθεση και συσσώρευση του ιζήματος, διαγενετικές διεργασίες, που συνεπάγονται από τις φυσικές και χημικές βαθμίδες κάτω από την διεπιφάνεια ιζήματος / νερού, τροποποιούν περαιτέρω την ορυκτολογία και τη χημεία του ιζήματος (Campell et al. 1988).

2.4.1. Διαδικασίες ενσωμάτωσης των μετάλλων στα ιζήματα

Η πτώση των αιωρούμενων στερεών προς το βυθό είναι ο κύριος δρόμος μέσω του οποίου τα ιχνοστοιχεία φθάνουν στα ιζήματα. Τα καταβυθιζόμενα αιωρούμενα σωματίδια προσφέρουν πολλές θέσεις δέσμευσης των μετάλλων πάνω στην επιφάνειά τους. Το υπολειμματικό και χημικά αδρανές τμήμα (κρυσταλλικά προϊόντα διάβρωσης) αποτελεί τον φορέα πάνω στον οποίο συνδέονται πιο ευκίνητα και θερμοδυναμικά ασταθή συστατικά, όπως ανθρακικά, άμορφα αργιλοπυριτικά κ.λ.π. Αυτά τα κλάσματα επενδύονται συνήθως με οξειδία σιδήρου και μαγγανίου και οργανικό υλικό, τα οποία επίσης προσροφώνται αμοιβαία το ένα στο άλλο τροποποιώντας περαιτέρω τις δεσμευτικές ικανότητες των σωματιδίων προς τα μέταλλα. Κάθε ένα από τα συστατικά αυτά αποτελεί και διαφορετικό φορέα μετάλλων στο ιζήμα. Έτσι τα βαρέα μέταλλα βρίσκονται δεσμευμένα στις εξής φάσεις (γεωχημικά υποστρώματα) των ιζημάτων:

2.4.2. Προσροφημένα

Τα προσροφημένα βαρέα μέταλλα περιλαμβάνουν αφενός μεν τα συνδεδεμένα με απλή ανταλλαγή ιόντων στην

επιφάνεια λεπτόκοκκων ή κολλοειδών υλικών με μεγάλη ειδική επιφάνεια (αργιλικά ορυκτά, οργανική ύλη και οξειδία σιδήρου και μαγγανίου), αφετέρου δε τα συνδεδεμένα με χημική προσρόφηση, σε ειδικές θέσεις χαμηλής ενέργειας προσρόφησης διαφόρων στερεών συστατικών.

Γενικά, το φαινόμενο της προσρόφησης εξαρτάται σημαντικά από το pH, με τρόπο ώστε μείωση του pH να οδηγεί εν γένει σε αύξηση της συγκέντρωσης των διαλυτών μετάλλων. Παρ' όλα αυτά, αναφέρονται περιπτώσεις (Sholkovitz and Copland 1981) όπου μείωση του pH οδηγεί σε απομάκρυνση μετάλλων από τη διαλυτή φάση. Η μείωση αυτή αποδίδεται στην προσρόφηση μετάλλων σε χουμικά οξέα, τα οποία καθιζάνουν σε χαμηλές τιμές pH.

2.4.3. Σχετιζόμενα με ανθρακικά

Τα ανθρακικά άλατα απαντούν στα ιζήματα σαν προϊόντα χημικής ή βιοχημικής καθίζησης, καθώς και σαν μεταφερθέντα θραύσματα ασβεστόλιθου. Τα κυριότερα ανθρακικά ορυκτά είναι οι μορφές του ανθρακικού ασβεστίου ασβεστίτης και αραγονίτης καθώς και ο δολομίτης ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Τα βαρέα μέταλλα ενώνονται με ανθρακικά ιόντα είτε με τη διαδικασία της χημικής καθίζησης προς σχηματισμό αδιάλυτων ανθρακικών αλάτων – σπάνια και συνήθως σε τοπική κλίμακα – είτε, σε περίπτωση που οι συγκεντρώσεις δεν είναι αρκετά υψηλές ώστε να ικανοποιείται το γινόμενο διαλυτότητας των ανθρακικών αλάτων, υποκαθιστώντας το ασβέστιο ή το μαγνήσιο στην επιφάνεια ή στο κρυσταλλικό πλέγμα των ανθρακικών ορυκτών.

2.4.4. Συνδεδεμένα με οξειδία σιδήρου και μαγγανίου

Η προέλευση των οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου στα ιζήματα αποδίδεται:

1. Σε ανθεκτικά πρωτογενή ορυκτά όπως ο μαγνητίτης
2. Σε σωματίδια και επιστρώσεις οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου που σχηματίστηκαν κατά τη διάβρωση
3. Σε καθίζηση, κυρίως κοντά στην διεπιφάνεια ιζήματος / νερού σε περιοχές όπου γλυκά νερά ή νερό πόρων συναντούν πιο οξικές συνθήκες
4. Σε επιστρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων της στήλης του νερού.

Αν και τα οξειδία σιδήρου και μαγγανίου σπανίως ξεπερνούν μερικές ποσοστιαίες μονάδες του συνολικού βάρους ενός γηγενούς ιζήματος, πειραματικά δεδομένα τεκμηριώνουν την ικανότητά τους να δεσμεύουν περίπου 10 – 50 % του συνολικού περιεχόμενου βαρέων μετάλλων ενός ιζήματος, συνιστώντας έτσι ένα από τα σημαντικότερα υποστρώματα ενσωμάτωσης βαρέων μετάλλων στα ιζήματα. Παρ' όλα αυτά, δεν έχουν βρεθεί σαφείς τάσεις

προτίμησης για την κατανομή των διάφορων μετάλλων στα οξειδία σιδήρου και μαγγανίου, τόσο και σε σχέση με τα άλλα υποστρώματα όσο και μεταξύ οξειδίων διαφορετικού σταδίου ωρίμανσης και, επομένως, διαφορετικού βαθμού κρυσταλλικότητας. Η έλλειψη τέτοιων τάσεων αντανακλά τις διαφορές στην προέλευση των οξειδίων αλλά και στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των διαφόρων υδατικών συστημάτων (Campbell et al. 1988).

2.4.5. Συνδεδεμένα με οργανική ύλη

Η οργανική ύλη στα ιζήματα συνίσταται σε ένα σύνθετο μίγμα φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων, σε διάφορα στάδια αποδόμησης και σε μεγέθη που κυμαίνονται από κολλοειδή έως μεγάλα κομμάτια ή απαντάται με τη μορφή επιστρώσεων ή προσροφημένη σε άλλα υποστρώματα (Tipping 1981, Davis 1984).

2.4.6. Σουλφίδια

Τα σουλφίδια βρίσκονται στα ιζήματα σαν υπολειμματικά και σαν προϊόντα διαγένεσης. Και στις δύο περιπτώσεις ο πυρίτης (FeS_2) είναι η πιο άφθονη μορφή. Άλλα πιθανά υπολειμματικά σουλφίδια είναι ο σφαλερίτης, ο αρσеноπυρίτης, ο χαλκοπυρίτης, το κιννάβρι κ.λ.π., αλλά οι ενώσεις αυτές απουσιάζουν ή συναντώνται σε πολύ μικρές ποσότητες μακριά από περιοχές με αποθέσεις θειούχων ορυκτών και έντονη διάβρωση.

2.4.7. Ενωμένα με πυρίτιο μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα ορυκτών

Στα γηγενή ιζήματα, τουλάχιστον 25 – 50 % του συνολικού περιεχόμενου σε βαρέα μέταλλα είναι κατά κανόνα ενωμένα με πυριτικά με πυριτικά και μικρότερες ποσότητες άλλων ανθεκτικών ορυκτών. Η σύνδεση αυτή συνίσταται κυρίως σε υποκατάσταση από βαρέα μέταλλα ατόμων του κρυσταλλικού πλέγματος είτε πρωτογενών ορυκτών που επιβίωσαν κατά τη διάβρωση είτε δευτερογενών πυριτικών που σχηματίστηκαν κατά τη διάβρωση και διαγένεση. Είναι όμως δυνατό να πρόκειται και για φυσικό εγκλεισμό μιας άλλης φάσης μέσα στην πυριτική ή ενσωμάτωση σε βιογενές πυρίτιο προερχόμενο από σκελετικό υλικό φυτοπλαγκτονικών ειδών, όπως ραδιολάρια ή διάτομα. Από πλευράς κοκκομετρίας, τα ανθεκτικά πρωτογενή ορυκτά (χαλαζία, αλκαλικοί άστριοι κ.λ.π.) συναντώνται στα κλάσματα της άμμου και της υλός, ενώ τα δευτερογενή αργυλοπυριτικά ορυκτά κυριαρχούν σε λεπτότερα κλάσματα.

Οι ιονικές μορφές των περισσότερων μετάλλων, πιθανόν μαζί με τις πιο ασταθείς συμπλοκοποιημένες μορφές, είναι οι πλέον διαθέσιμες στους οργανισμούς που τρέφονται μέσω της διαλυτής φάσης (Campbell et al. 1988, Burgess and Scott 1992). Τα μέταλλα που είναι συνδεδεμένα με τα πιο ασταθή γεωχημικά υποστρώματα, δηλαδή

εκτός του κρυσταλλικού πλέγματος των ορυκτών, είναι πιο ευκίνητα και διαθέσιμα στους βενθικούς οργανισμούς που τρέφονται μέσω της σωματιδιακής φάσης. Αυτά τα ασθενώς δεσμευμένα μέταλλα διαμορφώνουν το βιοδιαθέσιμο κλάσμα των μετάλλων στους υδρόβιους οργανισμούς (Campbell and Tessier 1991). Με αλλαγή σε παραμέτρους του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι δυνατή η αναδιάλυση των μετάλλων από το ιζημα και η μετακίνησή τους στην υπερκείμενη υδατική μάζα.

2.5. Μεταβολές στα ιζήματα μετά την απόθεση / διαγένεση

Τα σωματίδια που αποτίθενται στο βυθό των λιμνών ή των θαλασσών καλύπτονται από νέα υλικά, σχηματίζοντας νέα ιζήματα με ρυθμούς ιζηματογένεσης που εξαρτώνται από το περιβάλλον απόθεσης (cm/έτος σε περιοχές δέλτα ποταμών (Schell and Nevissi 1977), mm/έτος σε λίμνες (Krishnaswamy et al. 1971), cm/1000 έτη στην ανοικτή θάλασσα (Turekian 1977)). Η διαρκής συσσώρευση νέων στρωμάτων υλικών ακολουθείται από μια σειρά διαγενετικών διεργασιών μέσα στη μάζα του ιζήματος. Οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν καταρχήν αποδόμηση της οργανικής ύλης, με τη βοήθεια μικροοργανισμών, προς προϊόντα που εξαρτώνται από τον οξειδωτικό παράγοντα. Η οξείδωση της οργανικής ύλης ακολουθείται από μια σειρά φαινομένων όπως η κατανάλωση του οξυγόνου, αναγωγή των νιτρικών, αναγωγή των θειικών και σχηματισμός μεθανίου. Αποτέλεσμα των χημικών αυτών μεταβολών είναι η δημιουργία έντονων διαβαθμίσεων στις χημικές, φυσικές και βιολογικές ιδιότητες του ιζήματος, που οδηγούν σε ανακατανομή των γεωχημικών υποστρωμάτων και των δεσμευμένων σε αυτά μετάλλων (Förstner and Wittmann 1983).

Σε ρυπασμένα ιζήματα, η διαγένεση οδηγεί στη δημιουργία τριών ζωνών:

1. μια οξειδωτική ζώνη πάχους μερικών εκατοστών κοντά στη διεπιφάνεια ιζήματος / υπερκείμενου νερού
2. μια μεταβατική ζώνη στη συνέχεια, πάχους μερικών εκατοστών επίσης, που χαρακτηρίζεται από αναγωγική διαλυτοποίηση των οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου και
3. μια αναγωγική φάση στην οποία κυριαρχούν τα σουλφίδια του σιδήρου και, δευτερευόντως, του μαγγανίου (Nembiri 1982).

3. ΛΙΜΑΝΙΑ, ΝΑΥΠΗΓΟΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Στα πλαίσια μιας σωστής περιβαλλοντικής διαχείρισης τα λιμάνια αποτελούν μια ιδιαίτερη πρόκληση. Οι πηγές ρύπανσης, όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα, πέρα από αυτές που αφορούν όλες τις παράκτιες περιοχές, περιλαμβάνουν και μια σειρά από άλλες πηγές, ιδιαίτερα αν σε αυτές προστεθούν και εκείνες που οφείλονται στην συνήθη γειτνίαση του λιμανιού με εγκαταστάσεις εργασιών για επισκευές.

3.1. Ρύπανση από λιμενικές υπηρεσίες

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης που προκύπτουν από την παροχή λιμενικών εργασιών είναι (Wooldridge and Tselentis 1999, Paipai 1999, Τσελέντης 2001):

1. Ρύπανση από πλοία

- Ρύπανση από την κίνηση και τον ελλιμενισμό των πλοίων: τα συνηθέστερα απόβλητα είναι έρμα και υπολείμματα των δεξαμενών φορτίου, πετρελαϊκά απόβλητα (από φίλτράρισμα, σεντίνες) και απορρίμματα καθημερινής χρήσης. Άλλες πηγές είναι διαρροές καυσίμου ή φορτίου, τα υφαλοχρώματα και η σκουριά (εξετάζονται διεξοδικότερα στη συνέχεια). Η λειτουργία των κινητήρων των πλοίων έχει βρεθεί ότι επιβαρύνει με μέταλλα (V, Ni, Pb, Zn) το περιβάλλον (Isakson et al, 2001).
- Ρύπανση από τη συντήρηση και την επισκευή των πλοίων (εξετάζονται στη συνέχεια με τη ναυπηγοεπισκευαστική ζώνη).
- Ρύπανση κατά τον ανεφοδιασμό των πλοίων με καύσιμα (από τυχόν διαρροές)

2. Ρύπανση από το χειρισμό και την αποθήκευση φορτίων

- Τα χύδην ξηρά φορτία: περίπου το 1% του φορτίου χάνεται κατά τις διαδικασίες φόρτωσης μεταφόρτωσης και εκφόρτωσης μέχρι το προϊόν να φτάσει από την πηγή στον τελικό παραλήπτη.
- Τα χύδην υγρά φορτία: κυρίως από πετρέλαιο.
- Τα γενικά φορτία: κυρίως από ατυχήματα (π.χ. πτώση container στη θάλασσα)

3. Ρύπανση από εργασίες υποστήριξης του λιμανιού

- Εργασίες εκβάθυνσης: η βυθοκόρηση είναι σημαντική για τα λιμάνια, έτσι ώστε να αυξηθεί το βάθος σε κάποια τμήματα του λιμανιού που προορίζονται για νέες χρήσεις (π.χ. δημιουργία νέων προβλητών, εξυπηρέτηση σκαφών με μεγαλύτερο βύθισμα). Μερικές φορές είναι απαραίτητη για τη διατήρηση απλά

του βάρους του λιμανιού με την απομάκρυνση φερτών υλικών (ιδιαίτερα για λιμάνια σε εκβολές ποταμών). Κατά τις εργασίες αυτές η επιβάρυνση γίνεται με τη μεταφορά επιβαρημένου σε μέταλλα υλικού σε άλλη καθαρότερη περιοχή. Επιπλέον, η αναμόχλευση του πυθμένα μπορεί να απελευθερώσει δεσμευμένα μέταλλα και να δημιουργήσει πηγή δευτερογενούς ρύπανσης.

- Συντήρηση και επέκταση της υποδομής του λιμανιού: τα στείρα που απελευθερώνονται, καθώς και ο χάλυβας από σπλισμένο σκυρόδεμα που εκτίθεται δημιουργούν επιπρόσθετο ρυπαντικό φορτίο.
- Συντήρηση της ανωδομής: έχει μεγαλύτερη σημασία για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού. Η συντήρηση και η βαφή γεφυρών και γερανών καθώς και η συντήρηση των μηχανημάτων (πετρελαϊκά κατάλοιπα και απορρίμματα) επιβαρύνουν το λιμάνι.

3.2. Ρύπανση από σκουριά και υφαλοχρώματα

Τα υφαλοχρώματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την αντιμετώπιση της ρύπανσης από ανάπτυξη μικροοργανισμών στα ύφαλα του πλοίου. Οι μικροοργανισμοί αυξάνουν την αντίσταση του πλοίου κατά την κίνησή του στο νερό με αποτέλεσμα να μειώνουν την ταχύτητά του και να αυξάνουν την κατανάλωση καυσίμου και τα έξοδα συντήρησης του πλοίου (Μαρουλάκου κ.α. 1996, Μαρουλάκου κ.α. 1997, Tselentis et al 1999, Tselentis and Tzanatos 2000). Στα υφαλοχρώματα έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως ο κασσίτερος, αλλά και ο ψευδάργυρος, ο μόλυβδος και ο χαλκός.

Ο χάλυβας του πλοίου οξειδώνεται διαρκώς παρά την οποιαδήποτε προστατευτική επεξεργασία έχει υποστεί. Το θαλάσσιο περιβάλλον επιταχύνει τη διαδικασία οξείδωσης, η οποία είναι και αυτοκαταλυόμενη.

Σε πολλά λιμάνια υπάρχουν συγκεκριμένοι χώροι μακροχρόνιας παραμονής πλοίων. Κατά τους χειμερινούς μήνες οι εταιρείες ακτοπλοίας δεν χρησιμοποιούν το σύνολο του στόλου τους. Έτσι, αυτά μένουν αγκυροβολημένα (μαζί με κρουαζιερόπλοια, για τον ίδιο λόγο) σε λιμάνια με αποτέλεσμα τη διάβρωση του χρώματος αλλά και του κήτους του σκάφους. Το ίδιο ισχύει και για εμπορικά πλοία που περιμένουν να φορτώσουν ή να ξεφορτώσουν, αλλά και για πλοία που αναμένουν για την παροχή ναυπηγοεπισκευαστικών εργασιών. Διάβρωση υπάρχει καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του πλοίου, αλλά αν παραμένει αγκυροβολημένο είναι προφανές ότι το αποτέλεσμα είναι δυσμενές για τη περιοχή. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να θεωρήσουμε το κάθε πλοίο σαν μια πηγή ρύπανσης λόγω διάβρωσης.

3.3. Ρύπανση στη ναυπηγοεπισκευαστική ζώνη

Ο χώρος ναυπήγησης η / και επισκευής πλοίων είναι αναπόσπαστα δεμένος με τις λιμενικές υπηρεσίες. Ρύπανση

από βαρέα μέταλλα μπορούμε να έχουμε από τρεις κατηγορίες εργασιών (Βλάχος 1995, Βλάχος και Αλεξόπουλος 1995, Βλάχος 1999, Wooldridge and Tselentis 1999, Παίραι 1999, Τσελέντης 2001, Βλάχος 2002):

1. Εργασίες ναυπήγησης: Υπολείμματα από υδροβολές και αμμοβολές [ρινίσματα μολύβδου και χαλκού, σκουριά από λαμαρίνες, υπολείμματα υφαλοχρωμάτων (μόλυβδος, χαλκός, κασσίτερος)], υπολείμματα πετρελαιοειδών και λιπαντικών (συντήρηση μηχανής), ηλεκτρόδια συγκόλλησης, σωλήνες, καλώδια και άλλα κατάλοιπα μηχανουργικής και ηλεκτρολογικής κατεργασίας. Σωματιδιακή ρύπανση από οξυγονοκολλήσεις, λειάνσεις, στύβώσεις, κοπές και διαμορφώσεις μετάλλων (π.χ. στραντζάρισμα, πριτσίνωμα κλπ.). Επίσης ρύπανση από καθαρισμούς καζανιών, δεξαμενών, διαλυτικά μέσα και υγρά μπαταριών.
2. Εργασίες τακτικής συντήρησης και επισκευών: Παρόμοιας μορφής ρύπανση. Μικρής έκτασης εργασίες γίνονται και σε περιοχές εντός του λιμένος (δεξαμενή Βασιλειάδη στο λιμάνι του Πειραιά). Ρύπανση από πλοία σε αναμονή για επισκευές.
3. Εργασίες διάλυσης πλοίων: Παρόμοιας μορφής ρύπανση. Αυξημένη ρύπανση από σκουριές και ρινίσματα χάλυβα. Στις πηγές ρύπανσης πρέπει να προστεθούν και τα νερά πλύσης (πλοίων και μονάδας) και νερά πυροσβεστικών συστημάτων.

3.4. Γενικότερη ρύπανση

Η ύπαρξη και μόνο ενός λιμανιού σε μία περιοχή αποτελεί το κέντρο μιας σειράς δραστηριοτήτων, οι οποίες τονώνουν την τοπική οικονομία αλλά και επιβαρύνουν περισσότερο το περιβάλλον της περιοχής. Οι πηγές της ρύπανσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1. Ρύπανση από τη φυσική φθορά των στοιχείων του λιμανιού, ιδιαίτερα σκούριασμα μεταλλικών κατασκευών (όπως είναι οι γερανοί, οι γερανογέφυρες, δικτύωματα, υπόστεγα, κλπ.) και του χάλυβα του οπλισμένου σκυροδέματος της ανωδομής του λιμανιού.
2. Ρύπανση από τις περιφερειακές βιομηχανίες και βιοτεχνίες που έχουν τη φυσική τάση να μαζεύονται γύρω από ένα λιμάνι. Κυρίως πρόκειται για μηχανουργία, βαφεία, ηλεκτρολογία και αντιπροσωπείες – αποθήκες που εξυπηρετούν αρχικά τη λιμενική ζώνη, αλλά και την ευρύτερη περιοχή.
3. Ρύπανση από αυξημένα αστικά λύματα λόγω κίνησης επιβατών και δημιουργία καταστημάτων εξυπηρέτησης ταξιδιωτών και αυτοκινήτων στην περιοχή.
4. Ρύπανση από την αυξημένη κίνηση ιδιωτικών αυτοκινήτων (ferpy-boats) και φορτηγών (containers, εμπορευματοκιβώτια) και τις κυκλοφοριακές συμφορήσεις στο χώρο, ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής (κυρίως ρύπανση από μολύβδο).

Στη συνέχεια (κεφάλαια έξι έως έντεκα) θα εξεταστούν μεμονωμένα οι θαλάσσιες περιοχές (λιμάνια, μαρίνες

κλπ) που μελετήθηκαν.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1. Βασικός στόχος της μελέτης

Αναλυτική εξέταση των περιόδων της μελέτης γίνονται στα επί μέρους κεφάλαια. Ο βασικός στόχος της μελέτης είναι το συνώνυμο λιμάνι του Πειραιά, που παρά λαμβάνει τους χώρους διακίνησης επιβατών, εμπνευσμένων κυρίως, του εμπορίου, εκτέλεσης ναυπηγειακών εργασιών. Επίσης εξετάστηκαν το Διακρίβιστο (και λειτουργία του) καθώς και η μαρίνα Ζέας (και λειτουργία αυτής) σαν μαρίνα σκαφών αναψυχής, αλλά και Διακρίβιστο για σημαντικό χρονικό διάστημα σαν λιμάνι διακίνησης επιβατών με ταξίδια στην Αθήνα. Δείγματα ελήφθησαν και από άλλες μαρίνες του Ελληνικού για λόγους σύγκρισης. Επίσης ελήφθησαν:

1. Το λιμάνι και ο κόλπος της Ελευσίδας, που έχει κίνηση κρουαζιέρας και προϊόντων από μεγάλα βιομηχανικά συγκροτήματα (Πολυτεχνείο, Γεωτεχνολογική υπηρεσία, σιδηρόδρομο και γέφυρα, εργοστάσιο παραγωγής πετρελίου κ.α.α. κ.α.α.).
2. Τα λιμάνια της Δυτικής, που χρησιμοποιείται σαν λιμάνι διακίνησης επιβατών, χωρίς βιομηχανικές εγκαταστάσεις στην περιοχή και κοντά σε δημοφιλείς παραλίες και χρησιμοποιούνται για εκδρομές.
3. Το λιμάνι του Δυτικού, που σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως σαν λιμάνι διακίνησης επιβατών και διακίνησης των λιμνών διακίνησης εμπνευσμένων, αλλά κατά το παρελθόν αποτέλεσε την κύρια πόρτα εισόδου των προϊόντων και των απορριμμάτων κρουαζιέρας στην Αθήνα και την περιοχή της μεσογείου της περιοχής (καρφοφόρο λιμάνι και λιμάνι κρουαζιέρας) και την προηγούμενη εποχή, αρχίζοντας από την αρχαιότητα.

4.2. Αποδοτική μελέτης κρουαζιέρας

Η μελέτη που κρούεται αποτελεί ορισμό πάντα το πρώτο βήμα για τη γνησιότητα μελέτη και την καταγραφή των εκκείμενων μετρήσεων της κρουαζιέρας για πολλές λόγους (Hosoyama 1991):

1. Στη περίπτωση ορισμού ορισμάτων, οι συγκεντρώσεις των ερωτημάτων στο ανάλογο στάδιο, (βήματα μελέτης) κρουαζιέρας, σαν κρουαζιέρας που κρουαζιέρας είναι στην κλίση του λιμάνι (αρκούν, επίσης μεγάλους) από τις συγκεντρώσεις συγκεντρώσεων, που κρουαζιέρας είναι η, στάση και κρουαζιέρας. Είναι η εκτίμηση των κρουαζιέρας διακίνησης ορισμάτων κρουαζιέρας που κρουαζιέρας κρουαζιέρας κρουαζιέρας από το δείγμα κρουαζιέρας.
2. Τα κρουαζιέρας που κρουαζιέρας κρουαζιέρας κρουαζιέρας κρουαζιέρας για πολλές ερωτήσεις. Είναι

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1. Βασικός στόχος της μελέτης

Αναλυτική εξέταση των περιοχών της μελέτης γίνεται στα επί μέρους κεφάλαια. Ο βασικός στόχος της μελέτης είναι το ευρύτερο λιμάνι του Πειραιά, που περιλαμβάνει τους χώρους διακίνησης επιβατών, εμπορευμάτων καθώς και περιοχές εκτέλεσης ναυπηγοεπισκευαστικών εργασιών. Επίσης εξετάστηκαν το Μικρολίμανο (που λειτουργεί σαν μαρίνα σκαφών αναψυχής) και η μαρίνα Ζέας (που λειτουργεί επίσης σαν μαρίνα σκαφών αναψυχής, αλλά έχει λειτουργήσει για σημαντικό χρονικό διάστημα σαν λιμάνι διακίνησης επιβατών με ταχύπλοα σκάφη – «δελφίνια»). Δείγματα ελήφθησαν και από άλλες μαρίνες του Σαρωνικού για λόγους σύγκρισης. Επίσης εξετάστηκαν :

1. Το λιμάνι και ο κόλπος της Ελευσίνας, που έχει κίνηση πρώτων υλών και προϊόντων από μεγάλα βιομηχανικά συγκροτήματα (δουλιστήρια, εγκαταστάσεις κατεργασίας σιδήρου και χάλυβα, εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου, εξόρυξης βωξίτη).
2. Το λιμάνι της Ραφήνας, που χρησιμοποιείται σαν λιμάνι διακίνησης επιβατών, χωρίς βιομηχανικές εγκαταστάσεις στην περιοχή και κοντά σε δημοφιλείς παραλίες που χρησιμοποιούνται για κολύμβηση.
3. Το λιμάνι του Λαυρίου, που σήμερα χρησιμοποιείται κύρια σαν λιμένας διακίνησης επιβατών και δευτερευόντως σαν λιμένας διακίνησης εμπορευμάτων, αλλά κατά το παρελθόν αποτέλεσε την κύρια πύλη μεταφοράς των προϊόντων και των απαιτούμενων πρώτων υλών των εγκαταστάσεων εξόρυξης και κατεργασίας των μεταλλευμάτων της περιοχής (παραγωγή μολύβδου και ψευδαργύρου μέχρι και τον προηγούμενο αιώνα, αργύρου κατά την αρχαιότητα).

4.2. Επιλογή της μελέτης ιζημάτων

Η μελέτη των ιζημάτων αποτελεί σχεδόν πάντα το πρώτο βήμα για τη γεωχημική μελέτη και την καταγραφή των επιπέδων ρύπανσης μιας περιοχής για πολλούς λόγους (Horowitz 1991):

1. Στα περισσότερα υδατικά συστήματα, οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στο ανώτερο στρώμα, βάθους μερικών εκατοστών, των ιζημάτων του πυθμένα είναι κατά πολύ υψηλότερες (αρκετές τάξεις μεγέθους) από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις στη διαλυτή φάση της στήλης του νερού. Έτσι, η ανάλυση των ιζημάτων δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα και παρουσιάζει μικρότερες πιθανότητες επιμόλυνσης από τα δείγματα νερών.
2. Τα ιζήματα του πυθμένα αποτελούν τους τελικούς αποδέκτες (φυσικές παγίδες) για πολλά ιχνοστοιχεία. Ένα

αδιατάρακτο δείγμα εμπεριέχει μια ιστορική καταγραφή των χημικών συνθηκών και επιτρέπει έτσι την εκτίμηση των χημικών αλλαγών με την πάροδο του χρόνου και, πιθανώς, την εύρεση των φυσικών επιπέδων (baseline levels) σε μια περιοχή, με τα οποία μπορούν να συγκριθούν οι υπό μελέτη συνθήκες.

3. Μια μεταβολή στις περιβαλλοντικές ή φυσικοχημικές παραμέτρους μπορεί να απελευθερώσει στο υδάτινο περιβάλλον ιχθυοστοιχεία που ήταν δεσμευμένα στο ιζήμα, τα οποία εισερχόμενα στην τροφική αλυσίδα μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα.
4. Τα ιζήματα του πυθμένα πρέπει να θεωρούνται ως κύρια πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να μελετούνται όταν πρόκειται να διερευνηθούν φαινόμενα μεταφοράς. Μετά από μια αλλαγή στις υδρολογικές συνθήκες, που μπορεί να οφείλεται σε μια ισχυρή καταιγίδα ή σε επιφανειακή απορροή, ένα εντοπισμένο σε μια συγκεκριμένη περιοχή πρόβλημα ρύπανσης μπορεί ξαφνικά να εξαπλωθεί και να έχει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
5. Η δειγματοληψία και ανάλυση δειγμάτων από τα ιζήματα του πυθμένα παρέχει τις βασικές γεωχημικές πληροφορίες για μια περιοχή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση περιβαλλοντικών φαινομένων που οφείλονται σε σημειακές ή μη σημειακές πηγές ρύπανσης.

Για όλους τους προηγούμενους λόγους, καθώς και για το γεγονός ότι τα ιζήματα επιδεικνύουν πολύ περιορισμένες χωρικές και χρονικές τυχαίες διακυμάνσεις σε σχέση με το υπερκείμενο νερό, τα δείγματα ιζημάτων θεωρούνται ότι περιέχουν πολύ σημαντικές πληροφορίες για τη μελέτη ενός υδάτινου και ως εκ τούτου και θαλάσσιου συστήματος (Aston and Thornton 1977).

4.3. Δειγματοληψία

Για τις δειγματοληψίες επιφανειακών ιζημάτων χρησιμοποιήθηκαν δειγματολήπτες (grabs, αρπάγες) τύπου Van Veen από ανοξείδωτο ατσάλι και τύπου Murguerra από ατσάλι επιχρωματισμένο με μίνιο. Ο πρώτος τύπος αρπάγης δεσμεύει το επιφανειακό δείγμα με τράβηγμα σχοινού και είναι ελαφρύτερος, άρα και πιο εύκολος στη χρήση για πολλές συνεχόμενες δειγματοληψίες, ενώ ο δεύτερος τύπος λειτουργεί με την ελευθέρωση βαριδιού, το οποίο κλείνει τις σιαγόνες της αρπάγης και είναι πιο «σίγουρος» για μεγάλα βάθη ή / και έντονα ρεύματα, καθότι το βάρος εγγυάται τη σωστή θέση της στον πυθμένα της θάλασσας κατά τη δειγματοληψία. αφού οι αρπάγες δεν εξασφαλίζουν τη λήψη αδιατάρακτου δείγματος.

Για τη συλλογή πυρήνων ιζημάτων χρησιμοποιήθηκαν δειγματολήπτες βαρύτητας (gravity corers), κατασκευασμένοι από χάλυβα.

4.4. Προκατεργασία δειγμάτων

Κατά την προκατεργασία την δειγμάτων έγινε απόψυξη και ομογενοποίηση. Επιλέχθηκε μικρή ποσότητα δείγματος, από την οποία με προσοχή απομακρύνθηκαν τα αδρομερή υλικά (πέτρες, κογχύλια, φυτικά υπολείμματα, κομμάτια μετάλλων, πλαστικών ή ξύλων κ.λ.π.) μεγέθους άνω του 1 mm και τα δείγματα ξηράθηκαν σε φούρνο με κυκλοφορία αέρα στους 40° C. Στη συνέχεια, τα δείγματα λειοτριβήθηκαν σε ιγδίο (γουδί) αχάτη και αποθηκεύτηκαν σε γυάλινα φιαλίδια με πώμα από πολυαιθυλένιο.

4.5. Προσδιορισμός οργανικού άνθρακα

Ο εύκολα οξειδούμενος οργανικός άνθρακας προσδιορίστηκε με την κλασική μέθοδο Walkey – Black (1947), που τροποποιήθηκε από τον Jackson (1958) (Loring and Rantala 1992). Για τον υπολογισμό του οργανικού άνθρακα (TOC) ακολούθηθηκε η ακόλουθη διαδικασία:

1. Ξήρανση του δείγματος στους 40° C, κονιοποίηση σε γουδί αχάτη και ομογενοποίηση.
2. Ζύγιση 0,2 – 0,5 g δείγματος (λήψη διπλού δείγματος) και τοποθέτηση της ποσότητας σε κωνική φιάλη των 250 mL.
3. Προσθήκη 10 mL διαλύματος $K_2Cr_2O_7$ 1 N και ανακίνηση ώστε να υπάρξει πλήρης επαφή του ιζήματος με το αντιδραστήριο.
4. Προσθήκη 20 mL πυκνού H_2SO_4 και συνέχιση της ανακίνησης.
5. Η κωνική φιάλη αφήνεται να ηρεμήσει για 30 λεπτά της ώρας.
6. Το δείγμα αραιώνεται στα 100 mL και προστίθενται 10 mL H_3PO_4 85 %, 0,2 g NaF και 10 σταγόνες φερροΐνης.
7. Παρασκευάζεται διάλυμα δισθενούς σιδήρου 0,5 N με τη διάλυση της απαραίτητης ποσότητας $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ σε διάλυμα 800 mL H_2O και πυκνού H_2SO_4 που αραιώνεται με νερό στα 1000 mL (1L).
8. Το δείγμα ογκομετρείται με το διάλυμα δισθενούς σιδήρου 0,5 N μέχρι αλλαγής χρώματος.

Ο οργανικός άνθρακας (%TOC) υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\%TOC = V [1 - (T / T_b)] 0,003 N (100 / W), \text{ όπου}$$

V = όγκος διαλύματος $K_2Cr_2O_7$ σε mL

N = κανονικότητα διαλύματος $K_2Cr_2O_7$

T = όγκος διαλύματος δισθενούς Fe για το δείγμα

T_b = όγκος διαλύματος δισθενούς Fe για το blank

W = βάρος δείγματος σε g

4.6. Προσδιορισμός περιεχόμενων ανθρακικών αλάτων (ανθρακικού ασβεστίου)

Προζυγισμένη ποσότητα δείγματος, περίπου 0,5 g που ξηράθηκε στους 40° C τοποθετείται σε ποτήρι ζέσεως και σε αυτό προστίθεται ποσότητα υδροχλωρίου κανονικότητας 0,5 N. Όσο υπάρχει ανατάραξη στον πυθμένα του ποτηριού («άφρισμα»), προστίθεται υδροχλωρικό οξύ κάθε 5 λεπτά μέχρι να μην υπάρχει αντίδραση. Στη συνέχεια το περιεχόμενο του ποτηριού ξηραίνεται, εκκλύεται με αποσταγμένο νερό, γίνεται διαχωρισμός του ιζήματος από το νερό με φυγοκέντρηση για 15 λεπτά σε 3000 rpm, το ίζημα ξηραίνεται στους 40° C επαναζυγίζεται. Η διαφορά βάρους πριν και μετά την κατεργασία είναι το βάρος των ανθρακικών και γίνεται % αναγωγή στο αρχικό ξηρό βάρος δείγματος (Dassenakis et al. 1995). Η μέθοδος είναι απλή και άμεση. Ο έλεγχος επαναληψιμότητας της μεθόδου έγινε με επανάληψη 4 φορές σε 6 τυχαία δείγματα.

4.7. Προσδιορισμός ολικών συγκεντρώσεων των μετάλλων

Η κατεργασία των μετάλλων είναι η εξής (Thompson and Walsh 1983, UNEP 1985) :

1. Δείγμα 100 mg \pm 0,1 mg, τοποθετείται σε ανοικτό δοχείο από Teflon όγκου mL.
2. Προστίθενται 2mL HNO₃, 1 mL HClO₄ και 5 mL HF. Τα δοχεία (10 και 1 τυφλό για τον έλεγχο επιμολύνσεων για κάθε κύκλο κατεργασίας) τοποθετούνται πάνω σε θερμαντική πλάκα.
3. Με βήμα 1° C ανά λεπτό, η θερμοκρασία της επιφάνειας της πλάκας αυξάνεται στους 90° C, όπου παραμένει για 3 ώρες.
4. Με βήμα 1° C ανά λεπτό, η θερμοκρασία της επιφάνειας της πλάκας αυξάνεται στους 140° C, όπου παραμένει για 9 ώρες (αντί για «overnight», Sakellariadou 1987).
5. Με βήμα 1° C η θερμοκρασία της επιφάνειας της πλάκας αυξάνεται σε τους 160° C, όπου μένει μέχρι ξηρότητας και στη συνέχεια το όλο σύστημα ψύχεται στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.
6. Στο κατεργασμένο δείγμα προστίθενται 2mL HNO₃ κανονικότητας 6 M, τα δείγματα επανατοποθετούνται στην θερμαντική πλάκα, της οποίας η θερμοκρασία επιφάνειας έφτασε (με βήμα 1° C ανά λεπτό) τους 70° C, όπου σταθεροποιείται για 1 ώρα.
7. Τα δείγματα μετά την τελική εκχύλιση αφήθηκαν να ψυχθούν στην θερμοκρασία περιβάλλοντος, αραιώθηκαν με αποιονισμένο νερό μέχρι τα 10 mL.

Στα διαλύματα που προέκυψαν από τις χωνεύσεις των δειγμάτων προσδιορίστηκαν στη συνέχεια τα μέταλλα Al, Cu, Fe, Mn και Zn με ΦΑΑ με φλόγα, τα μέταλλα Cd και Sn με ΦΑΑ με φούρνο γραφίτη και τέλος τα μέταλλα

Pb και Ni προσδιορίστηκαν και με τις δύο τεχνικές: ΦΑΑ φλόγας για τις ψηλότερες συγκεντρώσεις και ΦΑΑ με φούρνο γραφίτη για τις χαμηλότερες. Σε όλες τις περιπτώσεις, η βαθμονόμηση του οργάνου έγινε με καμπύλες αναφοράς που κατασκευάστηκαν με πρότυπα διαλύματα των μετάλλων που προσδιορίστηκαν. Σε καμία περίπτωση δεν κρίθηκε απαραίτητη η βαθμονόμηση με τη μέθοδο των γνωστών προσθηκών (method of standard additions), αφού η σύγκριση των καμπυλών αναφοράς που προέκυψαν από τις δύο μεθόδους δεν έδειξε διαφορές, όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία (Pruszkowska and Barrett 1984). Άλλωστε η μέθοδος των γνωστών προσθηκών συστήνεται να αποφεύγεται κατά το δυνατόν, επειδή είναι χρονοβόρα και μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβή αποτελέσματα (Tyson 1984, Slavin 1988).

Τα πρότυπα διαλύματα για την ΦΑΑ φλόγας κατασκευάστηκαν με αραιώσεις του πρότυπου διαλύματος παρακαταθήκης κάθε στοιχείου, συγκέντρωσης 1000 mg/L, ενώ για την ΦΑΑ φούρνου γραφίτη από το πρότυπο διάλυμα της Perkin -Elmer για όλα τα προσδιορισθέντα στοιχεία πλην Sn και το χωριστό πρότυπο διάλυμα Sn.

Ο έλεγχος της ακρίβειας της μεθοδολογίας έγινε με ανάλυση των προτύπων κάθε 20 δείγματα για την ΦΑΑ φλόγας, και με επανεκτίμηση της καμπύλης αναφοράς (reslope) κάθε 10 δείγματα για την ΦΑΑ φούρνου γραφίτη.

4.8. Προσδιορισμός των γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων

Η γνώση της χημικής κατανομής στα ιζήματα είναι χρήσιμη, όχι μόνο γιατί δίνει πληροφορίες σχετικά με τη βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων, αλλά και γιατί μερικές φορές παρέχει υποδείξεις για την προέλευση της ρύπανσης, συνεισφέροντας έτσι στον εντοπισμό των πηγών. Επιπλέον, είναι σημαντική για τη λήψη αποφάσεων που αφορούν τη θαλάσσια διάθεση ρυπασμένων υλικών, όπως υλές βιολογικών καθαρισμών ή ρυπασμένα ιζήματα από εκβαθύνσεις (Förstner and Patchineelam 1981).

Για τους λόγους αυτούς, για την εκλεκτική διάκριση της χημικής κατανομής των μετάλλων στα ιζήματα έχουν προταθεί μέχρι σήμερα μια σειρά από μεθοδολογικά σχήματα, που περιλαμβάνουν διάφορους συνδυασμούς αντιδραστηρίων και πειραματικών συνθηκών (Nissenbaum 1972, Gibbs 1977, Gupta and Chen 1975, Brannon et al 1977, Tessier et al. 1979, Förstner and Stofferts 1981, Nembrini et al. 1982, Van Valin and Morse 1982, Salomons and Förstner 1984, Ure et al. 1993, Polyák and Hlavay 1999). Άλλα από τα σχήματα αυτά είναι αναλυτικά και εκτεταμένα, καθώς περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό σταδίων, και άλλα πιο σύντομα και συνοπτικά. Γενικά οι περισσότερες μεθοδολογίες επικαλύπτονται ως προς τα διαχωριζόμενα κλάσματα, που συνήθως είναι τα εξής:

1. Προσροφήμενα μέταλλα (exchangeable)
2. Σχετιζόμενα με ανθρακικά (carbonate associated)
3. Αναγώγιμα ή συνδεδεμένα με οξειδία σιδήρου και μαγγανίου (reducible)

4. Συνδεδεμένα με οργανική ύλη και σουλφίδια (organic matter and sulphide bound)
5. Δεσμευμένα στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών (residual)

Τα κύρια κριτήρια της επιλογής της μεθόδου είναι τα κλάσματα που διαχωρίζει, η ακρίβεια της και τα διαθέσιμα μέσα. Για τη μελέτη αυτή επιλέγη η μέθοδος των Tessier et al. (1979) με κάποιες τροποποιήσεις (Sakellariadou 1987). Πιο συγκεκριμένα (για 1 g δείγματος):

1. Προσροφημένα μέταλλα. Στο δείγμα προστίθεται υδατικό διάλυμα 8mL $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (NH_4OAc) 1M σε pH 8,2 (πυκνή NH_3) για 1 ώρα σε θερμοκρασία δωματίου με συνεχή ανάδευση. Ο διαχωρισμός διαλύματος – ιζήματος γίνεται με φυγοκέντρηση (30 λεπτά, 2000 στροφές ανά λεπτό). Το ίζημα κατεργάζεται σύμφωνα με το επόμενο στάδιο, ενώ το διάλυμα οξινίζεται (π. HNO_3), θερμαίνεται μέχρι ξηρού σε θερμική πλάκα (120°C) και στη συνέχεια διαλύεται με H_2O μέχρις όγκου 25 mL.
2. Σχετιζόμενα με ανθρακικά. Στο ίζημα της προηγούμενης φυγοκέντρησης προστίθενται 8 mL υδατικού διαλύματος CH_3COONa (NaOAc), το pH διορθώνεται σε 5 (π. HNO_3) και υφίσταται συνεχή ανάδευση σε θερμοκρασία δωματίου. Μετά το τέλος της εκχύλισης ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία με το προηγούμενο στάδιο, λαμβάνεται και αποθηκεύεται το διάλυμα και το ίζημα υφίσταται κατεργασία σύμφωνα με το επόμενο στάδιο.
3. Αναγώγιμα ή συνδεδεμένα με οξειδία σιδήρου και μαγγανίου. Στο ίζημα του προηγούμενου σταδίου προστίθενται 20 mL διαλύματος $\text{NH}_3\text{OH}\cdot\text{HCl}$ 0,04 M (ο διαλύτης είναι υδατικό διάλυμα 25 % v/v CH_3COOH (HOAc)), με διόρθωση του pH σε 2 (π. HNO_3). Θέρμανση στους $96 \pm 3^\circ \text{C}$ για 6 ώρες με περιοδική ανάδευση. Μετά το τέλος της εκχύλισης ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία με το προηγούμενο στάδιο, λαμβάνεται και αποθηκεύεται το διάλυμα και το ίζημα υφίσταται κατεργασία σύμφωνα με το επόμενο στάδιο.
4. Συνδεδεμένα με οργανική ύλη και σουλφίδια. Για την κατεργασία του σταδίου αυτού έχουμε τις εξής διαδοχικές φάσεις:
 - Στο ίζημα του προηγούμενου σταδίου προστίθενται 3 mL HNO_3 0,02 M και 5 mL 30 % H_2O_2 σε pH 2 (π. HNO_3). Θέρμανση στους $85^\circ \pm 2^\circ \text{C}$ για 2 ώρες με περιοδική ανάδευση.
 - Προστίθενται 3 mL 30 % H_2O_2 σε pH 2 (π. HNO_3), περιοδική ανάδευση για 3 ώρες.
 - Το δείγμα ψύχεται στη θερμοκρασία δωματίου.
 - Προστίθενται 10 mL διαλύματος NH_4Ac 3,2M (ο διαλύτης είναι υδατικό διάλυμα HNO_3 20 % v/v) και στη συνέχεια προστίθεται απιονισμένο νερό μέχρις όγκου 40 mL και στη συνέχεια υφίσταται συνεχή ανάδευση για 30 λεπτά.
 - Γίνεται ο διαχωρισμός με φυγοκέντρηση και λήψη του τελευταίου εκχυλίσματος κατά τα γνωστά.

5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ

Για καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων αποφασίστηκε η χρήση ισοπερικτικών χαρτών (contour maps). Το είδος αυτό των χαρτών έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα από τον κλάδο της Μεταλλευτικής (Mining). Κρίθηκε σκόπιμη μια σύντομη εξήγηση κάποιων βασικών εννοιών καθώς και μια σύντομη ανάλυση και αξιολόγηση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται πριν την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου για τη δημιουργία των χαρτών αυτών για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της εργασίας αυτής, που γίνεται στα αμέσως επόμενα κεφάλαια (έξι έως εννέα).

5.1. Υπολογισμός αποθεμάτων – Γεωστατιστική

Είναι αναμφισβήτητο ότι η δημιουργία ενός ιζήματος με υψηλή ή όχι περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα αποτελεί μια περίπτωση ιζηματογένεσης εν τη γενέσει. Ο υπολογισμός του όγκου και των ποιοτικών χαρακτηριστικών ενός γεωλογικού όγκου είναι ένας από τους βασικούς στόχους της Μεταλλευτικής και πιο συγκεκριμένα του κλάδου της Μεταλλευτικής Εκτιμητικής. Οι πρώτοι υπολογισμοί που αφορούσαν όγκο και ποιοτικά χαρακτηριστικά κοιτάσματος έγιναν αρχικά με άμεση παρατήρηση των εμφανίσεων και στη συνέχεια των τοιχωμάτων των υπογείων έργων, για να καθιερωθεί στη συνέχεια η μέθοδος δειγματοληψίας με γεωτρήσεις. Οι πρώτες αναλύσεις αποτελεσμάτων και οι πρώτοι υπολογισμοί έγιναν με τις λεγόμενες συμβατικές μεθόδους που είναι οι εξής (Davis 1977, Αποστολίδης 1980): μέθοδος των τομών, μέθοδος των τετραγώνων και ορθογωνίων, μέθοδος των πολυγώνων, μέθοδος των τριγώνων και μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων.

Η οποιαδήποτε ιζηματογένεση ακολουθείται από ίδιους νόμους και κανόνες, και το αποτέλεσμα έχει σαφώς μετρήσιμα χαρακτηριστικά. Ο κλάδος της Μεταλλευτικής είναι ο πρώτος που ενδιαφέρθηκε για την ανακάλυψη των κανόνων αυτών έτσι ώστε να γίνει δυνατή η αποτίμηση του οπουδήποτε κοιτάσματος (εμφάνιση ορυκτού εκμεταλλεύσιμης συγκέντρωσης). Για παράδειγμα, ένα ποτάμι που αποθέτει ιζήμα προερχόμενο από την αποσάθρωση χρυσοφόρου κοιτάσματος (λόγω της μεγάλης πυκνότητας του χρυσού) εμπλουτίζει σε χρυσό το αποτιθέμενο ιζήμα στα σημεία καμπής του (π.χ. Μαϊάνδρος, Πακτωλός). Πρώτα μάλιστα αποτίθενται οι μεγαλύτεροι κόκκοι στα σημεία που η κίνηση του νερού είναι ταχύτερη και όταν (συνήθως πλησιάζοντας προς τις εκβολές) η ταχύτητα μειώνεται αποτίθενται οι μικρότεροι κόκκοι. Έτσι αν γνωρίζουμε τη γεωλογία της περιοχής και την παλαιότερη κοίτη γνωρίζουμε και σε ποια σημεία πρέπει αρχικά να ερευνησουμε και μπορούμε να αποφασίσουμε πότε να σταματήσουμε την έρευνα παρατηρώντας ότι με την προσέγγιση στις εκβολές η περιεκτικότητα του ποτάμιου ιζήματος σε πολύτιμο μέταλλο μειώνεται σε ποσοστό μη εκμεταλλεύσιμο. Οι δύο παράγοντες που επεμβαίνουν στη δημιουργία ενός κοιτάσματος είναι ο δομικός και ο τυχαίος (οι γεωλόγοι

τονίζουν τον πρώτο και οι μαθηματικοί τον δεύτερο) και το αποτέλεσμα σύνθεσής τους είναι η γεωστατιστική. Η γεωστατιστική είναι η μελέτη της κατανομής στο χώρο ορισμένων κοιτασματολογικών μεταβλητών, όπως οι περιεκτικότητες και τα πάχη, η ανάπτυξη προτύπων και η χρησιμοποίησή τους για την αξιοποίηση των μεταλλευμάτων (Παναγόπουλος 1980). Το ζήτημα εξετάζεται καλύτερα όταν γίνεται αναφορά στη μέθοδο κρίγιγκ.

Η αντιμετώπιση ενός ιζήματος πλούσιου σε βαρέα μέταλλα σαν να ήταν ένα κοίτασμα με οικονομική αξία παρουσιάζει ένα βασικότατο πλεονέκτημα: εκμεταλλεύεται την εμπειρία, τις μεθόδους και τα εργαλεία ενός κλάδου ο οποίος έχει αρχίσει συστηματικά να αναπτύσσεται από τις αρχές της δεκαετίας του 1950, ασχολείται ουσιαστικά με το ίδιο αντικείμενο μελέτης αν πρόκειται για ιζηματογενή κοιτάσματα (εκτίμηση περιεκτικότητας) σε ένα πολύ ανταγωνιστικό περιβάλλον που επιτρέπει την επιβίωση μόνο στον αποτελεσματικό και έχει αυξημένους πόρους για έρευνα (αφού οι μεταλλευτικές εταιρείες διαρκώς επανεπενδύουν μέρος των κερδών τους στην έρευνα και στη διαρκή εξέλιξή της). Αν αντιμετωπιστεί το κάθε ίζημα (προϊόν ρύπανσης ή όχι) σαν πιθανό κοίτασμα, κάθε συμπέρασμα που εξάγεται για αυτό με τη βοήθεια της μεταλλευτικής ισχύει και για τη μελέτη αυτή.

Οι δύο σχολές που κυριαρχούν στον κλάδο είναι η νοτιοαφρικάνικη που προηγήθηκε (διατριβή MSc του D. G. Krige, U. of Witwatersrand 1951) και η γαλλική που ακολούθησε (G. Matheron, U. of Fontainebleau, πρώτες εργασίες το 1962).

Η γεωστατιστική αποτελεί ένα βασικότατο εργαλείο της Μεταλλευτικής Εκτιμητικής (Αποστολίδης 1986), αλλά ίσως η πιο σημαντική προσφορά της είναι ότι οι μεταλλειολόγοι αναγκάστηκαν να ξανασκεφτούν το θέμα της δειγματοληψίας κάτω από το φως της υπόθεσης ότι οι κοιτασματολογικές μεταβλητές δεν κατανέμονται τυχαία στο χώρο, αλλά ακολουθούν ένα σύστημα σχέσεων που μπορεί να εκφραστεί ποσοτικά (Παναγόπουλος 1980).

Συμφωνώ απόλυτα με την άποψη που διατυπώθηκε από τον Παναγόπουλο (1980) ότι η συμβολή της γεωστατιστικής δεν είναι σωστό να περιορίζεται στην τρόπο επεξεργασίας των πληροφοριών που λαμβάνονται από τα δείγματα, αλλά κυρίως θα πρέπει να επεκτείνεται στο πως πρέπει να λαμβάνονται τα ίδια τα δείγματα (να οργανώνεται μια νέα δειγματοληψία, να συνεχίζεται μια δειγματοληψία εν εξελίξει ή να διευκρινίζονται σημεία που προκαλούν ασάφειες από μια προηγούμενη δειγματοληψία), ώστε η δειγματοληψία να αντανακλά τον εσωτερικό νόμο που ελέγχει τις βασικές μεταβλητές του κοιτάσματος. Με τον τρόπο αυτό γίνεται καλύτερη αξιοποίηση του δείγματος και ελέγχεται κάθε πληροφορία ως προς την αξιοπιστία της (Παναγόπουλος 1980).

Είναι οπωσδήποτε πέρα από τους στόχους αυτής της μελέτης η λεπτομερής ανάλυση του θέματος της γεωστατιστικής. Απλά θα γίνει αναφορά στα σημεία που θεωρούνται απαραίτητα για την εργασία αυτή.

5.2. Κάνναβος δειγματοληψίας-φαινόμενο κόκκου-επεξεργασία δεδομένων

Ο κάνναβος μιας δειγματοληψίας είναι κατά κανόνα μια ιδεατή περίπτωση, όπου καθαρίζεται μία απόσταση σημείων και δημιουργείται ένα δίκτυο πυρηνοληπιών ή επιφανειακών δειγματοληπιών που ισαπέχουν. Δεν είναι πάντα δυνατόν να τηρηθεί η αυστηρή γεωμετρία του καννάβου για λόγους αντικειμενικούς, όπως η ύπαρξη κατοικημένης περιοχής, η απαγόρευση πρόσβασης, ή οικονομικούς, όπως η ύπαρξη σκληρών σημείων εδάφους στο σχεδιασμένο κάνναβο. Τότε είναι προφανές ότι γίνονται επί τόπου τροποποιήσεις για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Σε περιπτώσεις θαλασσιών ιζημάτων υπάρχουν οι επιπρόσθετοι παράγοντες του βάθους και της θαλάσσιας κυκλοφορίας. Ο δεύτερος παράγοντας είναι κυρίαρχος μέσα σε ένα πολυσύχναστο λιμάνι. Η αντικειμενική αδυναμία λήψης δείγματος σε ένα λιμάνι είναι πολλές φορές αποτέλεσμα βυθοκόρησης.

Μετά τη δειγματοληψία και την εξέταση των παραμέτρων γίνεται προσπάθεια για την εύρεση του νόμου μεταβολής των παραμέτρων του κοιτάσματος, έτσι ώστε από ένα σύνολο σημειακών τιμών να ληφθεί μία συνεχής συνάρτηση, η οποία να εκμεταλλεύεται όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες για να δίνει πρόβλεψη για τα σημεία από τα οποία δεν έχουμε δείγμα.

Είναι φανερό ότι δεν είναι δυνατό να ελεγχθούν μεταβολές που εκδηλώνονται σε διαστάσεις πολύ μικρότερες από τις διαστάσεις του καννάβου. Αυτό ονομάζεται φαινόμενο κόκκου (Παναγόπουλος 1980). Η αντιμετώπιση του φαινομένου δεν είναι πάντα απλή υπόθεση, καθώς η μοναδική σίγουρη λύση είναι η πύκνωση του καννάβου των δειγμάτων, ενέργεια που αφ' ενός μεν ανεβάζει κατακόρυφα το κόστος και τον απαιτούμενο χρόνο, αφ' ετέρου δε δεν είναι πάντα δυνατή. Αντί γι αυτό υπάρχει η δυνατότητα πύκνωσης του καννάβου σε επιλεγμένες περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν εξ αρχής αυξημένο ενδιαφέρον ή υποδεικνύονται από τις προηγούμενες δειγματοληψίες ως περιοχές «ανώμαλης» μεταβολής των παραμέτρων του κοιτάσματος. Η άλλη λύση είναι η επεξεργασία των δεδομένων με διαφορετικό τρόπο στις προβληματικές περιοχές και εξετάζεται στη συνέχεια.

Είναι δεδομένο ότι με τη μείωση των αποστάσεων μεταξύ των δειγμάτων είναι δυνατή η λήψη περισσότερων πληροφοριών, αλλά μια απλή ανάλυση κόστους – οφέλους δεν μπορεί να προβλέψει τον βέλτιστο αριθμό δειγμάτων. Για το λόγο αυτό έχουν δημιουργηθεί και δημιουργούνται συνεχώς νέοι τρόποι χειρισμού των δεδομένων που να οδηγούν σε μία καλή πρόβλεψη. Δεν υπάρχει βέλτιστη λύση για κάθε περίπτωση, αλλά η κάθε λύση είναι η καλύτερη για κάποια περίπτωση, γι' αυτό και δημιουργήθηκε και χρησιμοποιείται. Οι χρήσεις αξιολογούνται μόνο με την εφαρμογή και επαλήθευση και βελτιώνονται μέσα από συνεχή χρήση (trial and error method) και ο καλύτερος κριτής είναι ο χρόνος που μια λύση εξακολουθεί να θεωρείται από την Μεταλλευτική αξιόπιστη και χρήσιμη.

Χωρίς τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και τη δυνατότητα ταχύτατων υπολογισμών οι περισσότερες μέθοδοι (όλες οι νεώτερες) θα ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρες και δαπανηρές για να χρησιμοποιηθούν. Όλες οι

μεγάλες μεταλλευτικές εταιρείες έχουν στη διάθεσή τους προγράμματα κατά παραγγελία (custom made), τα οποία είναι εξ αρχής προσαρμοσμένα στα δεδομένα των κοιτασμάτων που τις ενδιαφέρουν και υφίστανται διαρκείς βελτιώσεις (support) ώστε να λαμβάνονται υπ' όψη όλα τα δεδομένα που προκύπτουν στην πορεία. Τα προγράμματα αυτά είναι ακριβά στην αγορά και στη συντήρηση και πολύ εξειδικευμένα για το μέσο χρήστη. Στη δεκαετία του 1990 άρχισαν στην αρχή δειλά και στη συνέχεια πιο θαρραλέα να αναπτύσσονται γενικά προγράμματα γεωστατιστικής για το μέσο χρήστη. Είναι αυτονόητο ότι τα εμπορικά προγράμματα που «επιβιώνουν» και εξελίσσονται σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον είναι μόνο εκείνα που δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα.

Η μελέτη του περιβάλλοντος έχει πολύ μικρότερες απαιτήσεις ακρίβειας από τη Μεταλλευτική: μία διαφορά της τάξης του 1% μπορεί να μετατρέψει μία απλή εμφάνιση σε εκμεταλλεύσιμη (ήτοι κοιτάσμα). Στην περίπτωση που πρόκειται για ακριβό μέταλλο ή πολύτιμους λίθους το ίδιο ακριβώς αποτέλεσμα μπορεί να έχει μια διαφορά περιεκτικότητας μικρότερη του 0,01%. Τα προγράμματα αυτά χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό από μεταλλευτικές εταιρείες που εκμεταλλεύονται ή ερευνούν / αναλύουν κατά κανόνα οριακά από πλευράς περιεκτικότητας κοιτάσματα χρυσού και διαμαντιών. Στην περίπτωση της ρύπανσης η διαφορά αυτή είναι συνήθως πολύ μικρή για την αλλαγή χαρακτηρισμού μιας περιοχής. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να θεωρηθεί βέβαιο το γεγονός ότι τα προγράμματα της μεταλλευτικής βιομηχανίας είναι περισσότερο από επαρκή για τη μελέτη περιβάλλοντος. Τα προγράμματα αυτά χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό από μεταλλευτικές εταιρείες που εκμεταλλεύονται κατά κανόνα οριακά από πλευράς περιεκτικότητας κοιτάσματα χρυσού και διαμαντιών.

Η μεταλλευτική ήταν από τους πρώτους κλάδους που χρησιμοποίησε ψηφιοποιητή (digitizer) για την εισαγωγή τιμών στα προγράμματα και είχε σα στόχο την κατασκευή ισοπερικτικών χαρτών (contour maps). Η παράδοση αυτή συνεχίστηκε και αξιοποιήθηκε με τον καλύτερο τρόπο μέσα από αυτή την οικογένεια προγραμμάτων, τα οποία διαρκώς βελτιώνονται (τους το επιτρέπει και η εξέλιξη του λόγου ποιότητα / τιμή των ηλεκτρονικών υπολογιστών) τόσο ως προς τις δυνατότητες, όσο και ως προς τις επιλογές. Οι χάρτες που μπορούν να παραχθούν με βάση τις διαθέσιμες κάθε φορά πληροφορίες είναι ένα ισχυρό και πολύτιμο εργαλείο για την αξιοποίηση όλων των πληροφοριών και την προαναφερθείσα αξιοποίηση της γεωστατιστικής σαν μέσου βελτίωσης της δειγματοληψίας. Παρόμοια μορφή χάρτη για δύο ή περισσότερα μέταλλα που παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή συσχέτισης επιβεβαιώνει και ενισχύει τη συσχέτισή τους με κοινή πηγή. Οι κυριότεροι τρόποι επεξεργασίας των δεδομένων για την παραγωγή ισοπερικτικών χαρτών αναλύονται περιληπτικά στη συνέχεια.

5.3. Ισοπερικτικοί χάρτες: τρόποι επεξεργασίας αποτελεσμάτων

Ο τρόπος με τον οποίο αξιοποιούνται τα δεδομένα δειγμάτων για την παραγωγή χάρτη εξαρτάται άμεσα από τη μέθοδο επεξεργασίας των δεδομένων. Υπάρχει στην πράξη προτίμηση σε συγκεκριμένες μεθόδους ανάλογα με το

είδος του κοιτάσματος (Payne 1973). Οι μέθοδοι αυτές υφίστανται διαρκή αξιολόγηση (David 1977, Journel and Huijbregts 1978, Dimitrakopoulos 2000, www.goldensoftware.com) και περιληπτικά εξετάζονται κάποιες από αυτές στη συνέχεια. Οι νεώτερες μέθοδοι αποτελούν κατά κανόνα τροποποιήσεις ή συνδιασμούς των ήδη υπάρχουσών και πηγή έμπνευσης έχουν συγκεκριμένες περιπτώσεις εφαρμογής (case studies), όπου οι μέθοδοι εξειδικεύτηκαν για να αντιμετωπίσουν συγκεκριμένες συνθήκες ή γενίκευση προγραμμάτων που αρχικά δημιουργήθηκαν κατά παραγγελία αλλά πλέον στοχεύουν σε ευρύτερο αγοραστικό κοινό. Υπάρχει μεγάλος αριθμός δημοσιεύσεων στη μεταλλευτική βιομηχανία που αποτελεί απλά τμήμα συστηματικής προσπάθειας για την προώθηση συγκεκριμένων εξειδικευμένων, άρα και ακριβών, προϊόντων λογισμικού ή / και υπηρεσιών συμβούλων (consulting). Αυτές πρέπει να αντιμετωπίζονται κριτικά η / και απλά πληροφοριακά από πλευράς μελέτης περιβάλλοντος. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, όπως και για κάθε τέτοιας μορφής προσέγγιση, οι μέθοδοι που περιέχουν τα απλά εμπορικά προγράμματα για το ευρύτερο κοινό είναι παραπάνω από ικανοποιητικά. Κάθε μία από τις μεθόδους που αναλύονται έχει παραλλαγές, που επιλέγονται κατά τη διάρκεια εφαρμογής των προγραμμάτων από το χρήστη για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητο να τονιστεί ότι στην συντριπτική πλειοψηφία των μελετών και δημοσιεύσεων που περιέχουν ισοχημικούς χάρτες, δεν αναφέρεται ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων για την κατασκευή των χαρτών. Ο τρόπος κατασκευής του χάρτη πρέπει να αναφέρεται, για λόγους δυνατότητας σύγκρισης. Η αναφορά του τρόπου επεξεργασίας των αποτελεσμάτων (εφ' όσον αυτοί είναι περισσότεροι του ενός) είναι ουσιαστικό στοιχείο τεκμηρίωσης της ερευνητικής διαδικασίας, καθώς αυτό αποτελεί συντελεστή που τείνει να περιορίσει την αξιοπιστία της έρευνας (Ηλιάδης και Βούτσινος 2004).

5.4. Γεωμετρικές μέθοδοι

Εφαρμόστηκαν πριν τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και χαρακτηρίζονται από την ευκολία των υπολογισμών. Παρουσιάζονται οι κυριότερες μέθοδοι, ενώ οι δυνατότες παραλλαγές είναι πολύ περισσότερες.

5.4.1. Μέθοδος των τομών (mean-area method)

Πρόκειται για μία από τις πρώτες μεθόδους που εφαρμόστηκαν. Εφαρμόζεται για κανονικό κάρναβο γεωτρήσεων. Κάθε παράλληλη σειρά γεωτρήσεων σχηματίζει μία επιφάνεια (τομή). Η περιεκτικότητα της τομής (επιφάνειας) υπολογίζεται σαν ο μέσος όρος της περιεκτικότητας της γεώτρησης και της επιφάνειας επιρροής της. Η επιφάνεια επιρροής είναι εκείνη που ορίζεται από τα μέσα της απόστασης της γεώτρησης από τις δύο γειτονικές γεωτρήσεις στην τομή αυτή (Σχήμα 5.1). Στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός της μέσης περιεκτικότητας των τμημάτων που περιλαμβάνονται μεταξύ των τομών. Σαν περιεκτικότητα για κάθε τμήμα που βρίσκεται μεταξύ δύο διαδοχικών τομών λαμβάνεται ο σταθμικός μέσος όρος που προκύπτει από τις μέσες περιεκτικότητες των τομών και τα εμβαδά των αντίστοιχων επιφανειών κατά τις οποίες τέμνεται το κοιτάσμα. Για επιβεβαίωση και έλεγχο γίνεται δεύτερος υπολογισμός για το σύστημα των τομών που ορίζουν οι σειρές του κάρναβου των γεωτρήσεων κατά

διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση των προηγούμενων τιμών (Wells 1973, Αποστολίδης 1986).

Αν αντί της γεώτρησης υπάρχει επιφανειακό δείγμα η τομή γίνεται απλά ευθεία και οι υπολογισμοί είναι οι ίδιοι. Η απαιτούμενη κανονικότητα του καννάβου είναι ένας σημαντικός περιορισμός όμως για κάθε περίπτωση, ειδικά για θαλάσσια ιζήματα.

5.4.2. Μέθοδος των τετραγώνων και ορθογώνιων

Η μέθοδος αυτή είναι επίσης παλιά και εύκολη στη χρήση. Μπορεί να εφαρμοστεί σε κανονικό κάρναβο δειγματοληψίας. Θεωρείται ότι η επίδραση της περιεκτικότητας κάθε γεώτρησης επεκτείνεται μέχρι τα όρια ενός τετραγωνικού ή ενός ορθογωνίου πρίσματος. Σε κάτοψη σχεδιάζεται γύρω από την κάθε γεώτρηση (Σχήμα 5.1) στην περίπτωση κανονικού καννάβου (οι γεωτρήσεις σχηματίζουν κανονικό πλέγμα) ένα τετράγωνο (regular blocks) ή, στην περίπτωση ενός σχεδόν κανονικού καννάβου (οι γεωτρήσεις σχηματίζουν ένα σχεδόν κανονικό πλέγμα) ένα ορθογώνιο (irregular blocks) και θεωρούμε ότι οι τιμές των περιεκτικότητων όλων των σημείων που περιέχονται σε αυτό ισούνται με την τιμή της περιεκτικότητας της γεώτρησης (Davis 1977). Αν αντί της γεώτρησης υπάρχει επιφανειακό δείγμα τα πρίσματα γίνονται απλά τετράγωνα και ορθογώνια παραλληλόγραμμα και οι υπολογισμοί είναι οι ίδιοι. Η έλλειψη απαίτησης για κανονικότητα του καννάβου είναι σημαντική, ειδικά για θαλάσσια ιζήματα. Παρόμοιων προδιαγραφών μέθοδος είναι και η επόμενη.

5.4.3. Μέθοδος των πολυγώνων (polygon method)

Η μέθοδος αυτή είναι επίσης παλιά και εύκολη στη χρήση. Μπορεί να εφαρμοστεί και σε κανονικό κάρναβο δειγματοληψίας, αλλά εφαρμόζεται συνήθως σε ακανόνιστο κάρναβο, ερχόμενη να καλύψει το μειονέκτημα των δύο προηγούμενων μεθόδων (απαιτούμενη κανονικότητα του καννάβου). Θεωρείται ότι η επίδραση της περιεκτικότητας κάθε γεώτρησης επεκτείνεται μέχρι το μέσο της απόστασης από την κάθε γειτονική της γεώτρηση. Σε κάτοψη σχεδιάζεται γύρω από την κάθε γεώτρηση (Σχήμα 5.1) ένα πολύγωνο που σχηματίζεται αν ενώσουμε τις ευθείες που είναι κάθετες στα μέσα των ευθειών που συνδέουν την κάθε γεώτρηση με τις γειτονικές τους. Η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος ή ενός τμήματός του υπολογίζεται σαν σταθμικός μέσος όρος με βάση τις περιεκτικότητες των γεωτρήσεων και τους όγκους των πρισμάτων (Wells 1973, Αποστολίδης 1986).

Αν αντί της γεώτρησης υπάρχει επιφανειακό δείγμα τα πρίσματα γίνονται απλά πολύγωνα και οι υπολογισμοί είναι οι ίδιοι. Η έλλειψη απαίτησης για κανονικότητα του καννάβου είναι σημαντική, ειδικά για θαλάσσια ιζήματα. Παρόμοιων προδιαγραφών μέθοδος είναι και η επόμενη.

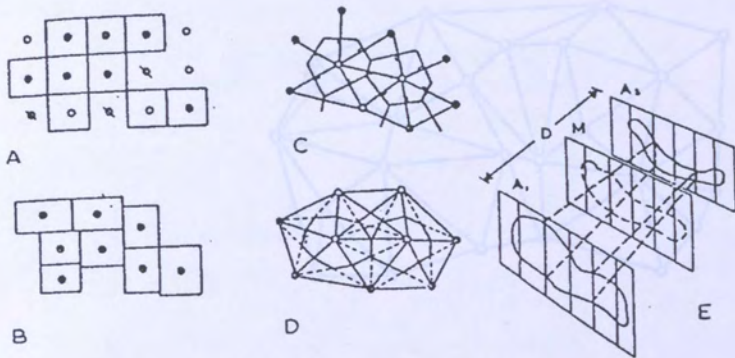
Παραλλαγή της μεθόδου για χρήση με H/Y είναι η μέθοδος του φυσικού γείτονα (natural neighbor method). Αυτή δίνει τη δυνατότητα αναπροσαρμογής του συστήματος υπολογισμών όταν εισάγεται ένα σημείο ιδιαίτερο

ενδιαφέροντος (target point) μέσα στον υπάρχοντα κάρναβο τιμών (Sibson 1980, Sibson 1981, Watson 1994). Με βάση αλγόριθμο παρεμβολής (interpolation) κάποια από τα υπάρχοντα πολύγωνα μειώνονται σε μέγεθος χωρίς κάποιο να αυξάνεται σε μέγεθος και η τιμή στο νέο σημείο υπολογίζεται με βάση το σταθμικό μέσο όρο που υπολογίζεται από τις τιμές των γειτονικών πολυγώνων με συντελεστές βαρύτητας (σταθμικούς συντελεστές) ανάλογους με την επιφάνεια του κάθε γειτονικού πολυγώνου που «δανείστηκε» το νέο πολύγωνο για το σχηματισμό του. Χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν πυκνά δεδομένα σε κάποιες περιοχές της δειγματοληψίας και αραιά σε άλλες, ενώ λόγω της φύσης της μεθόδου δεν μπορεί να δημιουργήσει (προβλέψει) τιμές σε περιοχές χωρίς δεδομένα, ήτοι έξω από τα πολύγωνα (Surfer 7 1999).

5.4.4. Μέθοδος των τριγώνων (triangle method)

Ισχύουν ακριβώς τα ίδια για τις προϋποθέσεις εφαρμογής της με την προηγούμενη μέθοδο. Οι γεωτρήσεις σημειώνονται σε κάτοψη και οι θέσεις τους συνδέονται με ευθείες μεταξύ τους με αποτέλεσμα η κάτοψη του κοιτάσματος να διαίρεται σε τρίγωνα. Είναι δυνατοί περισσότεροι του ενός συνδυασμοί των γεωτρήσεων ανά τρεις για να σχηματιστούν τα τρίγωνα. Το κοίτασμα υποδιαιρείται έτσι σε κατακόρυφα πρίσματα (Σχήμα 5.2). Η μέση περιεκτικότητα του κάθε πρίσματος υπολογίζεται σαν σταθμικός μέσος όρος, με βάση τις περιεκτικότητες των τριών αντιστοιχών γεωτρήσεων (Wells 1973, Αποστολίδης 1986). Σε παραλλαγή της μεθόδου η περιεκτικότητα του κάθε πρίσματος υπολογίζεται σα σταθμικός μέσος όρος από τις περιεκτικότητες των γεωτρήσεων και τα εμβαδά των πολυγώνων ή τριγώνων που ορίζονται για κάθε γεώτρηση από τις αντίστοιχες πλευρές του τριγώνου και τις τρεις μεσοκάθετες του τριγώνου (Σχήμα 5.3). Είναι φανερό ότι η παραλλαγή αυτή της μεθόδου δίνει αποτελέσματα ταυτόσημα με τη μέθοδο των πολυγώνων (Αποστολίδης 1986). Σε άλλη παραλλαγή της μεθόδου με τη χρήση των διχοτόμων των γωνιών των σχηματιζόμενων τριγώνων λαμβάνονται πρίσματα (Σχήμα 5.1). Η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος ή ενός τμήματός του υπολογίζεται σαν σταθμικός μέσος όρος με βάση τις περιεκτικότητες των γεωτρήσεων και τους όγκους των πρισμάτων (Davis 1977). Η παραλλαγή αυτή της μεθόδου δίνει επίσης αποτελέσματα ταυτόσημα με τη μέθοδο των πολυγώνων (Davis 1977).

Αν αντί της γεώτρησης υπάρχει επιφανειακό δείγμα τα πρίσματα γίνονται απλά τρίγωνα και οι υπολογισμοί είναι οι ίδιοι. Η έλλειψη απαίτησης για κανονικότητα του καννάβου είναι σημαντική, ειδικά για θαλάσσια ιζήματα. Αν και στην πράξη δεν διαφέρει από την προηγούμενη μέθοδο από πλευράς ακρίβειας, είναι πιο απλή και πιο γρήγορη για υπολογισμό μέσω προγράμματος H/Y (Lawson 1977, Lee and Schachter 1980, Guibas and Stolfi 1985) και για το λόγο αυτό προτιμάται. Η μέθοδος συνιστάται για σχετικά ομοιογενή κάρναβο (η διασπορά των σημείων να είναι σχετικά ομοιόμορφη) με πάνω από 250 σημεία (Surfer 7 1999).

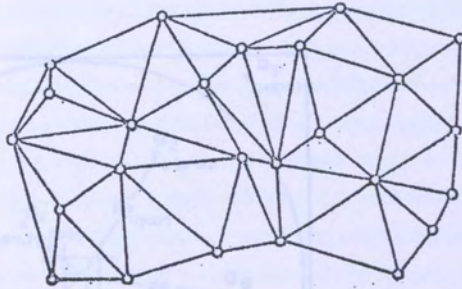


Σχήμα 5.1. Σχηματισμός τριγώνων για υπολογισμό αποθεμάτων από τις υπάρχουσες πληροφορίες (μέθοδος τριγώνων, Αποστολίδης 1986).

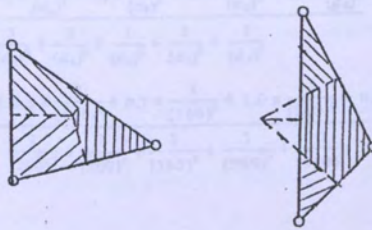
Σχήμα 5.1. Μέθοδοι υπολογισμού αποθεμάτων (Davis 1986)

- A. Μέθοδος των τετραγώνων
- B. Μέθοδος των ορθογωνίων
- C. Μέθοδος των πολυγώνων
- D. Τροποποιημένη μέθοδος των τριγώνων (παραλλαγή των διχοτόμων)
- E. Μέθοδος των τομών

Σχήμα 5.3. Σχηματισμός τριγώνων από τις υπάρχουσες πληροφορίες για τον σταθμικό υπολογισμό της μέσης περιεκτικότητας τριγωνικών κρημάτων με βάση τις ενομόθετες επιφάνειες (μέθοδος τριγώνων - παραλλαγή των μεσοκυβίων, Αποστολίδης 1986)



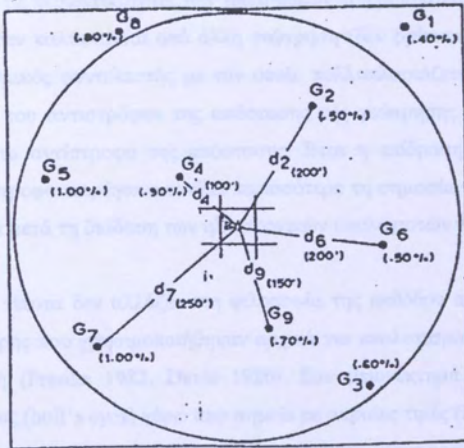
Σχήμα 5.2. Σχηματισμός τριγώνων για υπολογισμό αποθεμάτων από τις υπάρχουσες γεωτρήσεις (μέθοδος τριγώνων, Αποστολίδης 1986).



Σχήμα 5.3. Σχηματισμός τριγώνων από τις υπάρχουσες γεωτρήσεις για τον σταθμικό υπολογισμό της μέσης περιεκτικότητας τριγωνικών πρισμάτων με βάση τις επιφάνειες επιρροής (μέθοδος τριγώνων - παραλλαγή των μεσοκαθέτων, Αποστολίδης 1986).

5.4. Υπολογισμός των αντίστροφων αποστάσεων (Davis 1986) (Davis 1986)

Κατά τη μέθοδο αυτή η κλίση του τετραγώνου υπολογίζεται με βάση τις μετρήσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των πρίσματος και των γειτονικών πρίσματος. Κατά το ίδιο επίπεδο τα κέντρα των πρίσματος και των γειτονικών πρίσματος υπολογίζονται με τη βοήθεια της μεθόδου των αντίστροφων αποστάσεων. Η παρακάτω εικόνα του τετραγώνου (Σχήμα 5.4) που αναφέρεται στην εικόνα 5.3 δείχνει το τετράγωνο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κλίσης του πρίσματος B με τη βοήθεια της μεθόδου των αντίστροφων αποστάσεων. Το τετράγωνο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κλίσης του πρίσματος B είναι το τετράγωνο που σχηματίζεται από τα κέντρα των πρίσματος B, G₂, G₆ και G₉.



$$R = \frac{G_2 \times \frac{1}{(d_2)^2} + G_6 \times \frac{1}{(d_6)^2} + G_9 \times \frac{1}{(d_9)^2} + G_7 \times \frac{1}{(d_7)^2} + G_4 \times \frac{1}{(d_4)^2}}{\frac{1}{(d_2)^2} + \frac{1}{(d_6)^2} + \frac{1}{(d_9)^2} + \frac{1}{(d_7)^2} + \frac{1}{(d_4)^2}}$$

$$B = \frac{0.5 \times \frac{1}{(200)^2} + 0.5 \times \frac{1}{(200)^2} + 0.7 \times \frac{1}{(150)^2} + 1.0 \times \frac{1}{(250)^2} + 0.9 \times \frac{1}{(100)^2}}{\frac{1}{(200)^2} + \frac{1}{(200)^2} + \frac{1}{(150)^2} + \frac{1}{(250)^2} + \frac{1}{(100)^2}} = 0.77\%$$

5.6. Μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων (Davis 1986) (Davis 1986)

Πρόκειται για τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κλίσης του πρίσματος B με τη βοήθεια της μεθόδου των αντίστροφων αποστάσεων. Εδώ χρησιμοποιείται το τετράγωνο της απόστασης (Davis 1986).

Η μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κλίσης του πρίσματος B με τη βοήθεια της μεθόδου των αντίστροφων αποστάσεων. Εδώ χρησιμοποιείται το τετράγωνο της απόστασης (Davis 1986).

5.5. Μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων (*inverse distance to power method*)

Κατά τη μέθοδο αυτή, η κάτοψη του κοιτάσματος υποδιαιρείται σε κατά το δυνατό ισοδύναμα τετράγωνα ή παραλληλόγραμμα, ανεξάρτητα από τις θέσεις των γεωτρήσεων. Έτσι το όλο κοιτάσμα υποδιαιρείται πάλι σε ένα αριθμό κατακόρυφων πρισμάτων. Η περιεκτικότητα του κάθε πρίσματος υπολογίζεται (Σχήμα 5.4) σαν σταθμικός μέσος όρος με βάση τις περιεκτικότητες των γεωτρήσεων που βρίσκονται μέσα σε ορισμένη ακτίνα από το κέντρο του πρίσματος και δεν καλύπτονται από άλλη γεώτρηση (δεν βρίσκεται άλλη γεώτρηση μεταξύ αυτής και του πρίσματος). Ο σταθμικός συντελεστής με τον οποίο πολλαπλασιάζεται η περιεκτικότητα της κάθε γεώτρησης είναι το τετράγωνο του αντιστρόφου της απόστασης της γεώτρησης από το κέντρο του πρίσματος, ή σε μια παραλλαγή απλώς το αντίστροφο της απόστασης. Έτσι η επίδραση της κάθε γεώτρησης μειώνεται με την απόσταση. Το αντίστροφο τετράγωνο τονίζει περισσότερο τη σημασία της απόστασης (Davis 1977, Αποστολίδης 1986). Αναπτύχθηκε μετά τη διάδοση των ηλεκτρονικών υπολογιστών γιατί απαιτεί μεγάλη σειρά υπολογισμών.

Είναι προφανές ότι τίποτα δεν αλλάζει στη φιλοσοφία της μεθόδου αν χρησιμοποιηθεί άλλη δύναμη πλην της πρώτης ή της δεύτερης που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για υπολογισμούς αρχικά με το χέρι και στη συνέχεια με απλή αριθμομηχανή (Franke 1982, Davis 1986). Σαν μειονέκτημά της αναφέρεται η τάση να δημιουργεί ομόκεντρους κύκλους (*bull's eyes*) γύρω από σημεία με ακραίες τιμές (Surfer 7 1999). Αυτό το για την εμφάνιση του χάρτη αρνητικό στοιχείο της μεθόδου έρχεται να λύσει μια παραλλαγή της, η τροποποιημένη μέθοδος του Shepard [modified Shepard's method (Shepard 1968, Franke and Nielson 1980, Renka 1988)]. Κατά την εφαρμογή της ορίζεται ο αριθμός των σημείων που θεωρούνται γειτονικά και η ακτίνα της επιρροής της γεώτρησης είναι τόση όση χρειάζεται για να περιλάβει τον απαιτούμενο αριθμό δειγμάτων.

Αν αντί της γεώτρησης υπάρχει επιφανειακό δείγμα τα πρίσματα γίνονται απλά τρίγωνα και οι υπολογισμοί είναι οι ίδιοι. Οι προηγούμενες μαζί με αυτή την μέθοδο αποτελούν τις συμβατικές μεθόδους. Η τελευταία δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα από τις προηγούμενες (Αποστολίδης 1986).

5.6. Μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα (*nearest neighbor method*)

Πρόκειται για πολύ απλή μέθοδο, η οποία αρχικά χρησιμοποιήθηκε απλά για την ψηφιοποίηση υπάρχοντων δεδομένων για χρήση σε H/Y. Αν τα δεδομένα παρουσιάζουν κάποια κενά («τρύπες»), τότε το σύστημα δίνει στα κενά αυτά την πλησιέστερη τιμή. Κάποιες περιοχές δεδομένων (συνήθως με ελλειπή ή / και μη αξιόπιστα στοιχεία) είναι δυνατό να αγνοηθούν ορίζοντας το μήκος των αξόνων a , b και τον προσανατολισμό μιας έλλειψης (για $a = b$ προφανώς προκύπτει κύκλος). Η μέθοδος δεν μπορεί να δημιουργήσει τιμές σε περιοχές χωρίς δεδομένα (Surfer 7, 1999) και είναι προφανές ότι λόγω της ιδιαιτερότητάς της η χρήση της πρέπει να περιοριστεί σε πολύ πυκνό κάρναβο γεωτρήσεων / δειγμάτων σε κοιτάσμα με ιδιαίτερα ομαλή μεταβολή χαρακτηριστικών. Η απόδοση των αγγλικών όρων γίνεται για πρώτη φορά.

5.7. Μέθοδος τοπικών υπολογισμών

Υπάρχει μερικές φορές τάση για τοπική εφαρμογή συγκεκριμένων προσαρμογών σε χωρικές κατανομές παραμέτρων, αγνοώντας όλα τα υπόλοιπα δεδομένα. Η έλλειψη που ορίζεται για αποκλεισμό δεδομένων στην προηγούμενη μέθοδο χρησιμοποιείται τώρα για τον ορισμό της περιοχής ενδιαφέροντος. Όλα τα δεδομένα έξω από την ορισθείσα έλλειψη αγνοούνται πλήρως. Αυτή είναι η βασική αρχή της μεθόδου που υπάρχει σε μια σειρά παραλλαγών, οι οποίες μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής:

Παραλλαγή της μεθόδου είναι η μέθοδος του κινούμενου μέσου όρου (moving average method). Για τη συμπλήρωση των κενών χρησιμοποιείται ο αριθμητικός μέσος όρος των τιμών στην καθοριζόμενη περιοχή επιρροής (Surfer 8, 2002). Η μέθοδος στην ουσία είναι παρόμοια με τη μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα με το ίδιο πεδίο εφαρμογής.

Άλλη παραλλαγή της μεθόδου αποτελεί η μέθοδος των μετρικών δεδομένων (data metrics method). Αυτή, αφού καθοριστεί η περιοχή αναζήτησης, συνυπολογίζει τον αριθμό των σημείων που φέρουν μία τιμή, την απόσταση από κάθε σημείο στο χώρο αναζήτησης, το μέσο όρο τιμών κλπ. (Surfer 8, 2002) και δίνει τιμή στο σημείο που αποτελεί τι κέντρο της έλλειψης με βάση μια σειρά επιλογών ως προς τους σταθμικούς συντελεστές που συνυπολογίζονται. Μία πιθανή εναλλακτική λύση είναι προφανώς η εφαρμογή της μεθόδου των αντίστροφων αποστάσεων σε ένα περιορισμένο μέρος ενός ομοιογενούς κοιτάσματος. Πρόκειται για βελτιωμένη μέθοδο που χρησιμοποιείται για να καλυφθούν τα υπάρχοντα τοπικά κενά δεδομένων με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Τρίτη παραλλαγή της μεθόδου είναι η μέθοδος του τοπικού πολυώνυμου (local polynomial method), κατά την εφαρμογή της οποίας οι σταθμικοί συντελεστές που χρησιμοποιούνται για τις τιμές που υπάρχουν μέσα στην έλλειψη προκύπτουν με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Surfer 8, 2002). Αποτελεί ενσωμάτωση της μεθόδου της πολυωνυμικής παλινδρόμησης (Britannica CD97 1997) σε μια περιορισμένη έκταση ενός ομοιογενούς κοιτάσματος. Πρόκειται για επίσης για βελτιωμένη μέθοδο που χρησιμοποιείται για να καλυφθούν τα υπάρχοντα τοπικά κενά δεδομένων με συνυπολογισμό των τοπικών τάσεων στην επιλεγείσα περιοχή.

Όπως είναι φανερό η σειρά αυτή των παραλλαγών έρχεται να καλύψει τοπικές «ανωμαλίες» ενός κοιτάσματος που δεν μπορούν να προβλεφθούν από τον κίνναβο. Είναι δηλαδή μια προσπάθεια επίλυσης του φαινομένου του κόκκου. Δεν φαίνεται πιθανό να σταματήσει σύντομα η συνεχής δημιουργία νέων παραλλαγών της μεθόδου και η εξέλιξη αυτών που ήδη υπάρχουν. Το ιδανικό πεδίο εφαρμογής όλων των παραλλαγών της μεθόδου που υπάρχουν ή / και πρόκειται να δημιουργηθούν στο μέλλον είναι τοπικά και συμπληρωματικά με μια άλλη μέθοδο σε σημεία ασυνέχειας σε κοιτάσματα με μικρές μεταβολές και δειγματοληψίες με μεγάλο αριθμό δειγμάτων. Η ομαδοποίηση των παραλλαγών σε ενιαία μέθοδο και η απόδοση των αγγλικών όρων γίνονται για πρώτη φορά.

5.8. Μέθοδος ελάχιστης καμπυλότητας (minimum curvature method)

Η μέθοδος έχει εκτεταμένη χρήση στις γεωεπιστήμες και αποτελεί μέθοδο που σχεδόν απαραίτητα απαιτεί χρήση Η/Υ. Στηρίζεται στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και στη χρήση τελεστών Laplace και διαφορικών εξισώσεων (Briggs 1974, Press et al 1988, Smith and Wessel 1990). Όπως δηλώνει και το όνομα της μεθόδου προσπαθεί να δημιουργήσει καμπύλες με την ελάχιστη κύρτωση. Οι υπολογισμοί στη μέθοδο αυτή γίνονται με μεθόδους αριθμητικής ανάλυσης και δε δημιουργεί ακριβή παρεμβολή, θέτοντας σε προτεραιότητα την μορφή της καμπύλης. Μπορεί να δημιουργήσει – προβλέψει τιμές και σε περιοχές χωρίς δεδομένα. Συνιστάται για επεξεργασία δεδομένων που περιλαμβάνουν πάνω από 1000 παρατηρήσεις (Surfer 7, 1999). Η απόδοση των αγγλικών όρων γίνεται για πρώτη φορά.

5.9. Μέθοδος κρίγκινγκ (kriging)

Η μέθοδος έχει αναπτυχθεί αρχικά στη Νότιο Αφρική (Krig 1973, Krig and Rendu 1975, Krig 1976) και στη συνέχεια με την καθιέρωσή της έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης παγκοσμίως (Abramowitz and Stegun 1972, Journel and Huijbregts 1978, Παναγόπουλος 1980, Αποστολίδης 1986, Journel 1989, Isaaks and Srivastava 1989, Cressie 1990, Cressie 1991, Deutch and Journel 1992, Dimitrakopoulos 2000). Πολύ περιληπτικά για τη μέθοδο ισχύουν:

Βασική έννοια της μεθόδου είναι αυτή της διαχωρικής μεταβλητής. Αυτή είναι μια ιδιαίτερη κατηγορία μεταβλητών, που χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι οι τιμές τους (π.χ. περιεκτικότητα) κατανέμονται στο χώρο. Από καθαρά μαθηματική άποψη μια διαχωρική μεταβλητή δεν είναι τίποτα άλλο παρά μια συνάρτηση $y = f(x)$, όπου το x διαγράφει το χώρο που καταλαμβάνει ένας γεωλογικός ορίζοντας. Οι διαχωρικές μεταβλητές παρουσιάζουν την ιδιότητα να έχουν ταυτόχρονα ένα τυχαίο και ένα νομοτελειακό χαρακτήρα (Παναγόπουλος 1980).

1. Τυχαίο, αφού τα φυσικά φαινόμενα στα οποία αναφέρονται είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα με αποτέλεσμα οι παρατηρούμενες τιμές να μην παρουσιάζουν κανονικότητα και έτσι να μην επιτρέπεται η χρησιμοποίηση μαθηματικών προτύπων της μορφής $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.
2. Νομοτελειακό, αφού παρά τις μεγάλες διακυμάνσεις τους οι τιμές που παρατηρούνται δεν είναι ανεξάρτητες από τις θέσεις που μετρήθηκαν. Έτσι στην περιοχή ενός δείγματος με υψηλή περιεκτικότητα είναι γενικά αναμενόμενο να βρεθούν και άλλες τιμές με υψηλή περιεκτικότητα. Αυτό δε μας επιτρέπει να θεωρούμε τις τιμές ανεξάρτητες τη μία από την άλλη και να τις αναλύουμε με την κλασική στατιστική.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου το κοίτασμα υποδιαιρείται νοερά σε τετράγωνα ή ορθογώνια πρίσματα (όπως

στη μέθοδο των αντιστροφών αποστάσεων). Η περιεκτικότητα του κάθε πρίσματος υπολογίζεται σαν σταθμικός μέσος όρος, με βάση τις περιεκτικότητες των γεωτρήσεων που βρίσκονται μέσα και γύρω από το πρίσμα, σε απόσταση μικρότερη από την ακτίνα επιρροής, η οποία δεν ορίζεται αλλά προκύπτει από την καμπύλη του βαριογράμματος.

Ο υπολογισμός των βαριογραμμμάτων δεν είναι εύκολη υπόθεση χωρίς τη βοήθεια H/Y και το βαριόγραμμα αποτελεί μέτρο της ταχύτητας μεταβολής των μεταβλητών. Αποτελεί συνάρτηση τριών μεταβλητών: δύο ανεξάρτητων (τη διεύθυνση θ και την απόσταση h) και μιας εξαρτημένης (της ζητούμενης, π.χ. περιεκτικότητας). Στην πραγματικότητα, με το βαριόγραμμα δίνεται ποσοτική έκφραση στην ομοιότητα που φαίνεται να υπάρχει ως προς κάποιο χαρακτηριστικό του κοιτάσματος (περιεκτικότητα σε μόλυβδο π.χ.) ανάμεσα σε δύο σημεία του κοιτάσματος (ιζήματος). Το βαριόγραμμα έχει ιδιότητες που συνδέονται στενά με τα δομικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος και για το λόγο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εργαλείο ανάλυσης του.

Οι σταθμικοί συντελεστές με τους οποίους πολλαπλασιάζονται οι περιεκτικότητες των γύρω γεωτρήσεων για τον υπολογισμό του σταθμικού μέσου όρου, προκύπτουν από την επίλυση ενός περίπλοκου συστήματος γραμμικών εξισώσεων. Από τα παραπάνω στοιχεία των πρισμάτων προκύπτουν οι καμπύλες κατανομής των περιεκτικότητας. Προφανές είναι ότι αν αντί γεωτρήσεις έχουμε επιφανειακά δείγματα το μόνο που αλλάζει είναι η παρουσία ορθογώνιων ή / και τετραγώνων στη θέση των πρισμάτων.

Θεωρείται πολύ ευέλικτη μέθοδος και προσαρμόσιμη σε κάθε τύπο δεδομένων (Surfer 8, 2001), ακριβής και αξιόπιστη (Παναγόπουλος 1980, Αποστολίδης 1986) και δίνει ακριβή παρεμβολή ανάμεσα στις μετρήσεις. Θεωρείται ο καλύτερος τρόπος εκτίμησης των επί μέρους λεπτομερειών τοπικά σε ένα κοιτάσμα με γραμμική παρεμβολή (Journel and Huijbregts 1978). Η χρήση της χωρίς τη βοήθεια συγκεκριμένου προγράμματος H/Y είναι ιδιαίτερα επίπονη, αποτελεί όμως (στην απλή του μορφή ή σε κάποια παραλλαγή του) την καρδιά του κάθε σοβαρού πακέτου προγραμμάτων επίλυσης προβλημάτων γεωστατιστικής (Dimitrakopoulos 2000). Συνιστάται για όλες τις περιπτώσεις δειγματοληψίας, από ελάχιστα και ανομοιόμορφα διασπαρμένα δείγματα, μέχρι πυκνό κανονικό κάρναβο (Surfer 8 2001). Δίνει χάρτες όπου μπορούν να διακριθούν τα τοπικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος (ιζήματος) και το μόνο πρόβλημα για μεγάλο αριθμό δειγμάτων (ταχύτητα) δεν αποτελεί εμπόδιο για μια μελέτη περιβάλλοντος. Ειδικά για κάτω από 10 δείγματα δίνει την καλύτερη εικόνα με διαφορά από τις άλλες μεθόδους, με μόνη συγκρίσιμη την επόμενη μέθοδο (Surfer 7 1999).

5.10. Μέθοδος συναρτήσεων βασισμένων στην απόσταση (radial basis function method)

Στην ουσία πρόκειται για ένα σύνολο μεθόδων που δημιουργούν ακριβή παρεμβολή στα δεδομένα με πυρήνα μία σειρά από συναρτήσεις ανόμοιες μεταξύ τους, που έχουν πάντα δύο ανεξάρτητες μεταβλητές (πάντα υψόμενες στο τετράγωνο): την απόσταση του σημείου από τη γεωτρήση (δείγμα) και το συντελεστή εξομάλυνσης, που

επιλέγεται από το χρήστη (Franke 1982, Powell 1990, Carlson and Foley 1991a, Carlson and Foley 1991b).

Είναι νεώτερη μέθοδος που εκμεταλλεύεται την εμπειρία από τη μακροχρόνια χρήση της μεθόδου των αντίστροφων αποστάσεων και από την αρχή στόχο είχε την κατασκευή ισοπεριεκτικών χαρτών ίδιας ποιότητας με την προηγούμενη μέθοδο, χωρίς τους πολύπλοκους υπολογισμούς της.

Οι διαφορετικές μεταξύ τους συναρτήσεις δημιουργούν μια βιβλιοθήκη εναλλακτικών λύσεων που είναι βέβαιο πως έχει την τάση να επεκταθεί για να καλύψει όσες περισσότερες περιπτώσεις είναι δυνατόν. Θεωρείται επίτευγμα ότι οι χάρτες που δίνει είναι συγκρίσιμοι με αυτούς που δίνει το κρίγκινγκ και προτείνεται επίσης για όλες τις περιπτώσεις, με τη μέθοδο όμως του κρίγκινγκ να παραμένει η πρώτη επιλογή (default), με μία από τις πέντε επί του παρόντος δοκιμασμένες συναρτήσεις της μεθόδου να θεωρείται ισοδύναμη (Surfer 8 2001).

Η μέθοδος με τη παραδοσιακή μέθοδο της Μεταλλευτικής (δοκιμής και σφάλματος, trial and error, rule of thumb) προσπαθεί να προσεγγίσει το επιθυμητό αποτέλεσμα, χωρίς όμως το θεωρητικό υπόβαθρο. Αυτό είναι μειονέκτημα για μια μέθοδο που στόχο έχει το μέσο χρήστη. Η απόδοση των αγγλικών όρων γίνεται για πρώτη φορά.

5.11. Μέθοδος πολωνυμικής παλινδρόμησης (polynomial regression method)

Οι πρώτες προσπάθειες για απεικόνιση της εικόνας ενός κοιτάσματος στον υπολογιστή έγιναν με τη χρήση πολωνυμικών συναρτήσεων, οι οποίες σκοπό είχαν να απεικονίσουν την μεταβολή των ιδιοτήτων (κυρίως περιεκτικότητας) του κοιτάσματος σε δύο κάθετους άξονες (Peters et al 1973, Draper and Smith 1981). Η προσαρμογή της καμπύλης στα δεδομένα γίνεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Britannica CD97 1997), και αυτό θα συζητηθεί στην προσπάθεια μοντελοποίησης στο επόμενο κεφάλαιο.

Από την πράξη δεν άργησε να φανεί ότι η προσέγγιση μόνο τη γενικότερη τάση των παραμέτρων του κοιτάσματος μπορούσε να δώσει, χωρίς να μπαίνει σε επιμέρους λεπτομέρειες. Με τον ίδιο τρόπο αντιμετωπίζεται η μέθοδος από τα προγράμματα κατασκευής ισοπεριεκτικών χαρτών. Με αξιόλογο αριθμό παραλλαγών, συνιστάται σαν εργαλείο που δίνει την τάση σε μεγάλη μόνο κλίμακα των παραμέτρων του κοιτάσματος, χάνοντας τη λεπτομέρεια και μη λειτουργώντας στο επίπεδο γραμμικής ή άλλης παρεμβολής (Surfer 8 2001). Η μέθοδος είναι πιο γρήγορη από τις άλλες, αλλά με την εξέλιξη των Η/Υ αυτό δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως πλεονέκτημα.

5.12. Επιλογή μεθόδου απεικόνισης

Μετά από την κριτική ανασκόπηση των διαφόρων διαθέσιμων μεθόδων και την ανάλυση των χώρων που έπρεπε να εκτεθούν στους ισοπεριεκτικούς χάρτες, έγιναν δοκιμές (πειραματισμός και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων)

με όλους τους τρόπους παρουσίασης των δεδομένων σε χάρτες. Για την κατασκευή των χαρτών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Surfer 7 της Golden Software Inc., σε περιβάλλον Windows XP Professional της Microsoft Co. Ο κάθε χάρτης πρέπει να δίνει σε κάθε σημείο που απεικονίζεται μια τιμή, λαμβάνοντας υπ' όψη τα δεδομένα της δειγματοληψίας. Ο μικρός αριθμός των σημείων στη Ραφήνα και το Λαύριο και τα ελάχιστα δείγματα στο Μικρολίμανο και τη μαρίνα Ζέας απέκλεισαν στην πράξη έναν αριθμό τρόπων παρουσίασης, αφού θεωρήθηκε από την αρχή σαν απαραίτητη (για λόγους δυνατότητας σύγκρισης) η επιλογή κοινού τρόπου παρουσίασης για όλα τα λιμάνια. Επιπλέον, η μέθοδος έπρεπε να ακολουθεί τα δεδομένα και να δείχνει τις τάσεις που προκύπτουν από τα μέχρι στιγμής δεδομένα σε τοπικό επίπεδο. Αυτά δεν ήρθαν σε αντίθεση με τα αποτελέσματα των δοκιμών, τα οποία πρόκριναν τη μέθοδο kriging και τη συνάρτηση multiquadratic από τη μέθοδο radial basis function. Επειδή η έρευνα δεν σταματά ποτέ και η πρώτη μέθοδος είναι δοκιμασμένη για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, είναι πιο γενική και με σοβαρό θεωρητικό υπόβαθρο, τελικά προτιμήθηκε μεταξύ δύο οπτικά ισοδύναμων μεθόδων. Ο προαναφερθείς σχολιασμός της μεθόδου που στηρίζεται στην εργασία της Νοτιοαφρικανικής σχολής από επιφανή εκπρόσωπο της ανταγωνιστικής της Γαλλικής σχολής (Journel and Huijbregts 1978, p. 304) βάρυνε επίσης για τη λήψη απόφασης.

Οι χάρτες που έχουν κατασκευαστεί για κάθε λιμάνι και τον κόλπο της Ελευσίνας είναι έως 11 για κάθε μέταλλο:

1. Χάρτης ολικών συγκεντρώσεων μετάλλων, ανθρακικών ή ολικού οργανικού άνθρακα (total).
2. 5 χάρτες για τα γεωχημικά κλάσματα (fractions, A, B, C, D, RES)
3. 5 χάρτες για τα ποσοστά των γεωχημικών κλασμάτων ως % του ολικού μετάλλου (percent, A, B, C, D, RES).

Οι ομάδες των χαρτών είναι:

1. Επιβατικό, εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό λιμάνι του Πειραιά.
2. Επιβατικό λιμάνι του Πειραιά (λεπτομέρεια).
3. Μαρίνα Ζέας.
4. Μικρολίμανο.
5. Κόλπος της Ελευσίνας.
6. Λαύριο, περιοχή λιμανιού.
7. Λιμάνι Λαυρίου (λεπτομέρεια).
8. Ραφήνα, περιοχή λιμανιού .
9. Λιμάνι Ραφήνας (λεπτομέρεια).

Ένας αριθμός χαρτών παρουσιάζεται στα αντίστοιχα κεφάλαια, ενώ όλοι οι χάρτες δίνονται στο Παράρτημα.

6. ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΡΑΦΗΝΑΣ

Το λιμάνι της Ραφήνας (Σχήμα 6.1) βρίσκεται στις ανατολικές ακτές της Αττικής και βρέχεται από τον κόλπο Πεταλιών (συνέχεια του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου). Είναι σχετικά ανοικτό προς Α και ΒΑ και οι επικρατούντες άνεμοι είναι οι βόρειοι. Το λιμάνι έχει τελευταία γίνει πιο προστατευμένο με την κατασκευή τριών νέων λιμενοβραχιόνων, δύο (ο νότιος και μεγαλύτερος με κατεύθυνση προς ΒΑ και ο βόρειος προς ΝΑ) στο κύριο λιμάνι και ένας στο βοηθητικό λιμάνι (που βρίσκεται βόρεια του κυρίου και φιλοξενεί αλιευτικά σκάφη), με κατεύθυνση από Β προς ΝΝΑ (ΥΥΠΝ 1977, ΥΥΠΝ 1986), ενώ προβλέπεται (Σχήμα 6.11) επέκταση του βόρειου λιμενοβραχίονα και κατασκευή ανεξάρτητου λιμενοβραχίονα ανάσχεσης των κυμάτων (αποσπασμένου κυματοθραύστη) που θα κλείνει τη έξοδο του λιμανιού με κατεύθυνση από Β προς ΝΔ (www.yen.gr). Ο λιμένας προσφέρει καλό καταφύγιο από τα μελτέμια, αλλά είναι ευπρόσβλητος από Ν ανέμους (Heikell 2001). Βόρεια του βοηθητικού λιμανιού υπάρχει αλιευτικό καταφύγιο. Ο λιμένας είναι χαρακτηρισμένος ως λιμένας διακίνησης επιβατών με ετήσια μετακίνηση 1.740.000 επιβατών και 320.000 οχημάτων (www.yen.gr). Τα διακινούμενα εμπορεύματα είναι συνήθη φορτία μετακινούμενα με φορτηγά οχήματα. Οι τοπικές θαλάσσιες εμπορικές μεταφορές γίνονται από το λιμένα Μαρκοπούλου (Πόρτο – Ράφτη), που υπάγεται στο λιμεναρχείο Ραφήνας και βρίσκεται νοτιότερα (www.yen.gr). Η Ραφήνα δεν έχει βιομηχανική δραστηριότητα και οι κατοικίες είναι στο μεγαλύτερο βαθμό θερινής διαμονής. Στον γενικότερο σχεδιασμό του YEN προβλέπεται μελλοντικά αύξηση της επιβατικής κίνησης με στόχο (παράλληλα και με την αύξηση της κίνησης από το λιμάνι του Λαυρίου) ελάφρυνση του επιβατικού φορτίου του λιμανιού του Πειραιά (www.yen.gr). Πολύ κοντά στο λιμάνι υπάρχουν παραλίες που χρησιμοποιούνται για αναψυχή (Μαρίκες Νότια και Κόκκινο Λιμανάκι Βόρεια), ενώ από τους λουόμενους χρησιμοποιείται και το τμήμα της παραλίας νότια του λιμανιού στον όρμο της Ραφήνας. Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι φτωχό, χωρίς μόνιμους ποταμούς. Μόνο ένα σύστημα ρεμάτων (ξηροποτάμων, που οδηγούν την όποια επιφανειακή υπερχείλιση των ομβρίων στη θάλασσα) σημειώνεται στο χάρτη (Κατσικάτσος 1977, Κατσικάτσος 1994-1997, Παπαδέας 2003α), που καταλήγει στην περιοχή νότια του λιμανιού, στον όρμο της Ραφήνας. Η θέση του λιμανιού σε σχέση με τα άλλα λιμάνια της Αττικής φαίνεται στα σχήματα 9.1 και 10.1.

6.1. Γεωλογία

Η περιοχή ανήκει γεωλογικά στη ζώνη Ανατολικής Ελλάδας ή Υποπελαγονική (Μαράτος 1972, Τσόφλιας 1976, www.igme.gr). Στην περιοχή κυριαρχούν τα νεότερα ιζήματα: χερσαίες και παράκτιες αποθέσεις και κώνοι κορημάτων του Τεταρτογενούς και ποταμοχερσαίες, θαλάσσιες και λιμναίες αποθέσεις του Νεογενούς. Δυτικότερα εμφανίζονται ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες και οφιόλιθοι με τα αντίστοιχα ορυκτά (Παπαγεωργάκης 1969, Αυγουστίδης 1976, Κατσικάτσος 1977, Κατσικάτσος 1994-1997, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β). Τα ιζήματα αυτά φαίνεται ότι αποτελούν τον θαλάσσιο πυθμένα κοντά στην ακτή (η χαρτογράφηση του πυθμένα δεν

έχει ολοκληρωθεί για την περιοχή της μελέτης).

6.2. Αναλυτικά αποτελέσματα

Για τη μελέτη της περιοχής έγινε το έτος 1999 δειγματοληψία οκτώ επιφανειακών δειγμάτων ιζήματος (Σχήματα 6.2 και 6.3) με δειγματολήπτη τύπου Maruicawa. Τα δύο δείγματα εκτός της περιοχής του λιμανιού ελήφθησαν για λόγους σύγκρισης. Τα στίγματα (με GPS) και λοιπά στοιχεία των δειγμάτων δίνονται στο παράρτημα. Το δείγμα που προέρχεται από το βοηθητικό λιμάνι χαρακτηρίζεται ανοικτή καφέ και μαύρη ιλύς με αυξημένα χουμικά, ενώ όλα τα άλλα δείγματα χαρακτηρίζονται ως άμμοι αποτελούμενοι κατά βάση από πυριτικό υλικό. Στην περιοχή μελέτης κυριαρχεί η αδρόκοκκη άμμος και ο λόγος Si / Al κυμαίνεται 3,54 και 9,56 με μέση τιμή το 5,44 (Καραγεώργης κ. α. 1994). Η άμμος είναι πιο λεπτόκοκκη στις εκβολές του ρέματος και πιο χονδρόκοκκη στα βόρεια του λιμανιού.

Ο έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας του συντελεστή συσχέτισης των μετάλλων γίνεται με την κατανομή Student – t με σύγκριση των τιμών του t (που εξαρτάται από τον αριθμό των δειγμάτων και δίνεται από ειδικούς πίνακες) με τις τιμές του $t_{\text{περ}}$. (Spieger 1977, Κάκουλλος 1978, Τζιαφέτας 1978, Κεβόρκ 1985, Καραγιάννης 1999). Στο εξής σημαντική χαρακτηρίζεται η συσχέτιση (με έντονα στους πίνακες) όταν υπάρχει βεβαιότητα μεταξύ 95 % (επίπεδο σημαντικότητας 5 %) και 99 % (επίπεδο σημαντικότητας 1 %) και πολύ σημαντική (με έντονα υπογραμμισμένα στους πίνακες) για βεβαιότητα πάνω από 99 % (99 %, 99,9 % και 99,99 %). Η συσχέτιση (θετική ή αρνητική) χαρακτηρίζεται πολύ μικρή όταν η απόλυτη τιμή της είναι μικρότερη του 0,1 και μεγαλύτερη ή ίση του 0,01 και μηδενική όταν είναι μικρότερη του 0,01. Οι συσχετίσεις αναφέρονται πάντα στις ολικές συγκεντρώσεις. Οι περιεκτικότητες (κατά βάρος) εκφράζονται σε ppm (parts per million) που αντιστοιχεί σε mg/g. Τα ανθρακικά υπολογίζονται σε ποσοστό % της μάζας του δείγματος. Η ακρίβεια είναι 95 %.

Οι τιμές που μετρήθηκαν στα δείγματα δίνονται στον Πίνακα 6.1 και τα ποσοστά των επί μέρους γεωχημικών κλασμάτων στον Πίνακα 6.2. Οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των μετάλλων δίνονται στον Πίνακα 6.3 και τα $t_{\text{περ}}$ στον Πίνακα 6.4. Ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης και του $t_{\text{περ}}$, καθώς και τιμές του t δίνονται στον Πίνακα 6.5. Επιλεγμένοι ισοχημικοί χάρτες δίνονται στα Σχήματα 6.4 έως 6.10, ενώ το σύνολό τους δίνεται στο παράρτημα.

6.2.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα (total, T)

Οι τιμές ποικίλλουν από 3.700 έως 15.400 ppm. Οι μέγιστες τιμές σιδήρου και αργιλίου συμπίπτουν. Έχει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα εκτός του καδμίου και του νικελίου και θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά (0,5).

Πολύ σημαντική συσχέτιση (99%) παρουσιάζει με τον ψευδάργυρο και μεγάλες συσχετίσεις με το αργίλιο (0,65), το μόλυβδο (0,68) και το χαλκό (0,62). Οι μεγαλύτερες περιεκτικότητες εμφανίζονται στο βοηθητικό λιμάνι και στην εκβολή του ρέματος νότια του λιμανιού (Σχήματα 6.4 και 6.7).

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος (exchangeable, A) σίδηρος παρουσιάζει μικρές τιμές, τις μεγαλύτερες μέσα στο λιμάνι, κοντά στην δυτική προκουμιά (112 ppm ή 1,11%). Το κλάσμα στα ανθρακικά (carbonate associated, B) παρουσιάζει παρόμοια χωρική κατανομή (με τις υψηλότερες περιεκτικότητες ελάχιστα ανατολικότερα, πάντα μέσα στο λιμάνι) και βρίσκεται μεταξύ 0,16 και 0,31%. Ο ευρισκόμενος υπό μορφή οξειδίων (reducible, C) σίδηρος κυμαίνεται περίπου ανάμεσα στα 400 και 600 ppm ή ανάμεσα σε 3,5 και 7,8%. Οι μεγαλύτερες τιμές, τόσο απόλυτες όσο και σαν κλάσμα της ολικής περιεκτικότητας βρίσκονται στην περιοχή του λιμανιού. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης (organic matter and sulphide bound, D) έχει την ίδια χωρική κατανομή με το προηγούμενο κλάσμα, οι τιμές όμως είναι μεγαλύτερες, έως διπλάσιες, μέχρι 1.210 ppm ή 12,8%. Ο δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα (residual, R) σίδηρος, σαν συνέπεια των προαναφερθέντων για τα άλλα κλάσματα, παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές του (78 – 91% του ολικού) μακριά από το λιμάνι, προς την ανοικτή θάλασσα. Μεγάλες τιμές παρουσιάζονται και στην περιοχή της εκβολής του ρέματος, νότια του λιμανιού.

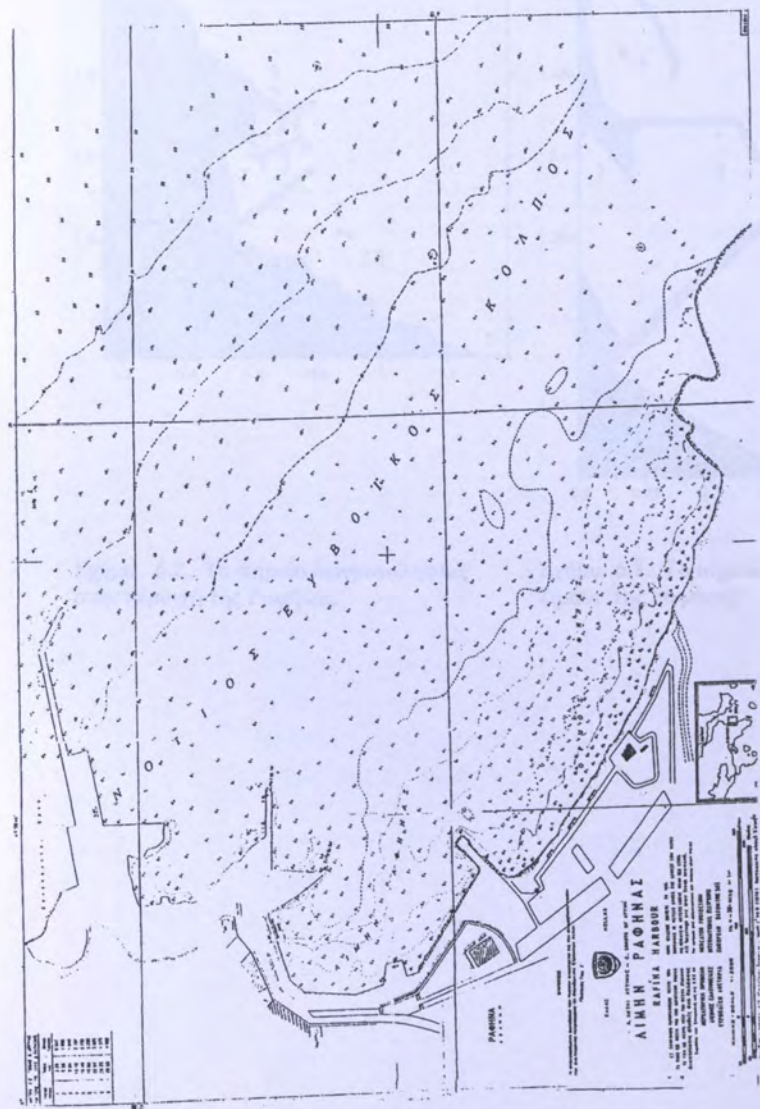
6.2.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το αργίλιο μεταβάλλεται από 8.000 έως 42.000 ppm περίπου, με τις μεγαλύτερες περιεκτικότητες στην περιοχή νότια του λιμανιού (εκβολή ρέματος) και στο βοηθητικό λιμάνι. Οι μικρότερες περιεκτικότητες εμφανίζονται βόρεια του λιμανιού (Σχήματα 6.4 και 6.7). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα πλην του νικελίου και με τα ανθρακικά. Τη μεγαλύτερη συσχέτιση παρουσιάζει με το χαλκό (0,70), τον ψευδάργυρο (0,69) και το σίδηρο (0,65).

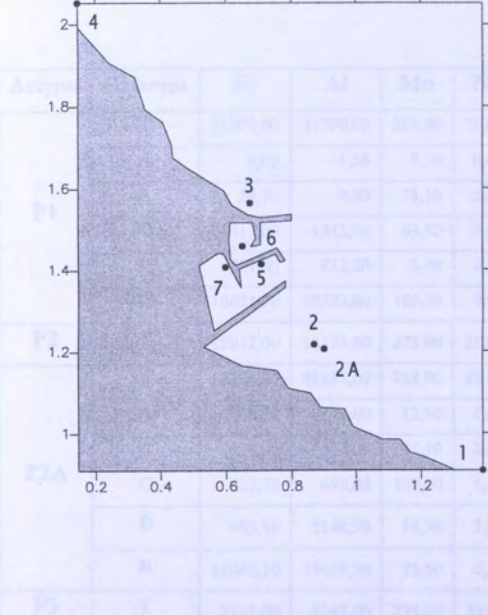
- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο αργίλιο είναι ασήμαντο, τόσο σε απόλυτες τιμές, όσο και σε ποσοστά (0,00%). Το ίδιο ισχύει και για το αργίλιο στα ανθρακικά. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηνίου οξειδία (reducible) είναι από 1,5 έως 4,5% περίπου, με τις μεγαλύτερες τιμές (τόσο σε ποσοστά όσο και σε απόλυτες τιμές) στην περιοχή του λιμανιού (κυρίως του βοηθητικού) και στην περιοχή των εκβολών του ρέματος. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει την ίδια χωρική κατανομή με το κλάσμα που είναι ενωμένο με οξειδία του σιδήρου και του μαγνηίου οι τιμές κυμαίνονται από 3 έως 10% περίπου του ολικού. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα παρουσιάζει τιμές που κυμαίνονται από 80 έως 91% περίπου του ολικού. Όπως αναμένεται με βάση τα αναφερθέντα για τα προηγούμενα κλάσματα οι μεγαλύτερες συμμετοχές του αργιλοπυριτικού πλέγματος στο σύνολο είναι ανοικτά από το λιμάνι και την εκβολή του ρέματος, που βρίσκεται νότια του λιμανιού.

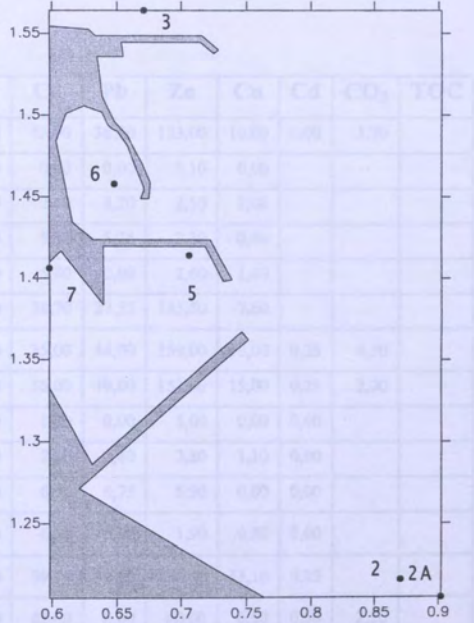


Σχήμα 6.1. Το λιμάνι της Ραφήνας. Ο νέος βραχίονας του βοθητικού λιμανιού δεν είναι σημειωμένος στο χάρτη (ΥΥΠΠ 1977).

Πίνακας 6.7 (12): Οι τιμές των δειγμάτων της Ραφήνας. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε mg/L για CO_2 και 10^6 Ca %.



Σχήμα 6.2. Τα σημεία δειγματοληψίας στην περιοχή της Ραφήνας.



Σχήμα 6.3. Τα σημεία δειγματοληψίας στο λιμάνι της Ραφήνας.

Δείγμα	Fe	Al	Mn	Cu	Pb	Zn	Ca	Cd	CO_2	10^6 Ca
P1	1100,00	1100,00	20,00
P2
P3
P4
P5
P6
P7

Πίνακας 6.1 (1/2). Οι τιμές των δειγμάτων της Ραφήνας. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	CO ₃	TOC
P1	T	11900,00	31700,00	288,00	25,00	53,00	36,00	153,00	10,00	0,00	3,70	
	A	0,00	1,50	9,50	0,40	0,80	0,00	5,10	0,00			
	B	24,70	0,00	73,10	5,20	2,40	3,20	2,50	1,00			
	C	417,00	1243,30	68,80	5,60	5,30	5,25	7,30	0,00			
	D	787,00	932,20	9,90	4,80	5,80	0,00	2,60	1,40			
	R	10671,30	29523,00	126,70	9,00	38,70	27,55	135,50	7,60			
P2	T	15013,00	18173,00	275,00	21,00	35,00	44,00	150,00	10,00	0,25	4,10	
P2A	T	12175,00	41855,00	265,00	22,00	56,00	49,00	153,00	15,00	0,25	2,00	
	A	26,20	2,60	12,50	1,60	1,00	0,00	5,00	0,00	0,00		
	B	18,90	3,00	52,50	3,80	2,60	2,40	2,80	1,10	0,00		
	C	422,70	698,60	108,00	6,10	6,50	6,75	6,90	0,00	0,00		
	D	665,10	2140,50	16,50	3,80	6,20	0,00	1,90	0,80	0,00		
	R	11042,10	39010,30	75,50	6,70	39,70	39,85	136,40	13,10	0,25		
P3	T	3718,00	8145,00	275,00	30,00	61,00	8,00	60,00	0,00	0,50	2,20	
P4	T	8333,00	13118,00	248,00	8,00	99,00	27,00	105,00	0,00	0,00	1,40	
P5	T	6943,00	25500,00	193,00	20,00	47,00	13,00	85,00	8,00	0,40	3,10	
	A	23,60	3,90	6,10	1,20	0,70	0,00	1,20	0,50	0,00		
	B	21,20	7,80	49,80	4,20	2,20	0,00	0,30	1,70	0,00		
	C	540,00	399,50	69,30	6,60	5,00	3,00	3,60	0,00	0,00		
	D	886,00	1381,20	12,80	4,70	7,10	0,00	1,60	1,10	0,00		
	R	5472,20	23707,60	55,00	3,30	32,00	10,00	78,30	4,70	0,40		
P6	T	15403,00	42808,00	268,00	15,00	149,00	45,00	188,00	47,50	0,40	4,00	1,16
	A	0,00	3,40	3,90	1,40	2,50	0,00	7,60	7,70	0,00		
	B	27,50	2,00	41,10	1,50	1,60	0,00	0,30	1,00	0,00		
	C	609,00	629,30	86,00	2,90	12,30	13,50	19,90	1,10	0,00		
	D	1209,00	1191,50	27,80	5,90	11,60	8,75	7,10	18,20	0,00		
	R	13557,50	40981,80	34,20	3,30	121,00	22,75	153,10	19,50	0,40		

Πίνακας 6.1 (2/2). Οι τιμές των δειγμάτων της Ραφήνας. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Σημείο	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	CO ₃	TOC
P7	T	10090,00	24900,00	235,00	75,00	79,00	69,00	185,00	30,00	0,00	4,90	
	A	112,00	1,50	7,80	2,20	0,70	1,20	10,80	2,20			
	B	26,60	3,20	43,30	3,50	1,50	4,80	2,90	0,60			
	C	609,00	1141,70	90,10	8,40	6,60	17,25	10,60	0,00			
	D	1210,00	2443,80	17,10	7,60	12,60	0,00	4,90	4,40			
R	8132,40	21309,80	76,70	53,30	57,60	45,75	155,80	22,80				

P1A	A	8,23	0,60	4,72	2,22	1,79	0,20	3,22	0,70	0,00		
	B	0,16	0,00	19,61	17,27	2,64	0,00	1,33	2,32	0,00		
	C	2,47	1,70	46,74	22,23	11,61	13,78	4,51	0,00	0,00		
	D	0,96	3,10	6,23	17,27	11,07	0,00	1,24	2,21	0,00		
	E	30,09	43,20	22,40	20,46	20,82	81,32	55,12	37,44	100,00		
P5	A	9,54	0,00	3,16	6,00	2,20	0,00	0,41	0,21	0,00		
	B	9,31	0,00	23,89	21,00	6,68	0,00	0,25	14,22	0,00		
	C	2,79	1,80	43,91	22,00	10,64	22,08	4,20	0,00	0,00		
	D	12,28	3,60	6,82	22,50	22,11	0,00	1,88	23,72	0,00		
	E	1,80	91,00	28,30	16,50	19,04	26,22	32,12	18,72	100,00		
P6	A	0,20	0,00	21,20	10,50	1,80	0,00	0,10	2,11	0,00		
	B	2,00	1,20	44,20	19,20	8,20	30,00	10,50	2,22	0,00		
	C	2,20	1,80	16,60	10,20	2,20	10,44	2,20	14,22	0,00		
	D	10,00	40,20	17,20	22,50	32,20	20,20	11,40	41,04	100,00		
	E	1,31	0,00	3,20	2,00	0,00	1,20	1,84	2,20			
P7	B	0,20	0,00	12,40	2,80	1,00	0,10	1,00	1,00	0,00		
	C	0,00	0,00	26,14	11,20	8,11	22,00	2,20	0,00			
	D	10,00	0,00	2,20	10,20	13,00	0,00	2,60	14,00			
	E	0,00	82,00	22,00	21,00	22,00	0,00	14,22	20,00			

Πίνακας 6.2. Οι τιμές των δειγμάτων της Ραφήνας. Οι τιμές για τα επί μέρους κλάσματα δίνονται σε % του ολικού μετάλλου.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd
P1	A	0,00	0,00	3,30	1,60	1,51	0,00	3,33	0,00	
	B	0,21	0,00	25,38	20,80	4,53	8,89	1,63	10,00	
	C	3,50	3,90	23,89	22,40	10,00	14,58	4,77	0,00	
	D	6,61	2,90	3,44	19,20	10,94	0,00	1,70	14,00	
	R	89,68	93,20	43,99	36,00	73,02	76,53	88,57	76,00	89,68
P2A	A	0,22	0,00	4,72	7,27	1,79	0,00	3,27	0,00	0,00
	B	0,16	0,00	19,81	17,27	4,64	4,90	1,83	7,33	0,00
	C	3,47	1,70	40,75	27,73	11,61	13,78	4,51	0,00	0,00
	D	5,46	5,10	6,23	17,27	11,07	0,00	1,24	5,33	0,00
	R	90,69	93,20	28,49	30,46	70,89	81,32	89,15	87,34	100,00
P5	A	0,34	0,00	3,16	6,00	1,49	0,00	1,41	6,25	0,00
	B	0,31	0,00	25,80	21,00	4,68	0,00	0,35	21,25	0,00
	C	7,78	1,60	35,91	33,00	10,64	23,08	4,24	0,00	0,00
	D	12,76	5,40	6,63	23,50	15,11	0,00	1,88	13,75	0,00
	R	78,81	93,00	28,50	16,50	68,08	76,92	92,12	58,75	100,00
P6	A	0,00	0,00	2,02	9,33	1,68	0,00	4,04	16,21	0,00
	B	0,18	0,00	21,30	10,00	1,07	0,00	0,16	2,11	0,00
	C	3,95	1,50	44,56	19,33	8,26	30,00	10,59	2,32	0,00
	D	7,85	2,80	14,40	39,33	7,79	19,44	3,78	38,32	0,00
	R	88,02	95,70	17,72	22,01	81,20	50,56	81,43	41,04	100,00
P7	A	1,11	0,00	3,32	2,93	0,89	1,74	5,84	7,30	
	B	0,26	0,00	18,43	4,67	1,90	6,96	1,57	2,00	
	C	6,04	4,60	38,34	11,20	8,35	25,00	5,73	0,00	
	D	11,99	9,80	7,28	10,13	15,95	0,00	2,65	14,67	
	R	80,60	85,60	32,63	71,07	72,91	66,30	84,21	76,03	

Πίνακας 6.3. Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για τη Ραφήνα (ολικές περιεκτικότητες).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	CO ₃
Fe		0,6572	0,3821	-0,1237	0,2516	0,6768	0,8510	0,6227	-0,2117	0,4998
Al	0,6572		0,0744	-0,0574	0,3320	0,5025	0,6943	0,7053	0,0000	0,2750
Mn	0,3821	0,0744		-0,1667	0,0608	0,1587	0,2600	0,0283	-0,0849	-0,0084
Ni	-0,1237	-0,0574	-0,1667		-0,1175	0,5627	0,3359	0,2844	-0,3035	0,5963
Cr	0,2516	0,3320	0,0608	-0,1175		0,2062	0,3766	0,6790	0,0265	0,0480
Pb	0,6768	0,5025	0,1587	0,5627	0,2062		0,9204	0,6469	-0,5276	0,5987
Zn	0,8510	0,6943	0,2600	0,3359	0,3766	0,9204		0,8083	-0,4190	0,6635
Cu	0,6227	0,7053	0,0283	0,2844	0,6790	0,6469	0,8083		0,0583	0,6360
Cd	0,2117	0,0000	-0,0849	-0,3035	0,0265	-0,5276	-0,4190	0,0583		-0,1449
CO ₃	0,4998	0,2750	-0,0084	0,5963	0,0480	0,5987	0,6635	0,6360	-0,1449	

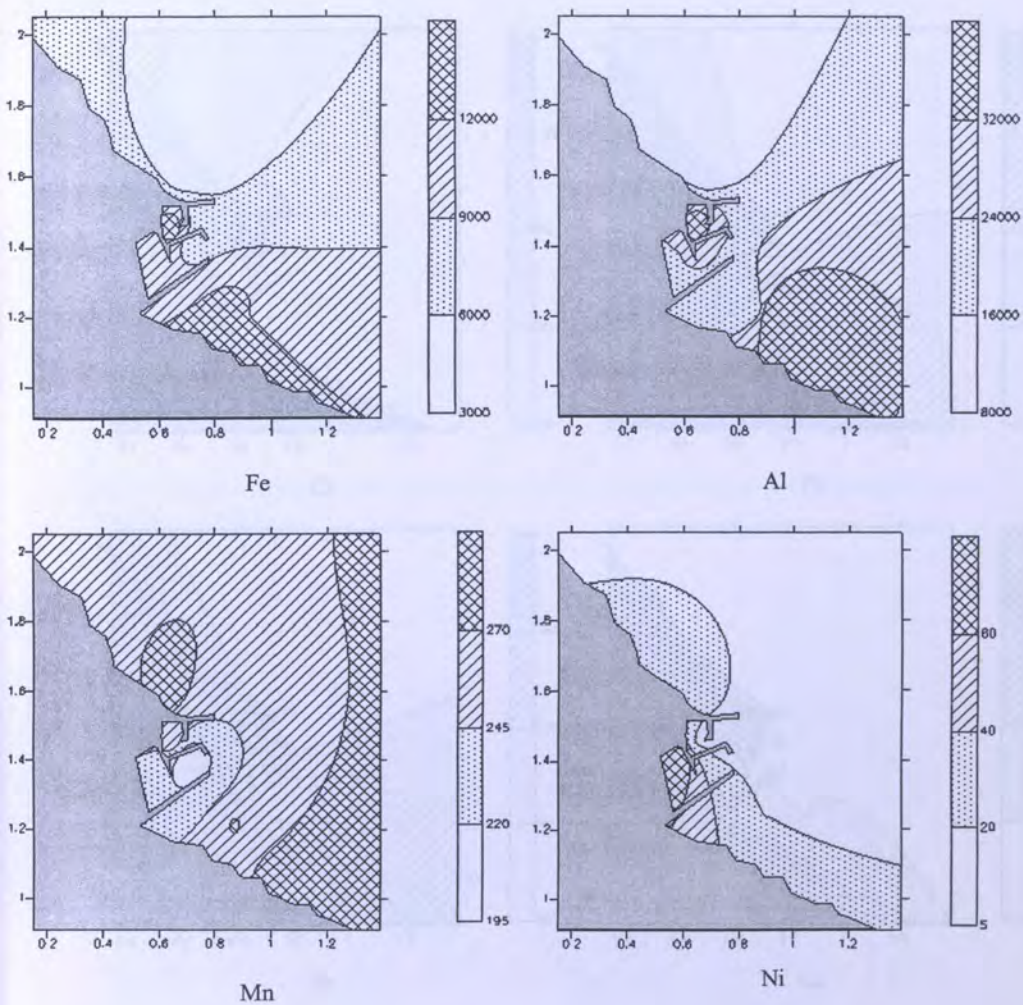
Πίνακας 6.4. $t_{\text{περι}}$ για τη Ραφήνα (8 δείγματα).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	CO ₃
Fe		2,135823	1,0128	0,305347	0,636776	2,251955	3,969254	1,949360	0,530583	1,413459
Al	2,135823		0,182749	0,140833	0,862131	1,423665	2,363088	2,437020	0,000000	0,700623
Mn	1,012800	0,182749		0,414125	0,149205	0,393724	0,659550	0,069348	0,208715	0,020576
Ni	0,305347	0,140833	0,414125		0,289823	1,667343	0,873538	0,726641	0,780222	1,819507
Cr	0,636776	0,862131	0,149205	0,289823		0,516178	0,995792	2,265518	0,064934	0,117711
Pb	2,251955	1,423665	0,393724	1,667343	0,516178		5,766335	2,077927	1,521320	1,830909
Zn	3,969254	2,363088	0,659550	0,873538	0,995792	5,766335		3,362807	1,130343	2,172264
Cu	1,949360	2,437020	0,069348	0,726641	2,265518	2,077927	3,362807		0,143049	2,018787
Cd	0,530583	0,000000	0,208715	0,780222	0,064934	1,521320	1,130343	0,143049		0,358717
CO ₃	1,413459	0,700623	0,020576	1,819507	0,117711	1,830909	2,172264	2,018787	0,358717	

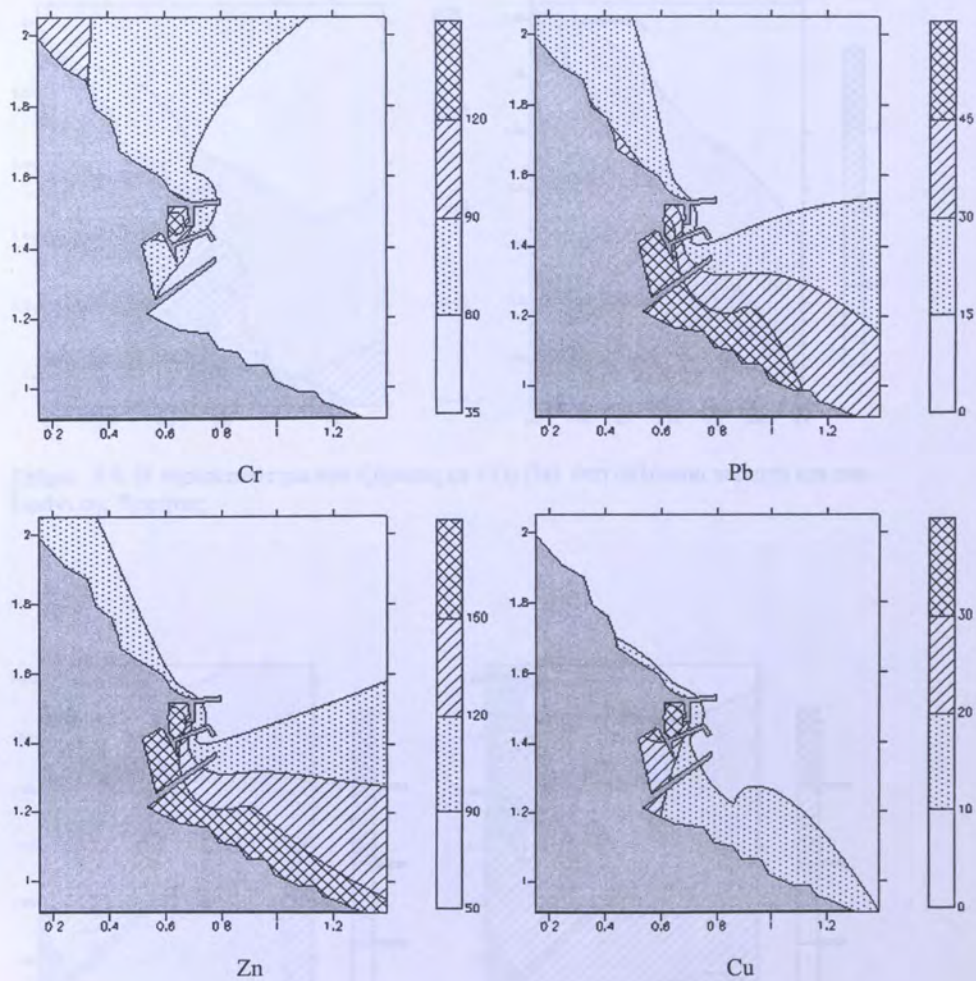
Πίνακας 6.5. Υπολογισμός του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (**R**) δύο μεταβλητών (**x**, **y**) και του $t_{\text{περ.}}$ (όπου Σ είναι το άθροισμα, **mean** ο αριθμητικός μέσος, **ABS** η απόλυτη τιμή και **n** ο αριθμός δειγμάτων) και τιμές του **t** για διάφορα επίπεδα σημαντικότητας $\alpha = 2\alpha$: 5 % (βεβαιότητα 95 %), 1 % (99 %), 0,1 % (99,9%), 0,01 % (99,99 %) σε συνάρτηση με τους βαθμούς ελευθερίας $\nu = n - 2$. (Καραγιάννης, Μ. Κ., 1999).

Βήμα 1 ^ο : $A = \Sigma [x - \text{mean}(x)] \times [y - \text{mean}(y)]$
Βήμα 2 ^ο : $B = \{ \Sigma [x - \text{mean}(x)]^2 \times \Sigma [y - \text{mean}(y)]^2 \}^{1/2}$
Βήμα 3 ^ο : $R = A / B$
Βήμα 4 ^ο : $t_{\text{περ.}} = \text{ABS}(R) \times [(n-2) / (1-R^2)]^{1/2}$

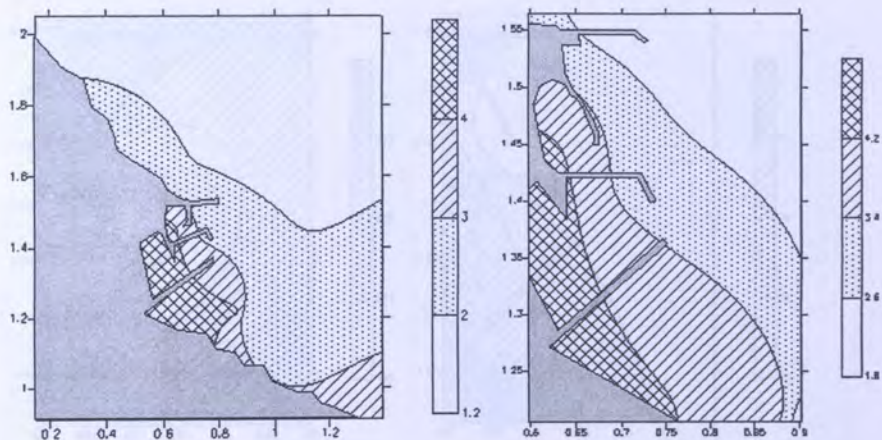
ν	2 α (p)				ν	2 α (p)			
	0,05	0,01	0,001	0,0001		0,05	0,01	0,001	0,0001
1	12,706	63,657	636,619	6366,198	16	2,120	2,921	4,015	5,134
2	4,303	9,925	31,598	99,992	17	2,110	2,898	3,965	5,044
3	3,182	5,841	12,924	28,000	18	2,101	2,878	3,922	4,966
4	2,776	4,604	8,610	15,544	19	2,093	2,861	3,883	4,897
5	2,571	4,032	6,869	11,178	20	2,086	2,845	3,850	4,837
6	2,447	3,707	5,959	9,082	21	2,080	2,831	3,819	4,784
7	2,365	3,499	5,408	7,885	22	2,074	2,819	3,792	4,736
8	2,306	3,355	5,041	7,120	23	2,069	2,807	3,767	4,693
9	2,262	3,250	4,781	6,594	24	2,064	2,797	3,745	4,654
10	2,228	3,169	4,587	6,211	25	2,060	2,787	3,725	4,619
11	2,201	3,106	4,437	5,921	26	2,056	2,779	3,707	4,587
12	2,179	3,055	4,318	5,694	27	2,052	2,771	3,690	4,558
13	2,160	3,012	4,221	5,513	28	2,048	2,763	3,674	4,530
14	2,145	2,977	4,140	5,363	29	2,045	2,756	3,659	4,506
15	2,131	2,947	4,073	5,239	30	2,042	2,750	3,646	4,482



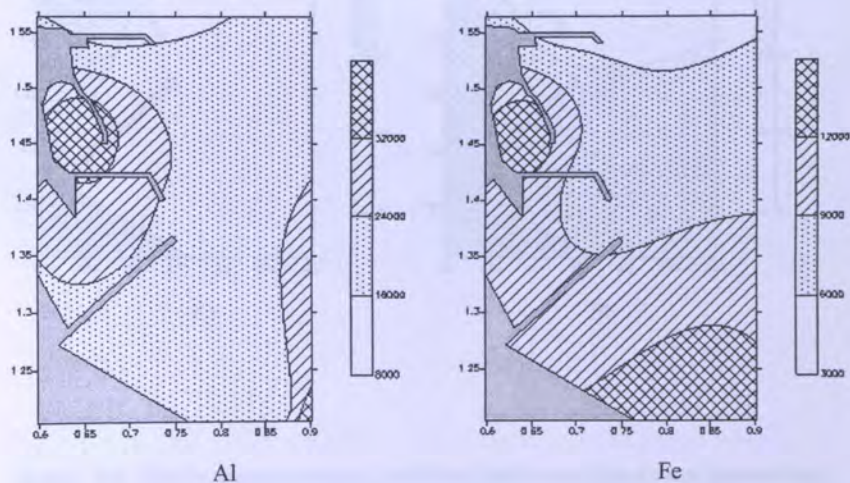
Σχήμα 6.4. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα της θαλάσσιας περιοχής της Ραφήνας.



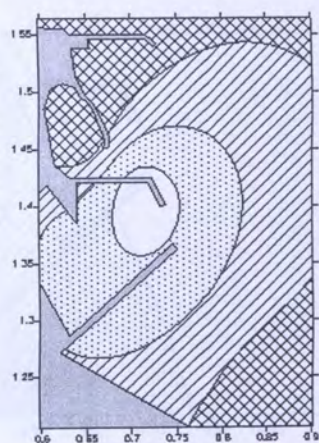
Σχήμα 6.5. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα της θαλάσσιας περιοχής της Ραφήνας.



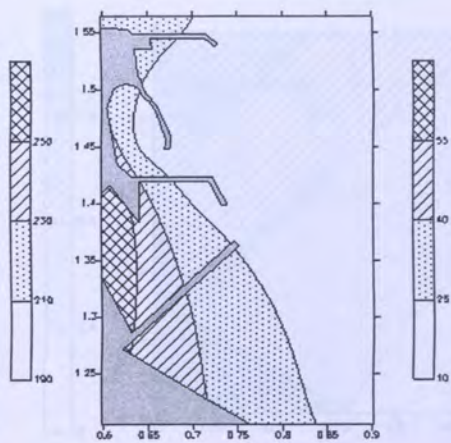
Σχήμα 6.6. Η περιεκτικότητα του ιζήματος σε CO_3 (%) στη θαλάσσια περιοχή και στο λιμάνι της Ραφήνας



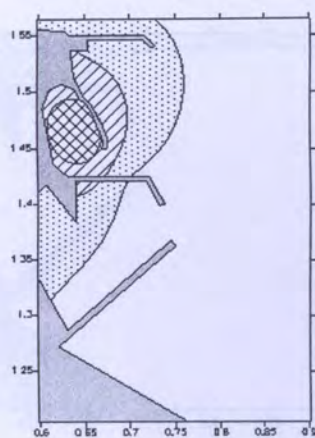
Σχήμα 6.7. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα του λιμανιού της Ραφήνας.



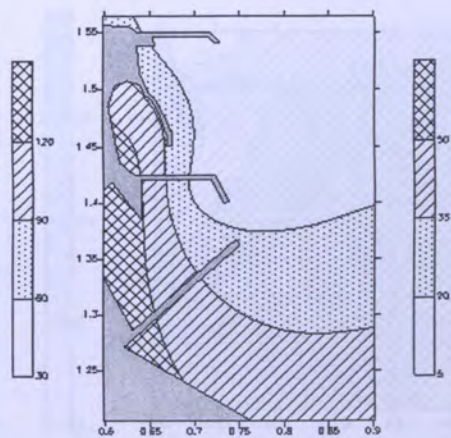
Mn



Ni

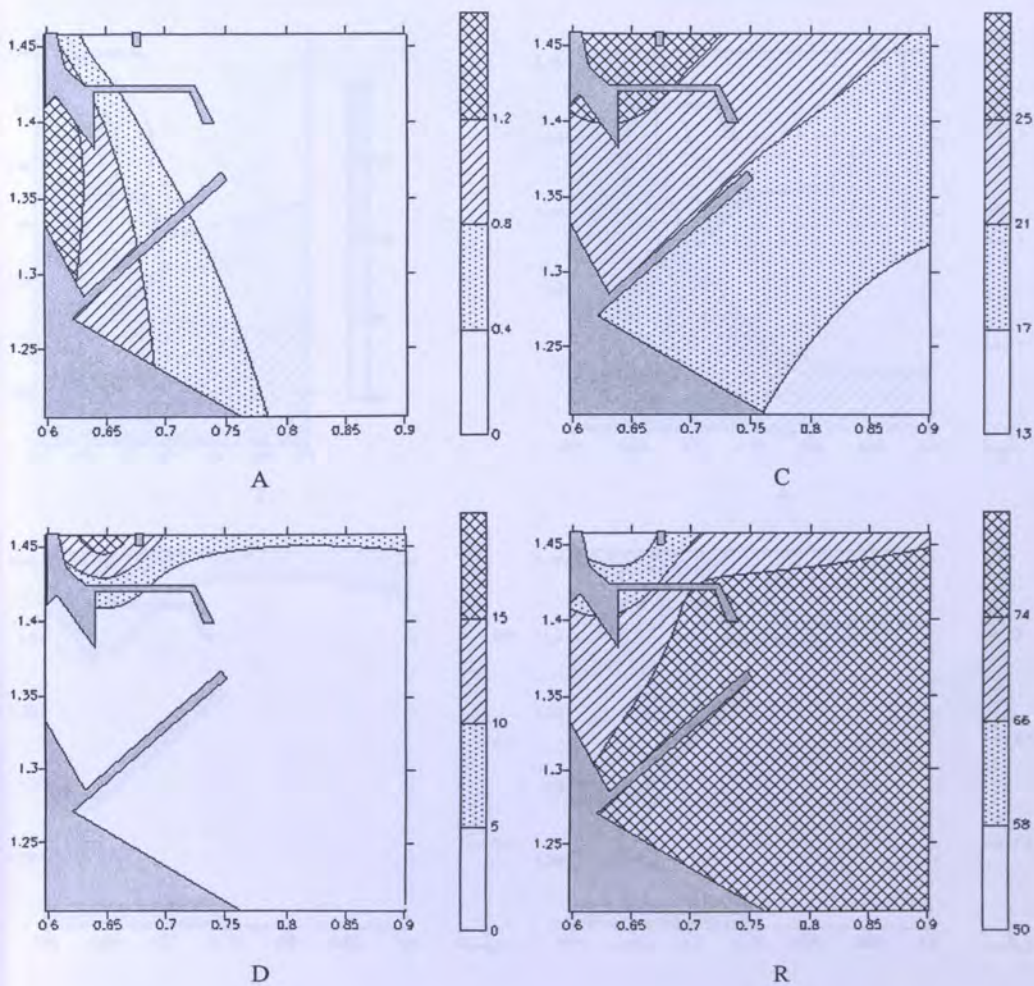


Cr

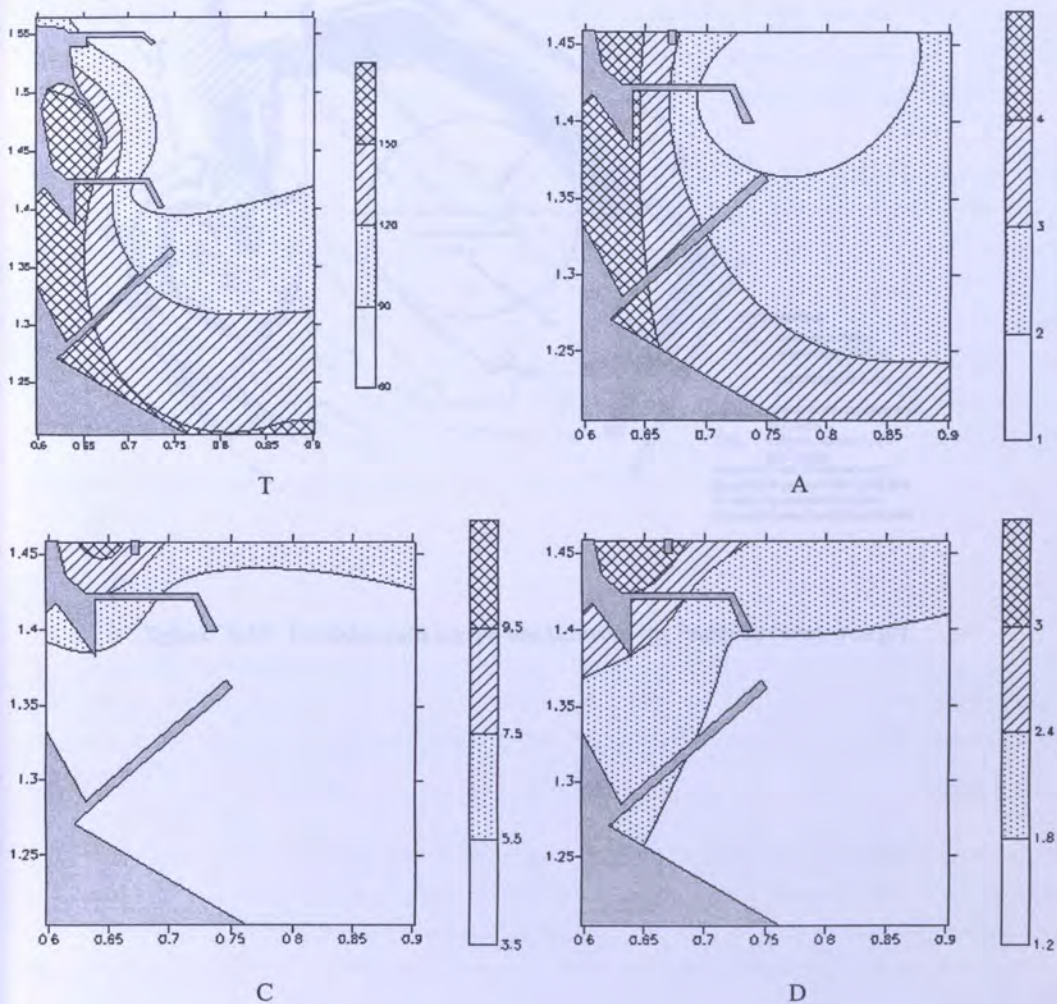


Pb

Σχήμα 6.8. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα του λιμανιού της Ραφήνας.



Σχήμα 6.9. Γεωχημικά κλάσματα (% του ολικού) του μολύβδου στα ιζήματα του λιμανιού της Ραφήνας



Σχήμα 6.10. Ολικές περιεκτικότητες (ppm) και γεωχημικά κλάσματα (% του ολικού) του ψευδαργύρου στα ιζήματα του λιμανιού της Ραφήνας

6.2.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται από 193 έως 288 ppm, με τις μεγαλύτερες τιμές να βρίσκονται στην ανοικτή θάλασσα και στο αλιευτικό καταφύγιο (Σχήματα 6.4 και 6.8). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα πλην του νικελίου και του καδμίου, με κανένα αξιοσημείωτη, και σχεδόν μηδενική (-0,0084) συσχέτιση με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μαγγάνιο έχει τιμές από 2 έως 4,7% του ολικού, ενώ το ενωμένο με ανθρακικά είναι σταθερό από 18 έως 26%. Το προσροφημένο μαγγάνιο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στο βοθητικό λιμάνι και τα υψηλότερα ποσοστά στις εκβολές του ρέματος. Το μαγγάνιο στα ανθρακικά παρουσιάζεται σχετικά αυξημένο στην ανοικτή θάλασσα καθώς (σαν ποσοστό του ολικού μόνο) και στην είσοδο του λιμανιού. Το υπό μορφή οξειδίων μέταλλο κυμαίνεται μεταξύ 24 και 45% του συνολικού, παρουσιάζοντας τα μεγαλύτερα ποσοστά και απόλυτες τιμές στο βοθητικό λιμάνι και στις εκβολές του ρέματος. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές και ποσοστά στο βοθητικό λιμάνι (από 3,5 έως 14% του συνολικού). Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα βρίσκεται μεταξύ 18 και 44% του ολικού. Οι μεγαλύτερες τιμές βρίσκονται μακριά από το λιμάνι, ΝΑ της εκβολής του ρέματος.

6.2.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το νικέλιο μέσα στο λιμάνι παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του (δυτική αποβάθρα 75 ppm) και την ελάχιστη (8 ppm) βόρεια του λιμανιού, στο Κόκκινο Λιμανάκι (Σχήματα 6.4 και 6.8). Παρουσιάζει ασθενή αρνητική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα εκτός από τον μόλυβδο (0,56) τον ψευδάργυρο και το χαλκό. Θετική συσχέτιση (0,60) παρουσιάζει με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο νικέλιο φτάνει μέχρι το 9% του ολικού (βοθητικό λιμάνι) και οι τιμές και τα ποσοστά του μειώνονται μακριά από το λιμάνι και την εκβολή του ρέματος. Το νικέλιο που είναι στα ανθρακικά παρουσίασε τις μέγιστες τιμές και τα μεγαλύτερα ποσοστά του (21%) μακριά από το λιμάνι. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία παρουσιάζεται αυξημένο μέσα στο λιμάνι (δυτική προκουμαία) και δίνει τα μεγαλύτερα ποσοστά σαν τμήμα του ολικού στην είσοδο του λιμανιού. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης δίνει τις μεγαλύτερες τιμές μέσα στο λιμάνι και τα μεγαλύτερα ποσοστά στο βοθητικό λιμάνι. Το εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα δίνει τις μεγαλύτερες τιμές και ποσοστά (έως 71%) μέσα στο λιμάνι.

6.2.5. Χρόμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Οι τιμές κυμαίνονται από 35 μέχρι 149 (βοηθητικό λιμάνι) ppm, με τις μεγαλύτερες τιμές να παρουσιάζονται μέσα στο λιμάνι. Νότια του λιμανιού (και στις εκβολές του ρέματος) οι τιμές είναι αισθητά μικρότερες (Σχήματα 6.5 και 6.8). Το χρώμιο παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα (πλην του νικελίου), μεγαλύτερη με το χαλκό (0,68). Θετική συσχέτιση παρουσιάζει και με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο χρώμιο παρουσιάζεται αυξημένο στο βοηθητικό λιμάνι, καθώς και στις εκβολές του ρέματος, με τα ποσοστά πάντως να βρίσκονται κάτω του 2% του ολικού. Το μέταλλο στα ανθρακικά παρουσιάζεται πιο αυξημένο στις εκβολές του ρέματος και στην είσοδο του λιμανιού, κυμαινόμενο μεταξύ του 1 και 5% του συνολικού. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία παρουσιάζεται επίσης αυξημένο στο βοηθητικό λιμάνι και στις εκβολές του ρέματος, κυμαινόμενο σε στενά πλαίσια (8 με 12% του ολικού). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές μέσα στο λιμάνι (16% του ολικού), ενώ οι τιμές μειώνονται με την απομάκρυνση από το λιμάνι. Το χρώμιο που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αντιπροσωπεύει το 68 με 81% του συνολικού και παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή στο βοηθητικό λιμάνι.

6.2.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Οι τιμές κυμαίνονται από 8 (αλιευτικό καταφύγιο) μέχρι 69 (λιμάνι, δυτική προκουμαία) ppm. Οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται κοντά στην ακτή από το βοηθητικό λιμάνι έως την εκβολή του ρέματος (Σχήματα 6.5 και 6.8). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα (σίδηρος 0,68, νικέλιο 0,56, χαλκός 0,65) πλην του καδμίου. Με τον ψευδάργυρο παρουσιάζει πολύ σημαντική (99%) συσχέτιση, ενώ θετική συσχέτιση (0,59) παρουσιάζει και με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος μόλυβδος (Σχήμα 6.9) εμφανίζεται παντού μηδενικός, εκτός από την δυτική προκουμαία του λιμανιού, όπου και πάλι παρουσιάζεται κάτω του 2% του ολικού. Ο μόλυβδος στα ανθρακικά είναι μεταξύ 0 και 9%, με τις μεγαλύτερες τιμές στις εκβολές του ρέματος και τη δυτική προκουμαία του λιμανιού. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία (Σχήμα 6.9) παρουσιάζεται σχετικά αυξημένο στην περιοχή του λιμανιού, όπου και φτάνει το 30% του συνολικού, ενώ στις εκβολές του ρέματος δεν ξεπερνά το 15%. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης (Σχήμα 6.9) παρουσιάζεται αυξημένο στο βοηθητικό λιμάνι (σχεδόν 20% του ολικού), ενώ στις άλλες περιοχές παρουσιάζει μηδενικές τιμές. Ο δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα μόλυβδος (Σχήμα 6.9) αρχίζει από 51% του συνολικού και φτάνει στο 81%. Παρουσιάζει τις μεγάλες απόλυτες τιμές κοντά στην παραλία, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά έξω από το λιμάνι, μέχρι και την είσοδό του.

6.2.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Οι τιμές του είναι από 85 έως 185 ppm, με τις μεγαλύτερες τιμές μάζα στο λιμάνι και τιμές στις εκβολές του ρέματος γύρω στα 150 ppm (Σχήματα 6.5 και 6.10). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα (αργίλιο 0,69) πλην του καδμίου. Με το σίδηρο και το μόλυβδο παρουσιάζει πολύ σημαντική (99%) συσχέτιση, με το χαλκό παρουσιάζει σημαντική (95%) συσχέτιση, ενώ θετική συσχέτιση (0,66) παρουσιάζει και με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος ψευδάργυρος (Σχήμα 6.10) είναι σχετικά αυξημένος μέσα στο λιμάνι, όπου πλησιάζει το 6% του συνολικού, ενώ ο ψευδάργυρος στα ανθρακικά δεν ξεπερνά το 2%, με τις μεγαλύτερες τιμές του στην εκβολή του ρέματος. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία (Σχήμα 6.10) εμφανίζει τιμή 10% της συνολικής στο βοηθητικό λιμάνι, ενώ στις άλλες περιοχές δεν ξεπερνά το 6%. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης (Σχήμα 6.10) παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή (4% της συνολικής) στο βοηθητικό λιμάνι, ενώ στις εκβολές του ρέματος δεν ξεπερνά το 2%. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα είναι σταθερό, κυμαινόμενο μεταξύ 81 και 88% του ολικού ψευδαργύρου (μεγαλύτερες τιμές στην είσοδο του λιμανιού).

6.2.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Είναι από μη ανιχνεύσιμος μέχρι 15 ppm εκτός του λιμανιού, ενώ στο βοηθητικό λιμάνι φτάνει τα 47,5 ppm (Σχήμα 6.5). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα (σίδηρος 0,62, αργίλιο 0,71, χρώμιο 0,68, μόλυβδος 0,65). Με τον ψευδάργυρο παρουσιάζει σημαντική (99%) συσχέτιση, ενώ θετική συσχέτιση (0,64) παρουσιάζει και με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κλάσμα στην περιοχή του λιμανιού φτάνει το 16% (βοηθητικό λιμάνι), ενώ έξω από το λιμάνι είναι μη ανιχνεύσιμο. Το κλάσμα στα ανθρακικά ξεπερνά το 20% του συνολικού στην είσοδο του λιμανιού, ενώ αλλού είναι από μη ανιχνεύσιμο μέχρι 10% του συνολικού. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία εμφανίζει μη μηδενική τιμή (2% του ολικού) μόνο στο βοηθητικό λιμάνι. Στο ίδιο μέρος εμφανίζει και τη μεγαλύτερη τιμή (38% του ολικού) το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης, ενώ αλλού δεν ξεπερνά το 15%. Ο δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα χαλκός αντιπροσωπεύει το 41 (βοηθητικό λιμάνι) με 87% του συνόλου, δίνοντας τις υψηλότερες απόλυτες τιμές στο βοηθητικό λιμάνι και τα μεγαλύτερα ποσοστά επί του ολικού στις εκβολές του ρέματος.

6.2.9. Κάδμιο και κασσίτερος

Το κάδμιο βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (< 0,5 ppm) και το σύνολό του βρίσκεται συνδεδεμένο με το

αργιλοπυριτικό πλέγμα. Εμφανίζεται μόνο στην περιοχή του λιμανιού και έχει μηδενική συσχέτιση με το αργίλιο, θετική με το σίδηρο, το χρώμιο και το χαλκό και αρνητική με τα υπόλοιπα μέταλλα και τα ανθρακικά. Ο κασσίτερος παντού είναι κάτω από 0,1 ppm.

6.2.10. Ανθρακικά και οργανικός άνθρακας

Τα ανθρακικά βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, μεταξύ 1,4 και 4,9%, με τις μεγαλύτερες τιμές στο λιμάνι και στις εκβολές του ρέματος (Σχήμα 6.6). Παρουσιάζουν θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα (νικέλιο 0,59, μόλυβδος 0,59, ψευδάργυρος 0,66, χαλκός 0,64), πλην του μαγγανίου και του καδμίου. Ο οργανικός άνθρακας μετρήθηκε στο μοναδικό δείγμα που ήταν φανερή η ύπαρξη οργανικής ύλης (βοηθητικό λιμάνι) και βρέθηκε 1,156%.

6.3. Σχόλια και συμπεράσματα

Το αργίλιο χαρακτηρίζεται χερσογενές στοιχείο και η συσχέτισή του με το σίδηρο (συντελεστής συσχέτισης για την περιοχή 0,63) υποδηλώνει ότι το μεγαλύτερο μέρος του σιδήρου έχει χερσογενή προέλευση (Καραγεώργης κ.α. 1994). Τα μέταλλα χαλκός, μόλυβδος και ψευδάργυρος συσχετίζονται πολύ ισχυρά μεταξύ τους. Εμφανίζουν επίσης ισχυρή θετική συσχέτιση με το σίδηρο και το αργίλιο. Αυτός ο συνδυασμός υψηλών θετικών συσχετίσεων δηλώνει κοινή προέλευση (χερσογενή), καταλήγοντας στο συμπέρασμα για ομάδα στοιχείων που συνδέονται άμεσα με τα χερσογενή αργιλοπυριτικά ορυκτά (Καραγεώργης κ.α. 1994). Και, βέβαια, αφού το αργίλιο δεν θεωρείται ρύπος και συσχετίζεται ισχυρά με την ομάδα των στοιχείων Fe, Zn, Cu και Pb, τότε μπορούμε να αποδεχτούμε ότι δεν έχουμε αξιόλογη ρύπανση από τα στοιχεία αυτά. Στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει ουσιαστική ρύπανση για την ευρύτερη περιοχή με το ίδιο ακριβώς σκεπτικό έχουν καταλήξει ερευνητές και σε προηγούμενη μελέτη (Καραγεώργης κ.α. 1994). Το χερσογενές υλικό που εκπλύνεται με τη βροχή και μεταφέρεται στη θάλασσα είτε με το ρέμα είτε με απορροή από την επιφάνεια του εδάφους είναι του νεογενούς και του τεταρτογενούς (αργιλοπηλίτες, ψαμίτες, κροκαλοπαγή, προσχώσεις, λιγνιτικές αποθέσεις, κώνοι κορημάτων, χερσαίες, ποταμοχερσαίες λιμναίες και θαλάσσιες αποθέσεις), ασβεστόλιθοι, μάρμαρα χαλαζίτες, βωξίτες, σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα, σχιστόλιθοι, πυριτόλιθοι και οφιόλιθοι (Παπαγεωργάκης 1969, Κατσικάτσος 1977, Κατσικάτσος 1994-1997, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β). Το ανάγλυφο δεν είναι έντονο και έτσι οι οδοί απορροής δεν είναι σταθεροί. Έτσι, κάποιες διαφορές στη σύσταση των ιζημάτων οφείλονται στις διαφορές στη σύσταση του φερτού υλικού. Εξ άλλου, τα ίδια τα ιζήματα του νεογενούς και τεταρτογενούς παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις στη σύστασή τους που έχουν να κάνουν με τη δική τους δημιουργία. Πιο αναλυτικά, η σύστασή τους εξαρτάται από το εκάστοτε αποσασθρόμενο πέτρωμα. Παρατηρώντας το χάρτη και το ανάγλυφο της περιοχής (Παπαγεωργάκης 1969, Κατσικάτσος 1977, Κατσικάτσος 1994-1997, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β) βλέπουμε ότι το υλικό που αποσασθρούνται έχει την ποικίλη σύσταση που προαναφέρεται

(αργιλοπηλίτες, ψαμμίτες, κλπ) και εφόσον πρόκειται για ιζηματογενές υλικό δεν έχει προηγηθεί διαδικασία ομογενοποίησής του. Άρα, και τα δευτερογενή ιζήματα που δημιουργούνται από την αποσάθρωσή του διατηρούν διαφορές στη σύστασή τους. Παρ' όλ' αυτά οι υψηλές συσχετίσεις δηλώνουν αρκετά ομοιογενή σύσταση των ιζημάτων. Έτσι δηλώνεται κοινή προέλευση των συστατικών τους, εν προκειμένω χερσογενής από αποσάθρωση.

Το γεωχημικό κλάσμα των προσροφημένων (ανταλλάξιμων) μετάλλων είναι γενικά πολύ φτωχό, με μόνη εξαίρεση τον χαλκό στα δείγματα που προέρχονται μέσα από το λιμάνι και ειδικά από το μικρό κλειστό βοηθητικό λιμάνι. Αυτό δηλώνει πιθανή ρύπανση στη συγκεκριμένη περιοχή του λιμανιού. Τα αυξημένα ποσοστά χαλκού στην ανταλλάξιμη (προσροφημένη) φάση δηλώνουν δυνατότητα απελευθέρωσής τους στο περιβάλλον και την πιθανότητα το ιζημα να αποτελέσει δευτερογενή πηγή ρύπανσης (Sakellariadou and Haralambides 2003, Sakellariadou and Haralambides 2004). Στο ίδιο σημείο ο χαλκός παρουσιάζεται εμπλουτισμένος και στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης, όπως και ο μόλυβδος, το νικέλιο και δευτερευόντως το μαγγάνιο. Το οργανικό φορτίο που παρατηρήθηκε κατά τη δειγματοληψία είναι 1,16 %, που χαρακτηρίζεται ελαφρά αυξημένο, αφού οι κανονικές τιμές για ανοικτές θάλασσες και ανοικτούς κόλπους είναι κάτω του 1 % (Κατσίκη κ.α.1996), όπως έχει μετρηθεί και σε άλλες περιοχές (Sakellariadou 1987). Η αυξημένη περιεκτικότητα του βοηθητικού λιμανιού σε χρώμιο πρέπει να αποδοθεί σε προϊόντα διάβρωσης του εδάφους που έφτασαν με επιφανειακή απορροή και κατακρατήθηκαν σε ένα κλειστό χώρο με στάσιμα νερά και λεπτόκοκκο υλικό (αυτό επιβεβαιώνεται από το ότι το περισσότερο χρώμιο είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα). Η τιμή του χρωμίου στο βοηθητικό λιμάνι είναι μεγαλύτερη από αυτές που μετρήθηκαν στα άλλα δείγματα, αλλά οι τιμές του ολικού μετάλλου στην ευρύτερη περιοχή παρουσιάζονται και μεγαλύτερες των 270 ppm (Καραγεώργης κ.α. 1994). Έχει παρατηρηθεί επίσης επιβάρυνση της παράκτιας περιοχής σε βαρέα μέταλλα λόγω της δράσης των φυσικών φορέων απορροής (επιφανειακή απορροή και ρέματα) (Αλεξανδροπούλου 1991). Η επίδραση της επιφανειακής απορροής είναι πιο έντονη σε περίπτωση επιφανειακής μεταλλευτικής δραστηριότητας (open pit mining), οπότε η επιφανειακή απορροή από τις ανοικτές εκσκαφές μεταλλευτικών έργων με την εισροή στη θάλασσα εμπλουτίζει με μέταλλα τις παράκτιες περιοχές, όπως γίνεται στην περίπτωση της Μήλου (Karageorgis et al 1998).

Συνολικά, οι διαφορές ανάμεσα στις τιμές των μετάλλων μέσα και έξω από το λιμάνι δεν είναι μεγάλες, με αποτέλεσμα να βγαίνει το συμπέρασμα ότι η περιοχή δεν είναι ιδιαίτερα επιβλημένη σε βαρέα μέταλλα (Sakellariadou et al 2000). Σαν τιμές υποβάθρου (background) για τα μέταλλα μπορούν να ληφθούν οι κατώτατες τιμές που μετρήθηκαν, οι οποίες και είναι σύμφωνες με προηγούμενες μετρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου και του κόλπου Πεταλιών (Καραγεώργης κ.α. 1994). Το λιμάνι είναι ανοικτό και αυτό δεν ευνοεί τη συσσώρευση των όποιων ρύπων καταλήγουν στη θάλασσα. Αντίθετα στο βοηθητικό λιμάνι που είναι κλειστό, οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων είναι μεγαλύτερες. Σαν οδός εισόδου ενός μικρού φορτίου βαρέων μετάλλων στη θάλασσα πέρα από το λιμάνι, μπορεί με βάση τις συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν να χαρακτηριστεί και το ρέμα που εκβάλλει στη θάλασσα νοτιοανατολικά του λιμανιού. Οι ελαφρά αυξημένες τιμές μόλυβδου και ψευδαργύρου στο λιμάνι και στην περιοχή του ρέματος είναι ενδείξεις μικρού ανθρωπογενούς

φορτίου. Γενικότερα χαμηλό ρυπαντικό φορτίο έχει παρατηρηθεί για όλη την περιοχή του Νότιου Ευβοϊκού και του κόλπου Πεταλιών (Καραγεώργης κ.α. 1994).

Η ένδειξη ανθρώπινης παρέμβασης παρουσιάζεται με κάποια αύξηση στις τιμές των μετάλλων σε σύγκριση με τις τιμές που παρουσιάζονται στην ευρύτερη περιοχή. Με το σκεπτικό αυτό ενδείξεις ανθρώπινης παρέμβασης έχουν διαπιστωθεί και σε άλλες περιοχές συγκρίσιμες από πλευράς ρυπαντικού φορτίου με την περιοχή της Ραφήνας, όπως σε κλειστές περιοχές με μικρό πληθυσμό και χωρίς βιομηχανίες ή αξιοσημείωτες βιοτεχνίες. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν ο όρμος Βαθύ και όρμος Αετού του κόλπου Αετού της Ιθάκης, ο όρμος Αργοστολίου και ο όρμος Λιβάδι του κόλπου του Αργοστολίου στην Κεφαλονιά και ο κόλπος του Αστακού στην Αιτωλοακαρνανία. Ακόμα και σε αυτές τις περιοχές παρατηρούνται τα αποτελέσματα της ανθρώπινης επίδρασης με την παρατήρηση σχετικά αυξημένων τιμών σε βαρέα μέταλλα (Αλεξανδροπούλου 1991) και μάλιστα κοντά στα στόμια αγωγών αποχέτευσης και σε άλλα σημεία ανθρώπινων παρεμβάσεων (πλοία που σταθμεύουν ή κινούνται, ύπαρξη δεξαμενών καυσίμων κλπ). Όταν οι όρμοι δεν είναι ιδιαίτερα κλειστοί και τα φορτία είναι μικρά (Μήλος), τα ίχνη της ανθρώπινης επίδρασης (Pb, Cr) είναι και πάλι εμφανή κοντά στις ακτές (Sakellariadou and Haralambides 2002).

Έχουν παρατηρηθεί αυξημένες συγκεντρώσεις μετάλλων κοντά στις εκβολές του ποταμού Ασωπού μέχρι βάθους 10 μέτρων (Αγγελίδης και Αλούπη 1997) και οι τιμές των μετάλλων είναι ελαφρά αυξημένες και στην ευρύτερη περιοχή. Το ρυπαντικό φορτίο του ποταμού δεν επιβαρύνει την περιοχή της Ραφήνας (Καραγεώργης κ.α. 1994). Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται και από την παρούσα εργασία, αφού οι τιμές στα λιγότερο επιβαρημένα δείγματα βρίσκονται στα κατώτερα όρια των τιμών που έχουν μετρηθεί (Καραγεώργης κ.α.1994) στην ευρύτερη περιοχή.

7. ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΛΑΥΡΙΟΥ

Το λιμάνι του Λαυρίου (Σχήμα 7.1) βρίσκεται στην ΝΑ Αττική, στη δυτική πλευρά του κέντρου του διαύλου της Μακρονήσου, που ορίζεται από τις ακτές της Αττικής και τις δυτικές ακτές της Μακρονήσου (ΥΥΠΝ 1975, ΥΥΠΝ 1986). Το λιμάνι είναι ανοικτό στους Α και ΝΑ ανέμους, με τη μορφή κυρίως της φουσκοθαλασσιάς (swell) (Heikell 2001). Η Μακρόνησος προστατεύει σε μεγάλο βαθμό από τους Ανατολικούς ανέμους, η Αττική από τους Δυτικούς και ο όρμος του Λαυρίου είναι ανοικτός μόνο προς την ανατολή. Το λιμάνι συμπληρώθηκε πρόσφατα με νέο λιμενοβραχίονα με κατεύθυνση περίπου προς ΝΑ (υπό κατασκευή κατά τη δειγματοληψία), ο οποίος κλείνει την έξοδο του λιμανιού. Το λιμάνι σήμερα εξυπηρετεί επιβατηγά και εμπορικά πλοία, έχει θέσεις για 70 σκάφη αναψυχής και αποτελεί τη βάση για πάνω από 90 αλιευτικά σκάφη. Η διακίνηση κυμαίνεται ετησίως σε 250.000 επιβάτες (97,8 % για Κέα) και 75.000 οχήματα. Στον γενικότερο σχεδιασμό του ΥΕΝ προβλέπεται μελλοντικά αύξηση της επιβατικής κίνησης (παράλληλα και με την αύξηση της κίνησης από το λιμάνι της Ραφήνας), με στόχο την ελάφρυνση του επιβατικού φορτίου του λιμανιού του Πειραιά (www.yen.gr). Για το λόγο αυτό γίνονται έργα βελτίωσης στο χώρο του λιμανιού και κατασκευάζονται 2 νέες θέσεις για Ε / Γ – Ο / Γ πλοία. Η εμπορευματική κίνηση που γίνεται μέσω του λιμανιού του Λαυρίου εξυπηρετεί κυρίως τις τοπικές ανάγκες της περιοχής της Λαυρεωτικής (www.yen.gr). Κατά το παρελθόν το Λαύριο υπήρξε κέντρο εξόρυξης και κατεργασίας μικτών θειούχων μεταλλευμάτων, με κύρια προϊόντα Ζn και Pb μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα (και άργυρο κατά την αρχαιότητα). Αυτή η παραγωγή διοχετεύταν στους πελάτες κατά κύριο λόγο μέσω του λιμανιού του Λαυρίου (στο βόρειο τμήμα του λιμανιού υπάρχει σημειωμένη στον πορτολάνο «Προβλής Μεταλλευμάτων»). Στο λιμάνι οι παλαιότερες προβλήτες ήταν τέσσερις, κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού στα Δυτικά η προβλήτα οχηματοαγωγών, στη συνέχεια η κεντρική προβλήτα (φορτηγών, στην βόρεια προέκτασή της αγκυροβολούν τα σκάφη του λιμενικού), η επιβατηγός προβλήτα και (στο βόρειο τμήμα του λιμανιού) η προβλήτα των μεταλλευμάτων, που εξυπηρετούσε το εργοστάσιο, που βρίσκεται ανατολικά του λιμεναρχείου και πίσω από την επιβατηγό προβλήτα. Στο νοτιοδυτικό τμήμα του λιμανιού υπάρχουν τα ναυπηγεία του Λαυρίου. Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι φτωχό, με ένα μόνο χείμαρρο σημειωμένο στο χάρτη (Μαρίνος και Petrascheck 1956, Κονοφάγος 1980, Παπαδέας 2003α), που εκβάλλει στον όρμο του Θορικού, βόρεια από το λιμάνι. Η θέση του λιμανιού σε σχέση με τα άλλα λιμάνια της Αττικής φαίνεται στα σχήματα 9.1 και 10.1.

7.1. Γεωλογία

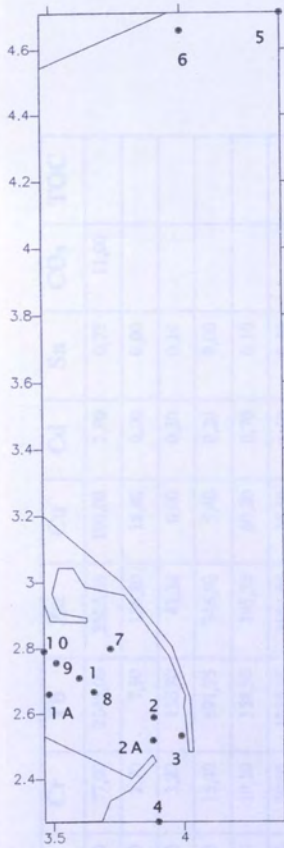
Η περιοχή ανήκει γεωλογικά στη ζώνη Ανατολικής Ελλάδας ή Υποπελαγονική (Μαράτος 1972, Τσόφλιας 1976, www.igme.gr). Στην περιοχή έχουμε εμφάνιση μαγματικών πετρωμάτων, που συνδέονται με τη μεταλλοφορία της περιοχής (Pb, Zn). Τέτοια (συγκεκριμένα πρασινίτες, βασικά εκρηξιγενή πετρώματα μεταμορφωμένα) εμφανίζονται σε φακούς μέσα στους ανώτερους σχιστόλιθους (πάχους 200 μέτρων) του κάτω Τριαδικού, που

καταλαμβάνουν ολόκληρη τη νότια πλευρά του λιμανιού του Λαυρίου και στο δυτικό τμήμα του λιμανιού καλύπτονται από αποθέσεις του τεταρτογενούς. Στο βόρειο τμήμα του λιμανιού απαντούν ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εντός των ανωτέρων σχιστολίθων. Η ίδια γεωλογική ταυτότητα απαντάται και στον όρμο του Αγίου Νικολάου, όπου και βρίσκονται το εργοστάσιο της ΔΕΗ και αυτό της DOW Chemicals. Εκεί υπάρχει και εμφάνιση όξινων πυριγενών πετρωμάτων πλούσιων σε Si, Al, Fe και Mn (γρανοδιορίτη και γρανοτοπορφύρη). Στην επαφή σχιστολίθων (οροφή) και κατωτέρων και ενδιάμεσων μαρμάρων (πάτωμα) βρίσκονται και οι εμφανίσεις των μικτών μεταλλευμάτων γαληνίτη – σφαλερίτη. Στον όρμο του Θορικού εμφανίζεται και ανώτερο μάρμαρο του ανώτερου – μέσου Λιθανθρακοφόρου, πάχους 300 μέτρων.(Μαρίνος και Petrascheck 1956, Παπαγεωργιάκης 1969, Κονοφάγος 1980, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β). Η μεταλλοφόρος επαφή φαίνεται (Μαρίνος και Petrascheck 1956) να διασχίζει το λιμάνι του Λαυρίου με κατεύθυνση Β-Ν, όπως και την πόλη του Λαυρίου και τον όρμο Θορικού και εμφανίζεται στον όρμο του Αγίου Νικολάου. Το πάτωμα της μεταλλοφόρου επαφής φαίνεται να αποτελεί τον παράκτιο θαλάσσιο πυθμένα (η χαρτογράφηση του πυθμένα δεν έχει ολοκληρωθεί για την περιοχή της μελέτης).

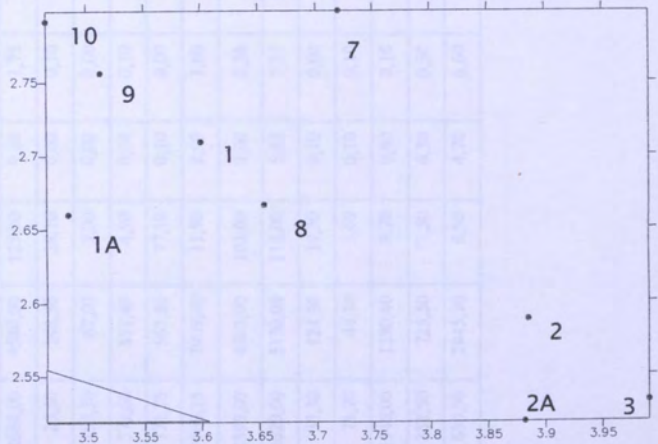
7.2. Αναλυτικά αποτελέσματα

Για τη μελέτη της περιοχής το έτος 1999 έγινε δειγματοληψία 12 επιφανειακών δειγμάτων ιζήματος (Σχήματα 7.2 και 7.3) με δειγματολήπτη τύπου Marucawa. Ένα δείγμα ελήφθη νότια από το λιμάνι για λόγους σύγκρισης, ενώ για τα δύο δείγματα που ελήφθησαν βόρεια του λιμανιού πέρα από τη σύγκριση κίνητρο ήταν η εξέταση της επίδρασης των δύο παρακείμενων εργοστασίων (ΔΕΗ και DOW Chemicals) στο περιβάλλον της περιοχής. Τα στίγματα (με GPS) και λοιπά στοιχεία των δειγμάτων δίνονται στο παράρτημα. Οι συσχετίσεις με τον οργανικό άνθρακα αναφέρονται σε 6 δείγματα. Στην περιοχή μελέτης κυριαρχεί η αδρόκοκκη άμμος και ο λόγος Si / Al κυμαίνεται 3,54 και 9,56 με μέση τιμή το 5,44 (Καραγεώργης κ. α. 1994). Τα δείγματα μέσα στο λιμάνι χαρακτηρίζονται silty mud (προβλήτες) έως silty sand.

Οι τιμές που μετρήθηκαν στα δείγματα δίνονται στον Πίνακα 7.1 και τα ποσοστά των επί μέρους γεωχημικών κλασμάτων στον Πίνακα 7.2. Οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των μετάλλων δίνονται στον Πίνακα 7.3 και τα $t_{περ.}$ στον Πίνακα 7.4., ενώ τα αντίστοιχα στοιχεία μεταξύ μετάλλων και οργανικού άνθρακα δίνονται στον Πίνακα 7.5. Ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης και του $t_{περ.}$, καθώς και τιμές του t δίνονται στον Πίνακα 6.5. Επιλεγμένοι ισοχημικοί χάρτες δίνονται στα Σχήματα 7.4 έως 7.12, ενώ το σύνολό τους δίνεται στο παράρτημα.



Σχήμα 7.2. Τα σημεία δειγματοληψίας στην περιοχή του Λαυρίου.



Σχήμα 7.3. Τα σημεία δειγματοληψίας μέσα στο λιμάνι του Λαυρίου (λεπτομέρεια).

Πίνακας 7.1(1/3). Οι τιμές των οξειμάτων του Λαορίου. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
Λ1	T	11650,00	11258,00	768,00	82,00	77,00	2045,00	3525,00	100,00	2,90	0,75	11,00	
	A	41,00	0,40	6,80	4,00	2,70	7,90	156,80	18,80	0,00	0,00		
	B	26,40	0,00	82,80	7,30	3,20	136,80	41,30	0,00	0,30	0,10		
	C	2204,00	110,40	401,60	19,80	15,40	691,75	746,80	5,40	0,30	0,00		
	D	3858,00	2374,00	159,50	17,70	19,10	158,50	395,30	60,20	0,70	0,10		
	R	5520,60	8800,10	117,30	33,20	36,60	1050,05	2184,80	15,60	1,60	0,60		
Λ1Α	T	15525,00	12748,00	790,00	74,00	88,00	2630,00	4580,00	125,00	9,00	1,75	8,50	1,90
	A	105,93	13,80	9,00	3,40	2,40	23,60	145,80	28,10	0,00	0,10		
	B	35,42	15,70	71,30	5,90	2,70	193,50	67,90	3,00	0,00	0,00		
	C	2188,00	315,50	373,80	14,00	16,40	572,00	891,40	4,90	0,00	0,10		
	D	4087,00	1511,00	163,40	17,50	17,00	171,75	565,50	77,10	0,10	0,00		
	R	9108,65	10892,00	172,50	33,20	49,50	1669,15	2909,40	11,90	8,90	1,60		
Λ2	T	20225,00	16335,00	1213,00	82,00	107,00	2395,00	4563,00	103,00	8,00	0,38	5,20	
	T	25900,00	22568,00	2170,00	88,00	127,00	2620,00	5130,00	115,00	5,63	7,25	9,80	1,66
Λ2Α	A	359,50	0,00	48,40	3,70	2,20	35,30	124,30	19,30	0,10	0,00		
	B	35,00	0,00	198,80	6,90	2,20	75,70	44,10	1,60	0,10	0,10		
	C	3845,00	553,00	1298,50	13,90	10,60	1546,00	1290,40	9,70	0,40	0,10		
	D	9122,00	2580,00	502,60	22,30	36,70	332,50	725,50	77,50	0,30	0,50		
	R	12538,50	19435,00	121,70	41,20	75,30	630,50	2945,70	6,90	4,70	6,60		

Πίνακας 7.1 (2/3). Οι τιμές των δειγμάτων του Λαυρίου. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
Λ3	T	49700,00	26373,00	5363,00	130,00	141,00	6255,00	21360,00	228,00	7,90	8,38	4,40	
	A	105,80	0,30	27,20	3,80	5,00	19,30	143,10	15,00	0,20	0,10		
	B	92,20	0,00	276,20	7,30	3,30	1091,00	429,70	21,50	1,10	0,60		
	C	12473,00	440,90	3173,50	21,30	19,70	2875,00	4542,10	5,00	0,10	1,90		
	D	9872,00	2541,20	1634,10	18,80	17,00	747,20	4629,50	153,38	0,00	1,20		
Λ4	R	27157,00	23390,60	252,00	78,80	96,00	1522,50	11615,60	33,12	6,50	4,60		
	T	5625,00	3395,00	725,00	22,00	30,00	820,00	860,00	30,00	0,38	3,63	34,30	
Λ5	T	12925,00	20295,00	638,00	116,00	151,00	860,00	1305,00	40,00	0,50	2,63	17,40	
	T	6525,00	9665,00	308,00	203,00	91,00	770,00	495,00	18,00	0,50	3,25	12,40	1,28
	A	47,50	0,00	4,00	7,70	2,30	2,70	12,50	1,40	0,00	0,00		
Λ6	B	34,10	18,10	31,50	9,50	4,40	12,40	4,60	0,20	0,00	0,30		
	C	1216,00	89,60	161,20	30,60	11,60	324,70	123,10	2,10	0,10	0,00		
	D	1820,00	1730,60	52,90	44,00	9,70	65,20	49,50	4,80	0,10	0,30		
	R	3407,40	7826,70	58,40	111,20	63,00	365,00	305,30	9,50	0,30	2,70		
	T	14700,00	14370,00	803,00	69,00	111,00	2003,00	3885,00	113,00	5,13	4,10	11,15	
Λ7	A	59,01	0,00	9,70	3,50	1,40	11,70	158,60	20,90	0,00	0,00		
	B	33,67	0,00	106,80	7,20	3,60	126,30	67,30	1,50	0,10	0,00		
	C	2211,00	252,10	326,40	18,40	17,60	548,00	718,80	4,60	0,50	0,00		
	D	3638,00	1965,50	157,20	19,40	21,20	105,75	414,00	62,30	0,10	0,40		
	R	8758,32	12152,40	202,90	20,50	67,20	1211,25	2526,30	23,70	4,40	3,70		

Πίνακας 7.1 (3/3). Οι τιμές των δειγμάτων του Λαυρίου. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
Λ8	T	15150,00	13688,00	630,00	43,00	85,00	1638,00	3005,00	78,00	2,50	4,10	5,70	0,93
	A	53,44	0,00	6,20	3,00	2,20	5,70	121,40	13,30	0,10	0,00		
	B	30,82	0,00	50,10	6,80	2,00	94,20	48,80	1,10	0,10	0,10		
	C	2094,00	111,00	299,90	15,50	10,20	479,00	622,00	4,70	0,10	0,10		
	D	3221,00	1080,00	178,80	14,50	16,80	75,75	381,10	48,72	0,00	0,50		
	R	9750,74	12496,70	95,00	3,20	53,80	983,35	1831,70	10,18	2,20	3,40		
Λ9	T	14625,00	11578,00	808,00	52,00	77,00	2303,00	4198,00	115,00	5,30	5,38	10,30	2,81
	A	61,33	0,00	12,20	3,70	1,50	15,70	180,40	24,10	0,10	0,00		
	B	43,11	0,00	99,20	7,40	1,40	120,40	55,40	1,60	0,10	0,10		
	C	2245,40	351,00	398,40	15,00	20,70	664,00	834,00	5,00	0,30	0,40		
	D	3808,00	1071,00	138,00	17,30	16,20	196,80	442,80	73,00	0,30	1,00		
	R	8467,20	10156,00	160,20	8,60	37,20	1306,50	2685,40	11,40	4,50	3,90		
Λ10	T	29125,00	19500,00	1103,00	105,00	136,00	5543,00	9270,00	259,00	7,63	10,25	7,70	2,51
	A	153,68	20,80	17,20	3,70	1,10	44,50	521,30	57,70	0,10	0,10		
	B	39,81	48,40	87,50	6,80	4,10	908,10	141,70	1,70	0,10	0,10		
	C	3559,60	3988,20	530,10	18,50	19,40	3196,80	1962,30	5,00	0,10	0,30		
	D	7245,50	1702,80	210,90	22,60	31,40	446,30	1454,60	155,60	0,10	0,10		
	R	18126,40	13739,80	257,30	53,40	80,00	947,30	5190,10	39,00	7,20	9,70		

Πίνακας 7.2 (1/2). Οι τιμές των δειγμάτων του Λαυρίου. Οι τιμές για τα επί μέρους κλάσματα δίνονται σε % του ολικού μετάλλου.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
Λ1	A	0,35	0,00	0,89	4,88	3,51	0,39	4,45	18,80	0,00	0,00
	B	0,23	0,00	10,78	8,90	4,16	6,69	1,17	0,00	10,30	12,50
	C	18,92	1,00	52,29	24,15	20,00	33,83	21,19	5,40	10,30	0,00
	D	33,12	21,00	20,77	21,58	24,81	7,75	11,21	60,20	24,10	12,50
	R	47,38	78,00	15,27	40,49	47,52	51,34	61,98	15,60	55,30	75,00
Λ1A	A	0,68	0,10	1,14	4,59	2,72	0,90	3,18	22,48	0,00	5,60
	B	0,23	0,10	9,03	7,97	3,07	7,36	1,48	2,40	0,00	0,00
	C	14,09	2,50	47,32	18,92	18,64	21,75	19,46	3,92	0,00	5,60
	D	26,33	11,90	20,68	23,65	19,32	6,53	12,35	61,68	1,10	0,00
	R	58,67	85,40	21,83	44,87	56,25	63,46	63,53	9,52	98,90	89,00
Λ2A	A	1,39	0,00	2,23	4,20	1,73	1,35	2,42	16,78	1,79	0,00
	B	0,14	0,00	9,16	7,84	1,73	2,89	0,86	1,39	1,79	1,37
	C	14,85	2,45	59,84	15,80	8,35	59,01	25,15	8,43	7,14	1,37
	D	35,22	11,43	23,16	25,34	28,90	12,69	14,14	67,39	5,36	6,85
	R	48,40	86,12	5,61	46,82	59,29	24,00	57,43	6,01	83,92	90,41
Λ3	A	0,21	0,00	0,51	2,92	3,55	0,31	0,67	6,58	2,50	1,20
	B	0,19	0,00	5,15	5,62	2,34	17,44	2,01	9,43	13,90	7,10
	C	25,10	1,70	59,17	16,38	13,97	45,96	21,26	2,19	1,30	22,60
	D	19,86	9,60	30,47	14,46	12,06	11,95	21,67	67,27	0,00	14,30
	R	54,64	88,70	4,70	60,62	68,08	24,34	54,39	14,53	82,30	54,80
Λ6	A	0,73	0,00	1,30	3,79	2,53	0,35	2,53	7,78	0,00	0,00
	B	0,52	0,20	10,23	4,68	4,84	1,61	0,93	1,11	0,00	9,10
	C	18,64	0,90	52,34	15,07	12,75	42,17	24,87	11,66	20,00	0,00
	D	27,89	17,90	17,18	21,67	10,66	8,47	10,00	26,67	20,00	9,10
	R	52,22	81,00	18,95	54,79	69,22	47,40	61,67	52,78	60,00	81,80

Πίνακας 7.2 (2/2). Οι τιμές των δειγμάτων του Λαυρίου. Οι τιμές για τα επί μέρους κλάσματα δίνονται σε % του ολικού μετάλλου.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
Λ7	A	0,40	0,00	1,21	5,07	1,26	0,58	4,08	18,50	0,00	0,00
	B	0,23	0,00	13,30	10,43	3,24	6,31	1,73	1,33	2,00	0,00
	C	15,04	1,80	40,65	26,67	15,86	27,36	18,50	4,07	9,90	0,00
	D	24,75	13,70	19,58	28,12	19,10	5,28	10,66	55,13	2,00	9,80
	R	59,58	84,50	25,26	29,71	60,54	60,47	65,03	20,97	81,60	90,20
Λ8	A	0,35	0,00	0,98	6,98	2,59	0,35	4,04	17,05	4,00	0,00
	B	0,20	0,00	7,95	15,81	2,35	5,75	1,62	1,41	4,00	2,40
	C	13,82	0,80	47,60	36,05	12,00	29,24	20,70	6,03	4,00	2,40
	D	21,26	7,90	28,38	33,72	19,76	4,62	12,68	62,46	0,00	12,20
	R	64,37	91,30	15,09	7,44	63,30	60,04	60,96	13,05	88,00	83,00
Λ9	A	0,42	0,00	1,51	7,11	1,95	0,68	4,30	20,96	1,89	0,00
	B	0,29	0,00	12,28	14,23	1,82	5,23	1,32	1,39	1,89	1,85
	C	15,35	3,03	49,31	28,85	26,88	28,83	19,87	4,35	5,66	7,41
	D	26,04	9,25	17,08	33,27	21,04	8,55	10,55	63,48	5,66	18,52
	R	57,90	87,72	19,82	16,54	48,31	56,71	63,96	9,91	84,90	72,22
Λ10	A	0,53	0,10	1,56	3,52	0,81	0,80	5,62	22,28	1,30	1,00
	B	0,14	0,20	7,94	6,48	3,01	16,38	1,53	0,66	1,30	1,00
	C	12,22	20,50	48,06	17,62	14,26	57,67	21,17	1,93	1,30	2,90
	D	24,88	8,70	19,12	21,52	23,09	8,05	15,69	60,08	1,30	1,00
	R	62,23	70,50	23,32	50,86	58,83	17,10	55,99	15,05	94,80	94,10

Πίνακας 7.3. Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για το Λαύριο (ολικές περιεκτικότητες).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		0,8432	0,9164	0,2002	0,6412	0,9173	0,9605	0,8310	0,6568	0,6645	-0,5531
Al	0,8432		0,7035	0,3369	0,9222	0,6745	0,6745	0,6256	0,4967	0,5292	-0,6088
Mn	0,9164	0,7035		0,1995	0,4527	0,7525	0,9315	0,6025	0,4613	0,5218	-0,3360
Ni	0,2002	0,3369	0,1995		0,5024	0,1473	0,1954	0,0346	-0,0794	0,1300	-0,2903
Cr	0,6412	0,9222	0,4527	0,5024		0,5158	0,4931	0,5006	0,3562	0,4329	-0,5515
Pb	0,9173	0,6745	0,7525	0,1473	0,5158		0,9199	0,9705	0,7408	0,7131	-0,5359
Zn	0,9605	0,6745	0,9315	0,1954	0,4931			0,8181	0,6134	0,6110	-0,4760
Cu	0,8310	0,6256	0,6025	0,0346	0,5006	0,9705	0,8181		0,7826	0,7011	-0,5573
Cd	0,6568	0,4967	0,4613	-0,0794	0,3562	0,7408	0,6134	0,7826		0,2929	-0,6529
Sn	0,6645	0,5292	0,5218	0,1300	0,4329	0,7131	0,6110	0,7011	0,2929		-0,1819
CO ₃	-0,5531	-0,6088	-0,3360	-0,2903	-0,5515	-0,5359	-0,4760	-0,5573	-0,6529	-0,1819	

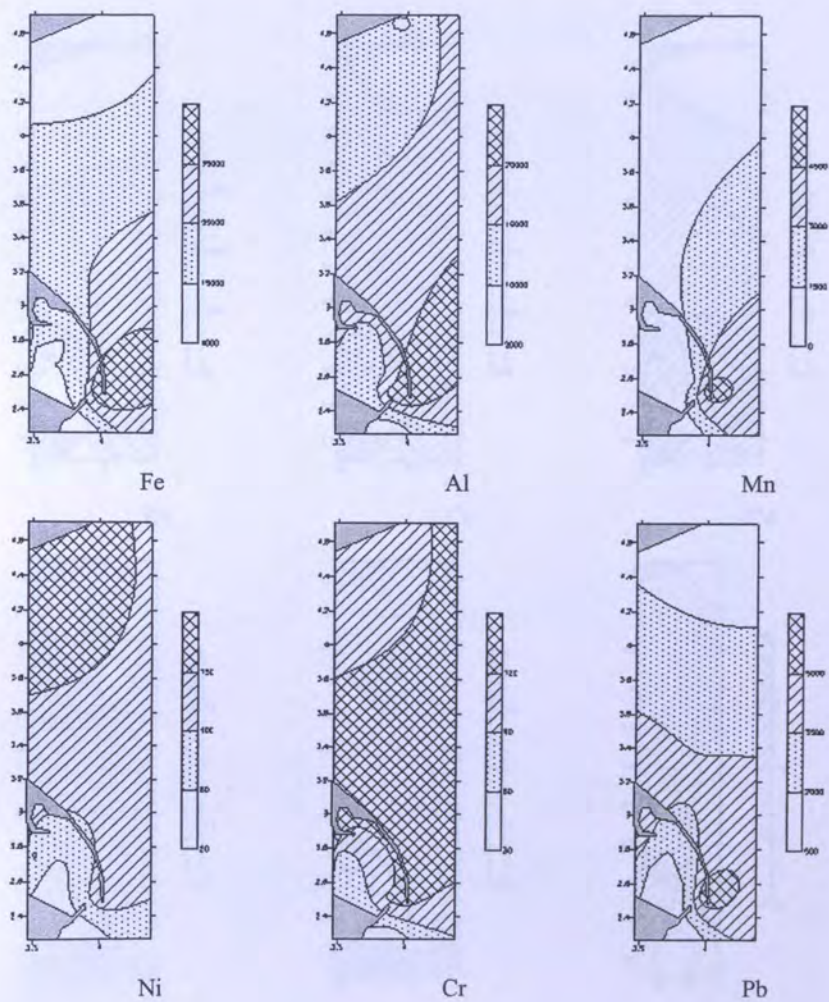
Πίνακας 7.4. $t_{\text{μερ}}$ για το Λαύριο (12 δείγματα).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		4,959882	7,240005	0,646170	2,642327	7,284732	10,91479	4,724039	2,754384	2,811945	2,099417
Al	4,959882		3,130262	1,131519	7,541123	2,889109	2,889109	2,535841	1,809728	1,972284	2,426745
Mn	7,240005	3,130262		0,643817	1,605498	3,613182	8,098232	2,387204	1,644146	1,934285	1,128111
Ni	0,646170	1,131519	0,643817		1,837455	0,470941	0,630054	0,109480	0,251880	0,414615	0,959322
Cr	2,642327	7,541123	1,605498	1,837455		1,903917	1,792377	1,828665	1,205470	1,518622	2,090684
Pb	7,284732	2,889109	3,613182	0,470941	1,903917		7,417970	12,72906	3,487458	3,216576	2,007227
Zn	10,91479	2,889109	8,098232	0,630054	1,792377	7,417970		4,498639	2,456076	2,440724	1,711584
Cu	4,724039	2,535841	2,387204	0,109480	1,828665	12,72906	4,498639		3,975421	3,109225	2,122502
Cd	2,754384	1,809728	1,644146	0,251880	1,205470	3,487458	2,456076	3,975421		0,968716	2,725813
Sn	2,811945	1,972284	1,934285	0,414615	1,518622	3,216576	2,440724	3,109225	0,968716		0,584977
CO ₃	2,099417	2,426745	1,128111	0,959322	2,090684	2,007227	1,711584	2,122502	2,725813	0,584977	

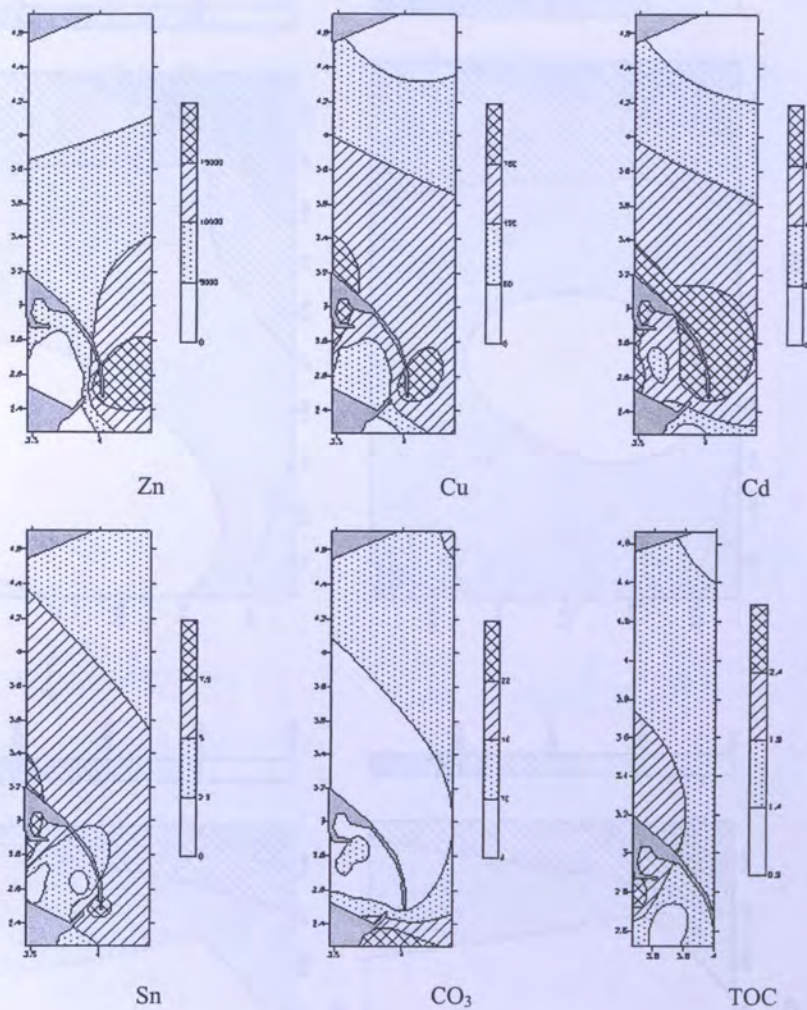
Πίνακας 7.5. Συντελεστές συσχέτισης και $t_{\text{πειρ}}$ για τον οργανικό άνθρακα (TOC) και τις ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (6 δείγματα) για το λιμάνι του Λαυρίου.

	Συντελεστές συσχέτισης	$t_{\text{πειρ}}$ (6 δείγματα)
Fe	0,3923	0,852977
Al	0,1330	0,268384
Mn	0,1667	0,338131
Ni	-0,2337	0,480712
Cr	0,1688	0,342515
Pb	0,6204	1,582077
Zn	0,6209	1,584151
Cu	0,6507	1,713868
Cd	0,6185	1,574222
Sn	0,4623	1,042715
CO₃	0,1562	0,316282

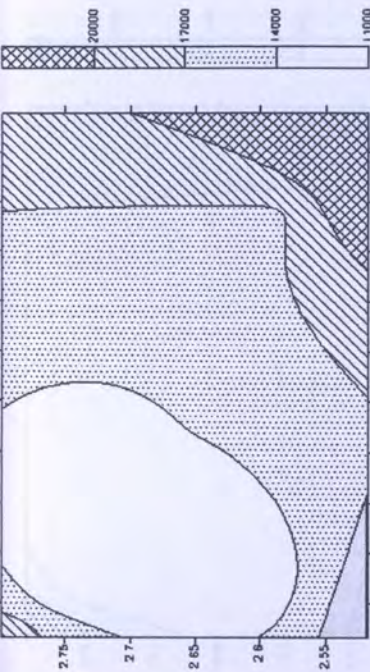
Σχήμα 7.4. Ολική περιεκτικότητα μετάλλων (ppm) στα δείγματα της θαλάσσιας περιοχής του Λαυρίου.



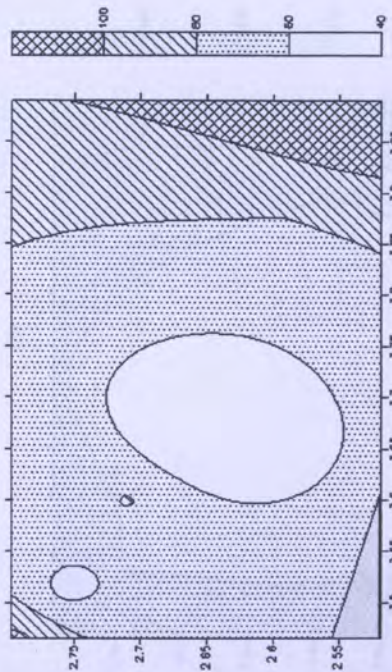
Σχήμα 7.4. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα της θαλάσσιας περιοχής του Λαυρίου.



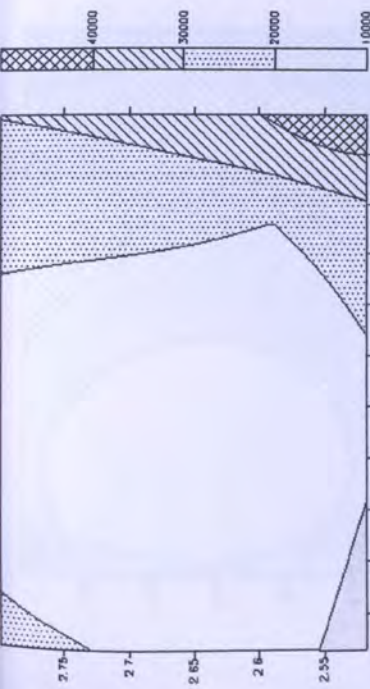
Σχήμα 7.5 Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm), ανθρακικών και οργανικού άνθρακα (%) στα ιζήματα της θαλάσσιας περιοχής του Λαυρίου.



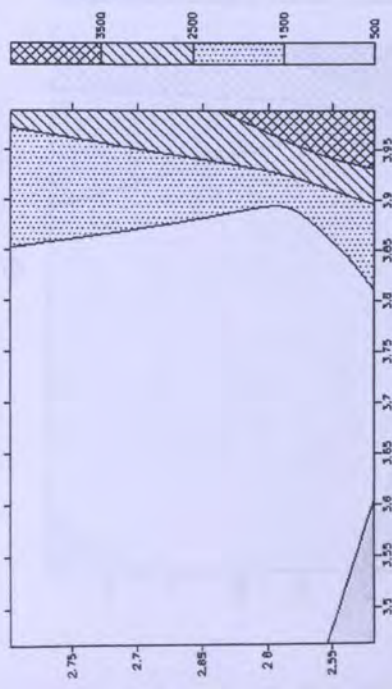
Al



Ni

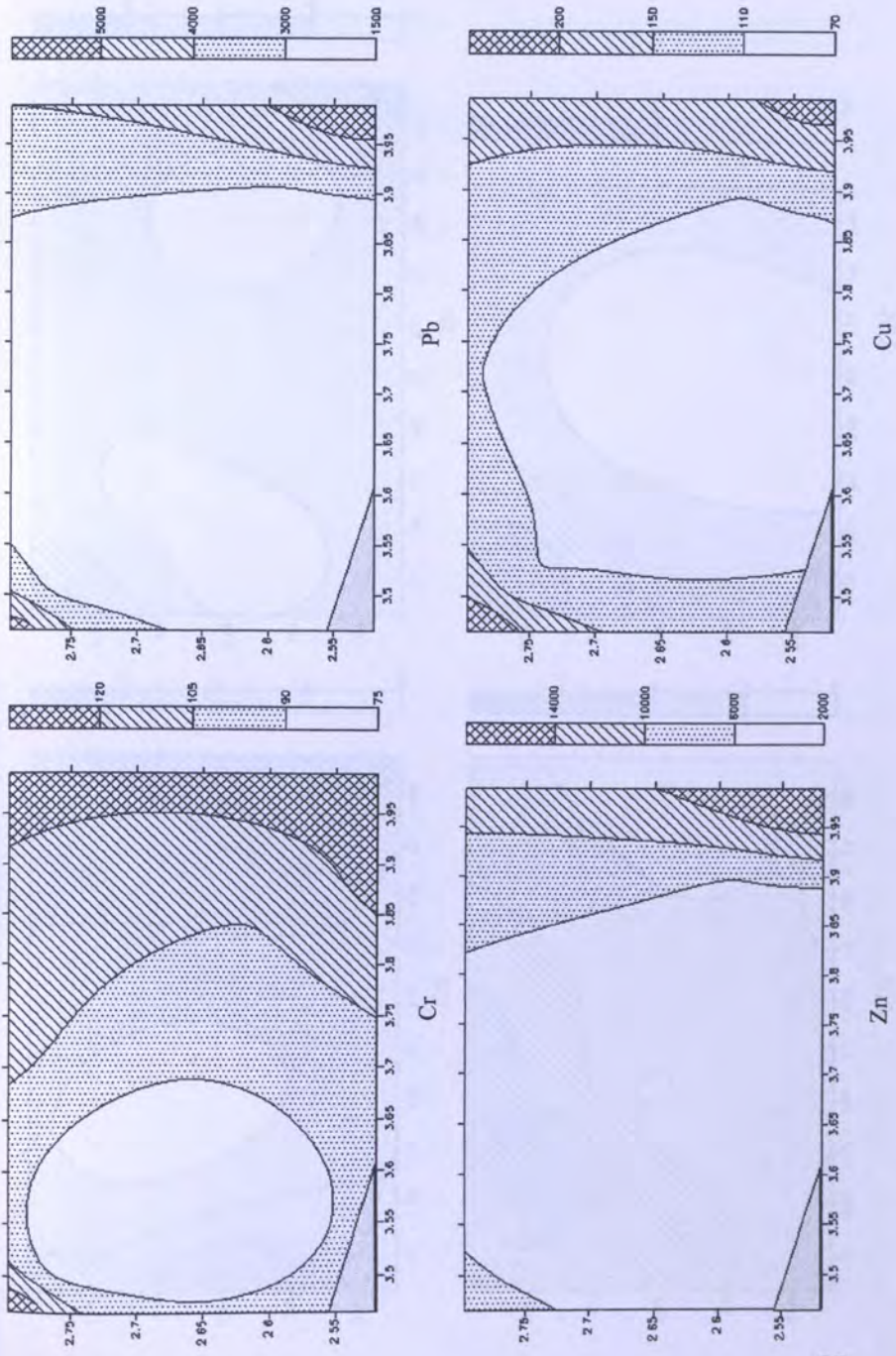


Fe

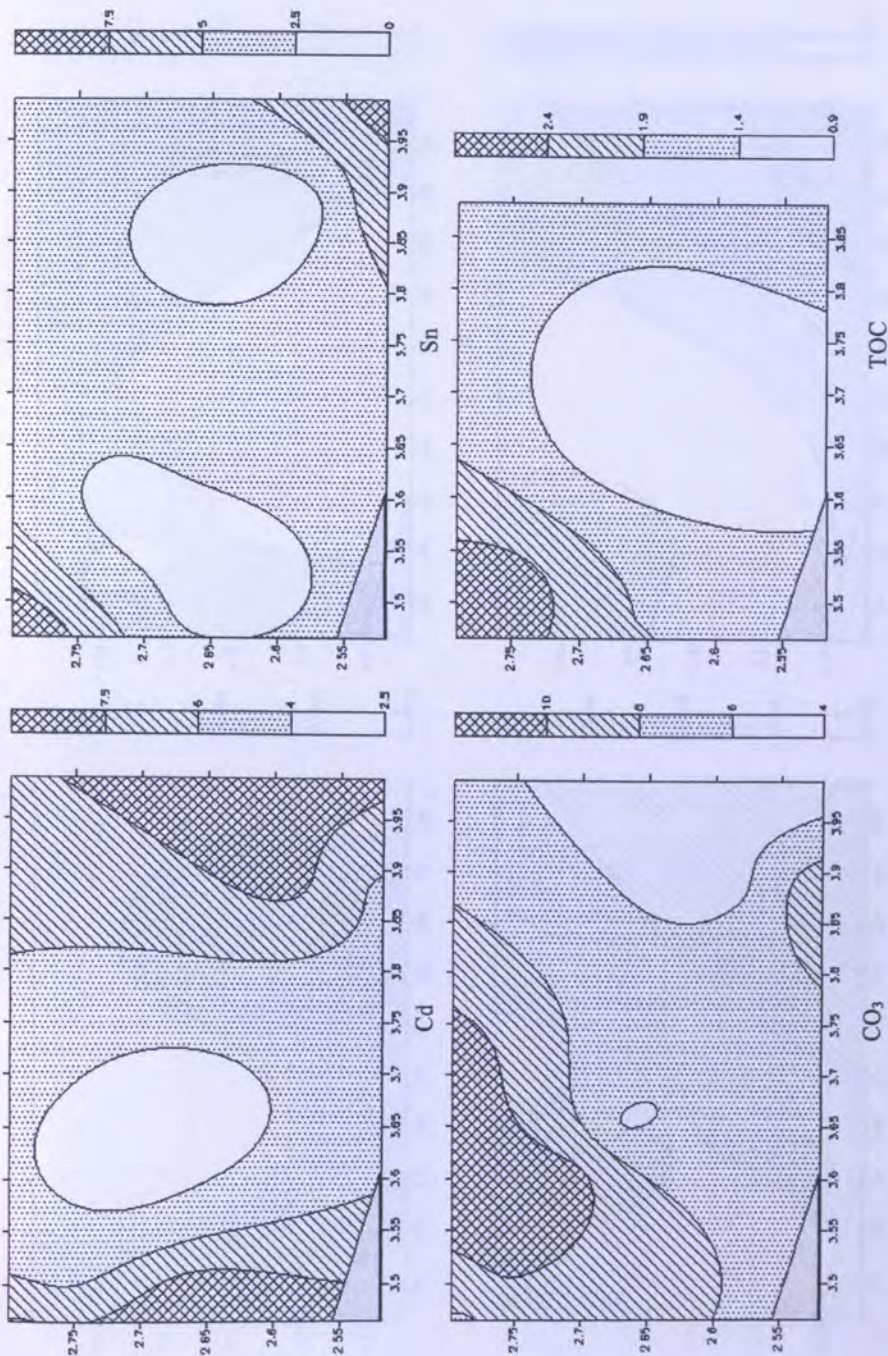


Mn

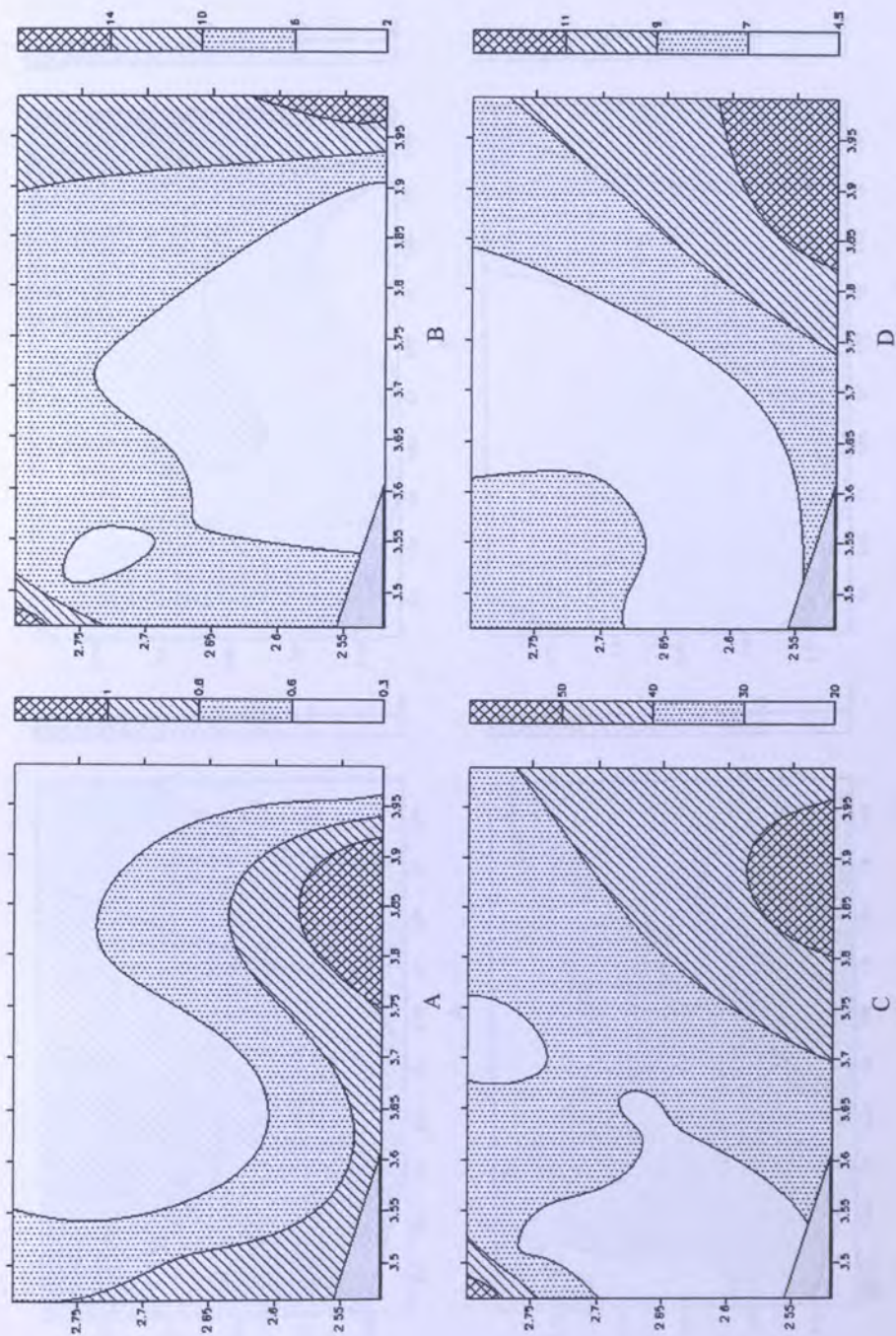
Σχήμα 7.6. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα του λιμανιού του Λαυρίου.



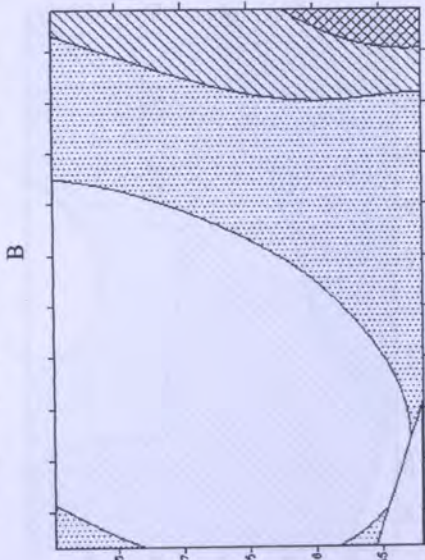
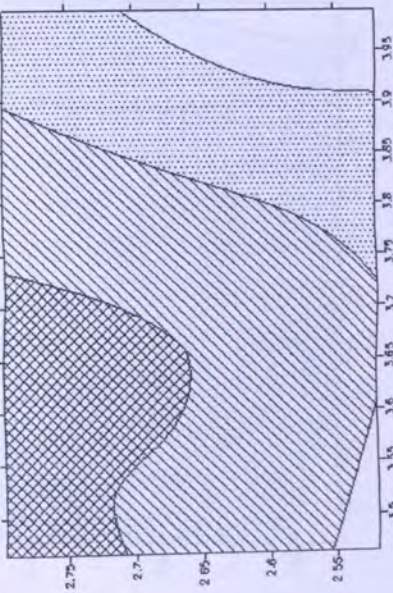
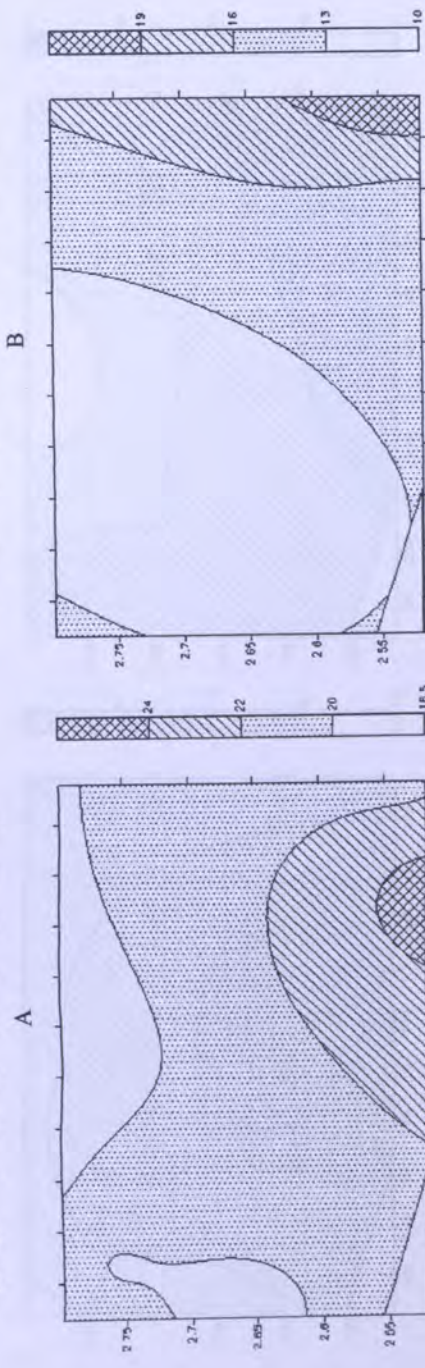
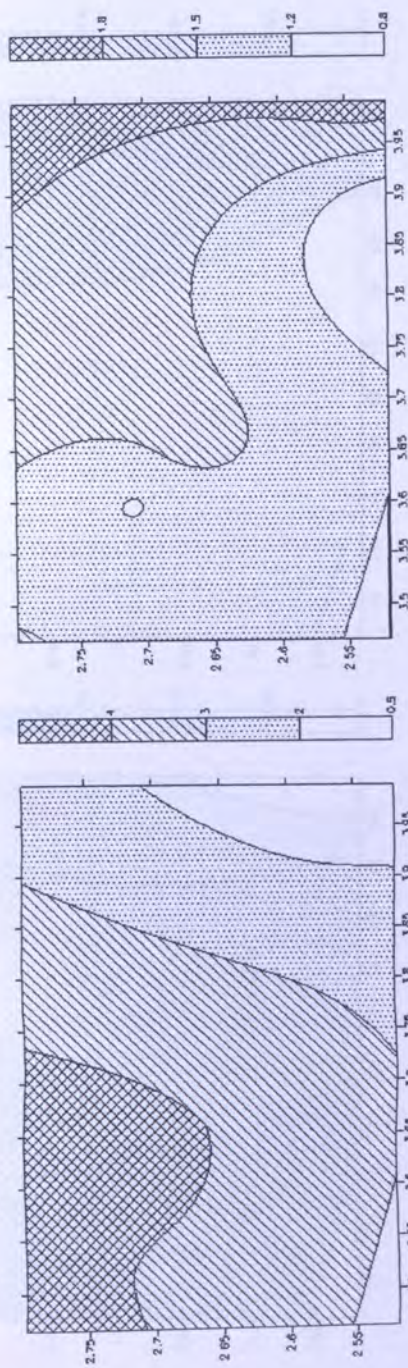
Σχήμα 7.7. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα του λιμανιού του Λαυριού.



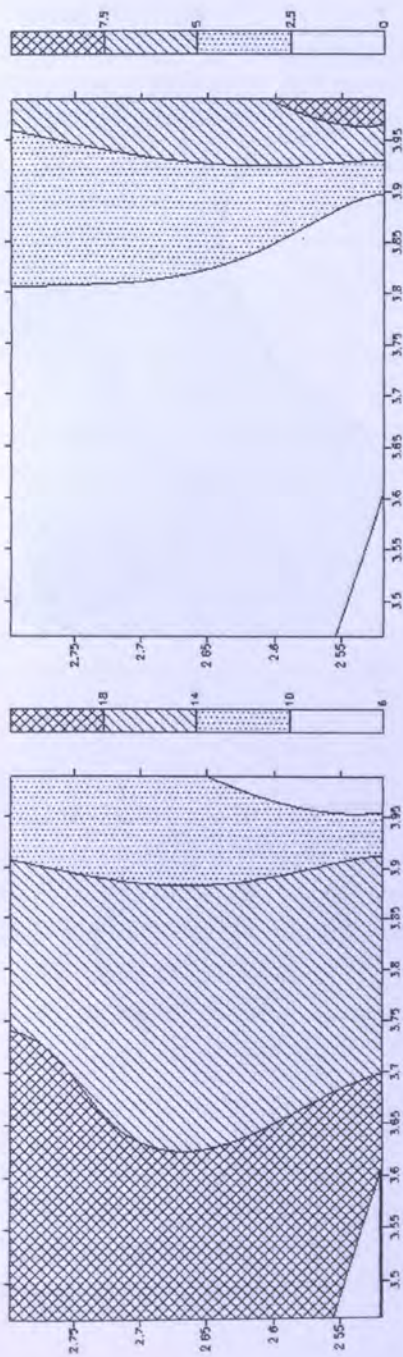
Σχήμα 7.8. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm), ανθρακικών και οργανικού άνθρακα (%) στα ιζήματα του λιμνιού του Λαυρίου.



Σχήμα 7.9. Γεωχημικά κλάσματα (% του ολικού) του μολύβδου στα ιζήματα του λιμανιού του Λαυρίου.

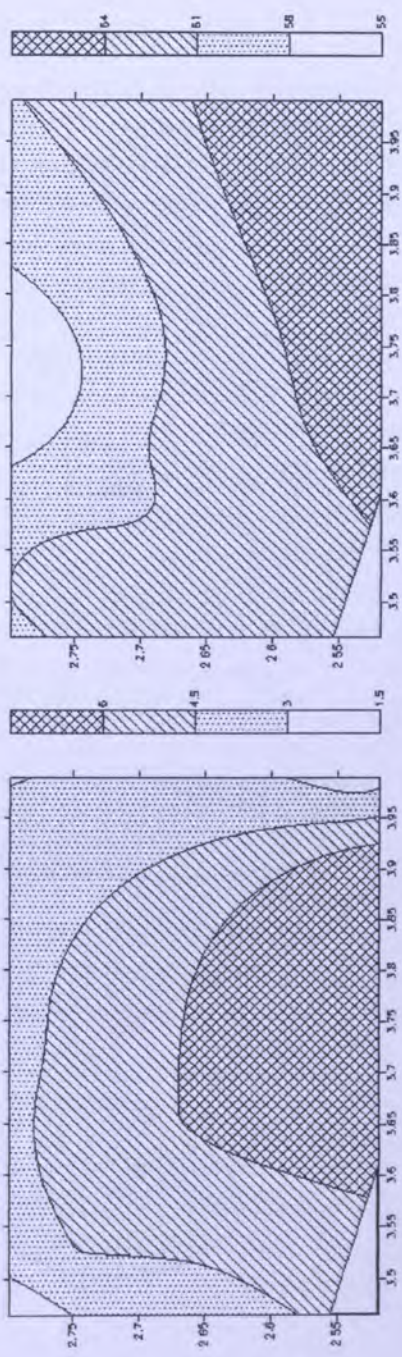


Σχήμα 7.10. Γεωχημικά κλάσματα (% του ολικού) του ψευδαργύρου στα ιζήματα του λιμανιού του Λαυρίου.



B

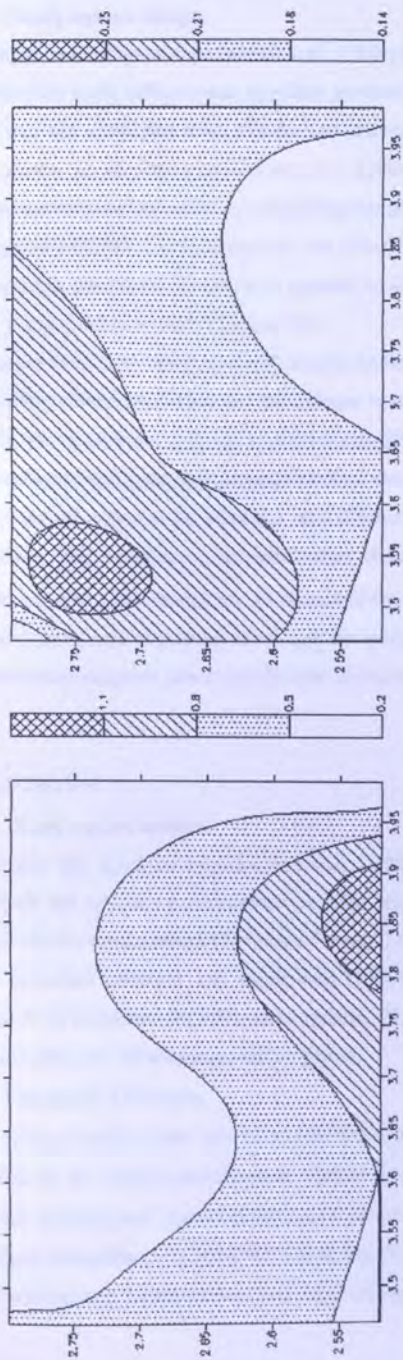
A



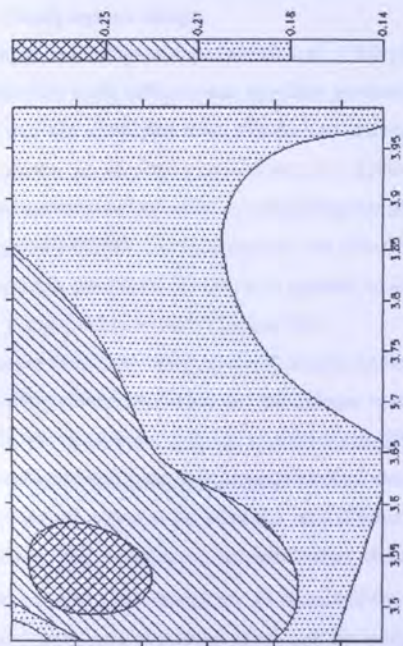
D

C

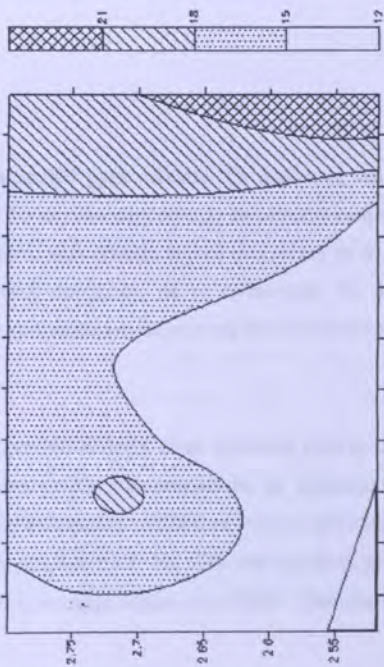
Σχήμα 7.11. Γεωχημικά κλάσματα (% του ολικού) του χαλκού στα ιζήματα του λιμανιού του Λαυρίου.



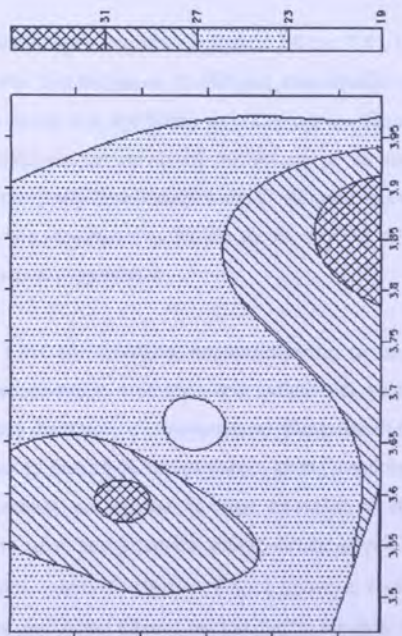
A



B



C



D

Σχήμα 7.12. Γεωχημικά κλάσματα (% του ολικού) του σιδήρου στα ιζήματα του λιμανιού του Λαυρίου.

7.2.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Οι τιμές του σιδήρου κυμαίνονται από 5.500 μέχρι 50.000 ppm περίπου (Σχήματα 7.4 και 7.6). Οι ανώτατες και κατώτατες τιμές σιδήρου και αργιλίου συναντώνται στα ίδια δείγματα. Ο σίδηρος παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του στη νέα προβλήτα στην είσοδο του λιμανιού και κοντά στη προβλήτα μεταλλευμάτων. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα και τον οργανικό άνθρακα και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Είναι αξιοσημείωτοι οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης των μετάλλων μεταξύ τους. Ο σίδηρος έχει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99% με το μαγγάνιο, το μόλυβδο και τον ψευδάργυρο, 99,9% με το αργίλιο και το χαλκό, και σημαντική συσχέτιση (95%) με το χρώμιο, το κάδμιο και τον κασσίτερο.

- Γεωχημικά κλάσματα (Σχήμα 7.9)

Ο προσροφημένος σίδηρος δεν ξεπερνά ποθενά το 1,4% του συνόλου, παρουσιάζοντας τις μεγαλύτερες τιμές του στην είσοδο του λιμανιού. Μικρότερα ποσοστά παρουσιάζει ο σίδηρος στα ανθρακικά, φτάνοντας μόλις το 0,5%, με τη μέγιστη τιμή να παρουσιάζεται βόρεια του λιμανιού, στο εργοστάσιο πλαστικών (Λ6). Το κλάσμα του σιδήρου που είναι υπό μορφή οξειδίων αποτελεί το 12 έως 25 % του συνόλου, με τις μεγαλύτερες τιμές στον νέο λιμενοβραχίονα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αποτελεί το 20 με 33 % του συνόλου, παρουσιάζοντας τα μεγαλύτερα ποσοστά στο μέσο του λιμανιού καθώς και τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στο νέο λιμενοβραχίονα. Ο δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα σίδηρος αποτελεί το 47 με 64 % του ολικού μετάλλου. Η χωρική κατανομή δεν φαίνεται να ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο κανόνα, παρουσιάζοντας μέγιστα και ελάχιστα μέσα και έξω από το λιμάνι. Οι διαφορές πάντως είναι μικρές.

7.2.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Οι τιμές του αργιλίου κυμαίνονται από 3.400 μέχρι 26.000 ppm περίπου. Οι ανώτατες και κατώτατες τιμές σιδήρου και αργιλίου συναντώνται στα ίδια δείγματα. Το αργίλιο παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στη νέα προβλήτα στην είσοδο του λιμανιού (Σχήματα 7.4 και 7.6). Ακόμη, παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα και τον οργανικό άνθρακα και σημαντική (95%) αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Το αργίλιο έχει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99% με το χρώμιο, 99,9% με το σίδηρο και σημαντική συσχέτιση (95%) με το μαγγάνιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο και το χαλκό.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο όπως και το ευρισκόμενο στα ανθρακικά κλάσμα είναι πρακτικά μηδενικά. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία δεν ξεπερνά το 3% του συνολικού, με αξιοσημείωτη εξαίρεση το δείγμα ιζήματος από την προβλήτα μεταλλευμάτων, που υπερβαίνει το 20% του ολικού αργιλίου. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ του 8 και του 21% του συνόλου, με τις μεγάλες τιμές στο κέντρο του λιμανιού, το νέο λιμενοβραχίονα και το εργοστάσιο της DOW Chemicals. Το αργίλιο το

εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αντιπροσωπεύει το 70 έως το 91% του συνόλου, παρουσιάζοντας τις μικρότερες τιμές στο βάθος (Δ τμήμα) του λιμανιού.

7.2.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Οι τιμές του μαγγανίου κυμαίνονται από 300 (DOW) μέχρι 5.400 (νέα προβλήτα) ppm περίπου. Οι ανώτατες τιμές σιδήρου και μαγγανίου συναντώνται στα ίδια δείγματα (Σχήματα 7.4 και 7.6). Το μαγγάνιο παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα και τον οργανικό άνθρακα και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Είναι αξιοσημείωτοι οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης των μετάλλων μεταξύ τους και πιο συγκεκριμένα το μαγγάνιο έχει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99% με το σίδηρο και τον ψευδάργυρο και σημαντική συσχέτιση (95%) με το αργίλιο, το μόλυβδο και το χαλκό.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κλάσμα κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 2,2% του συνολικού μαγγανίου, με τις μεγαλύτερες τιμές κοντά στην είσοδο του λιμανιού, ενώ το κλάσμα στα ανθρακικά βρίσκεται μεταξύ 5 και 13% του συνολικού, με τα μεγαλύτερα ποσοστά στην περιοχή του λιμανιού. Το σε μορφή οξειδίων μαγγάνιο παρουσιάζει τα μεγαλύτερα ποσοστά στην είσοδο και στο μέσο του λιμανιού (59% και στις δύο περιπτώσεις, ενώ το ελάχιστο είναι 40%). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 17% (DOW) και 30% (νέα προβλήτα). Το μαγγάνιο που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αντιπροσωπεύει μικρό μέρος του συνόλου, 5 (είσοδος λιμανιού) με 25% του συνολικού μαγγανίου.

7.2.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Οι τιμές του νικελίου μέσα στο λιμάνι κυμαίνονται από 74 μέχρι 130 ppm περίπου, που δεν διαφέρουν από αυτές έξω από το λιμάνι, με εξαίρεση τη μέγιστη τιμή (203 ppm) στην περιοχή του εργοστασίου των πλαστικών (Σχήματα 7.4 και 7.6). Το νικέλιο παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα εκτός από το κάδμιο και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά και τον οργανικό άνθρακα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε νικέλιο του δείγματος από το εργοστάσιο πλαστικών, όλες οι μεγάλες απόλυτες τιμές των γεωχημικών κλασμάτων, όπως και το μεγαλύτερο ποσοστό για το κλάσμα το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα εμφανίζονται σε εκείνη την περιοχή. Αντίθετα τα μεγαλύτερα ποσοστά για τα άλλα κλάσματα εμφανίζονται μέσα στο λιμάνι, μεταξύ κέντρου και εισόδου. Το προσροφημένο νικέλιο κυμαίνεται μεταξύ 3 και 7%, ενώ το κλάσμα στα ανθρακικά είναι μεταξύ 5 και 16% περίπου. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξείδια και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης έχουν την ίδια χωρική κατανομή με παρόμοια ποσοστά, 15 με 36% και 14 με 34% αντίστοιχα. Το νικέλιο που είναι δεσμευμένο στο

αργιλοπυριτικό πλέγμα κυμαίνεται μεταξύ 7 και 61% του ολικού νικελίου.

7.2.5. Χρώμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Οι τιμές του χρωμίου κυμαίνονται από 30 (N του λιμανιού) μέχρι 150 (ΔΕΗ) ppm περίπου (Σχήματα 7.4 και 7.7). Το χρώμιο παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα και τον οργανικό άνθρακα και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Το χρώμιο παρουσιάζει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99 % με το αργίλιο, και σημαντική συσχέτιση (95%) με το σίδηρο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο χρώμιο κυμαίνεται μεταξύ 0,8 και 3,5 του ολικού περίπου, με τα μεγαλύτερα ποσοστά στην είσοδο και το κέντρο του λιμανιού, ενώ το κλάσμα στα ανθρακικά βρίσκεται μεταξύ 1,7 και 4,8% του ολικού χρωμίου, παρουσιάζοντας τα μεγαλύτερα ποσοστά και τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στην περιοχή των δύο εργοστασίων βόρεια του λιμανιού. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία φαίνεται αυξημένο, τόσο σε ποσοστά όσο και σε απόλυτες τιμές στο βάθος (Δ πλευρά) του λιμανιού. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 8 και 27% του ολικού, ενώ οι τιμές του μετάλλου στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνονται από 12 μέχρι 29% των τιμών του ολικού. Τα μεγαλύτερα ποσοστά υπάρχουν στο βάθος και στην είσοδο του λιμανιού, ενώ οι μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στην είσοδο του λιμανιού. Το ποσοστό του χρωμίου που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι μεταξύ 48 και 69%, με τη μεγαλύτερη τιμή στην περιοχή των δύο εργοστασίων.

7.2.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Οι τιμές του μόλυβδου κυμαίνονται από 770 μέχρι 6.300 ppm περίπου και το μέταλλο παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στη νέα προβλήτα στην είσοδο του λιμανιού και κοντά στη προβλήτα μεταλλευμάτων (Σχήματα 7.4 και 7.7). Ο μόλυβδος παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα και τον οργανικό άνθρακα (0,62) και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Ο μόλυβδος έχει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99% με το σίδηρο, το χαλκό και τον ψευδάργυρο, 99% με το μαγγάνιο, το κάδμιο, τον κασίτερο και το χαλκό, και σημαντική συσχέτιση (95%) με το αργίλιο. Οι τιμές του μέσα στο λιμάνι είναι κατ' ελάχιστο 2,5 φορές μεγαλύτερες από αυτές εκτός του λιμανιού.

- Γεωχημικά κλάσματα (Σχήμα 7.10)

Ο προσροφημένος μόλυβδος βρίσκεται σε επίπεδα κάτω του 1,5% του ολικού, με τα μεγαλύτερα ποσοστά στην είσοδο του λιμανιού. Ο μόλυβδος στα ανθρακικά κυμαίνεται από 1,6% μέχρι 17% περίπου του ολικού μετάλλου, με τις μέγιστες τιμές στην προβλήτα μεταλλευμάτων και στη νέα προβλήτα. Παρόμοια χωρική κατανομή έχουμε στις απόλυτες τιμές για το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία, ενώ τα ποσοστά είναι παντού αυξημένα (μέγιστο στην προβλήτα μεταλλευμάτων, > 57%, ενώ στα δύο εργοστάσια βόρεια του λιμανιού ξεπερνά το 42% του συνόλου). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει σαφώς

μικρότερα ποσοστά (5 – 13% περίπου), με τα μεγαλύτερα στην είσοδο του λιμανιού, ενώ στη DOW παρουσιάζεται με 8,5%. Ο μόλυβδος που είναι δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κυμαίνεται από 17 έως 65% του συνόλου.

7.2.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

τιμές του σιδήρου κυμαίνονται από 500 μέχρι 21.500 ppm περίπου. Ο ψευδάργυρος παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στη νέα προβλήτα στην είσοδο του λιμανιού και μεγάλες τιμές κοντά στη προβλήτα μεταλλευμάτων (Σχήματα 7.5 και 7.7). Ακόμη, παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα και τον οργανικό άνθρακα (0,62) και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Είναι αξιοσημείωτοι οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης των μετάλλων μεταξύ τους και πιο συγκεκριμένα ο ψευδάργυρος έχει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99 % με το σίδηρο, το μαγγάνιο και το μόλυβδο, 99 % με το χαλκό, και σημαντική συσχέτιση (95 %) με το αργίλιο, το κάδμιο και τον κασσίτερο. Οι τιμές του μέσα στο λιμάνι είναι κατ' ελάχιστο 2,5 φορές μεγαλύτερες από αυτές εκτός του λιμανιού.

- Γεωχημικά κλάσματα (Σχήμα 7.11)

Ο προσροφημένος ψευδάργυρος είναι 4 – 5% του συνόλου στην περιοχή φόρτωσης και μέσα στο λιμάνι, ενώ είναι μειωμένος εκτός του λιμανιού. Αξιοσημείωτα μικρά είναι το ποσοστό στην νέα προβλήτα (< 0,5% του ολικού). Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι μεταξύ 0,9 και 2%, με τη μεγαλύτερη τιμή στη νέα προβλήτα, όπου υπάρχει και η μεγαλύτερη απόλυτη τιμή. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία αποτελεί σταθερό ποσοστό του ολικού μετάλλου (18,5 με 25% του ολικού), με τη μεγαλύτερη απόλυτη τιμή στη νέα προβλήτα. Ο ψευδάργυρος στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι το 10 με 22% του ολικού με τη μεγαλύτερη τιμή στη νέα προβλήτα και 15,5% στη προβλήτα μεταλλευμάτων. Το ποσοστό του ψευδάργυρου που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι σταθερό 56 με 65% του ολικού μετάλλου.

7.2.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Οι τιμές του χαλκού κυμαίνονται από 18 μέχρι 40 ppm εκτός λιμανιού και από 78 μέχρι 259 ppm μέσα στο λιμάνι, με τις μεγαλύτερες τιμές κοντά στην προβλήτα μεταλλευμάτων και στη νέα προβλήτα (Σχήματα 7.5 και 7.7). Ο χαλκός παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα και τον οργανικό άνθρακα (0,65) και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Ο χαλκός έχει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99% με το μόλυβδο, 99,9% με το σίδηρο, 99% με τον ψευδάργυρο και το κάδμιο και σημαντική συσχέτιση (95%) με το αργίλιο, το μαγγάνιο και τον κασσίτερο.

- Γεωχημικά κλάσματα (Σχήμα 7.12)

Ο προσροφημένος χαλκός παρουσίασε τα μεγαλύτερα ποσοστά μέσα στο λιμάνι, μεταξύ 16 και 23% του ολικού. Αξιοσημείωτο είναι ότι το ελάχιστο ποσοστό (κάτω του 7% του ολικού μετάλλου) παρουσιάζεται στη νέα

προβλήτα. Ο χαλκός στα ανθρακικά βρίσκεται παντού κάτω του 2,4% του ολικού, αλλά στη νέα προβλήτα έχει σχεδόν τετραπλάσιο ποσοστό. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στα δύο εργοστάσια βόρεια του λιμανιού, ενώ μέσα στο λιμάνι οι τιμές είναι από 1,93 (προβλήτα μεταλλευμάτων) μέχρι 8,43% (είσοδος του λιμανιού) του ολικού. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αποτελεί μέσα στο λιμάνι το κατά πολύ μεγαλύτερο γεωχημικό κλάσμα του χαλκού (άνω του 55% του ολικού), ενώ βόρεια του λιμανιού είναι 26,7%. Εκεί το μεγαλύτερο κλάσμα είναι το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα (53%), το οποίο μέσα στο λιμάνι μετρήθηκε μεταξύ 6 και 2% του συνόλου.

7.2.9. Κάδμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Οι τιμές του καδμίου είναι 2,5 με 9 ppm μέσα στο λιμάνι, ενώ έξω από αυτό δεν ξεπερνούν τα 0,5 ppm. Το κάδμιο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στη νέα προβλήτα, στην είσοδο του λιμανιού και στα ναυπηγεία (Σχήματα 7.5 και 7.8). Ακόμη, παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τον οργανικό άνθρακα (0,61) και όλα τα μέταλλα πλην του νικελίου και σημαντική αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Το κάδμιο έχει πολύ σημαντική συσχέτιση 99% με μόλυβδο και το χαλκό, σημαντική συσχέτιση (95%) με το σίδηρο και τον ψευδάργυρο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κάδμιο δεν ξεπερνά το 4% του ολικού, όπως και το κλάσμα στα ανθρακικά (με εξαίρεση τη νέα προβλήτα και ένα σημείο στο κέντρο του λιμανιού με 14 και 10% αντίστοιχα). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία παρουσιάζει μέγιστο ποσοστό 10,3% στο κέντρο του λιμανιού, αλλά στα δύο εργοστάσια βόρεια του λιμανιού αποτελεί το 20% του ολικού. Στα ίδια σημεία παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές (24 και 20% αντίστοιχα) και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης, το οποίο πουθενά αλλού δεν υπερβαίνει το 6%. Το κλάσμα του μετάλλου που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι το συντριπτικά μεγαλύτερο. Στα δύο προαναφερθέντα σημεία (κέντρο και εργοστάσια) αποτελεί το 55 και 60% του ολικού μετάλλου αντίστοιχα, ενώ στα άλλα σημεία του λιμανιού μετρήθηκε μεταξύ του 81 και 99% του ολικού.

7.2.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Οι τιμές του κασσίτερου κυμαίνονται από 0,4 μέχρι 10,25 ppm. Ο κασσίτερος παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στη προβλήτα μεταλλευμάτων και στη νέα προβλήτα στην είσοδο του λιμανιού, ενώ εκεί κοντά παρουσιάζει και τις μικρότερες τιμές (Σχήματα 7.5 και 7.8). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα και τον οργανικό άνθρακα και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Ο κασσίτερος έχει πολύ σημαντική συσχέτιση 99% με το μόλυβδο και σημαντική συσχέτιση (95%) με το χαλκό, το σίδηρο και τον ψευδάργυρο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος κασσίτερος παρουσιάζεται αυξημένος στο 5 % του ολικού στην επιβατική προβλήτα, κοντά

στα ναυπηγεία, ενώ ο κασσίτερος στα ανθρακικά είναι μεταξύ 0 και 12,5 % (κέντρο του λιμανιού), με τιμή στο 9% στην περιοχή των δύο εργοστασίων βόρεια του λιμανιού. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία παρουσιάζει ένα αξιοσημείωτο 22,6 % στη νέα προβλήτα, χωρίς να υπερβαίνει κάπου αλλού το 7,5 % του ολικού. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 0 και 18,5 %, με τις μεγαλύτερες τιμές στη νέα προβλήτα και στο κέντρο του λιμανιού. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι και το κατά πολύ σημαντικότερο. Στη νέα προβλήτα αποτελεί το 54% του ολικού μετάλλου και κυμαίνεται μεταξύ 72 και 94% του ολικού μετάλλου στα άλλα σημεία της περιοχής.

7.2.11. Ανθρακικά και οργανικός άνθρακας

Στο δείγμα νότια του λιμανιού μετρήθηκαν ανθρακικά 34 %, ενώ στα άλλα δείγματα μετρήθηκαν μεταξύ 4 (νέα προβλήτα) και 18 % (ΔΕΗ). Έτσι, τα ανθρακικά εμφανίζονται κάτω του 11 % μέσα στο λιμάνι (Σχήματα 7.5 και 7.8), ενώ παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα και θετική συσχέτιση με τον οργανικό άνθρακα. Ο οργανικός άνθρακας (0,93 – 2,81 %) παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές του στο βάθος και τη μικρότερη που μετρήθηκε στο κέντρο του λιμανιού (Σχήματα 7.5 και 7.8) . Ο οργανικός άνθρακας παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με όλα τα μέταλλα [άνω του 0,50 μόνο οι συσχετίσεις με χαλκό (0,65), μόλυβδο (0,62) ψευδάργυρο (0,62) και κάδμιο (0,61)] πλην του νικελίου (μικρή αρνητική, -0,23).

7.3. Σχόλια και συμπεράσματα

Τα μέταλλα παρουσιάζουν εντυπωσιακά μεγάλες συσχετίσεις μεταξύ τους, πολύ μεγαλύτερες από αυτές που παρατηρήθηκαν στο λιμάνι της Ραφήνας και από αυτές που χαρακτηρίζουν την ευρύτερη περιοχή (Καραγεώργης κ.α. 1994). Αυτό, σε συνδυασμό με τις κατά πολύ αυξημένες τιμές που μετρήθηκαν στην περιοχή του Λαυρίου σε σχέση με τις τιμές των μετάλλων στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή, δηλώνει κοινή χερσογενή προέλευση. Η περιοχή παρουσιάζει μεγάλη ομοιογένεια. Ακόμα και τα νεώτερα ιζήματα του τεταρτογενούς (ερυθροί άργιλοι – πηλίτες, άμμοι, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή, προσχώσεις, κώνοι κορημάτων και άλλες αποθέσεις) προέρχονται με βάση το χάρτη και το ανάγλυφο (Μαρίνος και Petrascheck 1956, Παπαγεωργάκης 1969, Κονοφάγος 1980, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β) από αποσάθρωση των ίδιων μεταμορφωμένων (μαρμάρων και σχιστόλιθων κυρίως) και εκρηξιγενών πετρωμάτων (κυρίως ανδεδίτη) που αποτελούν το υπόστρωμα της περιοχής. Οι αυξημένες τιμές των μετάλλων οφείλονται στα ορυκτά που αποτελούν τα πετρώματα της περιοχής. Μερικά από τα οποία είναι μοναδικής εμφάνισης, ενώ ο σερπιερίτης $[Ca(CuZn)_4(SO_4)_2(OH)_{6,3}]$ απαντάται μόνο στο Λαύριο. Μοναδική είναι και η ποικιλία σπανίων ορυκτών στην περιοχή, ενώ η κύρια μεταλλογένεση της περιοχής είναι θειούχα μεταλλεύματα του μόλυβδου και του ψευδαργύρου (Μαρίνος και Petrascheck 1956, Αυγουστίδης και Βέλλος 1971, Αυγουστίδης 1976, Παπαγεωργάκης 1978, Κακαβογιάννης 1989, Βουρλάκος 1992, Κορδέλλας 1993, Μπορνόβας 1999, Μουσείο της Μήλου 2001, Δερμάτης 2003). Είναι γνωστό (Παπαγεωργάκης

1978) ότι, κατά την αποσάθρωση των μικτών θειούχων μεταλλευμάτων [που τα κύρια εκμεταλλεύσιμα ορυκτά τους είναι ο γαλνιήτης (PbS) και ο σφαλερίτης (ZnS) αλλά περιέχουν σε μεγάλες ποσότητες σιδηροπυρίτη ή πυρίτη (FeS₂) και σε μικρότερες χαλκοπυρίτη (CuFeS₂)] παράγονται διαδοχικά θειικά άλατα του σιδήρου, του χαλκού, του ψευδαργύρου και του μολύβδου, τα οποία μεταπίπτουν σε οξειδία και ένυδρα οξειδία (σίδηρος). Έτσι εξηγείται η μεγάλη συμμετοχή των μετάλλων αυτών στο κλάσμα των σιδηρομαγνητιούχων οξειδίων και στο κλάσμα σουλφιδίων – οργανικής ύλης. Τα μέταλλα στο κλάσμα των σιδηρομαγνητιούχων οξειδίων είναι σε μεγάλο βαθμό προϊόν της επί τόπου χημικής αποσάθρωσης των θειούχων ενώσεων των μετάλλων, ενώ τα μέταλλα στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης προφανώς προέρχονται σε μεγάλο βαθμό απ' ευθείας από τα ορυκτά που απαρτίζουν τα πετρώματα που σχηματίστηκαν κατά τη μεταλλογένεση.

Οι πολύ αυξημένες τιμές του μολύβδου και του ψευδαργύρου μέσα στο λιμάνι συνδέονται με τη μακροχρόνια λειτουργία του σαν θύρα διακίνησης μεταλλεύματος και εμπλουτίσματος (προϊόντος του εργοστασίου εμπλουτισμού του μεταλλεύματος) μικτών θειούχων μεταλλευμάτων (Κονοφάγος 1980, NTUA 1999, Sakellariadou et al. 2000, Δερμάτης 2003, Sakellariadou and Haralambides 2003, Sakellariadou and Haralambides 2004).

Στο βάθος του λιμανιού, στην προβλήτα φόρτωσης μεταλλευμάτων παρουσιάζονται αυξημένες τιμές μετάλλων, λογικό επακόλουθο της ανθρώπινης δραστηριότητας, πιο συγκεκριμένα της διαδικασίας φόρτωσης των πλοίων, της λειτουργίας του εργοστασίου εμπλουτισμού και της μεταλλουργίας και τυχόν ατυχηματικών διασπορών. Είναι προφανές ότι είναι πρακτικά αδύνατο να αποφευχθεί κατάληξη ενός ελάχιστου τμήματος του φορτίου (μεταλλεύματος και εμπλουτίσματος) στη θάλασσα, ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη ότι η μεταφορά δεν γίνεται στις περιπτώσεις αυτές με κλειστά δοχεία αλλά με μεταφορικές ταινίες ή ανοικτούς κάδους –αβατώρια και η περίπτωση του Λαυρίου δεν αποτέλεσε εξαίρεση (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών 1998, Δερμάτης 2003). Η αυξημένη περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα στα δείγματα Λ9 και Λ10 (υπερβαίνει το 2,50%) σε σύγκριση με άλλα δείγματα (κάτω του 1% στο δείγμα Λ8) συμπίπτει με αυξημένες περιεκτικότητες των μετάλλων, ιδίως του χαλκού, στο κλάσμα σουλφιδίων – οργανικής ύλης. Εξ άλλου οι συσχετίσεις του οργανικού άνθρακα με χαλκό, ψευδάργυρο, μολύβδο και κάδμιο είναι άνω του 0,60. Οι συσχετίσεις του οργανικού άνθρακα με τα άλλα μέταλλα έχουν απόλυτη τιμή κατώτερη του 0,50 και είναι θετικές, εκτός της συσχέτισης του οργανικού άνθρακα με το νικέλιο (αρνητική). Οι τιμές αυτές των συσχετίσεων δεν δηλώνουν συμμεταβολή, αλλά μάλλον τυχαίο γεγονός (Spieger 1977, Κάκουλλος 1978, Τζιαφέτας 1978, Κεβόρκ 1985, Καραγιάννης 1999). Οι τιμές των μετάλλων που μετρήθηκαν μέσα στο λιμάνι είναι πολύ μεγάλες (ιδίως για μολύβδο και ψευδάργυρο). Έτσι θεωρώ ότι είναι εκτός πραγματικότητας κάθε προσπάθεια αξιολόγησης της συνεισφοράς άλλων δραστηριοτήτων (π.χ. βενζινοκινητήρων, κινητήρων πλοίων κλπ.) στη ρύπανση της περιοχής, λόγω των ήδη πολύ υψηλών τιμών σε μολύβδο και ψευδάργυρο.

Οι τοπικά μεγάλες τιμές στο λιμάνι του Λαυρίου έχουν άμεση σχέση με τη γεωλογία της περιοχής, παλαιότερη

εντονότατη μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα και είναι τοπικά περιορισμένες. Αυξημένες τιμές στις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων έχουν παρατηρηθεί για τους ίδιους ακριβώς λόγους στο Στρατώνι Χαλκιδικής, όπου για πολλά χρόνια λειτούργησε μεταλλείο μικτών θειούχων μεταλλευμάτων, το αντίστοιχο εργοστάσιο εμπλουτισμού και λιμάνι φόρτωσης μεταλλεύματος και εμπλουτίσματος. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις περιορίζονται σε σημεία του κόλπου της Ιερισσού, κυρίως στην ακτή και κοντά στο μεταλλείο στο Στρατώνι και δεν απαντώνται έξω από τον κόλπο (Sakellariadou 1987). Οι τιμές είναι χαμηλότερες από αυτές του Λαυρίου. Το γεγονός πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι η μεταλλοφορία στην Χαλκιδική απαντάται βαθύτερα στο έδαφος από τη μεταλλοφορία του Λαυρίου και με τον τρόπο αυτό δεν είναι μεγάλος ο βαθμός εμποτισμού των υπερκειμένων του μεταλλοφόρου ορίζοντα πετρωμάτων σε μέταλλα (κυρίως μόλυβδο και ψευδάργυρο).

Οι αυξημένες τιμές του νικελίου (ολικού) και αργιλίου (στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης) στο εργοστάσιο της DOW Chemicals οφείλεται στα πλαστικά, όπου και το νικέλιο και το αργίλιο χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην παρασκευή τους (ετερογενής κατάλυση) από τα πρώτα στάδια πολυμερισμού, με αποτέλεσμα να παραμένει πάντα κάποια ποσότητα στη μάζα των πλαστικών (Καμπούρης 1980, Καμπούρης 1983, Σιμιτζής 1985). Οι αυξημένες τιμές του μαγγανίου σχετίζονται γενικότερα με την μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα (Δασενάκης και Σκούλλος 1982).

Το κάδμιο πάντα συνοδεύει τον ψευδάργυρο [και μάλιστα αποτελεί ανεπιθύμητη πρόσμιξη (ακαθαρσία) και λαμβάνεται σαν παραπροϊόν της μεταλλουργίας μολύβδου – ψευδαργύρου (Αυγουστής και Βέλλος 1973, Μούσουλος 1983)] και έτσι η συσχέτισή τους είναι αναμενόμενη, αφού ο ψευδάργυρος αποτελεί συστατικό των ορυκτών που σχηματίζουν πετρώματα της περιοχής. Η διακύμανση των τιμών των κλασμάτων του καδμίου οφείλεται με το σκεπτικό αυτό στη γεωλογία της περιοχής.

Η συσχέτιση του κασσιτέρου με τον χαλκό και τον μόλυβδο, μπορεί να αποδοθεί στα υφαλοχρώματα. Τα υφαλοχρώματα, στα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως οργανικές ενώσεις του κασσίτερου για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων στα πλοία (Μαρουλάκου κ.α. 1996, Μαρουλάκου κ.α. 1997), αλλά και ο μόλυβδος και ο χαλκός (Τσελέντης 2001).

Μια ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι η νέα προβλήτα, όπου και παρουσιάζονται πολύ αυξημένες τιμές στα περισσότερα μέταλλα. Το δείγμα προέρχεται από την κλιτύ του πρανούς που αποτελεί τη βάση της προκουμιάς. Παρά το γεγονός ότι μπορεί να υποθέσει κάποιος ότι πιθανόν πρόκειται για δείγμα από τη μεταλλοφόρο επαφή, η οποία φαίνεται (Μαρίνος και Petrascheck 1956) να περνάει μέσα από το λιμάνι, η υπόθεση αυτή πρέπει να απορριφθεί γιατί το δείγμα δεν ελήφθη από τον πυθμένα της θάλασσας, αλλά από το φερτό υλικό που χρησιμοποιήθηκε για τη θεμελίωση της προβλήτας. Το κλάσμα που σχετίζεται με τα ανθρακικά εμφανίζεται πλούσιο σε χαλκό, ψευδάργυρο και μόλυβδο. Είναι γνωστό (Μαρίνος και Petrascheck 1956, Παπαγεωργάκης 1978, Κονοφάγος 1980) ότι κατά τη μεταλλογένεση το ασβέστιο στο ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3)

υποκαθίσταται από άλλα μέταλλα, δίνοντας ανθρακικά μέταλλα των μετάλλων {όπως κερουσίτη (PbCO_3), ροδοχρωσίτη (MnCO_3), σιδερίτη (FeCO_3), σμθσονίτη (ZnCO_3), μαλαχίτη [$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$], αζουρίτη [$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ κ.α.]. Κατά τη διεργασία του εμπλουτισμού ενός μεταλλεύματος μικτών θειούχων (Φραγκίσκος 1990, Φραγκίσκος 2001) μετά από μείωση μεγέθους και διαχωρισμό το μέταλλευμα προωθείται στη μεταλλουργία, ενώ το στείρο (σε μεγάλο βαθμό ανθρακικό ασβέστιο εμποτισμένο με τα ανθρακικά άλατα μετάλλων που προαναφέρθηκαν). Όλα αυτά, σε συνδυασμό με την υφή του ιζήματος οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πιθανότατα σαν αδρανές υλικό για τη βάση της νέας προβλήτας έχει χρησιμοποιηθεί υλικό από τα απορρίμματα του παλαιού εργοστασίου. Το μικρότερο (συγκριτικά με τα άλλα σημεία) κλάσμα του κασσιτέρου που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα ενισχύει την υπόθεση περί φερτού υλικού στο συγκεκριμένο σημείο.

Οι μεγάλες τιμές των ολικών περιεκτικοτήτων των μετάλλων έχουν σαν αποτέλεσμα ακόμα και ένα πολύ μικρό ποσοστό προσροφημένου μετάλλου (σαν μέρος του ολικού) να αντιστοιχεί σε μεγάλες απόλυτες τιμές, με αποτέλεσμα ολόκληρη η περιοχή του λιμανιού να αποτελεί μια εν δυνάμει πηγή δευτερογενούς ρύπανσης. Το πρόβλημα αυτό έχει εκτενώς μελετηθεί για την περίπτωση των μεταλλείων μικτών θειούχων μεταλλευμάτων. Έχει παρατηρηθεί ότι ο κίνδυνος ρύπανσης δεν εκλείπει με το κλείσιμο, ακόμα και με το σφράγισμα ενός μεταλλείου με υπόγεια έργα, πόσο μάλλον με το κλείσιμο ενός επιφανειακού μεταλλείου. Έχει διαπιστωθεί ότι ακόμα και με τις μεγαλύτερες προφυλάξεις, πάντα υπάρχει δυνατότητα γενικότερης επιβάρυνσης της περιοχής σε μέταλλα από ανενεργά μεταλλεία (Åström 1998, Wen and Allen 1999, Müller et al 2000, Marqués et al 2001, Dinelli et al 2001). Αυτό πρέπει να συνδυαστεί με το γεγονός ότι συχνά τα μεταλλοφόρα πετρώματα εφάπτονται με ασβεστόλιθους ή μάρμαρα, ενώ κατά την εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος με υπόγεια εκμετάλλευση πάντα εγκαταλείπεται στο μεταλλείο ένα τμήμα του κοιτάσματος. Τα ανθρακικά πετρώματα προσβάλλονται από το νερό και δημιουργούν κοιλοτήτες και θεωρούνται υδατοπερατά πετρώματα. Η δημιουργία κοιλοτήτων και η κυκλοφορία των υπογείων νερών είναι προφανές ότι διευκολύνονται από τη δημιουργία του όλου δικτύου εκμετάλλευσης κάτω από τα έδαφος, ήτοι τη λύση της συνέχειας των πετρωμάτων με τις ρωγμές που προκαλεί στα περιβάλλοντα πετρώματα η χρήση εκρηκτικών υλών και τη δημιουργία ανοικτών χώρων (στοών, φρεάτων, κεκλιμένων, θαλάμων, χώρων που προκύπτουν από κατακρήμνιση οροφής κλπ.). Έτσι μέσω του συστήματος των υπογείων νερών που δημιουργείται τα μέταλλα μπορούν να επιβαρύνουν τη γύρω περιοχή για αρκετά χρόνια μετά το κλείσιμο του μεταλλείου. Επομένως, πέρα από το λιμάνι και τη γύρω περιοχή, η ευρύτερη περιοχή του Λαυρίου πρέπει να θεωρηθεί σαν πιθανή περιοχή υψηλής ρύπανσης από βαρέα μέταλλα.

8. Ο ΚΟΛΠΟΣ ΚΑΙ ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ

8.1. Σαρωνικός κόλπος

Ο Σαρωνικός κόλπος ορίζεται από της ακτές της Αττικής (Β, Α και ΒΔ) και τις ακτές της Πελοποννήσου (Δ και Ν) και έχει την έξοδο του ΝΑ προ το Αιγαίο πέλαγος. Τα μεγαλύτερα νησιά που περιλαμβάνει είναι η Αίγινα, η Σαλαμίνα, ο Πόρος και το Αγκίστρι. Από υδρογραφική άποψη το νησί – κλειδί στη λειτουργία του κόλπου σαν κέντρο υποδοχής του ρυπαντικού φορτίου της Αττικής είναι η νήσος Σαλαμίνα, που όντας πολύ κοντά στην ηπειρωτική χώρα δημιουργεί τον κλειστό κόλπο της Ελευσίνας και τα δύο στενά με τα οποία αυτός ενώνεται με το υπόλοιπο του Σαρωνικού (ΥΥΠΝ 1986).

Από προηγούμενες μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι περίπου 100 km² επιφάνειας του βυθού του βόρειου Σαρωνικού ρυπαίνονται (Γρημάνης κ.α. 1982). Οι μεγαλύτερες τιμές για τα μέταλλα Zn, Cu και Pb βρέθηκαν κοντά στην εκβολή του Κηφισού και την έξοδο του κεντρικού αποχετευτικού αγωγού στο Κερατσίνι. Με την απομάκρυνση από τα δύο αυτά σημεία οι τιμές της περιεκτικότητας των ιζημάτων στα μέταλλα αυτά πέφτουν γρήγορα στα φυσιολογικά επίπεδα. Οι αυξημένες τιμές αποδίδονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες (Scoullos 1973, Scoullos 1981, Αγγελίδης και Oregioni 1982, Ζαφειρόπουλος κ.α. 1984, Scoullos 1986, Ρόζη 2001).

Η μεγάλη βιομηχανική ανάπτυξη μετά το 1950 οδήγησε στην αύξηση του πληθυσμού του Λεκανοπεδίου από περίπου 1 σε 3,5 εκατομμύρια. Στις περιβάλλουσες τον Σαρωνικό ακτές της Αττικής και της Πελοποννήσου έχει συγκεντρωθεί περίπου το 40% των κατοίκων της Ελλάδας. Αυτή η ραγδαία αύξηση δεν είναι άμοιρη ευθυνών για την υποβάθμιση της ποιότητας του ευρύτερου περιβάλλοντος. Η έλλειψη κατάλληλης τεχνικής υποδομής, πληροφόρησης, παιδείας και πολιτικής βούλησης κατέστησε το Σαρωνικό τον κύριο αποδέκτη των ακατέργαστων λυμάτων της ευρύτερης περιοχής (Ρόζη 2001).

Μέχρι τον Σεπτέμβριο του 1993 περίπου 8000.000 m³ ακατέργαστων λυμάτων χύνονταν καθημερινά στο Σαρωνικό, κυρίως μέσω του Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού Κερατσινίου (ΚΑΑΚ). Από το Σεπτέμβριο του 1994 και μετά από ένα μεταβατικό στάδιο μερικής λειτουργίας διάρκειας ενός χρόνου, τα λύματα διοχετεύονται στο κέντρο υποδοχής και επεξεργασίας λυμάτων Ψυτάλλειας, όπου υφίστανται ένα πρωτογενή καθαρισμό, κατά τον οποίο απομακρύνεται περίπου το 40% του οργανικού φορτίου πριν την απόρριψη στον κόλπο, μέσα από δύο σωλήνες τοποθετημένους στην επιφάνεια του πυθμένα. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι από τα 3 είδη αγωγών της ΕΥΔΑΠ, μόνο οι αγωγοί αστικών λυμάτων οδηγούν το περιεχόμενό τους στην Ψυτάλλεια. Οι αγωγοί όμβριων και οι παλαιότεροι παντοροϊκοί αγωγοί (που δέχονται χωρίς διάκριση τα νερά της βροχής και τα αστικά λύματα) εκβάλλουν κατευθείαν στη θάλασσα. Εκτός από αυτά τα λύματα που καταλήγουν στην Ψυτάλλεια μέσω του κεντρικού αποχετευτικού αγωγού Κερατσινίου, στο Σαρωνικό αποχετεύονται σήμερα λύματα μέσω ρεμάτων και

ποταμών, λύματα παράκτιων περιοχών, βιομηχανικών δραστηριοτήτων και λύματα από πλοία και ιδιωτικά σκάφη. Οι βιομηχανίες και βιοτεχνίες που βρίσκονται στην περιοχή της Αθήνας, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση στη Δυτική Αττική, και ελέγχονται από την υπηρεσία Ελέγχου και Εποπτείας Υγρών Αποβλήτων είναι συνολικά 262 (47 βιομηχανίες τροφίμων, 41 χημικές βιομηχανίες, 61 υφαντουργικές βιομηχανίες, 14 βιομηχανίες μετάλλων, 3 μεγάλες βιομηχανίες χαρτιού, 55 βυρσοδεψεία και 41 ταπητοκαθαριστήρια) σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΥΔΑΠ του 1998. Στις περισσότερες βιομηχανίες δεν υπάρχουν εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων. Έτσι 100.000 m³ βιομηχανικών αποβλήτων πέφτουν κάθε μέρα στον Σαρωνικό ακατέργαστα. Πρέπει να τονιστεί επίσης ότι υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός παρανόμων συνδέσεων στο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ, τόσο στους αγωγούς ομβρίων, όσο και στους παντοροϊκούς αγωγούς. Αποτελεσματικός έλεγχος και εξάλειψη των συνδέσεων αυτών δεν είναι αντικειμενικά δυνατόν να υπάρξουν, με αποτέλεσμα το πραγματικό ρυπαντικό φορτίο του Σαρωνικού να είναι στην πράξη μεγαλύτερο από το ανωτέρω υπολογιζόμενο (Ρόζη 2001).

Ο Ποδονίφτης, η Χελιδονού, το ρέμα προφήτη Δανιήλ στον Ταύρο, ο Ιλισός και το ρέμα της Πικροδάφνης είναι ποτάμια και ρέματα της Αττικής που λειτουργούν (και εδώ υπάρχουν παράνομες συνδέσεις) σαν αποχετευτικοί αγωγοί. Πιο σημαντικές πηγές ρύπανσης είναι ο Κηφισός, ο Σαρανταπόταμος και το ρέμα Αγίου Γεωργίου στην Ελευσίνα (το οποίο έχει χαρακτηριστεί ως αποδέκτης βιομηχανικών αποβλήτων από τη Νομαρχία, νομαρχιακή απόφαση 17823/79) και είναι ο κύριος αγωγός μεταφοράς αποβλήτων από βυρσοδεψεία, τη Βιοχαρτική και τη Βιασφάλτ (www.thrasiopedio.gr), κυρίως με πετρελαιοειδή και καμένα ορυκτέλαια. Οι παράνομες αποχετεύσεις βιομηχανιών και βιοτεχνιών στους φυσικούς υδάτινους αυτούς αγωγούς έχουν μεγάλο μερίδιο στο ρυπαντικό φορτίο (Ρόζη 2001).

8.2. Ο κόλπος της Ελευσίνας

Ο κόλπος της Ελευσίνας (Σχήμα 8.1) ονομάζεται από την ομώνυμη πόλη και βρίσκεται στη δυτική Αττική. Περικυκλώνεται ανατολικά, βόρεια και μερικώς δυτικά από τις ακτές της Αττικής, ενώ προς το νότιο τμήμα κλείνεται από τις βόρειες ακτές της Σαλαμίνας (ΥΥΠΝ 1986, ΥΥΠΝ 1993). Συνδέεται με το υπόλοιπο του Σαρωνικού κόλπου με δύο φυσικά 'στενά', που πήραν το επιθυμητό βάθος μετά από βυθοκόρηση (Scoullos 1973)

- Το ανατολικό στενό, γνωστό ως 'στενά' της Σαλαμίνας ή διάυλος Κερατσινίου πλάτους επιφανείας 1200 μέτρων και βυθού 250 μέτρων και βάθους 11 μέτρων (βυθοκόρηση 1973), που συνδέει τον κόλπο με τον κόλπο του Κερατσινίου.
- Το δυτικό στενό, γνωστό ως 'Πόρος' Μεγάρων. Έχει μέσο πλάτος επιφανείας 600 μέτρα και βυθού 170 μέτρα και βάθους 8 μέτρα (βυθοκόρηση 1968) και ενώνει τον κόλπο της Ελευσίνας, μέσω του μικρού κόλπου του Αγίου Γεωργίου, με τον υπόλοιπο κόλπο του Σαρωνικού.

Ο κόλπος χωρίζεται με φυσικό τρόπο σε δύο τμήματα από δύο ακρωτήρια, το ένα στην ακτή της Αττικής (Ευταξία) και το άλλο στην ακτή της Σαλαμίνας. Η συνολική έκταση του κόλπου υπολογίζεται σε 67 Km², το δε βάθος του ποικίλει ανάμεσα στα 13 και 33 m με ένα μέσο βάθος περί τα 25 m. Η κυκλοφορία των υδάτων στον κόλπο γίνεται κύρια από Δ προς Α (Scoullos 1981) και μεταβάλλεται εποχιακά, με καθαρή ροή 240 m³/s από Δ προς Α το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου και αντίστροφα το καλοκαίρι με καθαρή ροή 450 m³/s. Ο μέσος χρόνος ανανέωσης των νερών υπολογίζεται σε 2 – 3 μήνες (Ασημακόπουλος και Αμπατζόγλου 1988). Το ρεύμα χαρακτηρίζεται ως ασθενές και υπάρχουν κάποιες αναβλύσεις υφάλμυρου ή γλυκού νερού κατά μήκος των ακτών της Αττικής (Scoullos 1986). Οι παλίρροιες στον κόλπο είναι περιορισμένες, με ένα πολύ μικρό εύρος, της τάξης των 5 εκατοστών. Μελέτμια υπάρχουν στην περιοχή συνήθως τον Ιούλιο και τον Αύγουστο και καταγιγίδες συνήθως το διάστημα Οκτωβρίου – Δεκεμβρίου. Κατά καιρούς εμφανίζονται κάποιοι δυνατοί άνεμοι, που οφείλονται στα γύρω βουνά Αιγάλεω, Τρίκερι και όρη Σαλαμίνας (Scoullos 1973). Η ιζηματογένεση έχει υπολογιστεί σε 0,5 – 0,8 εκατοστά το χρόνο (Scoullos 1986) .

Υπολογίζεται ότι ένα ποσοστό 20 με 30 % των βιομηχανικών αποχετεύσεων παγιδεύεται στον κόλπο της Ελευσίνας. Μια ποσότητα κατευθύνεται προς τις ακτές της Κορινθίας και της Αργολίδας (υψηλές συγκεντρώσεις ρύπανσης εντοπίζονται στα βαθιά του κόλπου της Παλιάς Επιδαύρου) και μια άλλη ποσότητα μεταφέρεται στα παραλίες της Αττικής μέχρι το Σούνιο. Στο Θριάσιο Πεδίο υπάρχουν και αποτελούν φορείς ρύπανσης (Ρόζη 2001, www.thriasiopedio.gr):

- 2 μονάδες δύλισης πετρελαίου (ΕΛΔΑ, πρώην PETROLA).
- 3 μονάδες αναγέννησης ορυκτελαίων και παραγωγής ασφάλτου (ΒΙΑΣΦΑΛΤ, ΕΣΧΑ, LPC).
- 14 εγκαταστάσεις αποθήκευσης και διακίνησης ρευστών (πετρελαιοειδών).
- 4 προβλήτες διακίνησης υδρογονανθράκων (ΕΛΔΑ, ΜΑΜΙΔΑΚΗΣ, ΜΟΒΙΛ, PETROLA).
- 7 προβλήτες διακίνησης φορτίων στον κόλπο της Ελευσίνας.
- 2 ναυπηγεία και 4 διαλυτήρια πλοίων.
- 5 μονάδες παραλαβής πετρελαιοειδών καταλοίπων και έρματος (ΕΛΔΑ, 2 ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ, VERA, PETROLA).
- 2 χαλυβουργεία (ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑ, ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΗ).
- 2 τσιμεντοβιομηχανίες (ΤΙΤΑΝ, ΧΑΛΥΨ).
- 1 βιομηχανία πυρομαχικών (ΠΥΡΚΑΛ).
- Επιηρεασμός από τη χωματερή Άνω Λιοσίων με στραγγίσματα και απορροή με τις βροχές (απέχει 6 χιλιόμετρα από τη θάλασσα), όπου γίνεται ταφή στερεών βιομηχανικών καταλοίπων (περίπου 23.000 τόνοι ετησίως) και περισσότερα από 1 εκατ. τόνοι αστικών απορριμμάτων το χρόνο.
- Δυτικά του κόλπου, υπάρχουν στην περιοχή των Αγίων Θεοδώρων οι εγκαταστάσεις της Motor - Oil που επιβαρύνουν την ευρύτερη θαλάσσια περιοχή.

- Σημαντικός αριθμός εγκαταλειμμένων πλοίων στον κόλπο.
- Μεγάλος αριθμός κινούμενων πλοίων.
- Λατομεία και πολλές μικρότερες μονάδες.

Τα αστικά λύματα της περιοχής δεν επιβαρύνουν άμεσα τον κόλπο της Ελευσίνας, καθότι η περιοχή δεν έχει σύστημα αποχέτευσης αστικών λυμάτων και εξυπηρετείται από σύστημα βόθρων (Χρηστίδης, προσωπική επικοινωνία). Εκτός από τη ρύπανση που επιβαρύνει καθημερινά τον κόλπο του Σαρωνικού, ατυχήματα και ναυάγια υποβαθμίζουν ακόμη περισσότερο το θαλάσσιο περιβάλλον. Στην περιοχή έχουν συμβεί αρκετά ναυάγια μεγαλύτερων ή μικρότερων σκαφών και αρκετά από αυτά έχουν προκαλέσει ρυπάνσεις ή / και έχουν εγκαταλειφθεί ή βυθιστεί. Κατά την μεταφόρτωση αργού πετρελαίου και κατεργασμένων προϊόντων κλασματικής του απόσταξης είναι αναμενόμενο να υπάρχουν διαρροές, από τις οποίες κάποιες δεν γίνονται γνωστές (Ρόζη 2001). Οι διαρροές και οι κηλίδες που προκαλούνται από ατυχήματα αυξάνουν τις συγκεντρώσεις των μετάλλων (Κορνήλιος κ.α. 1997), ιδιαίτερα του χρωμίου και του μολύβδου, ενώ σε περιοχές πλούσιες σε κοιτάσματα πετρελαίου και πυκνή κυκλοφορία πετρελαιοφόρων έχει διαπιστωθεί συσχέτιση της υψηλής συγκέντρωσης πετρελαίου με αυξημένη συγκέντρωση (εκτός από τον οργανικό άνθρακα που είναι επόμενο) νικελίου και βαναδίου (Metwally et al 1997). Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης δίνονται στο Σχήμα 8.3. Η ετήσια επιβατική κίνηση (πολιτική και στρατιωτική) από το λιμάνι της Ελευσίνας είναι 660.000, ενώ η ετήσια εμπορική κίνηση είναι 2.666.000 μετρικοί τόνοι (www.yen.gr). Τα τελευταία χρόνια η περιβαλλοντική κατάσταση του κόλπου της Ελευσίνας έχει παρουσιάσει σημαντική βελτίωση για τους εξής λόγους (www.thrasiopedio.gr):

- Μειώθηκε από το 1980 και μετά ο όγκος των βιομηχανικών αποβλήτων κατά 70% με ανάλογη μείωση του ρυπαντικού φορτίου (έκλεισαν ιδιαίτερα ρυπογόνες βιομηχανίες, όπως Βότρυς και Κρόνος και η Χαλυβουργική άλλαξε μέθοδο παραγωγής σιδήρου).
- Αρκετές βιομηχανίες εγκατέστησαν συστήματα καθαρισμού των αποβλήτων τους (π.χ. ΕΛ.Δ.Α., ΠΕΤΡΟΛΑ, ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΗ).
- Έγινε αλλαγή της παραγωγικής διαδικασίας σε σημαντικές βιομηχανίες (π.χ. παραγωγή σιδήρου από σκραπ και όχι από μέταλλευμα)
- Μειώθηκε σημαντικά ο αριθμός των παροπλισμένων πλοίων (ο αριθμός παροπλισμένων πλοίων στον κόλπο της Ελευσίνας για το αντίστοιχο έτος είναι: 1980 : 45, 1982 : 435, 1995 : 60, 1996 : 51, 1997 : 70, 1998 : 144, 1999 : 123, 2000: 94, 2001: 63).
- Από το Νοέμβριο 1994 έπαψε να εκβάλλει στο Κερατσίνι ο Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός Κερατσινίου (ΚΑΑΚ).

8.3. Γεωλογία

Η περιοχή ανήκει γεωλογικά στη ζώνη Ανατολικής Ελλάδας ή Υποπελαγονική (Μαράτος 1972, Τσόφλιας 1976, www.igme.gr) Χαρακτηριστικά για τη ζώνη είναι η σχιστοκερατολιθική διάπλαση και η παρουσία οφιολίθων. Στο βόρειο μέρος του κόλπου κυριαρχούν οι αλουβιακές αποθέσεις του Τεταρτογενούς (κοντά στην παραλία είναι προσχώσεις πεδινών περιοχών) που επικάθονται σε ασβεστόλιθους του ανώτερου Αλβίου και Τουρωνίου (οι οποίοι και επικάθονται της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης και έχουν πάχος 40 με 60 μέτρα). Στην ανατολική πλευρά του κόλπου κυριαρχεί ο όγκος του όρους Αιγάλεω, αποτελούμενος από ασβεστόλιθους του μέσου και ανώτερου Τριαδικού (μέγιστο πάχος 150 – 200 μέτρα) και έχει δώσει με αποσάθρωση στην παραλιακή ζώνη πλευρικά κορήματα. Βόρεια του όρους Αιγάλεω υπάρχουν αργιλικό σχιστόλιθοι και ψαμίτες με φακούς ασβεστόλιθων. Στη δυτική πλευρά του κόλπου κυριαρχούν οι ασβεστόλιθοι. Υπάρχουν εμφανίσεις (κατά το παρελθόν λειτούργησαν μεταλλεία στην περιοχή Μάνδρας) βωξιτικών φακών με πάτωμα ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες του μέσου και ανώτερου Τριαδικού και οροφή ασβεστολίθους του Κενομανίου – Τουρωνίου – Σενωνίου (εμφανίζονται και μέσα στους ασβεστόλιθους της οροφής). Η δυτική έξοδος του κόλπου είναι κατ' εξοχήν ασβεστολιθική (πάτωμα βωξίτη), ενώ στις παραλίες των όρμων υπάρχουν παράκτιες αποθέσεις πάνω σε αλουβιακές αποθέσεις. Στο νότιο μέρος του κόλπου (Σαλαμίνα) βρίσκονται ασβεστόλιθοι του ανώτερου Αλβίου και Τουρωνίου, ασβεστόλιθοι του ανώτερου και μέσου Τριαδικού και ασβεστόλιθοι του Λιασίου - Δογηρίου με πάχος 150 -200 μέτρα. Σε μικρή απόσταση από τον κόλπο των Παλουκιών εμφανίζεται και η σχιστοκερατολιθική διάπλαση. Η αποσάθρωση αυτών των μαζών έχει δώσει κώνους κορημάτων που εξελίσσονται σε κροκαλοπαγή και αλουβιακές αποθέσεις (Δουνάς 1965, 1967, 1969, Παπαγεωργάκης 1969, Κατσιακάτσος 1969, 1976, 1978, 1980, Γαϊτανάκης 1976- 78, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β). Στο παράρτημα δίνονται χαρακτηριστικές τομές της Υποπελαγονικής ζώνης. Τα ίδια πετρώματα φαίνεται (η χαρτογράφηση του πυθμένα δεν έχει ολοκληρωθεί για την περιοχή της μελέτης) να υπάρχουν και στον πυθμένα του κόλπου.

8.4. Αναλυτικά αποτελέσματα

Για τη μελέτη της περιοχής έγινε δειγματοληψία τα έτη 1997 (5 επιφανειακά δείγματα ιζήματος, E10-E14) και 2001 [οκτώ πυρήνες ιζήματος, ΕΠ1 και ΕΠ3-ΕΠ9 (με παράλληλη λήψη επιφανειακού δείγματος στα σημεία Ε6, Ε7 και Ε8) και το επιφανειακό δείγμα Ε2]. Για τα δείγματα Ε1, Ε3, Ε4, Ε5 και Ε9 σαν επιφανειακό δείγμα λαμβάνεται η πρώτη ζώνη του αντίστοιχου πυρήνα. Οι πυρηνοληψίες έγιναν με πυρηνολήπτη βαρύτητας, ενώ οι λήψεις επιφανειακών δειγμάτων με δειγματολήπτη τύπου Marucawa. Τα σημεία δειγματοληψίας φαίνονται στο χάρτη, ενώ στο παράρτημα δίνονται τα στίγματα (λήψη με GPS) των σημείων δειγματοληψίας. Τα επιφανειακά

δείγματα χαρακτηρίζονται με το γράμμα E και τον αριθμό στο χάρτη, ενώ οι πυρήνες με ΠΕ και τον αριθμό στο χάρτη. Όλα τα δείγματα είχαν γκριζό χρώμα (πιο σκούρο από το gull grey) και αποτελούνταν από ιλύ και άργιλο. Τα σημεία δειγματοληψίας δίνονται στο Σχήμα 8.2.

Οι τιμές που μετρήθηκαν στα δείγματα δίνονται στον Πίνακα 8.1 και τα ποσοστά των επί μέρους γεωχημικών κλασμάτων στον Πίνακα 8.2. Οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των μετάλλων δίνονται στους Πίνακες 8.3, 8.5 και 8.7 και τα $t_{περ.}$ στους Πίνακες 8.4, 8.6 και 8.8. Ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης και του $t_{περ.}$, καθώς και τιμές του t δίνονται στον Πίνακα 6.5. Επιλεγμένοι ισοχημικοί χάρτες δίνονται στα Σχήματα 8.5 έως 8.10, ενώ το σύνολό τους δίνεται στο παράρτημα.

8.4.1. Επιφανειακά δείγματα

Τα δείγματα 2,3 και 10 -14 έχουν ληφθεί από την περιοχή της δυτικής εξόδου του κόλπου, η οποία και έχει υποστεί βυθοκόρηση (Scoullos 1986). Για το λόγο αυτό γίνονται 3 συσχετίσεις μεταξύ των τιμών των μετάλλων: μεταξύ όλων των δειγμάτων (που ονομάζεται Σ14 στο κεφάλαιο αυτό), μεταξύ των δειγμάτων 2, 3 και 10 – 14 που βρίσκονται στην περιοχή της δυτικής εξόδου (που ονομάζεται ΣΔΕ στο κεφάλαιο αυτό) και μεταξύ των δειγμάτων (1 και 4 – 9) που προέρχονται από το εσωτερικό του κόλπου (που ονομάζεται ΣΚ στο κεφάλαιο αυτό). Όταν στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στο εσωτερικό του κόλπου εννοούνται τα δείγματα 4 -9. Όταν δεν γίνεται διευκρίνιση και αναφέρεται απλά η λέξη συσχέτιση, εννοείται η συσχέτιση Σ14 (μεταξύ όλων των δειγμάτων). Στα δείγματα 10 – 14 δεν έχει γίνει ανάλυση γεωχημικών κλασμάτων.

8.4.1.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται στο εσωτερικό του κόλπου από 15.000 έως 42.000 ppm και στη δυτική έξοδο από 18.000 έως 25.000 ppm περίπου (Σχήμα 8.4). Η υψηλότερη τιμή (δείγμα E12 στη δυτική έξοδο) είναι σχεδόν δύο φορές μεγαλύτερη από την αμέσως μεγαλύτερη. Εκτός από το σημείο αυτό οι τιμές του σιδήρου παρουσιάζουν μία αυξητική τάση προς το ΒΑ τμήμα του κόλπου. Ο σίδηρος παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα (εκτός από το αργίλιο, το νικέλιο και τον κασσίτερο) και τα ανθρακικά. Οι συσχετίσεις ΣΔΕ είναι παρόμοιες εκτός από την ύπαρξη αρνητικής συσχέτισης με τον κασσίτερο και την ύπαρξη σημαντικής (95%) συσχέτισης με το χαλκό. Οι συσχετίσεις ΣΚ είναι θετικές με όλα τα μέταλλα (πλην νικελίου) και με τα ανθρακικά, με πολύ σημαντική (99%) τη συσχέτιση με το μαγγάνιο, σημαντική (95%) τη συσχέτιση με το μόλυβδο και μεγάλη τη συσχέτιση με τον ψευδάργυρο (0,71).

- Γεωχημικά κλάσματα (Σχήμα 8.7)

Ο προσροφημένος σίδηρος και ο σίδηρος στα ανθρακικά αποτελούν ποσοστά κάτω του 0,2% του ολικού σιδήρου

με πιο μεγάλες τιμές στο ανατολικό τμήμα του κόλπου. Ο ευρισκόμενος υπό μορφή οξειδίων σιδήρος εμφανίζεται ενισχυμένος, τόσο σε απόλυτες τιμές όσο και σε ποσοστά, στο ΒΑ τμήμα του κόλπου, όπου πλησιάζει το 15% του ολικού, ενώ προς τη Δ πλευρά του κόλπου πέφτει μέχρι το 2% σχεδόν του ολικού. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αντιπροσωπεύει στο κέντρο του κόλπου το 30 με 40% περίπου του συνολικού σιδήρου, ενώ προς τη δυτική έξοδο το ποσοστό αυτό δεν ξεπερνά το 15%. Στο κέντρο του κόλπου ο σίδηρος που είναι δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 45 με 60% του ολικού, με τη μικρότερη τιμή στην Α πλευρά του κόλπου, ενώ όσο κατευθυνόμαστε προς τη δυτική έξοδο το ποσοστό αυξάνεται για να φτάσει στο 83%. Οι απόλυτες τιμές είναι μεγαλύτερες στο Β τμήμα του κόλπου.

8.4.1.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται στο εσωτερικό του κόλπου από 32.000 έως 42.000 ppm και στη δυτική έξοδο από 6.500 έως 29.000 ppm περίπου (Σχήμα 8.4). Στο εσωτερικό του κόλπου οι τιμές του αργιλίου αυξάνονται με την απομάκρυνση από την Β ακτή. Το αργίλιο παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με το σίδηρο, το νικέλιο και το κάδμιο και θετική με τα υπόλοιπα μέταλλα και τα ανθρακικά. Παρουσιάζει πολύ σημαντική συσχέτιση (99,9%) με το μαγγάνιο, (99%) με το μόλυβδο και τον κασσίτερο και σημαντική συσχέτιση (95 %) με τον ψευδάργυρο. Οι συσχετίσεις ΣΔΕ του αργιλίου είναι αρνητικές με το σίδηρο, το μόλυβδο, το χαλκό και το κάδμιο και θετικές με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Οι συσχετίσεις ΣΚ είναι αρνητικές για το χρώμιο, τον ψευδάργυρο και το χαλκό και θετικές για τα υπόλοιπα μέταλλα και τα ανθρακικά. Δεν παρουσιάζεται σημαντική συσχέτιση ΣΔΕ ή ΣΚ του αργιλίου με άλλο μέταλλο ή τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μέταλλο και το αργίλιο στα ανθρακικά είναι παντού πρακτικά μηδενικό. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία κυμαίνεται μεταξύ 0,4 και 1,8% του ολικού, με τις τιμές ελαφρά αυξημένες στα βόρεια του κόλπου, ιδιαίτερα στο Λουτρόπυργο και στον άξονα Σκαραμαγκά – Ελευσίνας. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αυξάνεται από το 1,7% του ολικού που μετρήθηκε στη δυτική έξοδο στο σχεδόν 10% στο ΝΑ τμήμα του εσωτερικού του κόλπου. Το ποσοστό του αργιλίου που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κυμαίνεται από 97% (δυτική έξοδος) μέχρι 92% (ΝΑ τμήμα).

8.4.1.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται στο εσωτερικό του κόλπου από 550 έως 850 ppm και στη δυτική έξοδο από 200 έως 400 ppm περίπου (Σχήμα 8.4). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται στο ΒΑ τμήμα του κόλπου. Το μαγγάνιο παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και τα με άλλα μέταλλα εκτός από το νικέλιο και το κάδμιο. Πολύ

σημαντικές είναι οι συσχετίσεις με το μόλυβδο (99,99%), το αργίλιο (99,9%), τον κασσίτερο (99,9%) και τον ψευδάργυρο και σημαντική (95%) με το χαλκό. Οι συσχετίσεις ΣΔΕ είναι αρνητικές με το χρώμιο και το κάδμιο και θετικές με τα άλλα μέταλλα Η ΣΔΕ συσχέτιση είναι σημαντική (95%) με τα ανθρακικά. Μεγάλη (0,73) είναι η συσχέτιση με τον κασσίτερο. Οι συσχετίσεις ΣΚ είναι αρνητικές για το νικέλιο και το κάδμιο και θετικές για τα υπόλοιπα μέταλλα και τα ανθρακικά. Παρουσιάζει πολύ σημαντική (99%) συσχέτιση με το σίδηρο.

- **Γεωχημικά κλάσματα**

Το προσροφημένο μαγγάνιο (Σχήμα 8.6) κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 0,7% του ολικού μετάλλου, με τις μεγαλύτερες τιμές στο ΒΑ τμήμα του κόλπου. Παρόμοια κατανομή παρουσιάζουν και οι απόλυτες τιμές του κλάσματος στα ανθρακικά, ενώ τα ποσοστά του επί του ολικού (μεταξύ 6 και 18%) παρουσιάζονται αυξημένα και στο δείγμα 5 (Λουτρόπυργος). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία αποτελεί το 19 με 37% του ολικού μετάλλου, με τη μεγαλύτερη τιμή του στο ΝΑ τμήμα του κόλπου (δείγμα Ε9), ενώ η μεγαλύτερη απόλυτη τιμή μετρήθηκε ΝΑ της Ελευσίνας (δείγμα Ε7). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αποτελεί το 7 με 31% του συνόλου, ενώ στο εσωτερικό του κόλπου η συνεισφορά του είναι σαφώς μεγαλύτερη, με ακραία τιμή πάνω από 30% και 170 ppm (δείγμα Ε4). Το μαγγάνιο που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 50 με 61% στη δυτική έξοδο και το 34 με 47% του ολικού μετάλλου στο εσωτερικό του κόλπου. Τα μικρότερα ποσοστά αντιστοιχούν στα δείγματα Ε4 και Ε5.

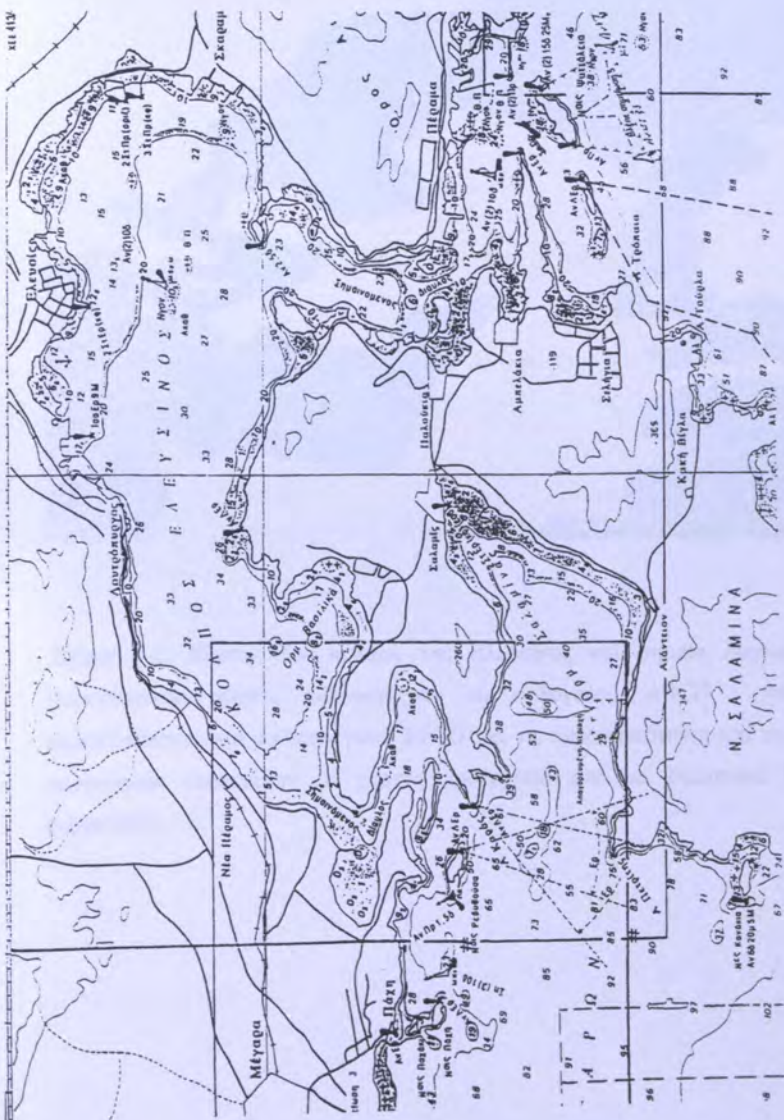
8.4.1.4. Νικέλιο

- **Ολική περιεκτικότητα**

Κυμαίνεται στο εσωτερικό του κόλπου από 50 έως 130 ppm και στη δυτική έξοδο από 40 έως 260 ppm περίπου (Σχήμα 8.4). Η μέγιστη τιμή είναι σχεδόν διπλάσια από την δεύτερη σε μέγεθος. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση μόνο με το χρώμιο και το κάδμιο. Το νικέλιο παρουσιάζει θετική ΣΔΕ συσχέτιση με το αργίλιο, το μαγγάνιο, το χρώμιο, τον ψευδάργυρο, το κάδμιο και τον κασσίτερο. Οι συσχετίσεις ΣΚ παρουσιάζονται θετικές, πλην αυτών με το σίδηρο, το μαγγάνιο και τα ανθρακικά.

- **Γεωχημικά κλάσματα**

Το προσροφημένο νικέλιο αποτελεί το 1 με 6% του συνολικού περίπου, με τα υψηλότερα ποσοστά στο Β τμήμα του κόλπου και τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές προς τη δυτική έξοδο. Το νικέλιο στα ανθρακικά δεν ξεπερνά το 7% στη δυτική έξοδο, ενώ φτάνει το 25% στο σημείο Ε5. Όλες οι άλλες τιμές είναι κάτω από το μισό της μέγιστης τιμής. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία αποτελεί το 12 με 38% του ολικού μετάλλου, με αυξημένες τις τιμές στο Β τμήμα του κόλπου. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι το 7% του ολικού στο σημείο Ε6, πάνω από 40% στα Ε4 και Ε7 και σε όλα τα άλλα σημεία κινείται μεταξύ 22 και 27%. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα κυμαίνεται μεταξύ 17 (Ε5) και 60% του ολικού και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές (απόλυτες και ποσοστά) στη δυτική έξοδο.



Σχήμα 8.1. Ο κόλπος της Ελευσίνας με τα βάθη της θάλασσας (ΥΥΙΝ 1993).



Σχήμα 8.2. Χάρτης του κόλπου της Ελευσίνας και σημεία δειγματοληψίας. Οι ισοπερικετικοί χάρτες παρουσιάζουν το ορθογώνιο ABCD για τις ολικές περιεκτικότητες και το τετράγωνο EFCG για τις περιεκτικότητες και τα ποσοστά των γεωχημικών κλασμάτων (ο χάρτης προέρχεται από το Microsoft Encarta Atlas ©&©1998).



Σχήμα 8.3. Πηγές ρύπανσης και λιμάνια στον κόλπο της Ελευσίνας (Karavoltzos et al. 1999):

1. Ναυπηγεία (Σκαραμαγκάς)
2. Λίμνη Κουμουνδούρου και εκβολή ρέματος Αγίου Γεωργίου
3. Διυλιστήριο αργού πετρελαίου (ΕΛΔΑ)
4. Χαλυβουργίες
5. Λιμάνι Ελευσίνας
6. Εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου
7. Ναυπηγεία (Ελευσίνα)
8. Διυλιστήριο αργού πετρελαίου (ΕΛΔΑ, πρώην Petrola)
9. Αποθήκες υγρών καυσίμων
10. Ναυπηγεία
11. Χαρτοποιία
12. Λιμάνι Νέας Περάμου
13. Πόρος Μεγάρων

Πίνακας 8.1 (1/4). Οι τιμές των δειγμάτων του κόλπου της Ελευσίνας. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm και για τα CO₃ σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
E1	T	19789,00	41052,00	599,75	133,50	121,00	262,50	57,10	19,50	1,42	8,00	37,50
	A	6,00	0,00	1,46	3,30	1,53	2,10	1,69	0,77	0,03	0,20	
	B	10,00	0,00	46,37	4,20	4,72	1,00	0,68	0,00	0,08	0,20	
	C	459,00	208,00	182,53	16,50	10,15	25,50	8,21	0,00	0,12	1,40	
	D	2968,00	1428,00	53,70	31,10	18,30	8,00	5,97	0,80	0,17	0,30	
E2	R	16346,00	39416,00	315,69	78,40	86,30	225,90	40,55	17,93	1,02	5,90	
	T	11589,00	29143,00	317,25	44,50	42,00	12,50	34,15	7,75	1,64	4,80	57,40
	A	9,00	0,00	0,82	1,80	1,65	0,70	1,91	1,12	0,08	0,10	
	B	13,00	0,00	20,77	3,10	4,80	1,40	1,03	0,00	0,08	0,20	
	C	389,00	111,00	79,88	16,60	8,13	3,30	4,63	0,00	0,49	1,10	
E3	D	1588,00	730,00	21,38	12,30	9,63	1,00	3,43	0,83	0,19	0,00	
	R	9590,00	28302,00	194,40	10,70	17,79	6,10	23,15	5,80	0,80	3,40	
	T	11545,00	21810,00	405,75	152,50	94,50	73,50	98,28	20,50	1,03	9,20	60,70
	A	11,00	0,00	2,56	3,20	2,17	1,60	17,65	2,94	0,06	0,00	
	B	24,00	0,00	46,74	7,00	4,64	0,20	2,48	0,00	0,05	0,20	
E3	C	1115,00	187,00	122,38	17,10	17,83	28,00	36,84	0,85	0,11	1,20	
	D	1614,00	364,00	30,48	35,00	13,65	1,80	7,39	2,25	0,15	0,60	
	R	8781,00	21259,00	203,59	90,20	56,21	41,90	33,92	14,46	0,66	7,20	

Πίνακας 8.1 (2/4). Οι τιμές των δειγμάτων του κόλπου της Ελευσίνας. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm και για τα CO₃ σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
E4	T	22268,00	42230,00	546,75	125,30	108,50	417,50	383,85	68,50	3,75	7,30	26,10
	A	5,00	0,00	2,03	1,00	2,23	1,00	55,61	2,51	0,12	0,10	
	B	11,00	0,00	46,83	6,70	5,80	2,60	35,73	0,00	0,36	0,30	
	C	2032,00	260,00	105,93	23,40	16,13	173,80	177,04	1,48	1,04	0,80	
	D	8116,00	1363,00	171,23	54,30	29,25	41,80	64,63	30,00	0,47	0,20	
E5	R	12104,00	40607,00	220,73	39,90	55,81	198,30	50,84	34,51	1,76	5,90	
	T	24705,00	37330,00	667,75	72,80	180,25	464,50	590,60	138,00	1,32	8,00	31,30
	A	8,00	0,00	1,83	2,80	2,09	1,60	47,24	4,54	0,14	0,10	
	B	20,00	0,00	102,19	18,20	5,67	2,10	70,56	1,20	0,17	0,10	
	C	2608,00	482,00	216,23	20,40	23,03	145,80	288,03	3,50	0,46	0,80	
E6	D	8127,00	1705,00	114,13	18,40	49,55	35,30	139,21	57,93	0,10	0,10	
	R	13945,00	35143,00	233,37	13,00	99,91	279,70	45,56	70,83	0,45	6,90	
	T	21710,00	32270,00	593,75	27,80	89,25	215,10	160,45	34,50	1,99	5,80	32,70
	A	11,00	0,00	2,71	1,60	1,10	1,30	12,10	1,94	0,11	0,20	
	B	22,00	0,00	102,47	3,40	4,74	2,70	9,51	0,36	0,39	0,10	
E6	C	2269,00	252,00	215,43	9,90	13,83	72,80	60,00	1,28	0,58	0,60	
	D	6039,00	1145,00	55,25	1,80	10,53	16,80	45,42	8,03	0,47	0,30	
	R	13369,00	30873,00	217,89	11,10	59,05	121,10	33,42	22,89	0,44	4,60	

Πίνακας 8.1 (3/4). Οι τιμές των δεγμάτων του κόλλπου της Ελευσίνας. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm και για τα CO₃ σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
E7	T	29014,00	40985,00	851,25	52,30	118,50	477,00	450,20	67,25	1,88	7,70	34,90
	A	17,00	0,00	5,21	1,40	1,18	1,30	23,71	3,00	0,17	0,10	
	B	25,00	0,00	104,85	1,60	4,50	3,20	32,04	1,31	0,18	0,10	
	C	4189,00	484,00	268,20	8,80	19,78	111,50	186,10	1,83	0,76	0,90	
	D	4724,00	2017,00	71,63	22,00	16,00	29,80	119,20	21,78	0,43	0,20	
E8	R	20059,00	38484,00	401,36	18,50	77,04	331,20	89,15	39,33	0,34	6,40	
	T	18079,00	32458,00	562,25	60,50	106,25	246,50	269,18	78,25	1,44	7,80	36,10
	A	25,00	0,00	3,95	1,80	1,60	0,60	67,76	8,91	0,15	0,00	
	B	36,00	0,00	81,44	8,00	4,81	3,40	46,32	1,85	0,25	0,10	
	C	2389,00	570,00	117,88	10,70	46,40	63,50	81,95	1,60	0,49	0,60	
E9	D	7383,00	2136,00	94,40	16,30	26,23	15,30	37,46	24,78	0,29	0,20	
	R	8246,00	29752,00	264,58	23,70	27,21	163,70	35,69	41,11	0,26	6,90	
	T	19097,00	41985,00	567,00	32,00	72,75	84,50	63,00	16,00	0,85	6,80	41,40
	A	34,00	0,00	1,31	1,00	1,79	0,50	3,72	1,12	0,03	0,10	
	B	40,00	0,00	78,92	0,80	4,18	3,60	0,86	0,00	0,05	0,50	
E9	C	1165,00	347,00	206,15	7,00	12,48	22,00	17,16	0,00	0,28	0,50	
	D	6891,00	2917,00	69,40	7,20	17,33	9,50	16,27	3,20	0,16	0,30	
	R	10967,00	38721,00	211,22	16,00	36,97	48,90	24,99	11,68	0,33	5,40	

Πίνακας 8.1 (4/4). Οι τιμές των δειγμάτων του κόλπου της Ελευσίνας. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm και για τα CO₃ σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
E10	T	22810,00	10678,00	277,00	132,00	89,40	0,00	62,00	21,00	13,00	0,00	5,70
E11	T	15043,00	6728,00	198,00	82,00	64,10	18,00	49,00	17,00	5,50	0,00	5,00
E12	T	41828,00	7468,00	342,00	71,00	70,60	106,00	43,00	36,00	1,70	0,00	65,40
E13	T	23493,00	26983,00	293,00	56,00	185,60	56,00	79,00	15,00	1,40	0,00	14,50
E14	T	18265,00	25130,00	283,00	257,00	175,40	29,00	83,00	13,00	1,50	0,00	9,60

Πίνακας 8.2 (1/2). Οι τιμές των δειγμάτων του κόλλου της Ελευσίνας. Οι τιμές για τα επί μέρους κλάσματα δίνονται σε % του ολικού μετάλλου.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
E1	A	0,00	0,00	0,24	2,47	1,26	0,80	2,96	3,95	2,11	2,50
	B	0,10	0,00	7,73	3,15	3,90	0,38	1,19	0,00	5,63	2,50
	C	2,30	0,50	30,43	12,32	8,39	9,71	14,38	0,00	8,45	17,50
	D	15,00	3,50	8,95	23,30	15,12	3,05	10,46	4,10	11,97	3,75
	R	82,60	96,00	52,65	58,76	71,33	86,06	71,01	91,95	71,84	73,75
E2	A	0,10	0,00	0,26	4,04	3,93	5,60	5,59	14,45	4,88	2,08
	B	0,10	0,00	6,55	6,97	11,43	11,20	3,02	0,00	4,88	4,17
	C	3,40	0,40	25,18	37,30	19,36	26,40	13,56	0,00	29,88	22,92
	D	13,70	2,50	6,74	27,64	22,93	8,00	10,04	10,71	11,59	0,00
	R	82,70	97,10	61,27	24,05	42,35	48,80	67,79	71,94	48,77	70,83
E3	A	0,10	0,00	0,63	2,10	2,30	2,18	17,96	14,34	5,83	0,00
	B	0,20	0,00	11,52	4,59	4,91	0,27	2,52	0,00	4,85	2,17
	C	9,70	0,90	30,16	11,21	18,87	38,10	37,48	4,15	10,68	13,04
	D	14,00	1,70	7,51	22,95	14,44	2,45	7,52	10,98	14,56	6,52
	R	76,00	97,40	50,18	59,15	59,48	57,00	34,52	70,53	64,08	78,27
E4	A	0,00	0,00	0,37	0,80	2,06	0,24	14,49	3,66	3,20	1,37
	B	0,00	0,00	8,57	5,35	4,68	0,62	9,31	0,00	9,60	4,11
	C	9,10	0,60	19,37	18,68	14,87	41,63	46,12	2,16	27,73	10,96
	D	36,40	3,20	31,32	43,34	26,96	10,01	16,84	43,80	12,53	2,74
	R	54,50	96,20	40,37	31,83	51,43	47,50	13,24	50,38	46,94	80,82
E5	A	0,00	0,00	0,27	3,85	1,16	0,34	8,00	3,29	10,61	1,25
	B	0,10	0,00	15,30	25,00	3,15	0,45	11,95	0,87	12,88	1,25
	C	10,60	1,30	32,38	28,02	12,78	31,39	48,77	2,54	34,85	10,00
	D	32,90	4,60	17,09	25,27	27,49	7,60	23,57	41,98	7,58	1,25
	R	56,40	94,10	34,96	17,86	55,42	60,22	7,71	51,32	34,08	86,25

Πίνακας 8.2 (2/2). Οι τιμές των δειγμάτων του κόλπου της Ελευσίνας. Οι τιμές για τα επί μέρους κλάσματα δίνονται σε % του ολικού μετάλλου.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
E6	A	0,10	0,00	0,46	5,76	1,23	0,60	7,54	5,62	5,53	3,45
	B	0,10	0,00	17,26	12,23	5,31	1,26	5,93	1,04	19,60	1,72
	C	10,50	0,80	36,28	35,61	15,50	33,84	37,39	3,71	29,15	10,34
	D	27,80	3,50	9,31	6,47	11,80	7,81	28,31	23,28	23,62	5,17
	R	61,50	95,70	36,69	39,93	66,16	56,49	20,83	66,35	22,10	79,32
E7	A	0,10	0,00	0,61	2,68	1,00	0,27	5,27	4,46	9,04	1,30
	B	0,10	0,00	12,32	3,06	3,80	0,67	7,12	1,95	9,57	1,30
	C	14,40	1,20	31,51	16,83	16,69	23,38	41,34	2,72	40,43	11,69
	D	16,30	4,90	8,41	42,07	13,50	6,25	26,48	32,39	22,87	2,60
	R	69,10	93,90	47,15	35,36	65,01	69,43	19,79	58,48	18,09	84,11
E8	A	0,10	0,00	0,70	2,98	1,51	0,24	25,17	11,39	10,42	0,00
	B	0,20	0,00	14,48	13,22	4,53	1,38	17,21	2,36	17,36	1,28
	C	13,20	1,80	20,97	17,69	43,67	25,76	30,44	2,04	34,03	7,69
	D	40,80	6,60	16,79	26,94	24,69	6,21	13,92	31,67	20,14	2,56
	R	45,70	91,60	47,06	39,17	25,60	66,41	13,26	52,54	18,05	88,47
E9	A	0,20	0,00	0,23	3,13	2,46	0,59	5,90	7,00	3,53	1,47
	B	0,20	0,00	13,92	2,50	5,75	4,26	1,37	0,00	5,88	7,35
	C	6,10	0,80	36,36	21,88	17,15	26,04	27,24	0,00	32,94	7,35
	D	36,10	6,90	12,24	22,50	23,82	11,24	25,83	20,00	18,82	4,41
	R	57,40	92,30	37,25	49,99	50,82	57,87	39,66	73,00	38,83	79,42

Πίνακας 8.3. Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για τον κόλπο της Ελευσίνας (εσωτερικό) (ολικές περιεκτικότητες)

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		0,2534	0,8965	-0,0877	0,4591	0,7988	0,7098	0,4352	0,2238	0,1676	-0,3655
Al	0,2534		0,1892	0,4605	-0,0141	0,1819	-0,0141	-0,2238	0,1931	0,3119	0,0500
Mn	0,8965	0,1892		-0,2121	0,3592	0,6096	0,5108	0,2782	-0,1233	0,2857	0,0300
Ni	-0,0877	0,4605	-0,2121		0,3425	0,3651	0,0548	0,0520	0,4740	0,5709	-0,3948
Cr	0,4591	-0,0141	0,3592	0,3425		0,7798	0,7574	0,8347	-0,0400	0,6560	-0,3995
Pb	0,7988	0,1819	0,6096	0,3651	0,7798		0,8892	0,7308	0,4681	0,5154	-0,6879
Zn	0,7098	-0,0141	0,5108	0,0548	0,7574	0,8892		0,9255	0,2973	0,4200	-0,6326
Cu	0,4352	-0,2238	0,2782	0,0520	0,8347	0,7308	0,9255		0,1072	0,4818	-0,5380
Cd	0,2238	0,1931	-0,1233	0,4740	-0,0400	0,4681	0,2973	0,1072		-0,1245	-0,8543
Sn	0,1676	0,3119	0,2857	0,5709	0,6560	0,5154	0,4200	0,4818	-0,1245		0,0055
CO ₃	-0,3655	0,0500	0,0300	-0,3948	-0,3995	-0,6879	-0,6326	-0,5380	-0,8543	0,0055	

Πίνακας 8.4. $t_{\text{εμπ.}}$ για τον κόλπο της Ελευσίνας (εσωτερικό) (7 δειγµατά).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		0,585737	4,524689	0,196862	1,155557	2,969051	2,253199	1,080862	0,513456	0,380142	0,878033
Al	0,585737		0,430846	1,160027	0,031532	0,413642	0,031532	0,513456	0,440067	0,734048	0,111943
Mn	4,524689	0,430846		0,485312	0,860634	1,719555	1,328584	0,647641	0,277827	0,666630	0,067112
Ni	0,196862	1,160027	0,485312		0,815156	0,876924	0,122721	0,116433	1,203710	1,554861	0,960852
Cr	1,155557	0,031532	0,860634	0,815156		2,785313	2,593759	3,389194	0,089514	1,943477	0,974448
Pb	2,969051	0,413642	1,719555	0,876924	2,785313		4,345859	2,393991	1,184488	1,344851	2,119288
Zn	2,253199	0,031532	1,328584	0,122721	2,593759	4,345859		5,464011	0,696265	1,034847	1,826437
Cu	1,080862	0,513456	0,647641	0,116433	3,389194	2,393991	5,464011		0,241096	1,229443	1,427145
Cd	0,513456	0,440067	0,277827	1,203710	0,089514	1,184488	0,696265	0,241096		0,280573	3,675155
Sn	0,380142	0,734048	0,666630	1,554861	1,943477	1,344851	1,034847	1,229443	0,280573		0,012299
CO ₃	0,878033	0,111943	0,067112	0,960852	0,974448	2,119288	1,826437	1,427145	3,675155	0,012299	

Πίνακας 8.5. Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για τη δυτική έξοδο του κόλπου της Ελευσίνας (ολικές περιεκτικότητες).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		-0,4962	0,0775	-0,1954	0,0557	0,6051	-0,2757	0,8301	0,0332	-0,5537	0,1758
Al	-0,4962		0,3460	0,1281	0,4410	-0,1233	0,3464	-0,7128	-0,5378	0,4004	0,1353
Mn	0,0775	0,3460		0,0663	-0,0400	0,6211	0,3743	0,2848	-0,4440	0,7330	0,8066
Ni	-0,1954	0,1281	0,0663		0,4767	-0,1265	0,6262	-0,1049	0,0283	0,0173	-0,3079
Cr	0,0557	0,4410	-0,0400	0,4767		0,0927	0,6913	-0,1985	-0,2272	-0,3056	-0,4794
Pb	0,6051	-0,1233	0,6211	-0,1265	0,0927		0,1908	0,7152	-0,5892	0,1761	0,6340
Zn	-0,2757	0,3464	0,3743	0,6262	0,6913	0,1908		-0,0933	-0,1778	0,3329	-0,1766
Cu	0,8301	-0,7128	0,2848	-0,1049	-0,1985	0,7152	-0,0933		0,0959	-0,1780	0,3491
Cd	0,0332	-0,5378	-0,4440	0,0283	-0,2272	-0,5892	-0,1778	0,0959		-0,3568	-0,5367
Sn	-0,5537	0,4004	0,7330	0,0173	-0,3056	0,1761	0,3329	-0,1780	-0,3568		0,6420
CO ₃	0,1758	0,1353	0,8066	-0,3079	-0,4794	0,6340	-0,1766	0,3491	-0,5367	0,6420	

Πίνακας 8.6. $t_{\text{εμπ}}$ για τη δισική έξοδο του κόλπου της Ελευσίνας (7 δείγματα).

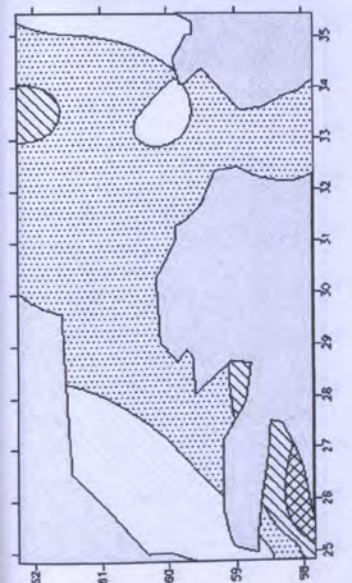
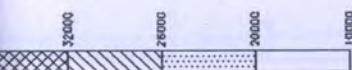
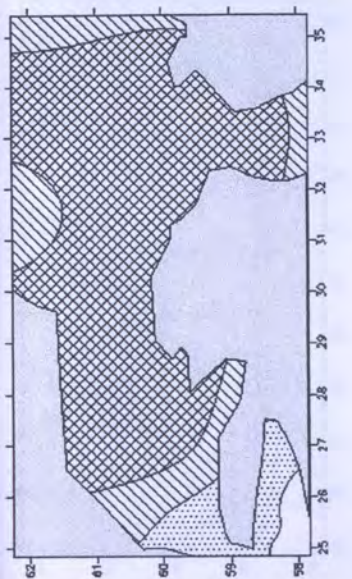
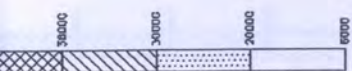
	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		1,277962	0,173818	0,445516	0,124743	1,699486	0,641340	3,328751	0,074278	1,486834	0,399320
Al	1,277962		0,824612	0,288820	1,098717	0,277827	0,825695	2,272517	1,426399	0,977062	0,305348
Mn	0,173818	0,824612		0,148578	0,089514	1,772064	0,902570	0,664345	1,108018	2,409540	3,051293
Ni	0,445516	0,288820	0,148578		1,212575	0,285153	1,795938	0,235865	0,063306	0,038690	0,723641
Cr	0,124743	1,098717	0,089514	1,212575		0,208180	2,139306	0,452871	0,521677	0,717676	1,221485
Pb	1,699486	0,277827	1,772064	0,285153	0,208180		0,434626	2,288153	1,630584	0,400023	1,833191
Zn	0,641340	0,825695	0,902570	1,795938	2,139306	0,434626		0,209539	0,404010	0,789413	0,401195
Cu	3,328751	2,272517	0,664345	0,235865	0,452871	2,288153	0,209539		0,215432	0,404479	0,833020
Cd	0,074278	1,426399	1,108018	0,063306	0,521677	1,630584	0,404010	0,215432			
Sn	1,486834	0,977062	2,409540	0,038690	0,717676	0,400023	0,789413	0,404479	0,854041		1,422299
CO ₃	0,399320	0,305348	3,051293	0,723641	1,221485	1,833191	0,401195	0,833020	1,422299	1,872371	

Πίνακας 8.7. Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για τον κόλπο της Ελευσίνας (εσωτερικό και δυτική έξοδος) (ολικές περιεκτικότητες).

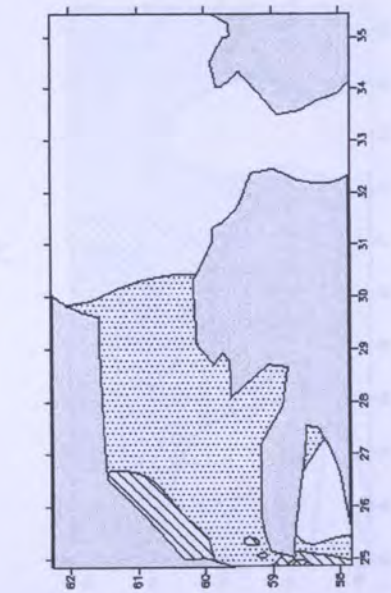
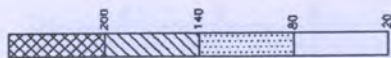
	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		-0,1407	0,2200	-0,1970	0,1356	0,3183	0,2225	0,3023	0,0141	-0,2613	0,1490
Al	-0,1407		0,7933	-0,1811	0,2948	0,6749	0,5328	0,3839	-0,5010	0,7441	0,1356
Mn	0,2200	0,7933		-0,3357	0,1746	0,8744	0,7235	0,6248	-0,3768	0,7870	0,2579
Ni	-0,1970	-0,1811	-0,3357		0,3681	-0,1970	-0,1543	-0,2010	0,1706	-0,2093	-0,0937
Cr	0,1356	0,2948	0,1746	0,3681		0,3332	0,4314	0,3847	-0,2214	-0,0300	-0,4239
Pb	0,3183	0,6749	0,8744	-0,1970	0,3332		0,9049	0,8258	-0,2726	0,6530	0,0917
Zn	0,2225	0,5328	0,7235	-0,1543	0,4314	0,9049		0,9347	-0,1612	0,5326	-0,0458
Cu	0,3023	0,3839	0,6248	-0,2010	0,3847	0,8258	0,9347		-0,1487	0,4729	0,0332
Cd	0,0141	-0,5010	-0,3768	0,1706	-0,2214	-0,2726	-0,1612	-0,1487		-0,4472	-0,5448
Sn	-0,2613	0,7441	0,7870	-0,2093	-0,0300	0,6530	0,5326	0,4729	-0,4472		0,4762
CO ₃	0,1490	0,1356	0,2579	-0,0937	-0,4239	0,0917	-0,0458	0,0332	-0,5448	0,4762	

Πίνακας 8.8. $t_{\text{κερ}}$ για τον κόλπο της Ελευσίνας (εσωτερικό και δυτική έξοδος) (14 δείγματα).

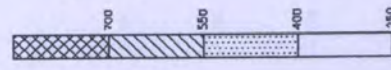
	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe	0,492296	0,781243	0,696069	0,474111	1,163117	0,790580	1,098598	0,048849	0,937749	0,521978	
Al	0,492296	4,513686	0,637897	1,068712	3,168306	2,181025	1,440226	2,005339	3,858345	0,474111	
Mn	0,781243	4,513686	1,234541	0,614268	6,242734	3,630579	2,772045	1,409134	4,418891	0,924672	
Ni	0,696069	0,637897	1,234541	1,371429	0,696069	0,540990	0,710791	0,599768	0,741459	0,326021	
Cr	0,474111	1,068712	0,614268	1,371429	1,224194	1,656482	1,443748	0,786470	0,103970	1,621307	
Pb	1,163117	3,168306	6,242734	0,696069	1,224194	7,364866	5,072416	0,981485	2,986776	0,319002	
Zn	0,790580	2,181025	3,630579	0,540990	1,656482	7,364866	9,109603	0,565813	2,179882	0,319002	
Cu	1,098598	1,440226	2,772045	0,710791	1,443748	5,072416	9,109603	0,520903	1,859203	0,158823	
Cd	0,048849	2,005339	1,409134	0,599768	0,786470	0,981485	0,565813	0,520903	1,731985	2,250559	
Sn	0,937749	3,858345	4,418891	0,741459	0,103970	2,986776	2,179882	1,859203	1,731985	1,875965	
CO ₃	0,521978	0,474111	0,924672	0,326021	1,621307	0,319002	0,158823	0,115072	2,250559	1,875965	



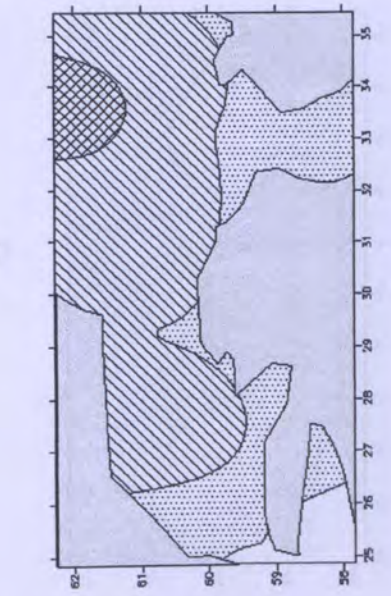
Al



Ni

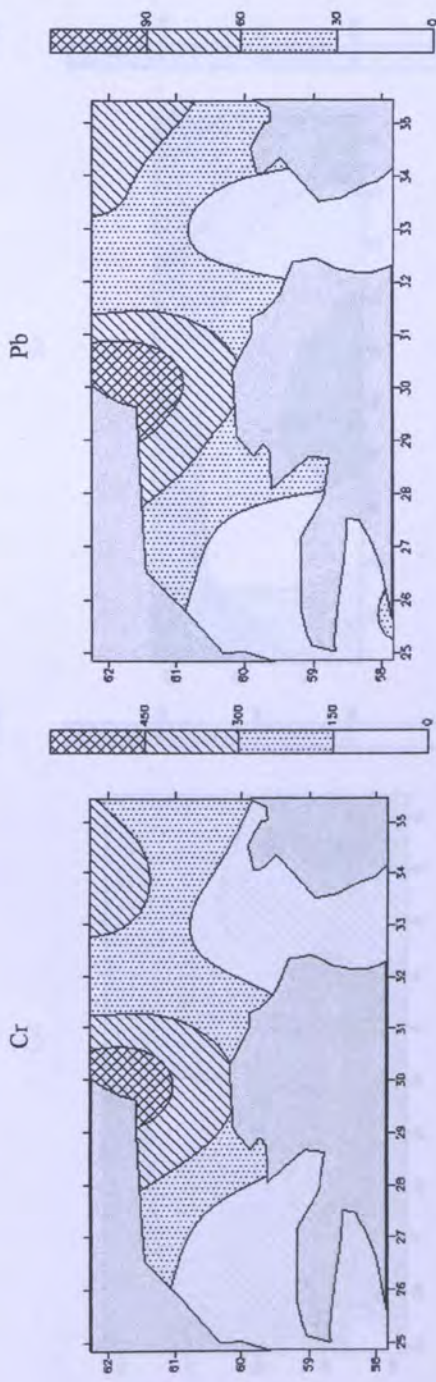
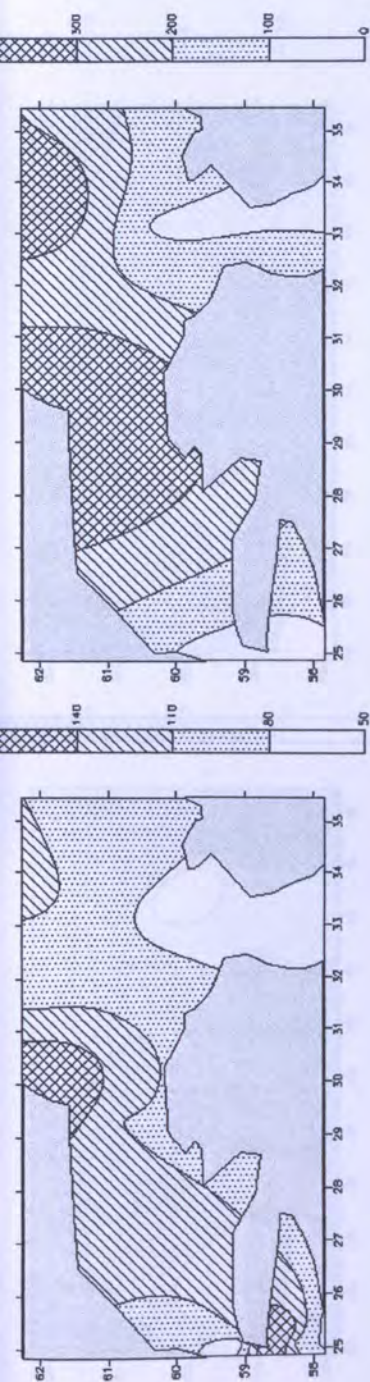


Fe

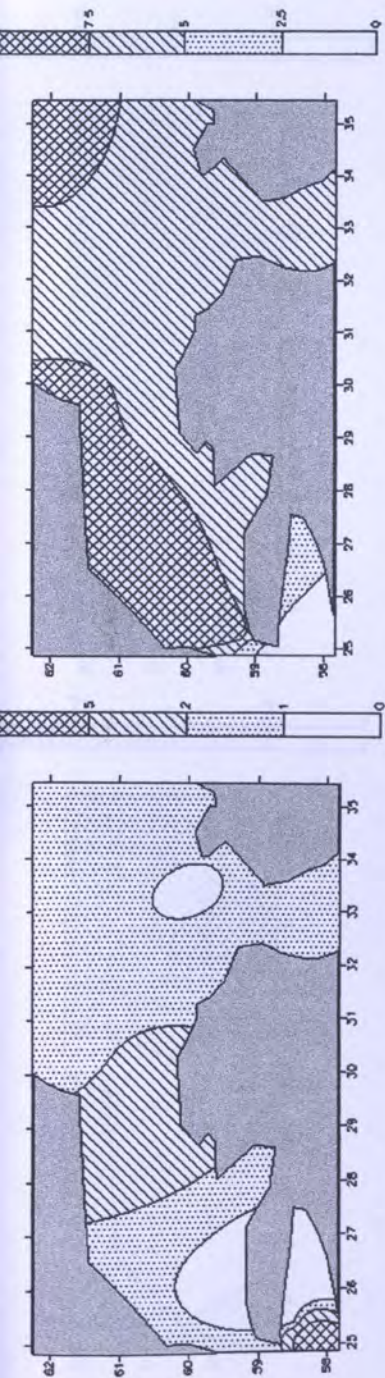


Mn

Σχήμα 8.4. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα του κόλπου της Ελευσίνας.

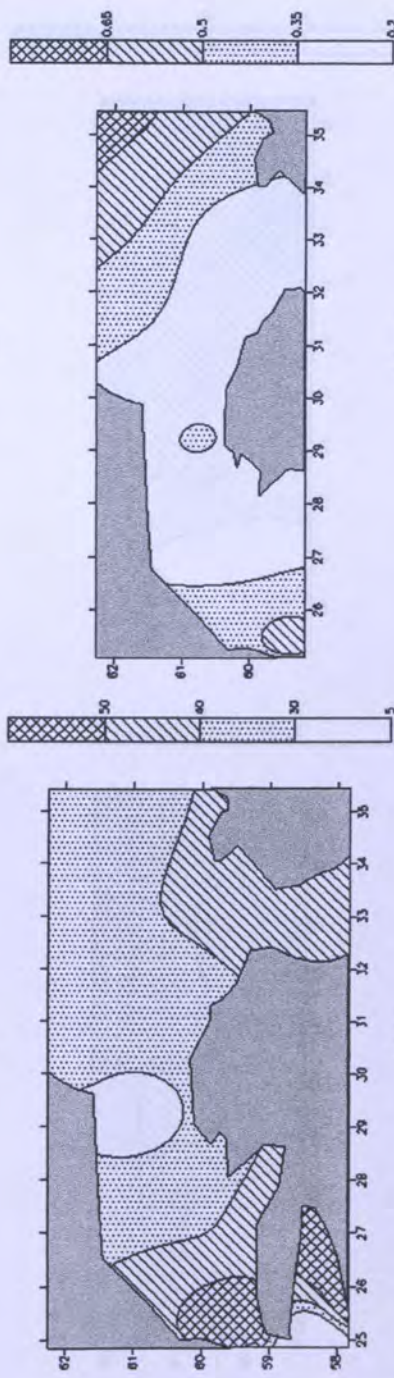


Σχήμα 8.5. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα του κόλπου της Ελευσίνας.



Cd

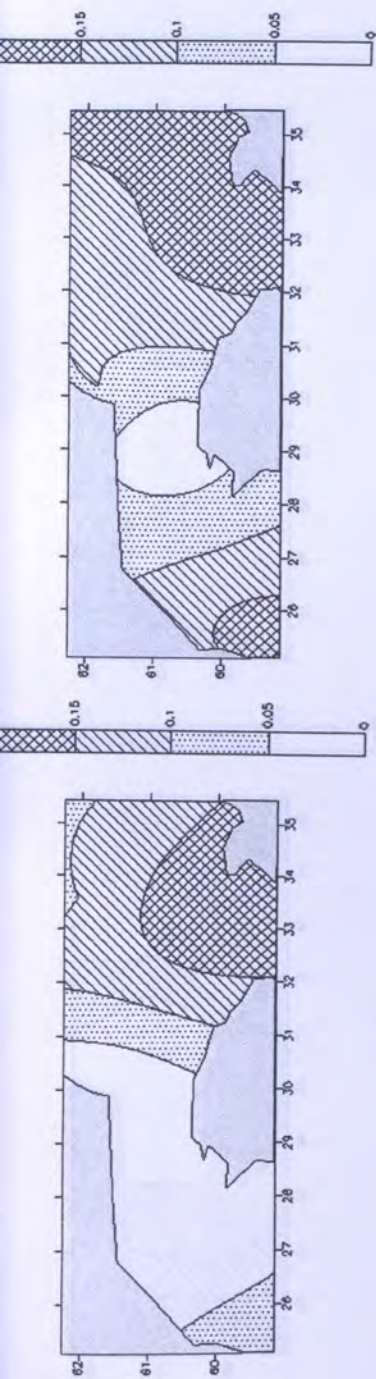
Mn



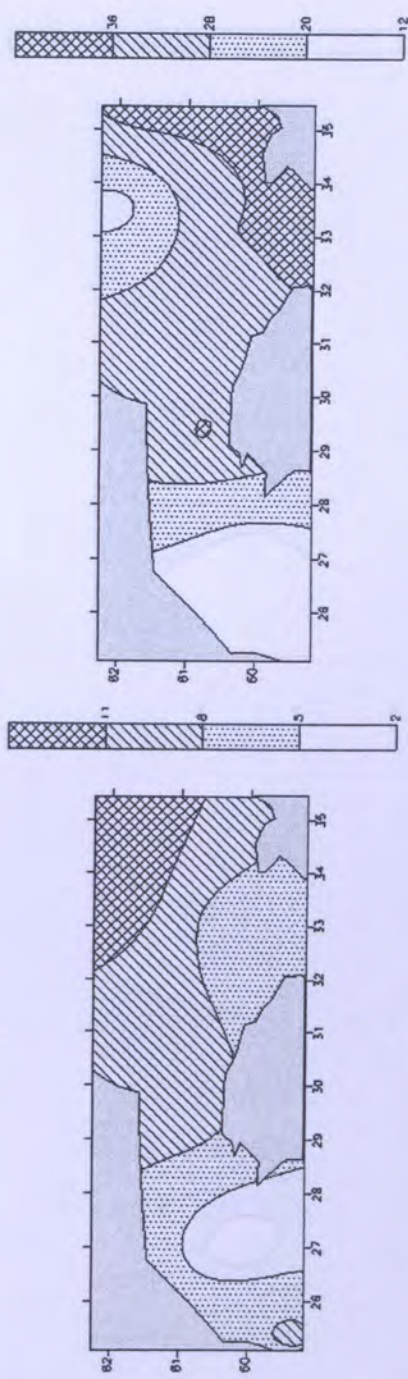
CO₂

Mn, A

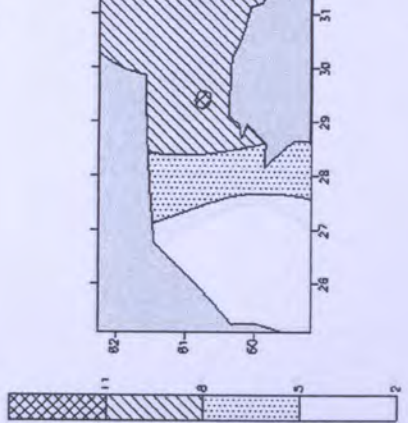
Σχήμα 8.6. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) ανθρακικών και ανθρακικών (%) και ανταλλάξιμο κλάσμα του μαγγανίου (% του ολικού) στα ιζήματα του κόλπου της Ελευσίνας.



A



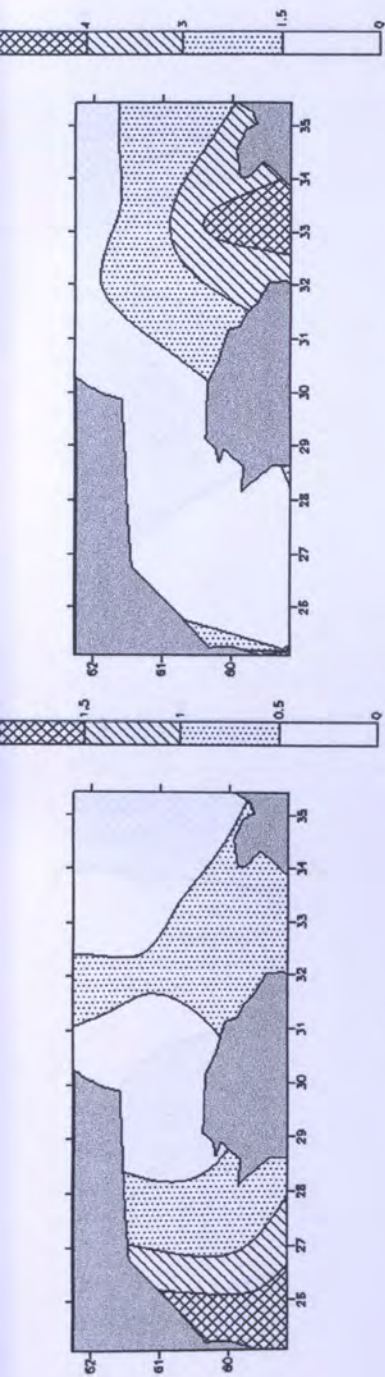
B



C

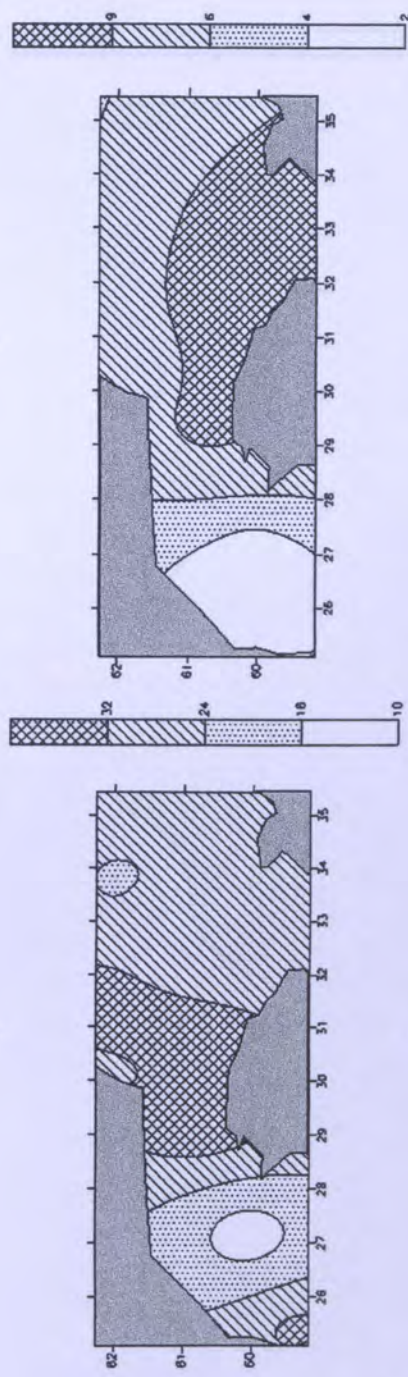
D

Σχήμα 8.7. Γεωχημικά κλάσματα (% του ολικού) του σιδήρου στα ιζήματα του κόλπου της Ελευσίνας.



A

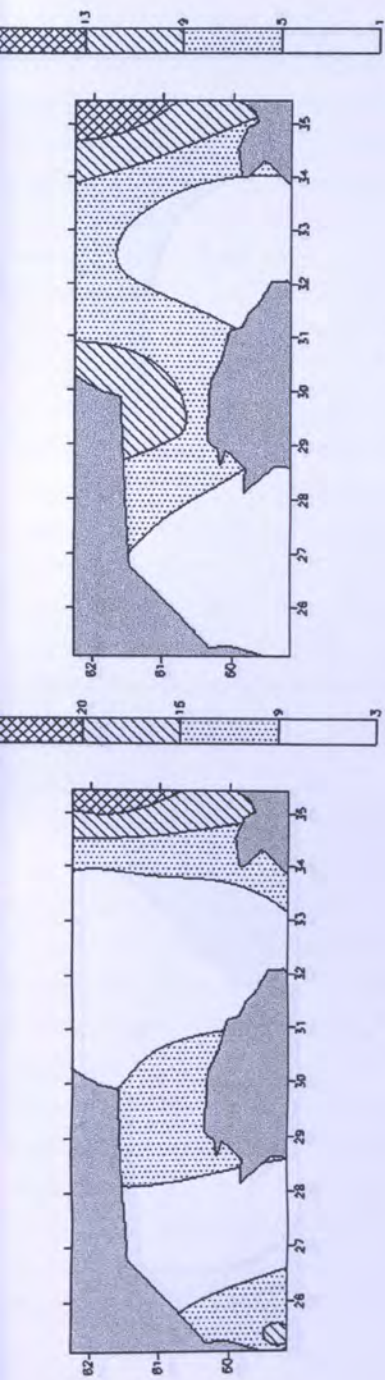
B



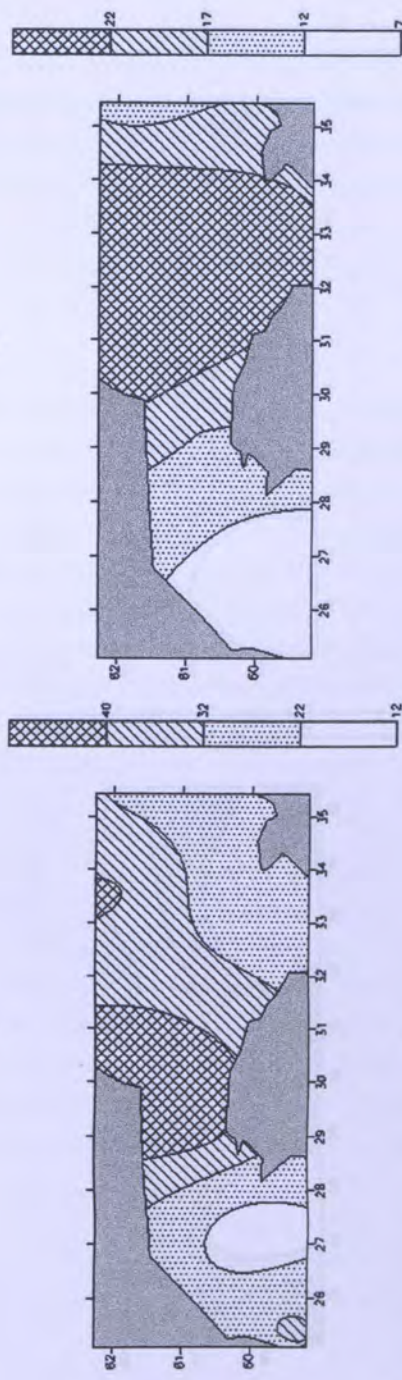
C

D

Σχήμα 8.8. Γεωχημικά κλάσματα (% του ολικού) του μολύβδου στα ιζήματα του κόλπου της Ελευσίνας.



A

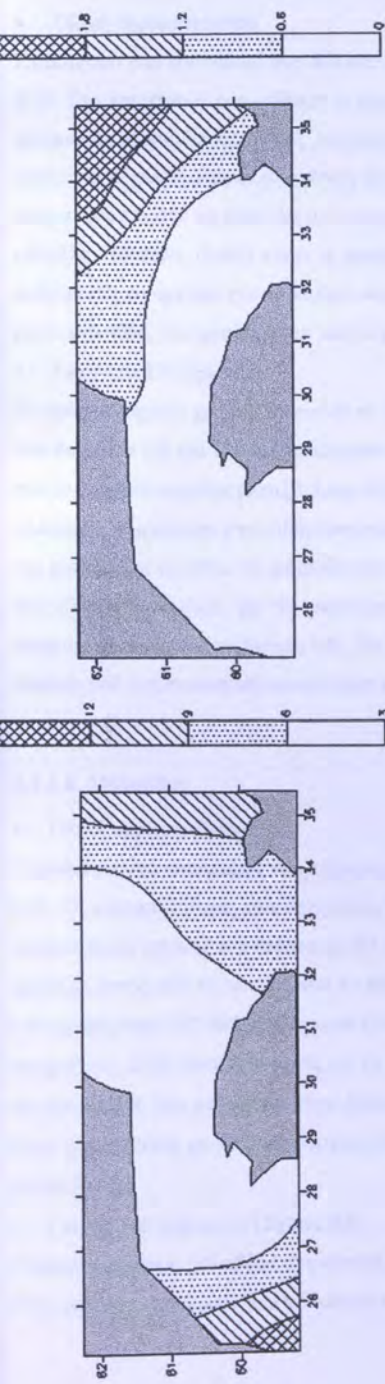


B

C

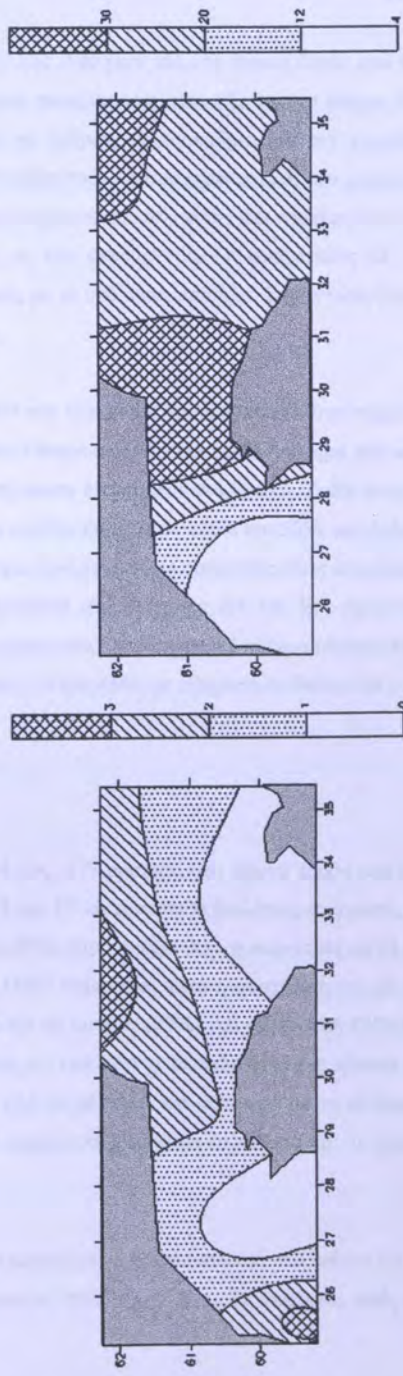
D

Σχήμα 8.9. Γεωχημικά κλάσματα (% του ολικού) του ψευδαργύρου στα ιζήματα του κόλπου της Ελευσίνας.



A

B



C

D

Σχήμα 8.10. Γεωχημικά κλάσματα (% του ολικού) του χαλκού στα ιζήματα του κόλπου της Ελευσίνας.

8.4.1.5. Χρώμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται στο εσωτερικό του κόλπου από 72 έως 180 ppm και στη δυτική έξοδο από 42 έως 185 ppm (Σχήμα 8.5). Στο εσωτερικό του κόλπου η μεγαλύτερη συγκέντρωση εμφανίζεται στο δείγμα E5 (Λουτρόπυργος). Το χρώμιο παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το κάδμιο και τον κασσίτερο και θετική με τα υπόλοιπα μέταλλα. Καμία συσχέτιση δεν είναι σημαντική. Οι συσχετίσεις ΣΔΕ του χρωμίου είναι αρνητικές με τα ανθρακικά και από τα μέταλλα με το μαγγάνιο, το χαλκό, το κάδμιο και τον κασσίτερο και θετικές με τα υπόλοιπα μέταλλα. Μεγάλη (0,69) είναι η συσχέτιση με τον ψευδάργυρο. Οι συσχετίσεις ΣΚ είναι αρνητικές με τα ανθρακικά, το αργίλιο και το κάδμιο και θετικές με τα υπόλοιπα μέταλλα. Σημαντικές (95%) είναι οι συσχετίσεις με το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο και το χαλκό.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο χρώμιο αποτελεί το 1 με 4% του ολικού με αυξημένες απόλυτες τιμές στην δυτική έξοδο και στα δείγματα E4 και E5, ενώ αυξημένο ποσοστό παρουσιάζεται και στο ΝΑ τμήμα του κόλπου (E9). Το χρώμιο στα ανθρακικά κινείται μεταξύ 3 και 6%, με εξαίρεση ένα σημείο στη δυτική έξοδο, όπου πλησιάζει το 12%. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία κινείται μεταξύ 8 και 20%, με εξαίρεση το δείγμα E8 όπου υπερβαίνει το 40%. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 11 και 27% του ολικού μετάλλου, με τα μεγαλύτερα ποσοστά στα δείγματα E4 και E5, όπου παρουσιάζονται και οι υψηλότερες τιμές (με το δείγμα E8). Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα είναι από 42 με 71% του ολικού, ενώ στο εσωτερικό του κόλπου είναι από 50 έως 66%, με εξαίρεση το δείγμα E8, όπου πέφτει στο 25%.

8.4.1.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται στο εσωτερικό του κόλπου από 84 έως 477 ppm και στη δυτική έξοδο από 0 έως 262 ppm (Σχήμα 8.5). Οι περιεκτικότητες των δειγμάτων E4, E5 και E7 είναι περίπου διπλάσιες από αυτές των E1, E6 και E8 και πενταπλάσιες εκείνης του δείγματος E9. Ο μόλυβδος παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και τα άλλα μέταλλα εκτός από το νικέλιο και το κάδμιο. Πολύ σημαντική είναι η συσχέτισή του με το μαγγάνιο (99,99%), τον ψευδάργυρο (99,99%), το χαλκό (99,9%) και το αργίλιο (99%) και σημαντική (95%) με τον κασσίτερο. Οι συσχετίσεις ΣΔΕ είναι αρνητικές με το αργίλιο, το νικέλιο και το κάδμιο, χωρίς κάποια να είναι σημαντική. Η συσχέτιση ΣΚ του μολύβδου είναι θετική με όλα τα μέταλλα και αρνητική με τα ανθρακικά. Πολύ σημαντική είναι η συσχέτιση με τον ψευδάργυρο (99%), σημαντική (95%) με το σίδηρο και το χρώμιο και μεγάλη με το χαλκό (0,73).

- Γεωχημικά κλάσματα (Σχήμα 8.8)

Ο προσροφημένος μόλυβδος στη δυτική έξοδο πλησιάζει το 6% του ολικού στο δείγμα E2 (στο E3 υπερβαίνει το 2%), ενώ στο εσωτερικό του κόλπου δεν ξεπερνά το 0,6% του ολικού. Σε απόλυτες τιμές οι διαφορές είναι πολύ

μικρότερες. Ο μόλυβδος που μετρήθηκε στα ανθρακικά δεν υπερβαίνει τα 4 ppm, ενώ υπερβαίνει το 11% στο δείγμα E2 και το 4% στο δείγμα E9, παραμένοντας κάτω από το 1,5% στα υπόλοιπα δείγματα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία κυμαίνεται μεταξύ του 23 και 42% του ολικού, με εξαίρεση το δείγμα E1 (<10%). Λόγω της διαφοράς των ολικών συγκεντρώσεων η κατανομή των απολύτων τιμών είναι παρόμοια με αυτή των ολικών συγκεντρώσεων. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης βρίσκεται κάτω από το 8% του ολικού με εξαίρεση τα δείγματα E4 και E9, με γενικά πιο μεγάλες συγκεντρώσεις στο εσωτερικό του κόλπου και ιδιαίτερα στο ανατολικό τμήμα του. Ο μόλυβδος που είναι δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αντιπροσωπεύει το 47 με 70% του ολικού μετάλλου (E1 86%). Οι μεγαλύτερες απόλυτες τιμές εμφανίζονται στο Β τμήμα του κόλπου, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά προς τη δυτική έξοδο.

8.4.1.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται στο εσωτερικό του κόλπου από 60 (E9) έως 590 ppm και στη δυτική έξοδο από 43 έως 98 ppm (Σχήμα 8.5). Στο εσωτερικό του κόλπου τα δείγματα με μεγάλες τιμές μολύβδου παρουσιάζουν και τις μεγαλύτερες τιμές ψευδαργύρου. Ο ψευδάργυρος παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το νικέλιο και το κάδμιο και θετική με τα υπόλοιπα μέταλλα. Η συσχέτισή του είναι πολύ σημαντική με το μόλυβδο (99,99%), το χαλκό (99,99%) και το μαγγάνιο (99%) και σημαντική (95%) με το αργίλιο και τον κασίτερο. Οι ΣΔΕ συσχετίσεις του ψευδαργύρου είναι αρνητικές με το σίδηρο, το χαλκό, το κάδμιο και τα ανθρακικά και θετικές με τα άλλα μέταλλα. Καμία συσχέτιση δεν είναι σημαντική. Η ΣΚ συσχέτιση του ψευδαργύρου είναι αρνητική με τα ανθρακικά και το αργίλιο και θετική με όλα τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του είναι πολύ σημαντική (99%) με το μόλυβδο και το χαλκό, σημαντική (95%) με το χρώμιο και μεγάλη με το σίδηρο (0,71).

- Γεωχημικά κλάσματα (Σχήμα 8.9)

Ο προσροφημένος ψευδάργυρος παρουσιάζει τα μεγαλύτερα ποσοστά στα δείγματα E3, E4 και E8 (18, 14 και 25% αντίστοιχα). Στα ίδια δείγματα παρουσιάζονται και οι μεγαλύτερες απόλυτες τιμές. Στα άλλα δείγματα κυμαίνονται μεταξύ 3 και 8% του ολικού μετάλλου, με μεγαλύτερα ποσοστά στο εσωτερικό του κόλπου. Η κατανομή του ψευδαργύρου που μετρήθηκε στα ανθρακικά είναι παρόμοια, τόσο από πλευράς απόλυτων τιμών όσο και από πλευράς ποσοστών (μέγιστη τιμή στο E8 17%). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία παρουσιάζει τα μεγαλύτερα ποσοστά και τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στα ίδια σημεία (μεγαλύτερη στο E5 49%) με τις χαμηλότερες τιμές στη δυτική έξοδο. Ίδια κατανομή παρουσιάζει το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης όσον αφορά τις απόλυτες τιμές (E5 139 ppm). Τα μεγαλύτερα ποσοστά (23-26%) παρουσιάζονται στα δείγματα E5, E6, E7 και E9. Στα άλλα δείγματα κυμαίνονται μεταξύ 7 και 14%. Ο δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα ψευδάργυρος παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στο ΒΑ τμήμα του κόλπου, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά παρουσιάζονται στη δυτική έξοδο (E1 71%, E2 68%). Τα μικρότερα ποσοστά (< 15 %) παρουσιάζονται στα δείγματα E4, E5 και E8.

8.4.1.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται στο εσωτερικό του κόλπου από 16 (E9) έως 138 (E5) ppm και στη δυτική έξοδο από 8 έως 36 ppm (Σχήμα 8.5). Η τιμή στο E5 είναι περίπου διπλάσια αυτής στα δείγματα E4, E7 E8 και τετραπλάσια αυτής στο E6. Ο χαλκός παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και τα άλλα μέταλλα εκτός από το νικέλιο και το κάδμιο. Η συσχέτισή του χαλκού είναι πολύ σημαντική με τον ψευδάργυρο (99,99%) και το μόλυβδο (99,9%) και σημαντική (95%) με το μαγγάνιο. Προκειμένου για τις ΣΔΕ, οι συσχετίσεις του χαλκού είναι αρνητικές με το αργίλιο, το νικέλιο, το χρώμιο, τον ψευδάργυρο και τον κασσίτερο και θετικές με τα άλλα μέταλλα και με τα ανθρακικά. Ο χαλκός παρουσιάζει σημαντική συσχέτιση (95%) με το σίδηρο. Όσον αφορά τα δείγματα ΣΚ, η συσχέτιση του χαλκού είναι αρνητική με τα ανθρακικά και το αργίλιο και θετική με όλα τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του χαλκού είναι πολύ σημαντική (99%) με τον ψευδάργυρο, σημαντική (95%) με το χρώμιο και μεγάλη με το μόλυβδο (0,73).

- Γεωχημικά κλάσματα (Σχήμα 8.10)

Ο προσροφημένος χαλκός παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή του (9 ppm, 11%) στο δείγμα E8. Γενικά οι απόλυτες τιμές είναι μεγαλύτερες στο εσωτερικό του κόλπου, ενώ τα ποσοστά (λόγω χαμηλότερης ολικής περιεκτικότητας) είναι υψηλά στη δυτική έξοδο. Ο χαλκός στα ανθρακικά παρουσιάζεται σχετικά αυξημένος στο ΒΑ τμήμα του κόλπου (E8 2,4%), ενώ στη δυτική έξοδο είναι μηδενικός. Το κλάσμα του χαλκού στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία είναι μικρό, φτάνοντας το 4 % (E3, E6). Μειώνεται στο ΝΑ τμήμα του κόλπου. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αντιπροσωπεύει το 4 με 11% του ολικού μετάλλου στη δυτική έξοδο, ενώ στο εσωτερικό του κόλπου το 20 με 44% του ολικού μετάλλου, με τις μεγαλύτερες τιμές στα E4 και E5, όπου παρουσιάζονται και οι μεγαλύτερες απόλυτες τιμές. Το κλάσμα του μετάλλου που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι το μεγαλύτερο, αντιπροσωπεύοντας το 70 – 92% του ολικού στη δυτική έξοδο, ενώ στο εσωτερικό του κόλπου το 50 με 73%.

8.4.1.9. Κάδμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το κάδμιο κυμαίνεται στο εσωτερικό του κόλπου από 0,85 έως 3,75 (E4) ppm και στη δυτική έξοδο από 1 έως 13 ppm (Σχήμα 8.6). Η επόμενη μεγάλη τιμή στη δυτική έξοδο είναι 5,5 ppm. Οι τιμές εμφανίζονται μειωμένες στο Α τμήμα του κόλπου. Το κάδμιο παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το σίδηρο και το νικέλιο και αρνητική με τα υπόλοιπα μέταλλα και με τα ανθρακικά (σημαντική 95%). Οι συσχετίσεις του καδμίου στα ΣΔΕ είναι θετικές με το σίδηρο, το νικέλιο και το χαλκό και αρνητικές με τα άλλα μέταλλα και με τα ανθρακικά. Δεν παρουσιάζει καμία σημαντική συσχέτιση. Όσον αφορά τα ΣΚ δείγματα οι συσχετίσεις είναι αρνητικές με τα ανθρακικά (σημαντική 95%), το μαγγάνιο, το χρώμιο και τον κασσίτερο και θετική με όλα τα άλλα μέταλλα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κάδμιο έχει πιο αυξημένα ποσοστά και απόλυτες τιμές στο εσωτερικό του κόλπου ξεπερνώντας το 9 % (E4, E7, E8), ενώ στη δυτική έξοδο δεν ξεπερνά το 6 %. Παρόμοια κατανομή παρουσιάζει

και κλάσμα του καδμίου ανθρακικά (δυτική έξοδος <6 %, E6 20 %, E8 17 %). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία αποτελεί το 8 με 30 του ολικού μετάλλου στη δυτική έξοδο, ενώ στο εσωτερικό του κόλπου το 28 με 40% του ολικού καδμίου. Η μέγιστη απόλυτη τιμή (1 ppm) παρουσιάζεται στο E4, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό στο E7. Τα ποσοστά εμφανίζονται αυξημένα στο Α τμήμα του κόλπου. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει σταθερό ποσοστό στη δυτική έξοδο (12-15%), ενώ στο κέντρο του κόλπου κυμαίνεται μεταξύ 8 και 24% (E6) του ολικού μετάλλου. Οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στο Β και ανατολικό τμήμα του κόλπου. Το κλάσμα του καδμίου στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αντιστοιχεί στο 49 με 72% του ολικού στη δυτική έξοδο, ενώ στο εσωτερικό του κόλπου τα ποσοστά είναι αρκετά μικρότερα (18 με 47%) και ιδιαίτερα στο ΒΑ τμήμα του κόλπου.

8.4.1.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο κασσίτερος κυμαίνεται από 5 έως 8 ppm στο κέντρο του κόλπου και στη δυτική έξοδο στα περισσότερα σημεία είναι μηδενικός (E3 9,2 ppm). Ο κασσίτερος παρουσιάζεται σχετικά αυξημένος στο ΒΔ και ΒΑ τμήμα του κόλπου (Σχήμα 8.6). Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με το σίδηρο, το νικέλιο, το χρώμιο και το κάδμιο και αρνητική με τα άλλα μέταλλα και με τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του είναι πολύ σημαντική με το μαγγάνιο (99,9%) και με το αργίλιο (99%) και σημαντική (95%) με το μόλυβδο και τον ψευδάργυρο. Οι ΣΔΕ συσχετίσεις του κασσιτέρου είναι αρνητικές με το σίδηρο, το χρώμιο, και το χαλκό και θετικές με τα άλλα μέταλλα και με τα ανθρακικά. Παρουσιάζει μεγάλη συσχέτιση με το μαγγάνιο (0,73). Οι ΣΚ συσχετίσεις του μετάλλου είναι θετικές με τα ανθρακικά και όλα τα μέταλλα πλην του καδμίου (καμία σημαντική).

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος κασσίτερος δεν ξεπερνά το 3,5 % του ολικού (E6) και παρουσιάζεται μειωμένος στο Α και Δ τμήμα του κόλπου. Το κλάσμα του μετάλλου στα ανθρακικά, με εξαίρεση το δείγμα E9 (>7%), βρίσκεται κάτω από το 4% του ολικού, με τις μικρότερες τιμές στο Β τμήμα του κόλπου. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία παρουσιάζεται αυξημένο στη δυτική έξοδο (13-23%), ενώ πουθενά στο εσωτερικό του κόλπου δεν ξεπερνά το 12%. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης δεν ξεπερνά το 7 % με μεγαλύτερες τιμές στα δείγματα E3, E6 και E9. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα είναι το μεγαλύτερο, αποτελώντας το 70 με 89% του ολικού μετάλλου. Τα μικρότερα ποσοστά εμφανίζονται στα δείγματα E1 και E2 και τα μεγαλύτερα στο Β τμήμα του κόλπου.

8.4.1.11. Ανθρακικά

Τα ανθρακικά παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση στη δυτική έξοδο, κυμαινόμενα από 5 μέχρι και 65%. Στο εσωτερικό του κόλπου αντίθετα η κατάσταση παρουσιάζεται πιο ομαλή, με τα ανθρακικά να κυμαίνονται μεταξύ 26 και 42%. Οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται όταν απομακρυνόμαστε από τη βόρεια ακτή του κόλπου

(Σχήμα 8.6). Τα ανθρακικά παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση με το νικέλιο, το χρώμιο, τον ψευδάργυρο και το κάδμιο και θετική με τα υπόλοιπα μέταλλα. Όσον αφορά τα δείγματα ΣΔΕ οι συσχετίσεις των ανθρακικών εμφανίζουν παρόμοια εικόνα, με σημαντική συσχέτιση (95%) με το μαγγάνιο. Σχετικά με τα δείγματα ΣΚ οι συσχετίσεις των ανθρακικών είναι θετικές μόνο με το αργίλιο, το μαγγάνιο και τον κασσίτερο, ενώ η αρνητική συσχέτιση με το κάδμιο είναι σημαντική (95%).

8.4.2. Πυρήνες

Στο εξής στο κεφάλαιο αυτό με τη λέξη βάθος (για τον πυρήνα) εννοείται απόσταση από την επιφάνεια του πυθμένα (ανώτατο σημείο του πυρήνα). Οι συσχετίσεις γίνονται μόνο για τον ίδιο πυρήνα. Ο χωρισμός του κάθε πυρήνα σε ζώνες και όλες οι τιμές που μετρήθηκαν παρουσιάζονται στο παράρτημα. Ο χωρισμός σε ζώνες για τη λήψη δείγματος έγινε με βάση τις διαφορές στο χρώμα και τη υφή του υλικού του κάθε πυρήνα. Το δείγμα προέρχεται από το μέσο της κάθε ζώνης. Κορυφή είναι το βάθος 0 και βάση το μήκος του πυρήνα (εκ.). Όταν αναφέρεται αύξηση (μείωση) με το βάθος εννοείται ότι η συνάρτηση: $\text{τιμή μετάλλου} = f(\text{βάθος})$ είναι γνησίως αύξουσα (φθίνουσα). Αλλιώς χρησιμοποιείται η έκφραση τάση αύξησης (μείωσης). Οι συγκρίσεις των τιμών των γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων αναφέρονται στο ποσοστό % του κλάσματος επί του ολικού (εκτός αν ορίζεται σαφώς η σύγκριση απολύτων τιμών). Όλοι οι πυρήνες είχαν γκριζό χρώμα (πιο σκούρο από το gull grey) και αποτελούνταν από ιλύ και άργιλο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο ρυθμός ιζηματογένεσης στον κόλπο της Ελευσίνας έχει υπολογιστεί σε 0,5-0,8 cm το χρόνο (Scoullou 1986).

8.4.2.1. Πυρήνας ΕΠ1

Έχει ληφθεί σε βάθος 33,1 m, έχει μήκος 42 cm, και για δειγματοληψία επελέγησαν 4 ζώνες (τα αντίστοιχα σημεία σε παρένθεση) μετρώντας σε εκατοστά από την κορυφή του πυρήνα: 0-3 (1,5), 8-11 (9,5), 17-20 (18,5), 38-42 (40). Στον Πίνακα 8.9 δίνονται οι περιεκτικότητες σε μέταλλα και στον Πίνακα 8.10 τα ποσοστά των γεωχημικών κλασμάτων επί του ολικού μετάλλου.

8.4.2.1.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο σίδηρος μειώνεται με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με τα άλλα μέταλλα εκτός από το αργίλιο, το κάδμιο (σχεδόν μηδενική) και τον κασσίτερο. Οι τιμές του μειώνονται μόνο κατά 1% σε όλο το μήκος του πυρήνα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο ο προσροφημένος σίδηρος όσο και ο σίδηρος στα ανθρακικά έχουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το μήκος του πυρήνα. Ο ευρισκόμενος υπό μορφή οξειδίων σίδηρος αυξάνεται λίγο με το βάθος, από 2,3 σε 4,5%,

ενώ το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης έχει αυξητική τάση με το βάθος κυμαινόμενος από 12 (18,5 εκ.) μέχρι 18% (40 εκ.) του ολικού μετάλλου. Ο σίδηρος που είναι εγκλωβισμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 82 με 83% του ολικού στα 3 ανώτερα στρώματα και το 77 % στο κατώτατο.

8.4.2.1.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το αργίλιο έχει τάση αύξησης με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση μόνο με τον κασσίτερο και το κάδμιο (σχεδόν μηδενική). Στο επιφανειακό ίζημα του πυρήνα η τιμή είναι περίπου μειωμένη κατά 10%.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο το προσροφημένο κλάσμα όσο και το αργίλιο στα ανθρακικά παρουσιάζουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το μήκος του πυρήνα. Το ποσοστό του αργιλίου στα οξειδία του σιδήρου και του μαγγανίου είναι σταθερό στο 0,5 %, ενώ εκείνο στο κλάσμα σουλφιδίων / οργανικής ύλης έχει πολύ μικρή τάση μείωσης με το βάθος κυμαινόμενο από 3,5 (0 εκ.) μέχρι 2,3 (18,5 εκ.) % του ολικού μετάλλου. Το αργίλιο που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 96 με 97,2% του ολικού.

8.4.2.1.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το μαγγάνιο παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με τα άλλα μέταλλα εκτός από το αργίλιο, το κάδμιο και τον κασσίτερο, με τα οποία παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση. Η μεγαλύτερη τιμή του (που απαντάται στο επιφανειακό ίζημα του πυρήνα) διαφέρει από τη μικρότερη κατά 20% περίπου.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μαγγάνιο είναι πρακτικά σταθερό με μικρή τάση αύξησης με το βάθος, κυμαινόμενο μεταξύ 0,24 και 0,36% του ολικού. Το ποσοστό του μαγγανίου στα ανθρακικά είναι σαφώς μεγαλύτερο και από 7,7% στην επιφάνεια του πυρήνα διπλασιάζεται στη βάση του. Το κλάσμα στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία είναι 30% στην επιφάνεια του πυρήνα και 38% στα άλλα σημεία. Το μέταλλο που μετρήθηκε στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι πρακτικά σταθερό κυμαινόμενο μεταξύ 8 και 9% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 53% του ολικού στην επιφάνεια του πυρήνα, το 36 % στη βάση και το 43 % στα δύο άλλα σημεία.

8.4.2.1.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το νικέλιο παρουσιάζει μια ελάχιστη τάση αύξησης με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με τα άλλα μέταλλα εκτός από το αργίλιο, το κάδμιο και τον κασσίτερο, με τα οποία παρουσιάζει

αρνητική συσχέτιση. Παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στα δύο άκρα του πυρήνα, αυξημένες κατά 60 % περίπου από τις άλλες τιμές.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο νικέλιο είναι πρακτικά σταθερό (αυξάνεται), κυμαινόμενο μεταξύ 2,5 και 2,6% του ολικού. Το μέταλλο που ανιχνεύτηκε στα ανθρακικά παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές του στα δύο ενδιάμεσα σημεία (9 %) και τη μικρότερη τιμή του στην επιφάνεια του πυρήνα (3%). Το μέταλλο που μετρήθηκε στα οξειδία σιδήρου και μαγγανίου είναι 25% στα 9,5 εκ., ενώ στην κορυφή του πυρήνα είναι 12% και στα άλλα δύο σημεία 15-16%. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι στο 10% στη μέση του πυρήνα (18,5 εκ.) και κυμαίνεται μεταξύ 21 και 27% του ολικού μετάλλου στα άλλα τρία σημεία. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κυμαίνεται από το 36% (9,5 εκ) μέχρι το 65% (18,5 εκ.) του ολικού.

8.4.2.1.5. Χρώμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το χρώμιο παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με τα άλλα μέταλλα εκτός από το αργίλιο, τον ψευδάργυρο και τον κασσίτερο, με τα οποία παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση. Οι τιμές του στα δύο ανώτερα στρώματα είναι ανώτερες κατά 40 % περίπου από τις άλλες.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο χρώμιο είναι πρακτικά σταθερό με μικρή τάση αύξησης, κυμαινόμενο μεταξύ 1,2 και 2,2 % του ολικού. Το κλάσμα που μετρήθηκε στα ανθρακικά είναι λίγο μεγαλύτερο και αυξάνεται από 3,9% στην κορυφή του πυρήνα σε 6% του ολικού στη βάση του. Το κλάσμα στα οξειδία σιδήρου και μαγγανίου είναι μεταξύ 8% και 12% (18,5 εκ.) του ολικού μετάλλου. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι πρακτικά σταθερό κυμαινόμενο μεταξύ 12,5 (9,5 εκ.) και 15% (επιφάνεια του πυρήνα) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 68% (18,5 εκ.) με 73% (9,5 εκ.) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.1.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο μόλυβδος μειώνεται με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με τα άλλα μέταλλα εκτός από το αργίλιο, το κάδμιο και τον κασσίτερο, με τα οποία παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση. Οι τιμή του στην επιφάνεια του πυρήνα είναι πενταπλάσια από τις άλλες τιμές του.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος μόλυβδος αυξάνεται από το 0,8% του ολικού στην κορυφή στο 2,5% στη βάση του πυρήνα. Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της αυξημένης ολικής περιεκτικότητας σε μόλυβδο στην κορυφή του πυρήνα, το σημείο αυτό παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές σε όλα τα κλάσματα. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι από 0,4% (κορυφή) μέχρι 1,6% (9,5 εκ.). Το μέταλλο στα οξειδία του σιδήρου και του μαγγανίου είναι μεταξύ

9,7% στην κορυφή και 32% στη βάση του πυρήνα (24% στα άλλα δύο σημεία). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι πρακτικά σταθερό κυμαινόμενο μεταξύ 2,7 (18,5 εκ.) και 3,7% (βάση του πυρήνα) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 63% (9,5 εκ.) με 86% (επιφάνεια) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.1.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο ψευδάργυρος παρουσιάζει ελάχιστη τάση αύξησης με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με τα άλλα μέταλλα εκτός από το αργίλιο, το χαλκό, το κάδμιο και τον κασσίτερο, με τα οποία παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση. Οι τιμές του κινούνται σε σταθερά επίπεδα, με την μέγιστη τιμή να διαφέρει 15% από την ελάχιστη.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος ψευδάργυρος παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος, κυμαινόμενος από το 1,6% του ολικού (βάση πυρήνα) μέχρι το 3% (0 εκ., 9,5 εκ.). Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι σταθερό μεταξύ 1% (βάση) και 1,3% (9,5 εκ.). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία μειώνεται με το βάθος από 14,4% στην κορυφή σε 8,9% στη βάση του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 10,3% (βάση) και 15% (9,5 εκ.) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 67% (9,5 εκ.) με 78% (βάση) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.1.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Ο χαλκός μειώνεται με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με τα άλλα μέταλλα εκτός από το αργίλιο, τον ψευδάργυρο και τον κασσίτερο, με τα οποία παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση. Οι τιμές στα δύο ανώτερα σημεία είναι διπλάσιες από τις άλλες.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος χαλκός παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος, κυμαινόμενος από το 3,3% του ολικού (9,5 εκ.) μέχρι το 8,2% (βάση). Λόγω της αυξημένης ολικής περιεκτικότητας σε χαλκό στην κορυφή του πυρήνα, το σημείο αυτό παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στα μη μηδενικά κλάσματα. Το μέταλλο στα ανθρακικά και στα οξειδία του σιδήρου και του μαγνηίου είναι μηδενικό σε όλο το μήκος του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 0% (18,5 εκ) και 8,6% (βάση) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 83% (βάση) με 95% (18,5 εκ.) του ολικού μετάλλου.

Πίνακας 8.9 (1/2). Πυρήνας Ε1 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%)

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
0-3	T	19789	41052	599,75	133,5	121	262,5	57,1	19,5	1,42	8	37,5
	A	6	0	1,46	3,3	1,53	2,1	1,69	0,77	0,03	0,2	
	B	10	0	46,37	4,2	4,72	1	0,68	0	0,08	0,2	
	C	459	208	182,53	16,5	10,15	25,5	8,21	0	0,12	1,4	
	D	2968	1428	53,7	31,1	18,3	8	5,97	0,8	0,17	0,3	
	R	16346	39416	315,69	78,4	86,3	225,9	40,55	17,93	1,02	5,9	
8-11	T	19644	44380	482,5	84	118	62	49,6	16,25	2,17	9,1	32
	A	3	0	1,4	2,1	1,93	1,1	1,51	0,54	0,04	0,1	
	B	13	0	49,1	7,5	5,06	1	0,63	0	0,17	0,2	
	C	736	213	185,13	21,2	9,9	15	6,73	0	0,45	1,4	
	D	2770	1127	39,15	22,6	14,8	2	7,45	0,7	0,69	0,4	
	R	16122	43040	207,72	30,6	86	42,9	33,28	15,01	0,82	7	
17-20	T	19619	44055	486,5	68,5	87,75	55	57,1	8,75	1,9	9	29,1
	A	6	0	1,37	1,8	1,88	1	1,32	0,42	0,03	0,2	
	B	15	0	49,38	4,8	4,31	0,6	0,63	0	0,27	0,2	
	C	853	233	185,58	10,7	10,13	13	6,72	0	0,7	1,4	
	D	2399	994	38,13	7	12,08	1,5	7,01	0	0,69	0,8	
	R	16346	42828	212,04	44,2	59,35	38,9	41,42	8,33	0,21	6,4	

Πίνακας 8.9 (2/2). Πυρήνας Ε1 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%)

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
38-42	T	19577	45500	520	121,5	88,5	40,5	54,7	8,75	1,12	8,7	35,3
	A	4	0	1,88	3,2	1,68	1	0,86	0,72	0,02	0,1	
	B	19	0	83,49	5,7	5,28	0,6	0,53	0	0,05	0,2	
	C	881	233	201	17,8	8,63	13	4,85	0	0,21	1,2	
	D	3551	1175	46,28	26,2	12,25	1,5	5,62	0,75	0,08	0,4	
	R	15122	44092	187,35	68,6	60,66	24,4	42,84	7,28	0,76	6,8	

Πίνακας 8.10. Πυρήνας Ε1 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Ποσοστά γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων (% του ολικού μετάλλου).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
0-3	A	0	0	0.24	2.47	1.26	0.8	2.96	3.95	2.11	2.5
	B	0.1	0	7.73	3.15	3.9	0.38	1.19	0	5.63	2.5
	C	2.3	0.5	30.43	12.32	8.39	9.71	14.38	0	8.45	17.5
	D	15	3.5	8.95	23.3	15.12	3.05	10.46	4.1	11.97	3.75
	R	82.6	96	52.65	58.76	71.33	86.06	71.01	91.95	71.84	73.75
8-11	A	0	0	0.29	2.5	1.64	1.77	3.04	3.32	1.84	1.1
	B	0.1	0	10.18	8.93	4.29	1.61	1.27	0	7.83	2.2
	C	3.7	0.5	38.37	25.24	8.39	24.19	13.57	0	20.74	15.38
	D	14.1	2.5	8.11	26.9	12.54	3.23	15.02	4.31	31.8	4.4
	R	82.1	97	43.05	36.43	73.14	62.9	67.1	92.37	37.79	76.92
17-20	A	0	0	0.28	2.63	2.14	1.82	2.31	4.8	1.58	2.22
	B	0.1	0	10.15	7.01	4.91	1.09	1.1	0	14.21	2.22
	C	4.3	0.5	38.15	15.62	11.54	23.64	11.77	0	36.84	15.56
	D	12.2	2.3	7.84	10.22	13.77	2.73	12.28	0	36.32	8.89
	R	83.4	97.2	43.58	64.52	67.64	70.72	72.54	95.2	11.05	71.11
38-42	A	0	0	0.36	2.63	1.9	2.47	1.57	8.23	1.79	1.15
	B	0.1	0	16.06	4.69	5.97	1.48	0.97	0	4.46	2.3
	C	4.5	0.5	38.65	14.65	9.75	32.1	8.87	0	18.75	13.79
	D	18.1	2.6	8.9	21.56	13.84	3.7	10.27	8.57	7.14	4.6
	R	77.2	96.9	36.03	56.47	68.54	60.25	78.32	83.2	67.86	78.16

8.4.2.1.9. Κάδμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το κάδμιο παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση μόνο με το αργίλιο, το χρώμιο, το χαλκό και τον κασσίτερο. Η συσχέτισή του με το σίδηρο και το αργίλιο είναι σχεδόν μηδενική, ενώ με τα υπόλοιπα μέταλλα και τα ανθρακικά είναι αρνητική. Οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στα δύο μεσαία στρώματα και είναι σχεδόν διπλάσιες από την κατώτερη τιμή (40 εκ.)

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κάδμιο παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος, κυμαινόμενο από το 1,6% του ολικού (18,5 εκ.) μέχρι το 2,1% (κορυφή). Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι μεταξύ 4,5% (βάση) και 14 % (18,5 εκ.). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία κυμαίνεται από 8,5% στην κορυφή σε 37% στα 18,5 εκατοστά. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζεται μειωμένο στην βάση και κορυφή του πυρήνα (7 και 12% αντίστοιχα) σε σχέση με το μέσο του (36% του ολικού μετάλλου). Το κλάσμα στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 68% στη βάση και το 72 % στην επιφάνεια, αλλά μόλις το 11% του ολικού μετάλλου στο μέσο του πυρήνα.

8.4.2.1.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο κασσίτερος παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση μόνο με το αργίλιο και το κάδμιο και αρνητική με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η τιμή του μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά σταθερή, μεταξύ 8 και 9 ppm.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος κασσίτερος κυμαίνεται από 1,1% του ολικού (9,5 εκ.) μέχρι 2,5% (επιφάνεια). Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι σταθερό μεταξύ 2,2% και 2,5%. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία κυμαίνεται από 14.4% (βάση) μέχρι 18% (επιφάνεια του πυρήνα). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 4% (επιφάνεια) και 9% (18,5 εκ.) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 71% (18,5 εκ.) με 78% (βάση) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.1.11. Ανθρακικά

Παρουσιάζουν μικρή τάση μείωσης με το βάθος και έχουν θετική συσχέτιση με τα μέταλλα εκτός από το αργίλιο, το κάδμιο και τον κασσίτερο. Κυμαίνονται μεταξύ 29 και 38 % με τις μικρότερες τιμές στις δύο μεσαίες ζώνες.

8.4.2.2. Πυρήνας ΕΠ3

Βάθος 11,3 m, μήκος 15,5 cm, 4 ζώνες: 0-2 (1), 5-7 (6), 9-11 (10), 13 -15,5 (14,25). Στον Πίνακα 8.11 δίνονται οι περιεκτικότητες σε μέταλλα και στον Πίνακα 8.12 τα ποσοστά των γεωχημικών κλασμάτων επί του ολικού μετάλλου.

8.4.2.2.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο σίδηρος παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος και θετική συσχέτιση με το μαγγάνιο και το χρώμιο, σχεδόν μηδενική θετική συσχέτιση με το αργίλιο και με τα ανθρακικά και αρνητική συσχέτιση με τα υπόλοιπα μέταλλα. Η μικρότερη τιμή είναι στην επιφάνεια του πυρήνα και η μεγαλύτερη (+35%) σε βάθος 10 εκ.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο ο προσροφημένος σίδηρος όσο και μετρηθείς στα ανθρακικά έχουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το μήκος του πυρήνα. Ο ευρισκόμενος υπό μορφή οξειδίων σίδηρος παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος (9,7% στην κορυφή, 3,9% στα 10 εκ.) ενώ το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές του στην κορυφή και τη βάση του πυρήνα (14 και 16%) και αυξάνεται έως και 28% του ολικού μετάλλου (10 εκ.). Ο σίδηρος που είναι δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 67 με 78% του ολικού με τις μεγαλύτερες τιμές στη βάση και στην κορυφή του πυρήνα.

8.4.2.2.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το αργίλιο έχει τάση μείωσης με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα (εκτός από τον κασσίτερο) και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με τον σίδηρο είναι σχεδόν μηδενική. Η μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζεται στα 6 εκ. και η μικρότερη (ίση με το 50% της μέγιστης) στη βάση του πυρήνα

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο το προσροφημένο μέταλλο όσο και το αργίλιο στα ανθρακικά παρουσιάζουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το ύψος του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξείδια είναι σταθερό μεταξύ 0,9 και 1,3%, ενώ το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης έχει πολύ μικρή τάση αύξησης με το βάθος κυμαινόμενο από 1,7 (επιφάνεια πυρήνα) μέχρι 2,6% (βάση) του ολικού μετάλλου. Το αργίλιο που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 96,1 με 97,4% του ολικού.

8.4.2.2.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το μαγγάνιο παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά και τον κασσίτερο

και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η μεγαλύτερη τιμή του (6 εκ.) είναι αυξημένη κατά 35% συγκριτικά με τη μικρότερη (πυθμένας).

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μαγγάνιο είναι πρακτικά σταθερό με μικρή τάση μείωσης, κυμαίνονμε μεταξύ 0,41 και 0,63% του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι σαφώς μεγαλύτερο και με εξαίρεση τη ζώνη στα 10 εκ (22%) κυμαίνεται γύρω στο 11,5%. Το υπό μορφή οξειδίου μαγγάνιο είναι 30% στην κορυφή του πυρήνα και αυξάνεται με το βάθος (49% στη βάση). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης βρίσκεται μεταξύ 6 (βάση) και 11% (10 εκ.) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 53% του ολικού στην κορυφή του πυρήνα και μειώνεται μέχρι το 32% στη βάση.

8.4.2.2.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το νικέλιο μειώνεται έντονα με το βάθος (η τιμή του στην κορυφή είναι τριπλάσια από αυτή στη βάση του πυρήνα) και παρουσιάζει θετική συσχέτιση με υπόλοιπα μέταλλα εκτός από σίδηρο και τον κασσίτερο (σχεδόν μηδενική) και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο νικέλιο αποτελεί το 1,2 με 2,6 % του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι λίγο μεγαλύτερο και παρουσιάζεται μεταξύ 3 και 5% του ολικού μετάλλου, με εξαίρεση το σημείο στα 10 εκ. (10%). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία αυξάνεται με το βάθος από 11 σε 26% του ολικού. Οι απόλυτες τιμές είναι όμως σχεδόν σταθερές λόγω των υψηλών ολικών τιμών στα δύο ανώτερα σημεία. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι λίγο κάτω από 40% στη βάση του πυρήνα και στα 6 εκ. με τις τιμές του να πέφτουν σχεδόν στο μισό στα άλλα δύο σημεία. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα μειώνεται με το βάθος από 59 σε 31% του ολικού.

8.4.2.2.5. Χρόμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το χρώμιο παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος (μεγαλύτερες τιμές στα 6 και 10 εκ, μείωση κατά 30% στο βάθος του πυρήνα) και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα εκτός από τον κασσίτερο και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο χρώμιο είναι κυμαίνεται μεταξύ 1,5 και 2,4% του ολικού, με τις μεγαλύτερες τιμές στην κορυφή και τη βάση του πυρήνα. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι λίγο μεγαλύτερο και αυξάνεται από 5% περίπου στα ανώτερα τρία σημεία του πυρήνα σε 9% του ολικού στη βάση του. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία είναι μεταξύ 14% και 25% του ολικού μετάλλου, με τις μεγαλύτερες τιμές στην

κορυφή και τη βάση του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 11,7 (6 εκ.) και 14,4% (κορυφή) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κυμαίνεται μεταξύ 50% (βάση) και 68% (6 εκ.) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.2.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος (η τιμή της βάσης είναι το 66% της τιμής της κορυφής) και εμφανίζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, τον κασσίτερο και το σίδηρο (σχεδόν μηδενική) και θετική συσχέτιση με τα υπόλοιπα μέταλλα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος μόλυβδος μειώνεται από το 2,2% του ολικού στην κορυφή στο 1,1% στη βάση του πυρήνα. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι από 0,3% (κορυφή) μέχρι 4,2% (βάση). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία είναι 27% του ολικού στη βάση του πυρήνα και σχεδόν 40% στα άλλα σημεία. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι μεταξύ 1,5 (6 εκ.) και 4,4% (10 εκ.) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 65% στη βάση και περίπου το 56% του ολικού μετάλλου στα άλλα σημεία του πυρήνα.

8.4.2.2.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Μειώνεται με το βάθος (η τιμή της βάσης είναι το 66 % της τιμής της κορυφής) και εμφανίζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, τον κασσίτερο και το σίδηρο και θετική συσχέτιση με τα υπόλοιπα μέταλλα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος ψευδάργυρος παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στην κορυφή και τη βάση του πυρήνα και κυμαίνεται μεταξύ 15 και 18% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα στα ανθρακικά αυξάνεται στο 6,2% στη βάση από 2,5% στην κορυφή του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία βρίσκεται μεταξύ 32 και 38% του ολικού μετάλλου με τις μεγαλύτερες τιμές στην κορυφή και τη βάση του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης μετρήθηκε γύρω στο 10 % του ολικού μετάλλου, με εξαίρεση την κορυφή (7,5 %). Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 30% (βάση) με 42% (6 εκ.) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.2.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος και έχει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά και το σίδηρο και θετική

συσχέτιση με τα υπόλοιπα μέταλλα. Η μικρότερη τιμή (6 εκ.) είναι κάτω του 50% της μεγαλύτερης (κορυφή).

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος χαλκός φτάνει στο 14,4% του ολικού στην κορυφή και στο 13% στα 10 εκ, ενώ είναι 8% στη βάση και 6,3% στα 6 εκ. Το μέταλλο στα ανθρακικά είναι μηδενικό και το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία είναι μηδενικό στα δύο κατώτερα σημεία και 4% του ολικού στα δύο ανώτερα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 10-11% στα δύο ανώτερα σημεία, μηδενικό στη βάση και στα 10 εκ. φτάνει το 24% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 63% (10 εκ.) με 92% (βάση) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.2.9Κάδμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος και έχει θετική συσχέτιση με τα μέταλλα εκτός από το σίδηρο (σχεδόν μηδενική) και τον κασίτερο. Η συσχέτισή του με τα ανθρακικά είναι αρνητική. Οι τιμές είναι περίπου σταθερές ($1\pm 0,2$ ppm) με τη μεγαλύτερη τιμή στα 6 εκ. και τη μικρότερη στη βάση του πυρήνα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κάδμιο παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος, κυμαινόμενο από 4% μέχρι 6% του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι μεταξύ 3% (βάση) και 7,6% (18,5 εκ.). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία είναι 8,5% στην κορυφή και γύρω στο 27% στα άλλα τρία σημεία. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζεται αυξημένο στη βάση (29%) και κυμαίνεται μεταξύ 8 και 15% του ολικού μετάλλου στα τρία άλλα σημεία. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 33% στη βάση και το 64% στην κορυφή (51 και 56% τα άλλα δύο σημεία).

8.4.2.2.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει πολύ μικρή τάση αύξησης με το βάθος κυμαινόμενος μεταξύ 7 και 10 ppm, με τις δύο μεγαλύτερες τιμές στη κορυφή και στη βάση του πυρήνα και παρουσιάζει θετική συσχέτιση μόνο με το χαλκό. Η συσχέτισή του με το νικέλιο είναι σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος κασίτερος κυμαίνεται μεταξύ από το 0 και 1,2% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι μεταξύ 1% (βάση) και 4%. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία κυμαίνεται από 4% (βάση) μέχρι 14% (κορυφή 13%). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 5,3% και 6,5% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 76% με 88% (βάση) του ολικού μετάλλου.

Πίνακας 8.11 (1/2). Πυρήνας Ε3 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
0-2	T	11545	21810	405,75	152,5	94,5	73,5	98,28	20,5	1,03	9,2	60,7
	A	11	0	2,56	3,2	2,17	1,6	17,65	2,94	0,06	0	
	B	24	0	46,74	7	4,64	0,2	2,48	0	0,05	0,2	
	C	1115	187	122,38	17,1	17,83	28	36,84	0,85	0,11	1,2	
	D	1614	364	30,48	35	13,65	1,8	7,39	2,25	0,15	0,6	
	R	8781	21259	203,59	90,2	56,21	41,9	33,92	14,46	0,66	7,2	
	T	13095	25665	512,25	132,5	111,5	66	87,48	17	1,18	7,6	54,5
5-7	A	10	0	2,32	1,6	2,05	1,1	13,13	1,07	0,07	0,1	10
	B	25	0	54,43	3,7	4,85	0,3	1,86	0	0,09	0,2	25
	C	1002	202	195,8	19,7	16,28	26,5	27,95	0,68	0,32	1,1	1002
	D	3282	546	54,95	51,8	13	1	7,88	1,78	0,1	0,4	3282
	R	8776	24917	204,75	55,7	75,32	37,1	36,66	13,47	0,6	5,8	8776
	T	15441	22088	459,5	82,5	109,5	69	81,68	7,75	0,99	6,7	61,4
	A	9	0	2,34	2,1	1,59	1,3	12,66	1	0,04	0	
9-11	B	27	0	100,82	8,6	5,78	0,7	3,07	0	0,03	0,3	
	C	599	195	164,45	16,9	16,13	25,8	28,73	0	0,26	0,7	
	D	4285	551	39,9	20,1	14,75	3	8,59	1,85	0,11	0,4	
	R	10521	21342	151,99	34,8	71,25	38,2	28,63	4,9	0,55	5,3	

Πίνακας 8.11 (2/2). Πιρήνας Ε3 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
13-	T	13212	13948	375	49,5	65	52,5	57,08	9,25	0,76	9,8	73,9
	A	10	0	1,55	1	1,58	0,6	9,61	0,74	0,03	0,1	
	B	17	0	46,44	1,5	5,78	2,2	3,56	0	0,04	0,1	
	C	846	175	184,28	12,8	16,38	14,3	21,49	0	0,22	0,4	
15,5	D	2072	358	23,08	18,7	8,48	1	5,43	0	0,22	0,6	
	R	10267	13415	119,68	15,5	32,78	34,4	16,99	8,51	0,25	8,6	

Πίνακας 8.12. Πυρήνας Ε3 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Ποσοστά γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων (% του ολικού μετάλλου).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
0-2	A	0,1	0	0,63	2,1	2,3	2,18	17,96	14,34	5,83	0
	B	0,2	0	11,52	4,59	4,91	0,27	2,52	0	4,85	2,17
	C	9,7	0,9	30,16	11,21	18,87	38,1	37,48	4,15	10,68	13,04
	D	14	1,7	7,51	22,95	14,44	2,45	7,52	10,98	14,56	6,52
	R	76	97,4	50,18	59,15	59,48	57	34,52	70,53	64,08	78,27
5-7	A	0,1	0	0,45	1,21	1,84	1,67	15,01	6,29	5,93	1,32
	B	0,2	0	10,63	2,79	4,35	0,45	2,12	0	7,63	2,63
	C	7,7	0,8	38,22	14,87	14,6	40,15	31,95	4	27,12	14,47
	D	25,1	2,1	10,73	39,09	11,66	1,52	9,01	10,47	8,47	5,26
	R	66,9	97,1	39,97	42,04	67,55	56,21	41,91	79,24	50,85	76,32
9-11	A	0,1	0	0,51	2,55	1,45	1,88	15,5	12,9	4,04	0
	B	0,2	0	21,94	10,42	5,28	1,01	3,76	0	3,03	4,48
	C	3,9	0,9	35,79	20,48	14,73	37,39	35,17	0	26,26	10,45
	D	27,8	2,5	8,68	24,36	13,47	4,35	10,52	23,87	11,11	5,97
	R	68	96,6	33,08	42,19	65,07	55,37	35,05	63,23	55,56	79,1
13-15,5	A	0,1	0	0,41	2,02	2,43	1,14	16,84	8	3,95	1,02
	B	0,1	0	12,38	3,03	8,89	4,19	6,24	0	5,26	1,02
	C	6,4	1,3	49,14	25,86	25,2	27,24	37,65	0	28,95	4,08
	D	15,7	2,6	6,15	37,78	13,05	1,9	9,51	0	28,95	6,12
	R	77,7	96,1	31,92	31,1	50,43	65,53	29,76	92	32,89	87,76

Πίνακας 8.13 (1/2). Πυρίνας Ε4 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
0-2	T	22268	42230	546,75	125,3	108,5	417,5	383,85	68,5	3,75	7,3	26,1
	A	5	0	2,03	1	2,23	1	55,61	2,51	0,12	0,1	
	B	11	0	46,83	6,7	5,08	2,6	35,73	0	0,36	0,3	
	C	2032	260	105,93	23,4	16,13	173,8	177,04	1,48	1,04	0,8	
	D	8166	1363	171,23	54,3	29,25	41,8	64,63	30	0,47	0,2	
8-10	R	12404	40607	220,73	39,9	55,81	198,3	50,84	34,51	1,76	5,9	
	T	22776	53378	525,25	149	143,75	74	75,43	20,75	7	6,8	19,9
	A	4	0	1,91	4,10	2,28	0,6	1,91	0,84	0,22	0,2	
	B	15	0	70,35	10,5	5,25	3,2	0,72	0	0,24	0,1	
	C	853	212	121,7	17,3	6,4	20,5	7,38	0	1,95	0,9	
16-20	D	6056	1738	69,3	51,9	21,4	6,8	15,32	2,55	2,65	0,1	
	R	15848	51428	261,99	65,2	108,42	42,9	50,1	17,36	1,94	5,5	
	T	24156	61348	544,75	165,5	143	42	69,68	17	0,95	8,9	15,2
	A	1	0	1,28	2,4	1,09	1,7	1,55	0,35	0,07	0,2	
	B	15	0	52,54	8,2	4,65	1,4	0,72	0	0,07	0,1	
16-20	C	875	179	130,3	14,3	7,43	13,3	6,06	0	0,26	0,9	
	D	4662	1635	58,05	54,5	17,25	2	12,87	1,48	0,17	0,1	
	R	18603	59534	302,58	86,1	112,58	23,6	48,48	15,17	0,38	7,6	

Πίνακας 8.13 (2/2). Πορήνας Ε4 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
32-34	T	25369	63368	544,5	138	122,25	79,5	85,43	17,5	1,04	6,8	20,5
	A	8	0	1,62	1,7	2,11	1,2	3,37	0,76	0,08	0,1	
	B	15	0	50,53	8	5,5	0,7	2,29	0	0,09	0,1	
	C	975	217	170,48	23	7,93	27,8	18,46	0	0,33	0,5	
	D	4754	1670	74,35	51,6	18,1	5,3	14,85	2,93	0,11	0,1	
	R	19617	61481	247,52	53,7	88,61	44,5	46,36	13,81	0,43	6	
34-35	T	25676	62760	538,5	120,2	116,75	64,5	79,95	14	1,05	8,6	23,1
	A	4	0	1,68	1,6	0,98	0,5	1,94	0,44	0,06	0	
	B	18	0	70,36	6,1	5,77	1,6	1,34	0	0,11	0,1	
	C	1112	227	133,85	30,5	8,8	12,3	8,44	0	0,21	0,4	
	D	5486	1775	64,25	54,5	18,4	2,8	15,84	1,8	0,13	0,1	
	R	19056	60718	268,36	27,5	82,8	47,3	52,39	11,76	0,54	8	

Πίνακας 8.14. Πυρήνας Ε4 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Ποσοστά γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων (% του ολικού μετάλλου).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
0-2	A	0	0	0,37	0,8	2,06	0,24	14,49	3,66	3,2	1,37
	B	0	0	8,57	5,35	4,68	0,62	9,31	0	9,6	4,11
	C	9,1	0,6	19,37	18,68	14,87	41,63	46,12	2,16	27,73	10,96
	D	36,4	3,2	31,32	43,34	26,96	10,01	16,84	43,8	12,53	2,74
	R	54,5	96,2	40,37	31,83	51,43	47,5	13,24	50,38	46,94	80,82
8-10	A	0	0	0,36	2,75	1,59	0,81	2,53	4,05	3,14	2,94
	B	0,1	0	13,39	7,05	3,65	4,32	0,95	0	3,43	1,47
	C	3,7	0,4	23,17	11,61	4,45	27,7	9,78	0	27,86	13,24
	D	26,6	3,3	13,19	34,83	14,89	9,19	20,31	12,29	37,86	1,47
	R	69,6	96,3	49,89	43,76	75,42	57,98	66,43	83,66	27,71	80,88
16-20	A	0	0	0,23	1,45	0,76	4,05	2,22	2,06	7,37	2,25
	B	0,1	0	9,64	4,95	3,25	3,33	1,03	0	7,37	1,12
	C	3,6	0,3	23,92	8,64	5,2	31,67	8,7	0	27,37	10,11
	D	19,3	2,7	10,66	32,93	12,06	4,76	18,47	8,71	17,89	1,12
	R	77	97	55,55	52,03	78,73	56,19	69,58	89,23	40	85,4
32-34	A	0	0	0,3	1,23	1,73	1,51	3,94	4,34	7,69	1,47
	B	0,1	0	9,28	5,8	4,5	0,88	2,68	0	8,65	1,47
	C	3,8	0,3	31,31	16,67	6,49	34,97	21,61	0	31,73	7,35
	D	18,7	2,6	13,65	37,39	14,81	6,67	17,5	16,74	10,58	1,47
	R	77,4	97,1	45,46	38,91	72,47	55,97	54,27	78,92	41,35	88,24
34-36	A	0	0	0,31	1,33	0,84	0,78	2,43	3,14	5,71	0
	B	0,1	0	13,07	5,07	4,94	2,48	1,68	0	10,48	1,16
	C	4,3	0,4	24,86	25,37	7,54	19,07	10,56	0	20	4,65
	D	21,4	2,8	11,93	45,34	15,76	4,34	19,81	12,86	12,38	1,16
	R	74,2	96,8	49,83	22,89	70,92	73,33	65,52	84	51,43	93,03

8.4.2.2.11. Ανθρακικά

Παρουσιάζουν τάση αύξησης με το βάθος (ελάχιστο 55%, στη βάση του πυρήνα φτάνει το 74%) και έχουν θετική συσχέτιση μόνο με τον κασσίτερο και το σίδηρο (σχεδόν μηδενική).

8.4.2.3. Πυρήνας ΕΠ4

Βάθος 34,5 m, μήκος 36 cm, 5 ζώνες: 0-2 (1), 8-10 (9), 16-20 (18), 32 -34 (33), 34-36 (35). Στον Πίνακα 8.13 δίνονται οι περιεκτικότητες σε μέταλλα και στον Πίνακα 8.14 τα ποσοστά των γεωχημικών κλασμάτων επί του ολικού μετάλλου.

8.4.2.3.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Αυξάνεται με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση το αργίλιο, το μαγγάνιο και τον κασσίτερο και αρνητική με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Οι συσχετίσεις του με το νικέλιο, το χρώμιο και τα ανθρακικά είναι πολύ μικρές. Οι τιμές του στα δύο ανώτερα στρώματα είναι μειωμένες κατά 10%.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο ο προσροφημένος σίδηρος όσο και ο σίδηρος στα ανθρακικά έχουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το μήκος του πυρήνα. Ο ευρισκόμενος υπό μορφή οξειδίων σίδηρος μειώνεται λίγο με το βάθος, αφού η τιμή στην κορυφή του πυρήνα είναι πάνω από δύο φορές μεγαλύτερη από τις άλλες τιμές. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης έχει τάση μείωσης με το βάθος κυμαινόμενος από 36 (κορυφή) μέχρι 19% (33 εκ.) του ολικού μετάλλου. Ο σίδηρος που είναι δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 55% του ολικού στην κορυφή και αυξάνεται πιο βαθιά (77% στα 18 και 33 εκ.)

8.4.2.3.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Έχει έντονη τάση αύξησης με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το σίδηρο, το νικέλιο, το χρώμιο και τον κασσίτερο και αρνητική με τα άλλα μέταλλα και με τα ανθρακικά. Η συσχέτιση με το νικέλιο είναι πολύ μικρή και με το μαγγάνιο σχεδόν μηδενική. Στην επιφάνεια η τιμή είναι περίπου μειωμένη κατά 40% και σε βάθος 9 εκ. κατά 20 % συγκριτικά με τα υπόλοιπα σημεία.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο το προσροφημένο μέταλλο όσο και το αργίλιο στα ανθρακικά παρουσιάζουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το μήκος του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξείδια είναι σταθερό (0,3-0,6%),

ενώ το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης έχει πολύ μικρή τάση αύξησης με το βάθος κυμαινόμενο μεταξύ 3,2 και 2,6% του ολικού μετάλλου. Το αργίλιο που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 96,2 με 97,1% του ολικού μετάλλου.

8.4.2.3.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει μικρή τάση αύξησης με το βάθος (οι ακραίες τιμές του διαφέρουν λιγότερο από 5 %) και θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με τα άλλα μέταλλα εκτός από το αργίλιο, το νικέλιο, το χρώμιο και το κάδμιο. Η συσχέτιση με το σίδηρο, το νικέλιο, τον κασσίτερο και τα ανθρακικά είναι πολύ μικρή και η συσχέτιση με το αργίλιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μαγγάνιο είναι πρακτικά σταθερό με μικρή τάση αύξησης, κυμαινόμενο μεταξύ 0,23 και 0,37% του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι σαφώς μεγαλύτερο κυμαινόμενο από 8,6% στην κορυφή του πυρήνα μέχρι 13,4% στα 9 εκ. Το υπό μορφή οξειδίου μέταλλο είναι μεταξύ 19,4% (κορυφή του πυρήνα) και 31 % (33 εκ.). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι πάνω από 30% στην κορυφή του πυρήνα, ενώ στα υπόλοιπα σημεία βρίσκεται μεταξύ 10 και 14% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 40% του ολικού στην κορυφή του πυρήνα, και το 45 με 55% στα άλλα σημεία.

8.4.2.3.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει μια μικρή τάση μείωσης με το βάθος (μέγιστη τιμή στο μέσο του πυρήνα, κορυφή και βάση περίπου 80% της μέγιστης τιμής) και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το σίδηρο, το μαγγάνιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο και το χαλκό. Με τα υπόλοιπα μέταλλα παρουσιάζει θετική συσχέτιση. Η συσχέτιση με το σίδηρο, το αργίλιο, το μαγγάνιο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή και η συσχέτιση με το κάδμιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο νικέλιο είναι 0,8% στην κορυφή του πυρήνα και φτάνει μέχρι και 2,8% του ολικού μετάλλου (9 εκ.). Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι λίγο μεγαλύτερο, μεταξύ 5 και 7%. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξείδια είναι 19% στην κορυφή και 25% στη βάση του πυρήνα, ενώ στα 18 εκ. πέφτει κάτω από 9%. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι στο 43 και 45% στην κορυφή και τη βάση του πυρήνα, κυμαινόμενο μεταξύ 33 και 38% του ολικού μετάλλου στα άλλα τρία σημεία. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι 32 και 23% στην κορυφή και τη βάση, ενώ στο μέσο του πυρήνα φτάνει το 52% του ολικού.

8.4.2.3.5. Χρώμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει μια μικρή τάση μείωσης με το βάθος (μέγιστη τιμή στα 9 και 18 εκ, οι άλλες τιμές μειωμένες κατά 20%) και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το σίδηρο, το μαγγάνιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο και το χαλκό και θετική με τα υπόλοιπα μέταλλα. Η συσχέτιση με το σίδηρο, το κάδμιο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο χρώμιο είναι πρακτικά σταθερό με μικρή τάση αύξησης με το βάθος, κυμαινόμενο μεταξύ 0,8 και 2,1% του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι λίγο μεγαλύτερο και κυμαίνεται μεταξύ 3,3% και 4,9% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία από 15% του ολικού στην κορυφή πέφτει στο 4 με 8% στα άλλα σημεία του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι σχεδόν διπλάσιο στην κορυφή του πυρήνα από τα άλλα σημεία, όπου και είναι πρακτικά σταθερό κυμαινόμενο μεταξύ 12 και 16% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα στην κορυφή είναι το 51%, ενώ στα άλλα σημεία αποτελεί το 71% με 79% του ολικού μετάλλου.

8.4.2.3.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Έχει έντονη τάση μείωσης με το βάθος. Η τιμή στην κορυφή είναι τουλάχιστο πενταπλάσια (έως δεκαπλάσια) από τις τιμές στα άλλα σημεία. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με τα άλλα μέταλλα εκτός από το σίδηρο, το αργίλιο, το νικέλιο, το χρώμιο και τον κασσίτερο. Η συσχέτιση με το κάδμιο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος μόλυβδος αυξάνεται από το 0,2% του ολικού στην κορυφή στο 4% στο μέσο του πυρήνα. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι από 0,6% (κορυφή) μέχρι 4,3% (9 εκ.). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία είναι μεταξύ 42% (κορυφή) και 19% (βάση του πυρήνα). Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της αυξημένης ολικής περιεκτικότητας σε μόλυβδο στην κορυφή του πυρήνα, το σημείο αυτό παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές και οι διαφορές είναι μεγάλες ανάμεσα σε αυτό και τα επόμενα στρώματα για όλα τα κλάσματα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι πρακτικά σταθερό στο ανώτερο τμήμα (0-9 εκ.) κυμαινόμενο μεταξύ 9 και 10% , ενώ πιο βαθιά είναι 4-7% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 47% (κορυφή) με 73% (βάση) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.3.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Έχει έντονη τάση μείωσης με το βάθος και η τιμή του στην κορυφή είναι σχεδόν πενταπλάσια από τις τιμές στα

άλλα σημεία. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με τα άλλα μέταλλα εκτός από το σίδηρο, το αργίλιο, το νικέλιο, το χρώμιο και τον κασσίτερο. Η συσχέτιση με το κάδμιο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος ψευδάργυρος παρουσιάζει απότομη μείωση με το βάθος, από το 14,5% του ολικού (κορυφή) στο 2 με 4% (υπόλοιπα σημεία). Το κλάσμα στα ανθρακικά παρουσιάζει την ίδια ακριβώς εικόνα, με 9% στην κορυφή και 1 με 3% του ολικού μετάλλου στα υπόλοιπα σημεία. Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της αυξημένης ολικής περιεκτικότητας σε μόλυβδο στην κορυφή του πυρήνα, το σημείο αυτό παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές και οι διαφορές είναι μεγάλες ανάμεσα σε αυτό και τα άλλα στρώματα για όλα τα κλάσματα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία μειώνεται απότομα με το βάθος από 46% στην κορυφή σε 8 με 22% του ολικού στα άλλα σημεία του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 17 και 20% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 13% στην κορυφή και το 54 με 70 του ολικού μετάλλου στα άλλα σημεία του πυρήνα.

8.4.2.3.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Έχει έντονη τάση μείωσης με το βάθος (η τιμή στην κορυφή του πυρήνα είναι τρεις με τέσσερις φορές μεγαλύτερη από αυτές των άλλων σημείων) και παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με τα άλλα μέταλλα εκτός από το σίδηρο, το αργίλιο, το νικέλιο, το χρώμιο και τον κασσίτερο. Η συσχέτιση με το κάδμιο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος χαλκός παρουσιάζεται στο 2 με 4% του ολικού μετάλλου. Λόγω της αυξημένης ολικής περιεκτικότητας σε χαλκό στην κορυφή του πυρήνα, το σημείο αυτό παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στα μη μηδενικά κλάσματα. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι μηδενικό σε όλο το μήκος του πυρήνα. Το ίδιο ισχύει και για το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία, εκτός από την κορυφή του πυρήνα (2%). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 9% (18 εκ.) και 44% (κορυφή) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 50% στην κορυφή και το 79 με 89% του ολικού μετάλλου στα άλλα σημεία του πυρήνα.

8.4.2.3.9. Κάδμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Έχει έντονη τάση μείωσης με το βάθος (4ppm στην επιφάνεια, 7ppm στα 9 εκ., 1ppm στα άλλα σημεία) και παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το νικέλιο, το χρώμιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό και τα ανθρακικά και αρνητική με τα υπόλοιπα μέταλλα. Η συσχέτιση με το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό και τα ανθρακικά είναι πολύ μικρή και η συσχέτιση με το νικέλιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κάδμιο κυμαίνεται μεταξύ 3 και 8% του ολικού. Στην κορυφή και στα 9 εκατοστά οι ολικές συγκεντρώσεις είναι αισθητά μεγαλύτερες, άρα οι απόλυτες τιμές των κλασμάτων είναι αρκετά μεγαλύτερες στα σημεία αυτά. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι μεταξύ 3,4% (9 εκ.) και 10,5% (βάση). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία κυμαίνεται από 20% στη βάση μέχρι 32% στα 33 εκατοστά. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζεται μειωμένο στην βάση και κορυφή του πυρήνα (12%) και φτάνει το 36% του ολικού μετάλλου στα 9 εκατοστά. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 51% στη βάση και το 47% στην κορυφή, αλλά μόλις το 28% του ολικού μετάλλου στα 9 εκ. του πυρήνα.

8.4.2.3.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει μικρή τάση αύξησης με το βάθος και παρουσιάζει θετική συσχέτιση μόνο με το σίδηρο, το αργίλιο, το μαγγάνιο, το νικέλιο και το χρώμιο. Η τιμή του μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά σταθερή, μεταξύ 7 και 9 ppm. Η συσχέτιση με το μαγγάνιο, το νικέλιο, το χρώμιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο και το χαλκό είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος κασσίτερος είναι μεταξύ 0 και 3% του ολικού χωρίς εμφανή τάση αύξησης ή μείωσης, ενώ το κλάσμα στα ανθρακικά είναι σταθερό μεταξύ 1 και 1,5% του ολικού μετάλλου, με εξαίρεση την κορυφή του πυρήνα (άνω του 4%). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία κυμαίνεται από 4,6% (βάση) μέχρι 13,2% (9 εκ.). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 1,2% (18 εκ.) και 2,7% (κορυφή) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 81% (κορυφή) με 93% (βάση) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.3.11. Ανθρακικά

Παρουσιάζουν μικρή τάση μείωσης με το βάθος και κυμαίνονται μεταξύ 15 και 26% με τη μικρότερη τιμή στην επιφάνεια και τη μικρότερη στα 18 εκ. Έχουν θετική συσχέτιση με τα μέταλλα εκτός από το σίδηρο, το αργίλιο, το νικέλιο το χρώμιο και τον κασσίτερο. Η συσχέτιση με το σίδηρο, το μαγγάνιο και το κάδμιο είναι πολύ μικρή.

8.4.2.4. Πυρήνας ΕΠ5

Βάθος 23,8 m, μήκος 38 cm, 9 ζώνες: 0-3,5 (1,75), 3,5-5 (4,25), 5-8 (6,5), 8-10 (9), 10-14 (12), 16-18 (17), 24-28 (26), 28-32 (30) 36-38 (37). Στον Πίνακα 8.15 δίνονται οι περιεκτικότητες σε μέταλλα και στον Πίνακα 8.16 τα ποσοστά των γεωχημικών κλασμάτων επί του ολικού μετάλλου

Πίνακας 8.15 (1/3). Πορήνας Ε5 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	
0-3,5	T	24708	37330	667,75	72,8	180,25	464,5	590,6	138	1,32	8	31,3	
	A	8	0	1,83	2,8	2,09	1,6	47,24	4,54	0,14	0,1		
	B	20	0	102,19	18,2	5,67	2,1	70,56	1,2	0,17	0,1		
	C	2608	482	216,23	20,4	23,03	145,8	288,03	3,5	0,46	0,8		
	D	8127	1705	114,13	18,4	49,55	35,3	139,21	57,93	0,1	0,1		
	R	13945	35143	233,37	13	99,91	279,7	45,56	70,83	0,45	6,9		
	T	26014	40263	830	102	186,5	715	976,33	212,25	3,5	6,7	30,1	
	A	19	0	2,66	2,8	2,3	2	195,33	9,96	0,35	0,1		
	B	38	0	65,2	14,6	3,98	6,8	43,09	0,96	0,18	0,2		
	C	4160	645	311,35	28,3	25,68	356	476,17	2,03	1,14	0,7		
3,5-5	D	11800	2050	272,28	50,7	56,75	93,5	204,56	105,58	0,5	0,2		
	R	9997	37568	178,51	5,6	97,79	256,7	57,18	93,72	1,33	5,5		
	T	14557	33650	606,5	50,3	110,25	105	161,85	9,5	1,76	7,7	51,3	
	A	9	0	2,05	1,6	1,49	1,2	12,01	1,1	0,13	0,1		
	B	28	0	34,91	2,7	4,13	0,6	2,16	0	0,1	0,2		
	C	963	283	295,85	16,9	12,43	51,8	89,54	0	0,53	0,6		
	D	5502	1414	89,05	24,4	11,68	10,3	32,02	4,85	0,13	0,3		
	R	8055	31953	184,64	4,7	80,52	41,1	26,12	3,55	0,87	6,5		
	5-8												

Πίνακας 8.15 (2/3). Πυρήνας Ε5 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
8-10	T	15270	31195	580,5	63,8	103,5	144,5	88,5	16	1,72	6,8	51
	A	13	0	2,86	1,6	2,46	0,9	12,54	1,12	0,15	0,1	
	B	24	0	51,85	3,7	4,95	0,9	2,09	0	0,1	0,2	
	C	968	288	236,4	15,5	12,35	41,3	31,02	0	0,48	0,74	0,8
	D	5273	1374	81,68	29,6	10,9	7,5	19,14	3,88	11	0,25	5,1
10-14	R	8992	29533	207,71	13,4	72,84	93,9	23,71	14,25	1,02	5,6	48,9
	T	15508	30840	586,75	48	103,75	65,5	98,23	0,99	0,1	0,1	
	A	16	0	0,97	1,4	1,59	0,3	8,46	0	0,05	0,3	
	B	24	0	45,96	6,1	4,63	1,3	1,31	0	0,32	0,3	
	C	1000	297	309,68	11,5	11,88	31,5	33,74	0	0,23	0,3	
16-18	D	6484	1500	83,55	17,1	10	8,3	29,17	4,5	8,76	0,32	5,6
	R	7984	29043	146,59	11,9	75,65	24,1	25,55	19,5	1,48	6	28
	T	23016	47715	607,5	72,8	112,25	157,5	107,13	1,38	0,22	0,1	
	A	21	0	1,22	2	1,88	1,3	11,01	0	0,09	0,2	
	B	22	0	31,07	3,8	3,46	2	1,13	0	0,5	0,6	
16-18	C	1031	354	246,33	16,9	11,53	58,8	37,22	6	0,36	0,6	
	D	6238	1780	91,33	26,1	12,15	12,3	26,04	12,12	0,31	4,5	
	R	15704	45581	237,55	24	83,23	83,1	31,73				

Πίνακας 8.15 (3/3). Πυρήνας Ε5 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
24-28	T	23247	53680	553,5	90	109,75	46,5	67,85	17,5	0,98	6,8	25,7
	A	12	0	1,18	1,5	0,59	1,9	1,56	0,27	0,03	0,1	
	B	21	0	35,16	1,4	3,3	2,1	0,85	0	0,07	0,2	
	C	1113	285	216,9	9,7	8,33	14,8	8,47	0	0,4	0,7	
	D	4214	1843	66,08	25,2	12,65	2,5	12,01	1,75	0,19	0,5	
	R	17887	51552	234,18	52,2	84,88	25,2	44,96	15,48	0,29	5,3	
	T	22827	50605	562,75	61,8	109	67,5	65,68	15,5	1	5,8	27,3
28-32	A	9	0	1,55	1,2	1,24	1,6	1,66	0	0,07	0,1	
	B	26	0	41,49	2	3,15	2,3	0,69	0	0,07	0,2	
	C	1048	255	223,6	18,5	7,68	17,5	7,79	0	0,26	0,5	
	D	3921	1841	62,33	19,8	9,93	3,3	12,38	1,35	0,21	0,3	
	R	17823	48509	233,78	20,3	87	42,8	43,16	14,15	0,39	4,7	
	T	23090	55305	572	73,5	101,75	58	63,2	13,75	1,04	6,8	26,1
	A	10	0	1,05	1,4	2,49	0,9	1,85	0,51	0,14	0,1	
36-38	B	28	0	47,68	2,4	3,75	0,9	0,58	0	0,11	0,2	
	C	1095	237	209,35	10,1	7,73	15,3	7,94	0	0,24	0,5	
	D	4302	1894	62,38	22,1	9,73	4	12,68	1,95	0,29	0,3	
	R	17655	53174	251,54	37,5	78,05	36,9	40,51	11,29	0,26	5,7	

Πίνακας 8.16 (1/2). Πυρήνας Ε5 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Ποσοστά γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων (% του ολικού μετάλλου).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
0-3,5	A	0	0	0,27	3,85	1,16	0,34	8	3,29	10,61	1,25
	B	0,1	0	15,3	25	3,15	0,45	11,95	0,87	12,88	1,25
	C	10,6	1,3	32,38	28,02	12,78	31,39	47,77	2,54	34,85	10
	D	32,9	4,6	17,09	25,27	27,49	7,6	23,57	41,98	7,58	1,25
	R	56,4	94,1	34,96	17,86	55,42	60,22	7,71	51,32	34,08	86,25
3,5-5	A	0,1	0	0,32	2,75	1,23	0,28	20,01	4,69	10	1,49
	B	0,1	0	7,86	14,31	2,13	0,95	4,41	0,45	5,14	2,99
	C	16	1,6	37,51	27,75	13,77	49,79	48,77	0,96	32,57	10,45
	D	45,4	5,1	32,8	49,71	30,43	13,08	20,95	49,74	14,29	2,99
	R	38,4	93,3	21,51	5,48	52,44	35,9	5,86	44,16	38	82,08
5-8	A	0,1	0	0,34	3,18	1,35	1,14	7,42	11,58	7,39	1,3
	B	0,2	0	5,76	5,37	3,75	0,57	1,33	0	5,68	2,6
	C	6,6	0,8	48,78	33,6	11,27	49,33	55,32	0	30,11	7,79
	D	37,8	4,2	14,68	48,51	10,59	9,81	19,78	51,05	7,39	3,9
	R	55,3	95	30,44	9,34	73,04	39,15	16,15	37,37	49,43	84,41
8-10	A	0,1	0	0,49	2,51	2,38	0,62	14,17	7	8,72	1,47
	B	0,2	0	8,93	5,8	4,78	0,62	2,36	0	5,81	2,94
	C	6,3	0,9	40,72	24,29	11,93	28,58	35,05	0	27,91	8,82
	D	34,5	4,4	14,07	46,39	10,53	5,19	21,63	24,25	43,02	11,76
	R	58,9	94,7	35,79	21,01	70,38	64,99	26,79	68,75	14,54	75,01
10-14	A	0,1	0	0,17	2,92	1,53	0,46	8,61	6,95	9,8	1,52
	B	0,2	0	7,83	12,71	4,46	1,98	1,33	0	4,9	4,55
	C	6,4	1	52,78	23,96	11,45	48,09	34,35	0	31,37	4,55
	D	41,8	4,9	14,24	35,63	9,64	12,67	29,7	31,58	22,55	4,55
	R	51,5	94,1	24,98	24,78	72,92	36,8	26,01	61,47	31,38	84,83

Πίνακας 8.16 (2/2). Πυρήνας Ε5 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Ποσοστά γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων (% του ολικού μετάλλου).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
16-18	A	0,1	0	0,2	2,75	1,67	0,83	10,28	7,08	14,86	1,67
	B	0,1	0	5,11	5,22	3,08	1,27	1,05	0	6,08	3,33
	C	4,5	0,7	40,55	23,21	10,27	37,33	34,74	0	33,78	10
	D	27,1	3,7	15,03	35,85	10,82	7,81	24,31	30,77	24,32	10
	R	68,2	95,6	39,11	32,97	74,16	52,76	29,62	62,15	20,96	75
24-28	A	0,1	0	0,21	1,67	0,54	4,09	2,3	1,54	3,06	1,47
	B	0,1	0	6,35	1,56	3,01	4,52	1,25	0	7,14	2,94
	C	4,8	0,5	39,19	10,78	7,59	31,83	12,48	0	40,82	10,29
	D	18,1	3,4	11,94	28	11,53	5,38	17,7	10	19,39	7,35
	R	76,9	96,1	42,31	57,99	77,33	54,18	66,27	88,46	29,59	77,95
28-32	A	0	0	0,28	1,94	1,14	2,37	2,53	0	7	1,72
	B	0,1	0	7,37	3,24	2,89	3,41	1,05	0	7	3,45
	C	4,6	0,5	39,73	29,94	7,05	25,93	11,86	0	26	8,62
	D	17,2	3,6	11,08	32,04	9,11	4,89	18,85	8,71	21	5,17
	R	78,1	95,9	41,54	32,84	79,81	63,4	65,71	91,29	39	81,04
36-38	A	0	0	0,18	1,9	2,45	1,55	2,93	3,71	13,46	1,47
	B	0,1	0	8,34	3,26	3,69	1,55	0,92	0	10,58	2,94
	C	4,7	0,4	36,6	13,74	7,6	26,38	12,56	0	23,08	7,35
	D	18,6	3,4	10,91	30,07	9,56	6,9	20,06	14,18	27,88	4,41
	R	76,6	96,2	43,97	51,03	76,7	63,62	63,53	82,11	25	83,83

8.4.2.4.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο σίδηρος παρουσιάζει γενικά μικρή τάση μείωσης με το βάθος με τις δύο ανώτερες τιμές (24.500 και 26.000 ppm) μέχρι τα 5 εκ., τιμές γύρω στα 15.000 ppm μέχρι τα 16 εκ., για να επανέλθουν υψηλότερες τιμές (23.000 ppm) από τα 16 εκ. μέχρι τη βάση του πυρήνα. Η μέγιστη τιμή του παρουσιάζεται στη ζώνη 3,5 με 5 εκ. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα (με το κάδμιο πολύ μικρή και με τον κασσίτερο σχεδόν μηδενική) και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο ο προσροφημένος σίδηρος όσο και ο σίδηρος στα ανθρακικά έχουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το μήκος του πυρήνα. Ο ευρισκόμενος υπό μορφή οξειδίων σίδηρος μειώνεται με το βάθος και από το 10,6 και 16% στις δύο πρώτες ζώνες κυμαίνεται από 4,5 μέχρι 6,6% στον υπόλοιπο πυρήνα. Ο σίδηρος στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αποτελεί μεγαλύτερο ποσοστό του ολικού μετάλλου και μειώνεται λιγότερο απότομα με το βάθος με μέγιστα στις ζώνες 3,5-5 εκ. (45%) και 10-14 εκ. (42%), κυμαινόμενος μεταξύ 27 και 38% στις άλλες ζώνες μέχρι τα 18 εκ. και μεταξύ 17,2 και 18,6% του ολικού μετάλλου κάτω από τα 24 εκ. Ο σίδηρος που είναι δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα παρουσιάζει το μικρότερο ποσοστό του (38%) στη ζώνη 3,5-5 εκ. κινείται στο 51-59 % στις άλλες ζώνες πάνω από τα 14 εκ. και στο 68 -78% του ολικού κάτω από τα 14 εκ.

8.4.2.4.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Έχει έντονη τάση αύξησης με το βάθος και παρουσιάζει την ίδια κατανομή περιεκτικότητας με το βάθος που παρουσιάζει και ο σίδηρος: 37.000 με 40.000 ppm στα πρώτα 5 εκατοστά, 30.000 με 34.000 ppm μέχρι τα 16 εκ. και 47.000 με 55.000 ppm στη συνέχεια. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση μόνο με το σίδηρο και το νικέλιο και αρνητική με τα υπόλοιπα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το μαγγάνιο, το χρώμιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό, το κάδμιο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο το προσροφημένο όσο και το αργίλιο στα ανθρακικά παρουσιάζουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το ύψος του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία είναι 0,4 -1,6% με τάση μείωσης με το βάθος. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης έχει τάση μείωσης με το βάθος κυμαινόμενο μεταξύ 3,4 και 5,1% του ολικού μετάλλου. Το αργίλιο που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 93,3 με 96,1% του ολικού μετάλλου, με το ποσοστό να αυξάνεται με το βάθος.

8.4.2.4.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το μαγγάνιο παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος. Η μέγιστη τιμή του (830 ppm) παρουσιάζεται στη ζώνη 3,5

με 5 εκ., ενώ στη ζώνη από την επιφάνεια μέχρι τα 3,5 εκ. είναι 670 ppm. Κάτω από τα 5 εκατοστά η περιεκτικότητα του εμφανίζεται μάλλον σταθερή μεταξύ 550 και 610 ppm. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά και θετική με τα άλλα μέταλλα εκτός από το αργίλιο. Η συσχέτισή του με το αργίλιο, τον κασσίτερο και τα ανθρακικά είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μαγγάνιο είναι πρακτικά σταθερό, κυμαινόμενο μεταξύ 0,2 και 0,5 % του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι σαφώς μεγαλύτερο και εκτός από το 15,3% στην κορυφή του πυρήνα κυμαίνεται στις υπόλοιπες ζώνες του πυρήνα μεταξύ 5 και 9% του ολικού μετάλλου. Το υπό μορφή οξειδίων μέταλλο είναι 32% του ολικού στην επιφάνεια και 37-53% στα άλλα σημεία του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 33% στη ζώνη 3,5-5 εκ., 17 % στην κορυφή και μεταξύ 11 και 15 % του ολικού μετάλλου στα άλλα σημεία του πυρήνα. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 21% (3,5-5 εκ.) με 44% (βάση) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.4.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει γενικά μια ελάχιστη τάση αύξησης με το βάθος και τη μέγιστη τιμή του στη ζώνη 3,5 με 5 εκ. (102 ppm). Η τιμή του είναι κατά 10 % μειωμένη στη ζώνη 24-28 εκ., κατά 30 % μειωμένη στις ζώνες 0-3,5, 16-18 και 36-38 εκ. και μειωμένη κατά 40 με 50 % στις υπόλοιπες ζώνες. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά και θετική με τα άλλα μέταλλα (με τον κασσίτερο πολύ μικρή).

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο νικέλιο έχει τάση μείωσης με το βάθος, κυμαινόμενο μεταξύ 1,7 και 3,9 (κορυφή) % του ολικού. Το κλάσμα που μετρήθηκε στα ανθρακικά είναι 25% στην κορυφή του πυρήνα, 14% και 13% στις ζώνες 3,5-5 και 10-14 εκ. αντίστοιχα, ενώ στις άλλες ζώνες του πυρήνα είναι 1,5-1,8% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξείδια είναι 30 - 33% του ολικού μετάλλου με εξαίρεση τις ζώνες 24 -28 εκ. (11%) και 36-38 εκ (14%). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 25% του ολικού μετάλλου στην κορυφή του πυρήνα, 46-50% στις άλλες ζώνες πάνω από τα 10 εκ. και 28 -36% του ολικού μετάλλου στις ζώνες κάτω από τα 10 εκ. Το κλάσμα που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κυμαίνεται από 5% (3,5-5 εκ.) μέχρι 58% (24-28 εκ.) του ολικού, με τα ποσοστά γενικά αυξημένα στα μεγαλύτερα βάθη του πυρήνα.

8.4.2.4.5. Χρόμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το μέταλλο παρουσιάζει τάση έντονη μείωσης με το βάθος και ενώ κάτω από τα 5 εκ. παρουσιάζεται μάλλον σταθερό στα 103 με 112 ppm, στις ζώνες 0-3,5 και 3,5-5 εκ. φτάνει τα 180 και 186 ppm αντίστοιχα. Παρουσιάζει

θετική συσχέτιση με τα μέταλλα εκτός από το αργίλιο (πολύ μικρή συσχέτιση) και πολύ μικρή αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο χρώμιο (χωρίς εμφανή τάση αύξησης ή μείωσης με το βάθος) είναι μεταξύ 0,5 και 2,5% του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι λίγο μεγαλύτερο μεταξύ 2,1% και 4,8% του ολικού. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία μειώνεται με το βάθος και είναι μεταξύ 7% (βάση) και 14 % (3,5-5 εκ., στην επιφάνεια 13 %). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι πρακτικά σταθερό κυμαινόμενο μεταξύ 9 και 11 % του ολικού μετάλλου, με εξαίρεση τις ζώνες 0-3,5 εκ. (27 %) και 3,5-5 εκ. (30%). Το κλάσμα που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 52-55% στις ζώνες μέχρι 5 εκ. βάθος και το 70 με 80% του ολικού μετάλλου στις υπόλοιπες ζώνες, με αυξημένες τιμές στις βαθύτερες ζώνες.

8.4.2.4.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο μόλυβδος παρουσιάζει τάση έντονη μείωσης με το βάθος και από τα 465 και 715 ppm της πρώτης και της δεύτερης ζώνης, η περιεκτικότητα μειώνεται στα 8-10 εκ. στα 145 ppm, στα 16-18 εκ. στα 158 ppm και στα 105 ppm στα 5-8 εκ., ενώ στις άλλες ζώνες κυμαίνεται μεταξύ 47 και 68 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα μέταλλα εκτός από το αργίλιο (πολύ μικρή συσχέτιση) και πολύ μικρή αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος μόλυβδος αυξάνεται από το 0,3% του ολικού στην κορυφή στο 4, % στη ζώνη 20-24 εκ. για να καταλήξει στο 1,6% του ολικού μετάλλου στη βάση του πυρήνα. Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της αυξημένης ολικής περιεκτικότητας σε μόλυβδο στα πρώτα 5 εκατοστά του πυρήνα, τα σημεία αυτά παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες με διαφορά απόλυτες τιμές σε όλα τα κλάσματα. Ο μόλυβδος στα ανθρακικά αυξάνεται από το 0,5% του ολικού στην κορυφή στο 4,5% στη ζώνη 20-24 εκ. για να καταλήξει στο 1,6% του ολικού στη βάση του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία είναι σχεδόν 50% του ολικού στα διαστήματα 3,5-8 εκ. και 10-14 εκ., 37% στη ζώνη 16-18 εκ. και 26-32% του ολικού στις άλλες ζώνες. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 13% του ολικού στις ζώνες 3,5-5 εκ. και 10-14 εκ. και μεταξύ 5 και 10% στις υπόλοιπες ζώνες του πυρήνα με τάσεις μείωσης με την αύξηση του βάθους. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 60% στην επιφάνεια, το 35 με 40% του ολικού μετάλλου στις ζώνες 3,5-5 εκ. και 10-14 εκ. και 53-65 % στις υπόλοιπες ζώνες του πυρήνα.

8.4.2.4.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο ψευδάργυρος παρουσιάζει έντονη τάση μείωσης με το βάθος και από τα 591 και 976 ppm της πρώτης και της δεύτερης ζώνης, η περιεκτικότητα μειώνεται στα 5-8 εκ. στα 162 ppm και στα 16-18 εκ. στα 107 ppm, ενώ στις

άλλες ζώνες κυμαίνεται μεταξύ 66 και 98 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα μέταλλα εκτός από το αργίλιο (πολύ μικρή συσχέτιση) και πολύ μικρή αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος ψευδάργυρος παρουσιάζεται στο 20% του ολικού μετάλλου στη ζώνη 3,5-5 εκ. και στο 14% στη ζώνη 8-10 εκ., κυμαίνεται μεταξύ 7,5 και 10% στις άλλες ζώνες μέχρι τα 18 εκ. και είναι σταθερός στο 2 με 3% του ολικού μετάλλου κάτω από τα 24 εκατοστά. Λόγω της αυξημένης ολικής περιεκτικότητας στο μέταλλο στα πρώτα 5 εκατοστά του πυρήνα, τα σημεία αυτά παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες με διαφορά απόλυτες τιμές σε όλα τα κλάσματα. Ο ψευδάργυρος στα ανθρακικά έχει μέγιστη τιμή 12 % στην επιφάνεια του πυρήνα και στη συνέχεια μειώνεται από το 4,4% του ολικού στη ζώνη 3,5-5 εκ. για να καταλήξει στο 0,9% του ολικού στη βάση του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία είναι 48- 55% του ολικού στο διάστημα 0-8 εκ., 35% στο διάστημα 8-18 εκ. και 12% στις ζώνες κάτω από τα 24 εκ. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι σταθερό μεταξύ 17 και 24% του ολικού με εξαίρεση τη ζώνη 10-14 εκ (30%). Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 6-8% στις δύο ανώτερες ζώνες, το 16% του ολικού μετάλλου στη ζώνη 5-8 εκ., 26-30% στις ζώνες μεταξύ 8 και 18 εκ. και 64-66% στις κατώτερες ζώνες του πυρήνα.

8.4.2.4.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Ο χαλκός παρουσιάζει έντονη τάση μείωσης με το βάθος και από τα 138 και 212 ppm της πρώτης και της δεύτερης ζώνης, η περιεκτικότητα μειώνεται στις άλλες ζώνες μεταξύ 9 και 20 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα μέταλλα εκτός από το αργίλιο (πολύ μικρή συσχέτιση) και πολύ μικρή αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος χαλκός είναι 3,3% του ολικού στην κορυφή του πυρήνα, 5% στη ζώνη 3,5-5 εκ., 12% στη ζώνη 5-8 εκ, 7% στις ζώνες μέχρι τα 18 εκ. και κάτω από 3,7% μέχρι τη βάση του πυρήνα. Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της αυξημένης ολικής περιεκτικότητας σε μόλυβδο στα πρώτα 5 εκατοστά του πυρήνα, τα σημεία αυτά παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες με διαφορά απόλυτες τιμές σε όλα τα κλάσματα. Ο χαλκός στα ανθρακικά είναι κάτω από 1% του ολικού στις δύο ανώτερες ζώνες και μηδενικός στις υπόλοιπες. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία είναι 2,5 και 1% του ολικού στις δύο ανώτερες ζώνες και μηδενικό στις άλλες. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 42-51 % του ολικού στις ζώνες 0-8 εκ., 24-32% στις ζώνες μέχρι 18 εκ και 9-14% στις κατώτερες ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 37-51% του ολικού στις ζώνες 0-8 εκ., το 61-69% στις ζώνες μέχρι 18 εκ και το 82-91% στις κατώτερες ζώνες του πυρήνα.

8.4.2.4.9. Κάδμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το κάδμιο παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος με εξέχουσα τιμή τα 3,6 ppm στη ζώνη 3,5-5 εκ., και κυμαίνεται μεταξύ 1 και 1,8 ppm στις άλλες ζώνες. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το μαγγάνιο, το νικέλιο, το χρώμιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό και τον κασσίτερο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το σίδηρο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή και με τα ανθρακικά σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κάδμιο αντιπροσωπεύει το 3 με 15% του ολικού χωρίς σαφή τάση μεταβολής συναρτήσει του βάθους. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι 13 και 11% σε κορυφή και βάση αντίστοιχα και 5-7% του ολικού μετάλλου στις υπόλοιπες ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία κυμαίνεται από 23% (βάση) μέχρι 40% (24-28 εκ.), ενώ μέχρι τα 8 εκ. είναι 30-35% του ολικού. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζεται μειωμένο στα πρώτα 8 εκ. του πυρήνα (7 - 14%), πολύ αυξημένο (43%) στη ζώνη 8-10 εκ. και μεταξύ 19 και 28% του ολικού μετάλλου στις ζώνες κάτω από τα 10 εκατοστά. Το κλάσμα που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 15% (8-10 εκ.) με 49% (5-8 εκ.) του ολικού μετάλλου, ενώ στην πρώτη και δεύτερη ζώνη είναι το 34 και 38% αντίστοιχα.

8.4.2.4.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο κασσίτερος παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος, παραμένοντας πρακτικά σταθερός μεταξύ 5,6 και 8 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το σίδηρο, το μαγγάνιο, το νικέλιο, το χρώμιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό και το κάδμιο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το αργίλιο, το μαγγάνιο, το νικέλιο, το κάδμιο και τα ανθρακικά είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος κασσίτερος είναι σταθερός κυμαινόμενος από το 1,2% του ολικού μέχρι το 1,7%. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι μεταξύ 1,2 και 4,6%. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία κυμαίνεται από 4,6% μέχρι 10,4% (3-3,5 εκ.) και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης μεταξύ 1,25% (κορυφή) και 11,75% (8-10 εκ.) του ολικού μετάλλου, χωρίς να παρουσιάζεται σαφής τάση μεταβολής με το βάθος για κάποιο από τα κλάσματα αυτά. Το κλάσμα που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 75% (8-10 εκ.) με 86% (κορυφή) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.4.11. Ανθρακικά

Παρουσιάζουν τάση μείωσης με το βάθος και παρουσιάζουν αντίθετη κατανομή με το σίδηρο και το αργίλιο, αφού στο διάστημα 5-16 εκ. βρίσκονται στο 49-51 %, ενώ στις άλλες ζώνες είναι μειωμένα στο 26-31%. Έχουν

θετική συσχέτιση με το κάδμιο και τον κασσίτερο και αρνητική με τα υπόλοιπα μέταλλα. Η συσχέτισή τους με το μαγγάνιο, το χρώμιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο το χαλκό και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή και με το κάδμιο σχεδόν μηδενική.

8.4.2.5. Πυρήνας ΕΠ6

Βάθος 14,1 m, μήκος 23 cm, 5 ζώνες: 0-2 (1), 5-8(6,5), 10-12 (11), 15 -18 (16,5), 21-23 (22). Στον Πίνακα 8.17 δίνονται οι περιεκτικότητες σε μέταλλα και στον Πίνακα 8.18 τα ποσοστά των γεωχημικών κλασμάτων επί του ολικού μετάλλου.

8.4.2.5.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο σίδηρος παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος με τις δύο ανώτερες ζώνες στα 18.500 με 19.000 ppm και με τιμές 21.000 με 23.000 ppm κάτω από τα 10 εκ. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το αργίλιο, το μαγγάνιο (πολύ μικρή), το χρώμιο (πολύ μικρή), τον ψευδάργυρο, το χαλκό, το κάδμιο (πολύ μικρή), τον κασσίτερο (πολύ μικρή) και τα ανθρακικά. Με τα άλλα μέταλλα παρουσιάζει πολύ μικρή αρνητική συσχέτιση.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο ο προσροφημένος σίδηρος όσο και ο σίδηρος στα ανθρακικά έχουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το μήκος του πυρήνα. Ο ευρισκόμενος υπό μορφή οξειδίων σίδηρος είναι σταθερός μεταξύ 10,7 και 11,2% του ολικού. Ο σίδηρος στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αποτελεί μεγαλύτερο ποσοστό του ολικού μετάλλου και μειώνεται λιγότερο απότομα με το βάθος με μέγιστα στις ζώνες 3,5-5 εκ. (45%) και 10-14 εκ. (42%), κυμαινόμενος μεταξύ 24,5 (10-12 εκ.) και 37,5 (5-8 εκ.) % του ολικού μετάλλου στις άλλες ζώνες του πυρήνα, χωρίς σαφή εξάρτηση από το βάθος. Ο σίδηρος που είναι εγκλωβισμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κυμαίνεται μεταξύ 63,3 (10-12 εκ.) και 50,1% (5-8 εκ.) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.5.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Έχει τάση αύξησης με το βάθος και με εξαίρεση τα 30.800 ppm της κορυφής οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 34.000 και 37.000 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και όλα τα μέταλλα εκτός από τον κασσίτερο. Η συσχέτισή του με το μαγγάνιο, το χρώμιο και το μόλυβδο είναι πολύ μικρή και με το νικέλιο και τον κασσίτερο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο το προσροφημένο μέταλλο, όσο και το αργίλιο στα ανθρακικά αργίλιο παρουσιάζουν πρακτικά μηδενικές

τιμές σε όλο το ύψος του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία είναι 1 έως 1,4% και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης 3,1 έως 3,9% του ολικού μετάλλου. Το αργίλιο που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 94,7 με 95,9% του ολικού μετάλλου.

8.4.2.5.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το μαγγάνιο παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος. Η μέγιστη τιμή του (870 ppm) παρουσιάζεται στη ζώνη 5 με 8 εκ., ενώ στην επιφανειακή ζώνη είναι 670 ppm. Σε μεγαλύτερα βάθη η περιεκτικότητά του εμφανίζεται μεταξύ 690 και 860 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και με τα άλλα μέταλλα εκτός από το κάδμιο. Η συσχέτισή του με το σίδηρο, το αργίλιο, το χρώμιο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μαγγάνιο είναι πρακτικά σταθερό, κυμαινόμενο μεταξύ 0,4 και 0,8% του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι σαφώς μεγαλύτερο και κυμαίνεται μεταξύ 16,2 (κορυφή) και 23,7% (βάση) του ολικού μετάλλου. Το μαγγάνιο υπό μορφή οξειδίων είναι σταθερό μεταξύ 37,3 και 39% σε ολόκληρο τον πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 21% στη βάση του πυρήνα και 9,7 με 13,9% (κορυφή) του ολικού μετάλλου στα άλλα σημεία του πυρήνα. Το κλάσμα που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 15,3% (βάση πυρήνα) με 33,3% (15-18 εκ) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.5.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το νικέλιο παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος έχει τη μέγιστη τιμή του στη βάση του πυρήνα (59 ppm). Η τιμή του είναι μειωμένη κατά 20% στη ζώνη 5-8 εκ. και κατά 50 % στις άλλες τρεις ζώνες. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με το σίδηρο και το χρώμιο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το σίδηρο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή και με το αργίλιο και το κάδμιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο νικέλιο έχει τάση μείωσης με το βάθος, κυμαινόμενο μεταξύ 1,2 και 4% (κορυφή) του ολικού. Το νικέλιο στα ανθρακικά είναι μεταξύ 3,6 και 7,8% (βάση) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία είναι 44% του ολικού μετάλλου στην κορυφή του πυρήνα και 19,1 με 25,8% του ολικού στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι μεταξύ 14,2 και 27,6% (κορυφή 17,7%, βάση 19,8%). Το κλάσμα που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κυμαίνεται από το 28,1% (κορυφή) μέχρι το 53,3% (10-12 εκ.) του ολικού, με τα ποσοστά γενικά μεγαλύτερα στα μεγαλύτερα βάθη του πυρήνα.

Πίνακας 8.17 (1/2). Πυρήνας Ε6 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
0-2	T	18560	30775	674	29,9	91,25	199,2	184,55	43,5	1,89	6,4	29,3
	A	19	0	2,92	1,2	0,71	1,8	40,21	6,21	0,31	0,1	
	B	12	0	109,28	1,8	4,49	1,9	3,21	3,8	0,24	0,2	
	C	2262	349	262,38	13,2	13,95	93,8	61,14	1,35	0,75	0,7	
	D	5875	973	93,68	5,3	9,7	17,3	39,9	11,73	0,25	0,3	
	R	10392	29453	205,74	8,4	62,4	84,4	40,09	20,41	0,34	5,1	
	T	18975	33835	873,25	50,7	97,5	255	216,65	72,25	2,18	5,9	35,4
5-8	A	23	0	6,89	0,6	1,18	1,9	42,36	7,63	0,17	0,1	
	B	26	0	200,17	3,4	4,66	3,4	7,52	0,52	0,24	0,1	
	C	2314	466	326,03	12,1	14,85	108,8	85,89	2,9	0,74	0,7	
	D	7119	1314	107,6	14	16,6	25	47,15	16,43	0,54	0,2	
	R	9493	32055	232,56	20,6	59,51	115,9	33,72	44,77	0,49	4,8	
	T	23151	36053	827,25	30,2	99	207,2	240,3	72	1,33	6,6	43,1
	A	28	0	3,17	0,9	1,52	1,1	27,26	8,87	0,12	0,1	
10-12	B	22	0	174,14	1,1	4,58	1,9	8,04	0,36	0,19	0,1	
	C	2772	394	309,25	7,8	16,95	92,3	109,99	3,33	0,49	0,6	
	D	5661	1204	80,35	4,3	17,48	27,8	48,11	23,78	0,26	0,2	
	R	14668	34455	260,34	16,1	58,47	84,1	46,9	35,66	0,27	5,6	

Πίνακας 8.17 (2/2). Πυρήνας Ε6 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάση	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
15-18	T	22025	36968	692,75	32,4	93,5	231,1	249,7	67	5,09	5,9	31,8
	A	16	0	2,49	0,9	1,44	1,3	42,06	7,18	0,28	0	
	B	20	0	125,72	1,7	4,82	1,5	13,57	0,35	0,25	0,4	
	C	2800	384	234,03	6,4	17,43	89,8	107,17	2,8	1,53	0,8	
	D	6522	1137	86,05	8,5	13	22,8	44,79	22,95	2,61	0,2	
21-23	R	12667	35447	244,46	14,9	56,81	115,7	42,11	33,72	0,42	4,5	
	T	21353	34778	862	59,1	87,75	247	269,78	67,5	3,11	7	44,8
	A	22	0	5,22	0,8	1,22	1,3	39,96	6,62	0,23	0,1	
	B	24	0	204,32	4,6	4,72	2,5	30,62	1,8	0,29	0,1	
	C	2268	400	336,28	11,3	16,63	89	121,28	1,48	0,89	0,5	
D	74048	1168	184,45	11,7	11,38	20,5	43,44	26,3	1,1	0,2		
R	11531	33210	131,73	30,7	53,8	133,7	34,48	31,3	0,6	6,1		

Πίνακας 8.18. Πυρήνας Ε6 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Ποσοστά γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων (% του ολικού μετάλλου).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
0-2	A	0,1	0	0,43	4,01	0,78	0,9	21,79	14,28	16,4	1,56
	B	0,1	0	16,21	6,02	4,92	0,95	1,74	8,74	12,7	3,13
	C	12,2	1,1	38,93	44,15	15,29	47,09	33,13	3,1	39,68	10,94
	D	31,7	3,2	13,9	17,73	10,63	8,68	21,62	26,97	13,23	4,69
	R	55,9	95,7	30,53	28,09	68,38	42,38	21,72	46,91	17,99	79,68
5-8	A	0,1	0	0,79	1,18	1,93	0,75	19,55	10,56	7,8	1,69
	B	0,1	0	22,92	6,71	4,78	1,33	3,47	0,72	11,01	1,69
	C	12,2	1,4	37,34	23,87	15,23	42,67	39,64	4,01	33,94	11,86
	D	37,5	3,9	12,32	27,61	17,03	9,8	21,76	22,74	24,77	3,39
	R	50,1	94,7	26,63	40,63	61,03	45,45	15,58	61,97	22,48	81,37
10-12	A	0,1	0	0,38	2,98	1,54	0,53	11,34	12,32	9,02	1,52
	B	0,1	0	21,05	3,64	4,63	0,92	3,35	0,5	14,29	1,52
	C	12	1,1	37,38	25,83	17,12	44,55	45,77	4,63	36,84	9,09
	D	24,5	3,3	9,71	14,24	17,66	13,42	20,02	33,03	19,55	3,03
	R	63,3	95,6	31,48	53,31	59,05	40,58	19,52	49,52	20,3	84,84
15-18	A	0,1	0	0,36	2,78	1,54	0,56	16,84	10,72	5,5	0
	B	0,1	0	18,15	5,25	5,16	0,65	5,43	0,52	4,91	6,78
	C	12,7	1	33,78	19,75	18,64	38,86	42,92	4,18	30,06	13,56
	D	29,6	3,1	12,42	26,23	13,9	9,87	17,94	34,25	51,28	3,39
	R	57,5	95,9	35,29	45,99	60,76	50,06	16,87	50,33	8,25	76,27
21-23	A	0,1	0	0,61	1,35	1,39	0,53	14,81	9,81	7,4	1,43
	B	0,1	0	23,7	7,78	5,38	1,01	11,35	2,67	9,32	1,43
	C	10,7	1,2	39,01	19,12	18,95	36,03	44,96	2,19	28,62	7,14
	D	34,9	3,4	21,4	19,8	12,97	8,3	16,1	38,96	35,37	2,86
	R	54,2	95,4	15,28	51,95	61,31	54,13	12,78	46,37	19,29	87,14

8.4.2.5.5. Χρώμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το χρώμιο παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος παραμένοντας σταθερό μεταξύ και 88 και 99 ppm. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το νικέλιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το κάδμιο και τον κασσίτερο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το σίδηρο, το αργίλιο, το μαγγάνιο, το μόλυβδο και τον ψευδάργυρο είναι πολύ μικρή και με τα ανθρακικά σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο χρώμιο (χωρίς εμφανή τάση αύξησης ή μείωσης με το βάθος) είναι μεταξύ 0,8 και 1,9% του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι λίγο μεγαλύτερο μεταξύ 4,6% και 5,4% του ολικού. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία αυξάνεται με το βάθος και είναι μεταξύ 15,2% (βάση) και 19%. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι μεταξύ 10,6 (κορυφή) και 17,7% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το περίπου το 60% του ολικού σε όλες τις ζώνες εκτός της επιφανειακής (68%).

8.4.2.5.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο μόλυβδος παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος αν και είναι σχετικά σταθερός μεταξύ 199 (κορυφή) και 255 ppm (5-8 εκ.). Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με το σίδηρο, το χρώμιο και τον κασσίτερο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το σίδηρο, το αργίλιο, το χρώμιο, το κάδμιο και τα ανθρακικά είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος μόλυβδος αυξάνεται από το 0,5% του ολικού στη βάση στο 0,9% στην κορυφή του πυρήνα. Ο μόλυβδος στα ανθρακικά είναι σταθερός μεταξύ 0,6 και 1,3% του ολικού. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία είναι 47% του ολικού στην κορυφή και μειώνεται μέχρι το 36% στη βάση του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 13,4% του ολικού στη ζώνη 10-12 εκ. και μεταξύ 8,3 και 9,9% στις υπόλοιπες ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 42% στην κορυφή και αυξάνεται μέχρι το 54 % του ολικού μετάλλου στη βάση του πυρήνα.

8.4.2.5.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Αυξάνεται με το βάθος και από τα 185 ppm της κορυφής, η περιεκτικότητα αυξάνεται στα 270 ppm στη βάση του πυρήνα. Παρουσιάζει πολύ μικρή αρνητική συσχέτιση με το χρώμιο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά.

- **Γεωχημικά κλάσματα**

Ο προσροφημένος ψευδάργυρος παρουσιάζεται στο 21,8% του ολικού μετάλλου στη ζώνη 0-2 εκ. και στο 19,6% στη ζώνη 5-8 εκ. και κυμαίνεται μεταξύ 11,3 και 16,8% στις άλλες ζώνες. Ο ψευδάργυρος στα ανθρακικά, με εξαίρεση το ποσοστό 11,3% στην βάση του πυρήνα, κυμαίνεται από το 1,7% του ολικού στην επιφανειακή ζώνη μέχρι το 5,4 % του ολικού στη ζώνη 15-18 εκ. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία είναι 33% στην κορυφή και 40- 46% του ολικού στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι σταθερό μεταξύ 16,1 και 21,8% του ολικού με τις τιμές να μειώνονται με το βάθος. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 12,8-21,7% του ολικού μετάλλου με τις δύο ακραίες τιμές σε βάση και κορυφή αντίστοιχα.

8.4.2.5.8. Χαλκός

- **Ολική περιεκτικότητα**

Παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος και από τα 43,5 ppm της πρώτης ζώνης, η περιεκτικότητα αυξάνεται στις κατώτερες ζώνες μεταξύ 67 και 72 ppm. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τον κασσίτερο (σχεδόν μηδενική) και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το κάδμιο είναι πολύ μικρή.

- **Γεωχημικά κλάσματα**

Ο προσροφημένος χαλκός είναι 14,3% του ολικού στην κορυφή του πυρήνα και μειώνεται μέχρι το 9,8% στη βάση του πυρήνα. Ο χαλκός στα ανθρακικά είναι κάτω από 8,7% του ολικού στην κορυφή του πυρήνα και 0,5-2,7% του ολικού μετάλλου στις υπόλοιπες ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία είναι μεταξύ 2,2 και 4,6% του ολικού. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι μεταξύ 22,8% του ολικού (ζώνη 5-8 εκ.) και 39% (βάση του πυρήνα). Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 62% του ολικού στη ζώνη 5-8 εκ., και 46-50% στις υπόλοιπες ζώνες του πυρήνα.

8.4.2.5.9. Κάδμιο

- **Ολική περιεκτικότητα**

Παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος με εξέχουσα τιμή τα 5,1 ppm στη ζώνη 15-18 εκ., ενώ στις άλλες ζώνες κυμαίνεται μεταξύ 1,3 και 3,1 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το σίδηρο, το αργίλιο, το νικέλιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό και τον κασσίτερο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το σίδηρο, το χαλκό και τα ανθρακικά είναι πολύ μικρή και με το νικέλιο σχεδόν μηδενική.

- **Γεωχημικά κλάσματα**

Το προσροφημένο κάδμιο αντιπροσωπεύει το 16,4% του ολικού στην κορυφή και το 5,5-9% στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι 4,9% στη ζώνη 15-18 εκ. και 9,3-14,3% του ολικού μετάλλου στις

υπόλοιπες ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία κυμαίνεται από 28,6% (βάση) μέχρι 39,7% (κορυφή), ενώ το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζεται μειωμένο στα πρώτα 2 εκ. του πυρήνα (13%), πολύ αυξημένο (51%) στη ζώνη 15-18 εκ και μεταξύ 20 και 35% του ολικού μετάλλου στις υπόλοιπες ζώνες. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 8% (15-18 εκ.) με 22% (5-8 εκ) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.5.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος, παραμένοντας πρακτικά σταθερός μεταξύ 5,9 και 7 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το σίδηρο, το μαγγάνιο, το νικέλιο, τον ψευδάργυρο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το σίδηρο, το μαγγάνιο, το νικέλιο και το μόλυβδο είναι πολύ μικρή και με το αργίλιο και το χαλκό σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος κασσίτερος είναι πρακτικά σταθερός παραμένοντας κάτω από το 1,7% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι σταθερό μεταξύ 1,5 και 3,1%, με εξαίρεση τη ζώνη 15-18 εκ. (6,8%). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία κυμαίνεται από 7,1% (βάση) μέχρι 13,6% (15-18 εκ.) και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης μεταξύ 2,9% (βάση) και 4,7% (κορυφή) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 76% (15-18 εκ.) με 87% (βάση) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.5.11. Ανθρακικά

Παρουσιάζουν τάση αύξησης με το βάθος με τις ακραίες τιμές στην κορυφή και βάση του πυρήνα, 29 και 45% αντίστοιχα. Έχουν αρνητική συσχέτιση με το χρώμιο και το κάδμιο και θετική με τα υπόλοιπα μέταλλα. Η συσχέτισή τους με το μόλυβδο και το κάδμιο είναι πολύ μικρή και με το χρώμιο σχεδόν μηδενική.

8.4.2.6. Πυρήνας ΕΠ7

Βάθος 12,4 m, μήκος 19 cm, 4 ζώνες: 0-3 (1,5), 7-10(8,5), 13-15 (14), 17 -19 (18). Στον Πίνακα 8.19 δίνονται οι περιεκτικότητες σε μέταλλα και στον Πίνακα 8.20 τα ποσοστά των γεωχημικών κλασμάτων επί του ολικού μετάλλου.

Πίνακας 8.19 (1/2). Πυρήνας Ε7 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
0-3	T	20277	36338	651,25	44,9	71,75	155	190,43	25,75	1,59	5,9	31,1
	A	17	0	2,56	2	1,25	1,6	45,93	4,77	0,22	0,1	
	B	30	0	160,94	7,2	6,9	3,1	18,37	0,36	0,53	0,2	
	C	1775	424	122,65	19,2	11,9	60,5	49,35	0	0,29	0,4	
	D	4322	14511	46,7	11,9	9,98	13,5	22,09	6,03	0,17	0,2	
	R	14133	34463	318,4	4,6	41,72	76,3	54,69	14,59	0,38	5	
	T	20805	36755	605	58,1	74,25	76,8	107,85	21,5	1,77	7,2	30,3
	A	16	0	2,11	0,6	1,23	0,3	8,7	1,82	0,11	0,1	
7-10	B	47	0	167,01	6,2	6,51	2,3	11,25	0,71	0,12	0,3	
	C	1830	450	116,3	2,9	9,85	28	27,66	0	0,75	0,6	
	D	4322	1700	35,18	11,8	6,63	9,8	20,88	4,53	0,58	0,2	
	R	14590	34605	284,4	36,6	50,03	36,4	39,36	14,44	0,21	6	
	T	23232	35145	594	62,8	71,25	49,5	64,25	20,75	1,64	7,9	41,4
	A	13	0	2,85	0,8	0,55	0,1	2,96	1,36	0,04	0,1	
	B	52	0	175,04	5,8	6,68	0,1	2,42	0,3	0,06	0,5	
	C	2111	363	129,18	6,3	10,05	9	12,4	0	0,7	0,5	
13-15	D	3751	1574	40,28	17,7	5,2	2,8	12,45	1,83	0,49	0,2	
	R	17305	33208	246,65	32,2	48,77	37,5	34,02	17,26	0,35	6,6	

Πίνακας 8.19 (2/2). Πυρήνας Ε7 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
17-19	T	19012	33680	625,25	56,1	75,75	47,3	53,78	16,75	0,63	6,7	41,1
	A	13	0	2,23	0,4	2,48	1,4	2,04	0,92	0,03	0,1	
	B	43	0	167,57	3,1	6,32	0,3	1,7	0	0,02	0,3	
	C	2139	336	166,08	10,5	10,68	8,3	11,18	0	0,16	0,5	
	D	2943	1358	37,85	6,2	4,58	3	11,81	0,75	0,16	0,3	
	R	13874	31986	251,52	35,9	51,69	34,3	27,05	15,08	0,26	5,5	

Πίνακας 8.20. Πυρήνας E7 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Ποσοστά γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων (% του ολικού μετάλλου).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
0-3	A	0,1	0	0,39	4,45	1,74	1,03	24,12	18,52	13,84	1,69
	B	0,1	0	24,71	16,04	9,62	2	9,65	1,4	33,33	3,39
	C	8,8	1,2	18,83	42,76	16,59	39,03	25,92	0	18,24	6,78
	D	21,3	4	7,17	26,5	13,91	8,71	11,6	23,42	10,69	3,39
	R	69,7	94,8	48,9	10,25	58,14	49,23	28,71	56,66	23,9	84,75
7-10	A	0,1	0	0,35	1,03	1,66	0,39	8,07	8,47	6,21	1,39
	B	0,2	0	27,6	10,67	8,77	2,99	10,43	3,3	6,78	4,17
	C	8,8	1,2	19,22	4,99	13,27	36,46	25,65	0	42,37	8,33
	D	20,8	4,6	5,81	20,31	8,93	12,76	19,36	21,07	32,77	2,78
	R	70,1	94,2	47,02	63	67,37	47,4	36,49	67,16	11,87	83,33
13-15	A	0,1	0	0,48	1,27	0,77	0,2	4,61	6,55	2,44	1,27
	B	0,2	0	29,47	9,24	9,38	0,2	3,77	1,45	3,66	6,33
	C	9,1	1	21,75	10,03	14,11	18,18	19,3	0	42,68	6,33
	D	16,1	4,5	6,78	28,18	7,3	5,66	19,38	8,82	29,88	2,53
	R	74,5	94,5	41,52	51,28	68,44	75,76	52,94	83,18	31,34	83,54
17-19	A	0,1	0	0,36	0,71	3,27	2,96	3,79	5,49	4,76	1,49
	B	0,2	0	26,8	5,53	8,34	0,63	3,16	0	3,17	4,48
	C	11,3	1	26,56	18,72	14,1	17,55	20,79	0	25,4	7,46
	D	15,5	4	6,05	11,05	6,05	6,34	21,96	4,48	25,4	4,48
	R	72,9	95	40,23	63,99	68,24	72,52	50,3	90,03	41,27	82,09

8.4.2.6.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο σίδηρος δεν παρουσιάζει σαφή τάση μεταβολής με το βάθος και έχει τη μεγαλύτερη τιμή στη ζώνη 13-15 εκ. (>23.000 ppm) και τιμές 19.000 με 21.000 ppm στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και τα άλλα μέταλλα, εκτός από μαγγάνιο, το χρώμιο, το μόλυβδο και τον ψευδάργυρο. Παρουσιάζει πολύ μικρή συσχέτιση με το αργίλιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό και τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο ο προσροφημένος σίδηρος όσο και ο σίδηρος στα ανθρακικά έχουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το ύψος του πυρήνα. Ο ευρισκόμενος υπό μορφή οξειδίων σίδηρος αυξάνεται με το βάθος από 8,8 σε 11,3% του ολικού. Ο σίδηρος στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αποτελεί μεγαλύτερο ποσοστό του ολικού μετάλλου και μειώνεται με το βάθος από 21,3 σε 15,5% του ολικού. Ο σίδηρος που είναι δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κυμαίνεται μεταξύ 69,7 και 72,9% του ολικού μετάλλου, με ελαφρά αυξητική τάση με το βάθος.

8.4.2.6.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Έχει τάση μείωσης με το βάθος και από τα 36.000 ppm της κορυφής η τιμή πέφτει κάτω από 34.000 ppm στη βάση του πυρήνα. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα εκτός από το σίδηρο, το νικέλιο, το χρώμιο και τον κασσίτερο και αρνητική με τα μέταλλα αυτά και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το σίδηρο, το νικέλιο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή και με το μαγγάνιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο το προσροφημένο όσο και το αργίλιο στα ανθρακικά παρουσιάζουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το ύψος του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξείδια είναι σταθερό μεταξύ 1 και 1,2% και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αποτελεί το 4 έως 4,6% του ολικού μετάλλου. Το αργίλιο που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 94,2 με 95% του ολικού μετάλλου.

8.4.2.6.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το μαγγάνιο παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος. Είναι σταθερό μεταξύ 600 και 650 ppm περίπου. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα εκτός από το σίδηρο, το νικέλιο, το κάδμιο και τον κασσίτερο και αρνητική με τα 4 αυτά μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το σίδηρο και το κάδμιο είναι πολύ μικρή και με το αργίλιο και το χρώμιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μαγγάνιο είναι πρακτικά σταθερό, κυμαινόμενο μεταξύ 0,4 και 0,5% του ολικού. Το κλάσμα

στα ανθρακικά είναι σαφώς μεγαλύτερο και σχετικά σταθερό με αυξητική τάση με το βάθος κυμαινόμενο μεταξύ 24 και 30% του ολικού μετάλλου. Το μέταλλο υπό μορφή οξειδίων αυξάνεται από 19 σε 27%. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι πιο σταθερό, μεταξύ 5,8 και 7,2% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα μειώνεται με το βάθος και αποτελεί το 40% (βάση) με 49% (κορυφή) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.6.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το νικέλιο παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος και τη μέγιστη τιμή του στη ζώνη 13-15 εκ. (63 ppm) και την ελάχιστη στην κορυφή του πυρήνα (45 ppm). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το σίδηρο, το χρώμιο, το κάδμιο και τον κασσίτερο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το αργίλιο και το χρώμιο είναι πολύ μικρή και με το κάδμιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο νικέλιο έχει τάση μείωσης με το βάθος, κυμαινόμενο μεταξύ 0,7 (βάση) και 4,5% (κορυφή) του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά μειώνεται με το βάθος από 16 (κορυφή) σε 5,5% (βάση) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηνιούχα οξειδία είναι 43% του ολικού μετάλλου στην κορυφή του πυρήνα και 5 με 18% (βάση) του ολικού στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι μεταξύ 20 και 28% στις τρεις ανώτερες ζώνες και μόνο 11% βάση του πυρήνα. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι μόλις 10% στην κορυφή, ενώ κυμαίνεται από το 51% μέχρι το 64 % του ολικού στις κατώτερες ζώνες του πυρήνα.

8.4.2.6.5. Χρώμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το χρώμιο παρουσιάζει ελάχιστη τάση αύξησης με το βάθος παραμένοντας σταθερό μεταξύ και 72 και 76 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το μαγγάνιο, το νικέλιο και τον κασσίτερο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το νικέλιο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή και με το μαγγάνιο και τα ανθρακικά σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο χρώμιο (χωρίς εμφανή τάση αύξησης ή μείωσης με το βάθος) είναι μεταξύ 0,8 και 3,3% (βάση) του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι σαφώς μεγαλύτερο και πιο σταθερό μεταξύ 8,3% και 9,6% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηνιούχα οξειδία είναι μεταξύ 13,3% και 16,6% (κορυφή). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης μειώνεται με το βάθος από 13,9 (κορυφή) σε 6% (βάση) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το περίπου το 68% του ολικού μετάλλου σε όλες τις ζώνες εκτός της ανώτερης (58%).

8.4.2.6.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο μόλυβδος μειώνεται με το βάθος, αφού η τιμή στην κορυφή του πυρήνα είναι διπλάσια από την τιμή στη ζώνη 7-10 εκ. και τριπλάσια από τις τιμές στις κατώτερες ζώνες. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το σίδηρο, το νικέλιο, το χρώμιο και τον κασσίτερο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το σίδηρο είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος μόλυβδος είναι μεταξύ 0,2% (13-15 εκ.) και 3% (βάση) του ολικού, ενώ στην κορυφή του πυρήνα είναι 1% του ολικού μετάλλου. Ο μόλυβδος στα ανθρακικά είναι μεταξύ 0,2 (13-15 εκ.) και 3% (7-10 εκ.) του ολικού, ενώ στην κορυφή είναι 2%. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία μειώνεται έντονα με το βάθος από 36-39% του ολικού στις δύο ανώτερες ζώνες σε 18% στις δύο κατώτερες ζώνες του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 12,7% του ολικού στη ζώνη 7-10 εκ. και μεταξύ 5,7 και 8,7% (κορυφή) στις υπόλοιπες ζώνες του πυρήνα. Επειδή η ολική περιεκτικότητα στο μέταλλο είναι πολύ μεγαλύτερη στην ανώτερη ζώνη, οι διαφορές σε απόλυτες τιμές είναι μεγαλύτερες. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 47 με 49% του ολικού μετάλλου στις δύο ανώτερες ζώνες και αυξάνεται μέχρι και 76 % του ολικού μετάλλου στις δύο κατώτερες ζώνες του πυρήνα.

8.4.2.6.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο ψευδάργυρος μειώνεται με το βάθος και από τα 190 ppm της κορυφής, η περιεκτικότητα μειώνεται στα 108 ppm στη ζώνη 7-10 εκ. και στα 54 ppm στη βάση του πυρήνα. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το σίδηρο, το νικέλιο, το χρώμιο και τον κασσίτερο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το σίδηρο είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος ψευδάργυρος παρουσιάζεται στο 24, % του ολικού μετάλλου στη ζώνη 0-3 εκ. και στο 8,1% στη ζώνη 7-10 εκ. και μειώνεται στο 3,8% στη βάση του πυρήνα. Ο ψευδάργυρος στα ανθρακικά είναι περίπου 10% στις δύο ανώτερες ζώνες και περίπου 3,5% του ολικού στις δύο κατώτερες. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία είναι 26% στις δύο ανώτερες ζώνες και 19-21% του ολικού στις δύο κατώτερες. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 11% στην κορυφή του πυρήνα και σταθερό μεταξύ 19 και 22% του ολικού στις τρεις κατώτερες ζώνες. Επειδή η ολική περιεκτικότητα στο μέταλλο είναι πολύ μεγαλύτερη στην ανώτερη ζώνη, οι απόλυτες τιμές για τη ζώνη αυτή είναι μεγαλύτερες. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 29 και 37% του ολικού μετάλλου στις δύο ανώτερες ζώνες και το 50-53 % στις δύο κατώτερες.

8.4.2.6.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Ο χαλκός μειώνεται με το βάθος από τα 26 ppm της επιφανειακής ζώνης στα 17 ppm στη βάση του πυρήνα. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το νικέλιο, το χρώμιο και τον κασσίτερο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος χαλκός είναι 18,5% του ολικού στην κορυφή του πυρήνα και μειώνεται μέχρι το 5,5% στη βάση του πυρήνα. Ο χαλκός στα ανθρακικά είναι μεταξύ 0 (βάση) και 3,3% του ολικού. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιώδη οξειδία είναι μηδενικό, ενώ το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης από 23,4 και 21,1% του ολικού στις δύο ανώτερες ζώνες μειώνεται μέχρι 4,5% στη βάση του πυρήνα. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αυξάνεται με το βάθος και αποτελεί το 57-90% του ολικού μετάλλου.

8.4.2.6.9. Κάδμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος με μεγαλύτερη τιμή τα 1,8 ppm στη ζώνη 7-10 εκ. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το σίδηρο, το αργίλιο, το νικέλιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό και τον κασσίτερο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το μαγγάνιο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή και με το νικέλιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κάδμιο αντιπροσωπεύει το 13,8% του ολικού στην κορυφή και το 2,5-6,2% στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι 33,3% στην κορυφή 3,2-6,8% του ολικού μετάλλου στις υπόλοιπες ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιώδη οξειδία είναι 18% του ολικού στην κορυφή, 25% στη βάση και 42 % του ολικού μετάλλου στις δύο μεσαίες ζώνες. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζεται μειωμένο στα πρώτα 2 εκ. του πυρήνα (12%) και μεταξύ 25 και 33% του ολικού μετάλλου στις υπόλοιπες ζώνες. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 12% (7-10 εκ.) με 41% (βάση) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.6.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος, παραμένοντας πρακτικά σταθερός μεταξύ 5,9 και 7,9 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το σίδηρο, το νικέλιο και το κάδμιο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το αργίλιο, το χρώμιο και το κάδμιο είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος κασσίτερος είναι σταθερός κυμαινόμενος από 1,3 % μέχρι 1,7% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι μεταξύ 3,4 (κορυφή) και 6,3% (13-15 εκ.). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία κυμαίνεται από 6,3% μέχρι 8,3% και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης μεταξύ 2,5% και 4,5% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 82 με 85% του ολικού μετάλλου.

8.4.2.6.11. Ανθρακικά

Παρουσιάζουν τάση αύξησης με το βάθος, από 31 σε 41%. Έχουν θετική συσχέτιση με το σίδηρο, το νικέλιο, το χρώμιο και τον κασσίτερο και αρνητική με τα υπόλοιπα μέταλλα. Η συσχέτισή τους με το σίδηρο είναι πολύ μικρή και με το χρώμιο σχεδόν μηδενική.

8.4.2.7. Πυρήνας ΕΠ8

Βάθος 9,7 m, μήκος 23 cm, 5 ζώνες: 0-5 (2,5), 8-10 (9), 13-15 (14), 18 -20 (19), 21-23 (22). Στον Πίνακα 8.21 δίνονται οι περιεκτικότητες σε μέταλλα και στον Πίνακα 8.22 τα ποσοστά των γεωχημικών κλασμάτων επί του ολικού μετάλλου.

8.4.2.7.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος και έχει τη μεγαλύτερη τιμή στη ζώνη 0-5 εκ. (22.000 ppm) που μειώνεται κατά 5% στη βάση του πυρήνα. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα, εκτός από το μόλυβδο και τον κασσίτερο και αρνητική με τα ανθρακικά. Παρουσιάζει πολύ μικρή συσχέτιση με το νικέλιο και με το μόλυβδο και το κάδμιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο ο προσροφημένος σίδηρος όσο και ο σίδηρος στα ανθρακικά έχουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το ύψος του πυρήνα. Ο ευρισκόμενος υπό μορφή οξειδίων σίδηρος μειώνεται με το βάθος από 15% στις δύο ανώτερες ζώνες σε 10-12 % του ολικού μετάλλου στις υπόλοιπες. Ο σίδηρος στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης, αντίθετα, αυξάνεται με το βάθος και αποτελεί μεγαλύτερο ποσοστό του ολικού μετάλλου. Είναι 22-24 % στις δύο ανώτερες ζώνες και 28 (βάση) με 39% του ολικού μετάλλου στις άλλες τρεις. Ο σίδηρος που είναι δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κυμαίνεται μεταξύ 50 και 63% του ολικού μετάλλου.

Πίνακας 8.21 (1/2). Πορήγας Ε8 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
0-5	T	21952	38740	676,5	54,1	144,5	302,1	271,5	103,75	1,01	6,7	34,1
	A	28	0	3,79	1,3	1,88	0,6	51,8	23,75	0,12	0	
	B	38	0	211,07	4,1	6,73	2	40,11	3,15	0,1	0,2	
	C	3306	444	116,08	7,9	60,33	65	82,94	3,58	0,29	0,2	
	D	4776	1789	60,15	19,9	39,98	33	38,89	24,88	0,18	0,1	
	R	13804	36498	285,41	20,9	35,58	201,5	57,76	48,39	0,32	6,2	
8-10	T	21141	33620	546,75	44,2	140,25	206,7	252	76,75	1,58	8,1	42,9
	A	31	0	2,23	1,1	1,75	0,7	65,14	13,52	0,15	0,1	
	B	45	0	132,48	8,4	6,83	1,9	28,88	2,91	0,14	0,2	
	C	3128	541	101,35	4,1	49,93	59,5	81,33	2,18	0,27	0,4	
	D	4977	1591	53,3	7,9	26,78	14,8	38,65	23,48	0,2	0,2	
	R	12960	31488	257,39	22,7	54,96	129,8	38	34,66	0,82	7,2	
13-15	T	20968	34405	528,75	67,6	114,5	516,8	255,95	65,25	1,4	6,8	41,3
	A	36	0	1,49	1,7	1,85	0,6	74,38	13,65	0,25	0,1	
	B	56	0	128,34	12,5	6,48	2,7	32,81	1,4	0,12	0,3	
	C	2452	544	105,43	5,7	35,28	62,8	72,26	1,9	0,35	0,5	
	D	7121	1586	77,8	22,8	18,9	15	31,18	18,7	0,21	0,1	
	R	11303	32275	215,69	24,9	51,99	435,7	45,32	29,6	0,47	5,8	

Πίνακας 8.21 (2/2). Πυρήνας Ε8 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
18-20	T	21443	35263	590	53,5	106,25	246,5	241,63	65,75	2,95	7,3	41,7
	A	30	0	1,14	0,7	1,91	1,1	51,23	7,65	0,23	0,1	
	B	55	0	111,2	6,7	5,06	2,2	32,58	1,99	0,23	0,2	
	C	2195	979	124,25	4,1	32,03	61	77,44	1,65	0,65	0,4	
	D	8414	2028	96,33	20,1	21,2	18,3	32,15	18,5	1,53	0,2	
	R	10749	32256	257,08	21,9	46,05	163,9	45,23	35,96	0,31	6,4	
21-23	T	20992	32953	528	19,5	68	94	93,53	17	0,96	10,8	46,6
	A	23	0	1,1	0,3	1,99	0,2	8,37	0,5	0,04	0	
	B	50	0	73,99	2,1	4,49	2	4,34	0	0,05	0,7	
	C	2135	834	198,98	3	14,43	7,3	19,25	0	0,26	0,4	
	D	5960	2071	52,3	4	12,05	9,8	13,88	2,93	0,34	0,2	
	R	12824	30048	201,63	10,1	35,04	74,7	47,69	13,57	0,27	9,5	

Πίνακας 8.22. Πυρήνας Ε8 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Ποσοστά γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων (% του ολικού μετάλλου).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
0-5	A	0,1	0	0,56	2,4	1,3	0,2	19,08	22,89	11,88	0
	B	0,2	0	31,2	7,58	4,66	0,66	14,77	3,04	9,9	2,99
	C	15,1	1,1	17,16	14,6	41,75	21,52	30,55	3,45	28,71	2,99
	D	21,8	4,6	8,89	36,78	27,67	10,92	14,32	23,98	17,82	1,49
	R	62,8	94,3	42,19	38,64	24,62	66,7	21,28	46,64	31,69	92,53
8-10	A	0,1	0	0,41	2,49	1,25	0,34	25,85	17,62	9,49	1,23
	B	0,2	0	24,23	19	4,87	0,92	11,46	3,79	8,86	2,47
	C	14,8	1,6	18,54	9,28	35,6	28,79	32,27	2,84	17,09	4,94
	D	23,5	4,7	9,75	17,87	19,09	7,16	15,34	30,59	12,66	2,47
	R	61,4	93,7	47,07	51,36	39,19	62,79	15,08	45,16	51,9	88,89
13-15	A	0,2	0	0,28	2,51	1,62	0,12	29,06	20,92	17,86	1,47
	B	0,3	0	24,27	18,49	5,66	0,52	12,82	2,15	8,57	4,41
	C	11,7	1,6	19,94	8,43	30,81	12,15	28,23	2,91	25	7,35
	D	34	4,6	14,71	33,73	16,51	2,9	12,18	28,66	15	1,47
	R	53,8	93,8	40,8	36,84	45,4	84,31	17,71	45,36	33,57	85,3
18-20	A	0,1	0	0,19	1,31	1,8	0,45	22,44	11,63	7,8	1,37
	B	0,3	0	18,85	12,52	4,76	0,89	13,48	3,03	7,8	2,74
	C	10,2	2,8	21,06	7,66	30,15	24,75	32,05	2,51	22,03	5,48
	D	39,2	5,8	16,33	37,57	19,95	7,42	13,31	28,14	51,86	2,74
	R	50,2	91,4	43,57	40,94	43,34	66,49	18,72	54,69	10,51	87,67
21-23	A	0,1	0	0,21	1,54	2,93	0,21	8,95	2,94	4,17	0
	B	0,2	0	14,01	10,77	6,6	2,13	4,64	0	5,21	6,48
	C	10,2	2,5	37,69	15,38	21,22	7,77	20,58	0	27,08	3,7
	D	28,4	6,3	9,91	20,51	17,72	10,43	14,84	17,24	35,42	1,85
	R	61,1	91,2	38,18	51,8	51,53	79,46	50,99	79,82	28,12	87,97

8.4.2.7.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Έχει τάση μείωσης με το βάθος και από τα 38.700 ppm της κορυφής η τιμή πέφτει κάτω από 33.000 ppm στη βάση του πυρήνα. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα εκτός από το μόλυβδο, το κάδμιο και τον κασσίτερο και αρνητική με τα δύο αυτά μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το μόλυβδο είναι πολύ μικρή και με το κάδμιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο το προσροφημένο όσο και το αργίλιο στα ανθρακικά παρουσιάζουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το ύψος του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία είναι σταθερό μεταξύ 1 και 2,8% και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης 4,6 έως 6,3% του ολικού μετάλλου, με αυξητική τάση με το βάθος και για τα δύο κλάσματα. Το αργίλιο που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 91,2 με 94,3% του ολικού μετάλλου.

8.4.2.7.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος. Είναι 680 ppm στην κορυφή και σταθερό μεταξύ 530 και 590 ppm περίπου στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά και τον κασσίτερο και θετική με τα υπόλοιπα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το νικέλιο είναι πολύ μικρή και με το μόλυβδο και το κάδμιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μαγγάνιο είναι πρακτικά σταθερό, κυμαινόμενο μεταξύ 0,2 και 0,6 % του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι σαφώς μεγαλύτερο και μειώνεται με το βάθος από το 31% της κορυφής στο 14% του ολικού μετάλλου στη βάση του πυρήνα. Το κλάσμα που βρίσκεται υπό μορφή οξειδίων αυξάνεται με το βάθος από 17 σε 21% στις τέσσερις πρώτες ζώνες, και σχεδόν διπλασιάζεται στη βάση του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι πιο σταθερό, μεταξύ 9 και 16% (18-20 εκ.) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα μειώνεται με το βάθος και αποτελεί το 38% (βάση) με 47% (8-10 εκ.) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.7.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος και τη μέγιστη τιμή του στη ζώνη 13-15 εκ. (68 ppm, κορυφή 54 ppm) και την ελάχιστη στη βάση του πυρήνα (20 ppm). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το σίδηρο, το αργίλιο, το μαγγάνιο, το χρώμιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό και το κάδμιο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το σίδηρο, το μαγγάνιο και το κάδμιο είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο νικέλιο έχει τάση μείωσης με το βάθος, κυμαινόμενο μεταξύ 1,3 και 2,5% του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά παρουσιάζεται στο 18-19% του ολικού μετάλλου στις ζώνες μεταξύ 8 και 15 εκ. και 8 (κορυφή) με 13% στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία είναι 14,6 και 15,4% του ολικού μετάλλου στην κορυφή και τη βάση του πυρήνα αντίστοιχα και 7,5 με 9,2% στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι μεταξύ 17 και 21% στις ζώνες 8-10 και 21-23 εκ και 33-38% στις υπόλοιπες τρεις ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι 36-52% του ολικού μετάλλου.

8.4.2.7.5. Χρόμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Μειώνεται με το βάθος, από 140-144 ppm στις δύο ανώτερες ζώνες σε 106-114 ppm στις δύο επόμενες ζώνες και στα 68 ppm στη βάση του πυρήνα. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά και τον κασσίτερο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το νικέλιο και το κάδμιο είναι σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο χρώμιο είναι μεταξύ 1,3 και 2,9% (βάση) του ολικού και το κλάσμα στα ανθρακικά είναι σαφώς μεγαλύτερο και πιο σταθερό μεταξύ 4,7 % και 6,6 % του ολικού, ενώ υπάρχει τάση αύξησης με το βάθος και για τα δύο κλάσματα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία μειώνεται έντονα με το βάθος από 42% σε 21%. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης μειώνεται με το βάθος από 28%(κορυφή) σε 16-20% του ολικού μετάλλου για τις υπόλοιπες ζώνες. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 25-52% του ολικού μετάλλου παρουσιάζοντας έντονη τάση αύξησης με το βάθος.

8.4.2.7.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Έχει τάση μείωσης με το βάθος και ενώ είναι 300 ppm στην επιφάνεια, μετρήθηκε στις επόμενες τρεις ζώνες στα 210, 500 και 250 ppm αντίστοιχα, για να πέσει απότομα κάτω από τα 100 ppm στη βάση του πυρήνα. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το σίδηρο, το αργίλιο, το μαγγάνιο, το νικέλιο, το χρώμιο τον ψευδάργυρο, το χαλκό και το κάδμιο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το αργίλιο και το μαγγάνιο είναι πολύ μικρή και με το σίδηρο και το κάδμιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος μόλυβδος είναι μεταξύ 0,1% και 0,5% του ολικού μετάλλου. Ο μόλυβδος στα ανθρακικά είναι μεταξύ 0,5 και 2,1% (βάση) του ολικού, ενώ στην κορυφή είναι 0,7%. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία έχει τάση μείωσης με το βάθος και είναι 21-29% του ολικού στις ζώνες 0-5, 8-10 και

18-20 εκ. και 7-12% στις δύο άλλες ζώνες του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης, με εξαίρεση τη ζώνη 13-15 εκ (3 %), είναι 7-11 % του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 63 με 84% του ολικού μετάλλου με μικρή τάση μείωσης με το βάθος.

8.4.2.7.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Με τάση μείωσης με το βάθος παρουσιάζεται στα 270 ppm στην επιφάνεια και στις επόμενες τρεις ζώνες στα 240-260 ppm, για να πέσει απότομα (όπως ακριβώς ο μόλυβδος) κάτω από τα 100 ppm στη βάση του πυρήνα. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά και τον κασσίτερο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το κάδμιο είναι πολύ μικρή.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος ψευδάργυρος παρουσιάζεται στο 19-29% του ολικού μετάλλου στις 4 ανώτερες ζώνες και πέφτει κάτω από τα 10 % στη βάση του πυρήνα. Ο ψευδάργυρος στα ανθρακικά είναι 11,5-14,8% στις 4 ανώτερες ζώνες και κάτω από 5% του ολικού στη βάση του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία είναι 28-32% στις τέσσερις ανώτερες ζώνες και 21% του ολικού στην κατώτερη. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 12,2-15,3% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 15-21% του ολικού μετάλλου στις τέσσερις ανώτερες ζώνες και 51% στη βάση του πυρήνα.

8.4.2.7.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Έχει τάση μείωσης με το βάθος και παρουσιάζεται στα 105 ppm στην επιφάνεια και στις επόμενες τρεις ζώνες στα 65-75 ppm, για να πέσει απότομα (όπως ακριβώς ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος) κάτω από τα 20 ppm στη βάση του πυρήνα. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά και τον κασσίτερο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το κάδμιο είναι σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος χαλκός παρουσιάζεται στο 17-23% του ολικού μετάλλου στις 3 ανώτερες ζώνες και πέφτει κάτω από τα 12,5 % στη ζώνη 18-20 εκ. και κάτω από το 3 % στη βάση του πυρήνα. Ο χαλκός στα ανθρακικά είναι 2,2-3,8% του ολικού στις 4 ανώτερες ζώνες και μηδενικός στη βάση του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία είναι 2,5-3,5% του ολικού στις τέσσερις ανώτερες ζώνες και μηδενικό στην κατώτερη. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 24% στην κορυφή, 28-31% στις τρεις μεσαίες ζώνες και 17% του ολικού μετάλλου στη βάση του πυρήνα. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 45-55% του ολικού μετάλλου στις τέσσερις ανώτερες ζώνες και 80% στη βάση του πυρήνα.

8.4.2.7.9. Κάδμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος με μεγαλύτερη τιμή τα 3 ppm στη ζώνη 18-20 εκ. (κορυφή και πυθμένας 1 ppm). Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με το αργίλιο και τον κασσίτερο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το νικέλιο, τον ψευδάργυρο και τον κασσίτερο είναι πολύ μικρή και με το σίδηρο, το αργίλιο, το μαγγάνιο, το χρώμιο, το μόλυβδο, το χαλκό και τα ανθρακικά σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κάδμιο αντιπροσωπεύει το 11,9% του ολικού στην κορυφή, το 4,2% στη βάση και το 7,8-17,9% στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι 7,8-9,9% του ολικού μετάλλου στις 4 πρώτες ζώνες και 5,2% στη βάση του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία είναι το 17-29% ολικού μετάλλου με τις ανώτερες τιμές στην κορυφή και τη βάση του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζεται μειωμένο στις τρεις πρώτες ζώνες του πυρήνα (13-18%), στο 52 % στη ζώνη 13-15 εκ. και στο 35% στη βάση του πυρήνα. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 11% (18-20 εκ.) με 52% (8-10 εκ.) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.7.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος, παραμένοντας πρακτικά σταθερός μεταξύ 6,7 και 10,8 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και αρνητική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος κασσίτερος είναι σταθερός κυμαινόμενος κάτω από το 1,5%. Το κλάσμα στα ανθρακικά κυμαίνεται από 2,5% (8-10 εκ.) μέχρι 6,5% (βάση). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία κυμαίνεται από 3% μέχρι 7,4% και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης μεταξύ 1,5% και 2,7% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 85 με 92% του ολικού μετάλλου.

8.4.2.7.11. Ανθρακικά

Παρουσιάζουν τάση αύξησης με το βάθος, από 34 σε 47%. Έχουν θετική συσχέτιση με τον κασσίτερο και το κάδμιο (σχεδόν μηδενική) και αρνητική με τα υπόλοιπα μέταλλα.

8.4.2.8. Πυρήνας ΕΠ9

Βάθος 26,3 m, μήκος 40 cm, 6 ζώνες: 0-3 (1,5), 5-8 (6,5), 12-14 (13), 20 -24 (22), 28-30 (29), 36-40 (38). Στον Πίνακα 8.23 δίνονται οι περιεκτικότητες σε μέταλλα και στον Πίνακα 8.24 τα ποσοστά των γεωχημικών κλασμάτων επί του ολικού μετάλλου.

8.4.2.8.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει μικρή τάση αύξησης με το βάθος και έχει τη μικρότερη τιμή στην επιφανειακή ζώνη (19.000 ppm). Η τιμή του αυξάνεται στα 20.500-22.300 ppm στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το αργίλιο, το νικέλιο και τον κασσίτερο και αρνητική με τα άλλα μέταλλα και ανθρακικά. Παρουσιάζει πολύ μικρή συσχέτιση με το μαγγάνιο, το χρώμιο, τον ψευδάργυρο και το κάδμιο και σχεδόν μηδενική συσχέτιση με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο ο προσροφημένος σίδηρος όσο και ο σίδηρος στα ανθρακικά έχουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το ύψος του πυρήνα. Ο ευρισκόμενος υπό μορφή οξειδίων σίδηρος είναι σταθερός μεταξύ 5,4 και 6,6% του ολικού μετάλλου. Ο σίδηρος στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 36% στη βάση και την κορυφή και 22-24% στις 4 άλλες ζώνες του πυρήνα. Ο σίδηρος που είναι δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κυμαίνεται μεταξύ 57 και 70% του ολικού μετάλλου, με τις μεγαλύτερες τιμές σε κορυφή και βάση του πυρήνα.

8.4.2.8.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Έχει τάση αύξησης με το βάθος και από τα 42.000 ppm της κορυφής η τιμή ανεβαίνει στα 46.700-49.400ppm στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το σίδηρο, το νικέλιο και τον κασσίτερο και αρνητική με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το μαγγάνιο, το χρώμιο, το μόλυβδο, τον κασσίτερο και τα ανθρακικά είναι πολύ μικρή και με τον ψευδάργυρο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο το προσροφημένο όσο και το αργίλιο στα ανθρακικά παρουσιάζουν πρακτικά μηδενικές τιμές σε όλο το ύψος του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξείδια είναι σταθερό (0,8-0,9%) και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης από 5,6 έως 7,3% του ολικού, με τις μεγαλύτερες τιμές σε βάση και κορυφή του πυρήνα. Το αργίλιο που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 91,8 με 93,6% του ολικού μετάλλου.

Πίνακας 8.23 (1/2). Πιρήνας Ε9 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
0-3	T	19097	41985	567	32	72,75	84,5	63	16	0,85	6,8	41,4
	A	34	0	1,31	1	1,79	0,5	3,72	1,12	0,03	0,1	
	B	40	0	78,92	0,8	4,18	3,6	0,86	0	0,05	0,5	
	C	1165	347	206,15	7	12,48	22	17,16	0	0,28	0,5	
	D	6891	2917	69,4	7,2	17,33	9,5	16,27	3,2	0,16	0,3	
	R	10967	38721	211,22	16	36,97	48,9	24,99	11,68	0,33	5,4	
5-8	T	20523	49443	574,5	41,4	76	96,5	66,38	15	0,82	6,9	38,1
	A	34	0	1,28	0,2	1,66	0,2	2,8	0,7	0,03	0,1	
	B	42	0	115,89	3	4,5	2	1,02	0	0,06	0,3	
	C	1167	438	128,93	9	12,63	24,3	12,63	0	0,29	0,5	
	D	5803	2951	49,6	7,4	17,93	8,5	16,26	3,18	0,2	0,3	
	R	13477	46054	278,8	21,8	39,28	61,5	33,67	11,12	0,24	5,7	
12-14	T	22259	49300	548,5	49,2	73	70	65,1	11,5	0,69	9,6	42,6
	A	31	0	1,33	0,1	2,07	1,1	1,85	0	0,01	0,1	
	B	50	0	69,59	1,1	3,4	1,1	1,12	0	0,03	0,2	
	C	1201	380	192,33	6,5	12,55	11	8,08	0	0,21	0,5	
	D	5399	2783	52,58	6,1	16	4,3	15,59	1,83	0,15	0,3	
	R	15578	46137	232,67	35,4	38,98	52,5	38,46	9,67	0,29	8,5	

Πίνακας 8.23 (2/2). Πυρήνας Ε9 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Περιεκτικότητες σε μέταλλα (ppm) και CO₃ (%).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
20-24	T	21488	49060	562	31,1	65	59	53,3	13,75	0,73	7	31,9
	A	33	0	0,98	0,3	2,08	1,2	1,43	0	0,01	0,1	
	B	50	0	134,91	1,1	5,45	1,4	1,02	0	0,05	0,2	
	C	1218	394	130,58	6,3	10,48	5,8	6,56	0	0,2	0,6	
	D	5258	2906	49,73	6,3	16,03	4	15,79	1,23	0,15	0	
28-30	R	14925	45760	209,8	17,1	30,96	46,6	28,5	12,52	0,32	6,1	
	T	20761	48545	582,5	47,6	62,75	60,5	49,6	14,5	0,68	10,1	24
	A	32	0	1,19	0,1	1,56	0,1	1,43	0	0,02	0,2	
	B	47	0	78,24	1,3	3,76	0,6	1,06	0	0,05	0,2	
	C	1350	380	203,58	6,3	14,15	8,5	6,56	0	0,16	0,6	
36-40	D	5195	3011	55,38	8,4	18,4	6	14,58	1,3	0,09	0,3	
	R	14117	45154	244,11	31,5	24,88	45,3	25,97	13,2	0,36	8,8	
	T	20960	46863	614,25	38,5	63,75	64	51,05	17,25	1,18	11	31,4
	A	35	0	1,14	1,2	2,18	0,1	1,29	0	0,04	0,2	
	B	44	0	103,28	1,1	4,52	0,8	1,09	0	0,06	0,2	
36-40	C	1302	419	189,33	6,5	10,2	16	6,88	0	0,26	0,6	
	D	7554	3424	59,7	7,5	21,05	7	13,76	2,08	0,52	0,3	
	R	12025	43020	260,8	22,2	25,8	40,1	28,03	15,17	0,3	9,7	

Πίνακας 8.24 (1/2). Πυρήνας Ε9 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Ποσοστά γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων (% του ολικού μετάλλου).

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
0-3	A	0,2	0	0,23	3,12	2,46	0,59	5,9	7	3,53	1,47
	B	0,2	0	13,92	2,5	5,75	4,26	1,37	0	5,88	7,35
	C	6,1	0,8	36,36	21,88	17,15	26,04	27,24	0	32,94	7,35
	D	36,1	6,9	12,24	22,5	23,82	11,24	25,83	20	18,82	4,41
	R	57,4	92,3	37,25	50	50,82	57,87	39,66	73	38,83	79,42
5-8	A	0,2	0	0,22	0,48	2,18	0,21	4,22	4,67	3,66	1,45
	B	0,2	0	20,17	7,25	5,92	2,07	1,54	0	7,32	4,35
	C	5,7	0,9	22,44	21,74	16,62	25,18	19,03	0	35,37	7,25
	D	28,3	6	8,63	17,87	23,59	8,81	24,5	21,2	24,39	4,35
	R	65,6	93,1	48,54	52,66	51,69	63,73	50,71	74,13	29,26	82,6
12-14	A	0,1	0	0,24	0,2	2,84	1,57	2,84	0	1,15	1,04
	B	0,2	0	12,69	2,24	4,66	1,57	1,72	0	1,35	2,08
	C	5,4	0,8	35,06	13,21	17,19	15,71	12,41	0	30,43	5,21
	D	24,3	5,6	9,59	12,4	21,92	6,14	23,95	15,91	21,74	3,13
	R	70	93,6	42,42	71,95	53,39	75,01	59,08	84,09	42,03	88,54
20-24	A	0,2	0	0,19	0,96	3,2	2,03	2,68	0	1,37	1,43
	B	0,2	0	25,65	3,54	8,38	2,37	1,91	0	6,85	2,86
	C	5,7	0,8	24,83	20,26	16,12	9,83	12,31	0	27,4	8,57
	D	24,5	5,9	9,45	20,26	24,66	6,78	29,62	8,95	20,55	0
	R	69,4	93,3	39,88	54,98	47,64	78,99	53,48	91,05	43,83	87,14
28-30	A	0,2	0	0,2	0,21	2,49	0,17	2,88	0	2,94	1,98
	B	0,2	0	13,43	2,73	5,99	0,99	2,14	0	7,35	1,98
	C	6,6	0,8	34,95	13,24	22,55	14,05	13,23	0	23,53	5,94
	D	25	6,2	9,51	17,65	29,32	9,92	29,4	8,97	13,24	2,97
	R	68	93	41,91	66,17	39,65	74,87	52,35	91,03	52,94	87,13

Πίνακας 8.24 (2/2). Πυρήνας Ε9 από τον κόλπο της Ελευσίνας. Ποσοστά γεωχημικών κλασμάτων των μετάλλων (% του ολικού μετάλλου)

Βάθος (cm)	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
36-40	A	0,2	0	0,19	3,12	3,42	0,16	2,53	0	3,39	1,82
	B	0,2	0	16,81	2,86	7,09	1,25	2,14	0	5,08	1,82
	C	6,2	0,9	30,82	16,88	16	25	13,48	0	22,03	5,45
	D	36	7,3	9,72	19,48	33,02	10,94	26,95	12,06	44,07	2,73
	R	57,4	91,8	42,46	57,66	40,47	62,65	54,9	87,94	25,43	88,18

8.4.2.8.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος. Είναι 570 ppm στην κορυφή και μεταξύ 550 και 615 ppm περίπου στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το χαλκό, το κάδμιο και τον κασσίτερο και αρνητική με τα υπόλοιπα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το σίδηρο, το αργίλιο, το μόλυβδο είναι πολύ μικρή και με το νικέλιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μαγγάνιο είναι πρακτικά σταθερό στο 0,2% του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι σαφώς μεγαλύτερο και κυμαίνεται από 13% έως 26% του ολικού μετάλλου (κορυφή 14%). Το υπό μορφή οξειδίων μέταλλο είναι μεταξύ 22 και 36% (κορυφή) του ολικού. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 12% στην κορυφή και μεταξύ 8 και 10% του ολικού μετάλλου στα άλλα σημεία του πυρήνα. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα μειώνεται με το βάθος και αποτελεί το 37% (κορυφή) με 49% (5-8 εκ.) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.8.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος και τη μέγιστη τιμή του στη ζώνη 12-14 εκ. (49 ppm, κορυφή 32 ppm) και την ελάχιστη στη ζώνη 20-24 εκ. (31 ppm). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το σίδηρο, το αργίλιο, το χρώμιο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό και τον κασσίτερο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το κάδμιο και τα ανθρακικά είναι πολύ μικρή και με το μαγγάνιο, το χρώμιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο νικέλιο, με εξαίρεση την τιμή 3% σε κορυφή και βάση είναι 0,2-1% του ολικού στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα στα ανθρακικά παρουσιάζεται στο 7,2% του ολικού μετάλλου στη ζώνη 5-8 εκ. και 2,5-3,5% στις άλλες ζώνες του πυρήνα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία είναι 13 -22% (κορυφή) του ολικού μετάλλου και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι μεταξύ 12 και 23 (κορυφή) %. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι το 50 (κορυφή) με 72% του ολικού μετάλλου.

8.4.2.8.5. Χρώμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος, από 73-76 ppm στις 3 ανώτερες ζώνες στα 63-65 ppm στις δύο επόμενες ζώνες και στα 68 ppm στη βάση του πυρήνα. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το νικέλιο, το

μόλυβδο και τον ψευδάργυρο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με σίδηρο, το χρώμιο, το χαλκό και το κάδμιο είναι πολύ μικρή και με το νικέλιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο χρώμιο είναι μεταξύ 2,2 και 3,4% (βάση) του ολικού, ενώ το κλάσμα του μετάλλου στα ανθρακικά είναι σαφώς μεγαλύτερο και κυμαίνεται μεταξύ 4,7 και 8,4% του ολικού, με τάση αύξησης με το βάθος και για τα δύο κλάσματα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία είναι από 16 (βάση) έως 23% του ολικού, ενώ το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης κυμαίνεται από 22 έως 33% του ολικού και παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 40 (βάση) έως 53% του ολικού μετάλλου παρουσιάζοντας τάση μείωσης με το βάθος.

8.4.2.8.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο μόλυβδος παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος. Παρουσιάζεται στα 85 ppm στην επιφάνεια και στις επόμενες δύο ζώνες στα 97 και 70 ppm αντίστοιχα, για να κινηθεί στα 59-64 ppm στις τρεις ζώνες προς τη βάση του πυρήνα. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το χρώμιο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό και το κάδμιο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα. Η συσχέτισή του με το αργίλιο, το μαγγάνιο, το χαλκό είναι πολύ μικρή και με το νικέλιο και το κάδμιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος μόλυβδος είναι μεταξύ 0,2% και 2% (20-24 εκ.) του ολικού μετάλλου. Ο μόλυβδος στα ανθρακικά είναι μεταξύ 1 και 4,2% (κορυφή) του ολικού. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία έχει τάση μείωσης με το βάθος και είναι 25-26% του ολικού στις ζώνες 0-3, 5-8 και 36-40 εκ. και 10-16% στις τρεις άλλες ζώνες του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 7-11% του ολικού, με τις μεγαλύτερες τιμές στην κορυφή και τη βάση του πυρήνα. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 57 με 79% του ολικού μετάλλου με μικρή τάση αύξησης με το βάθος.

8.4.2.8.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος, από 63-66 ppm στις 3 ανώτερες ζώνες σε 50-53 ppm στις 3 κατώτερες. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το νικέλιο, το χρώμιο και το μόλυβδο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το σίδηρο και το κάδμιο είναι πολύ μικρή και με το αργίλιο και το νικέλιο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος ψευδάργυρος μειώνεται με το βάθος και παρουσιάζεται στο 2,5-5,9% του ολικού μετάλλου με μέγιστη και ελάχιστη τιμή σε κορυφή και βάση του πυρήνα αντίστοιχα. Ο ψευδάργυρος στα ανθρακικά είναι 1,4-

2,1% με μέγιστη και ελάχιστη τιμή σε βάση και κορυφή του πυρήνα αντίστοιχα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία είναι 27% στην ανώτερη ζώνη, 19% στην επόμενη και στις τέσσερις κατώτερες ζώνες 12,3-13,5% του ολικού μετάλλου. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι μεταξύ 24 και 29% του ολικού. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 40 (κορυφή) με 59% (12-14 εκ.) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.8.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος και κυμαίνεται μεταξύ 11,5 και 17,25 ppm με τις 2 κορυφαίες τιμές στη βάση και κορυφή του πυρήνα. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το μαγγάνιο, το μόλυβδο και το κάδμιο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το χρώμιο, το μόλυβδο, το κάδμιο και τα ανθρακικά είναι πολύ μικρή και με τον κασσίτερο σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος χαλκός παρουσιάζεται στο 7 και 5% του ολικού μετάλλου στην ανώτερη και δεύτερη ζώνη αντίστοιχα και είναι μηδενικός στις άλλες 4 ζώνες, όπως μηδενικά είναι και τα κλάσματα του χαλκού στα ανθρακικά και στα οξειδία του σιδήρου και του μαγγανίου σε όλο το ύψος του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 20-21 % στις δύο ανώτερες ζώνες, 16 % στην τρίτη και 8-12 % του ολικού στις υπόλοιπες. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 73-74% του ολικού μετάλλου στις δύο ανώτερες ζώνες και το 84-91% στις υπόλοιπες ζώνες του πυρήνα.

8.4.2.8.9. Κάδμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος από 0,85 σε 1,2 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το μόλυβδο, το χαλκό και τον κασσίτερο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το σίδηρο, το μαγγάνιο, το νικέλιο, το χρώμιο, τον ψευδάργυρο είναι πολύ μικρή και με το μόλυβδο και τα ανθρακικά σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κάδμιο αντιπροσωπεύει το 1,2-3,7% του ολικού στην κορυφή, και το κλάσμα στα ανθρακικά είναι 1,4-7,4% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία είναι το 22 (βάση) με 35% ολικού μετάλλου με τις τιμές αυξημένες προς την κορυφή του πυρήνα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζεται μεταξύ 13% (28-30 εκ., κορυφή 18%) και 40 % (βάση) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο με το αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 25% (βάση) με 53% (28-30 εκ.) του ολικού μετάλλου.

8.4.2.8.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος, παραμένοντας πρακτικά σταθερός μεταξύ 6,8 και 11 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το σίδηρο, το αργίλιο, το μαγγάνιο, το νικέλιο, το χαλκό και το κάδμιο και αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το αργίλιο και το χρώμιο είναι πολύ μικρή και με το χαλκό σχεδόν μηδενική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος κασσίτερος είναι σταθερός κυμαινόμενος από το 1 % του ολικού μέχρι το 2%. Το κλάσμα στα ανθρακικά κυμαίνεται από 1,4% (12-14 εκ.) μέχρι 7,4% (28-30 εκ.). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία μειώνεται με το βάθος και κυμαίνεται από 5,2 μέχρι 8,6% και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης μεταξύ 0 και 4,4% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 79-83% στις δύο ανώτερες ζώνες και 87 με 89% του ολικού μετάλλου στις υπόλοιπες ζώνες του πυρήνα.

8.4.2.8.11. Ανθρακικά

Παρουσιάζουν τάση μείωσης με το βάθος, από 38-43% στις 3 ανώτερες ζώνες σε 24-32% στις 3 κατώτερες. Έχουν θετική συσχέτιση με το χρώμιο, το μόλυβδο και τον ψευδάργυρο και αρνητική με τα υπόλοιπα μέταλλα. Με το αργίλιο, το νικέλιο και το χαλκό έχουν πολύ μικρή συσχέτιση και με το σίδηρο και το κάδμιο σχεδόν μηδενική.

8.5. Σχόλια και συμπεράσματα

8.5.1. Επιφανειακά δείγματα

Από την πρώτη στιγμή γίνεται φανερό ότι με βάση τις συσχετίσεις υπάρχουν στην περιοχή που μελετήθηκε δύο εντελώς διαφορετικές περιοχές, η δυτική έξοδος και το εσωτερικό του κόλπου. Το γεγονός υπάρχει διακύμανση των τιμών των μετάλλων και των ανθρακικών στη δυτική έξοδο σε δείγματα που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους (ακραία περίπτωση τα E10 και E11 που ελήφθησαν από το ίδιο σχεδόν σημείο) μπορεί να εξηγηθεί με τη βυθοκόρηση που έχει γίνει στο τμήμα αυτό του κόλπου. Κατά τη βυθοκόρηση απομακρύνεται με τη βοήθεια ειδικά διαμορφωμένων πλοίων ίζημα από τον πυθμένα, έτσι ώστε να επιτευχθεί (συνήθως) εκβάθυνση, όπως έγινε και στην περίπτωση της δυτικής εξόδου του κόλπου της Ελευσίνας (Scoullou 1973). Η εργασία γίνεται από την επιφάνεια της θάλασσας και μια απλή παρατήρηση της διαδικασίας απομάκρυνσης εδάφους κατά τις εργασίες

θεμελίωσης μιας οικοδομής με τη χρήση εκσκαφέα μας δίνει μια εικόνα της κατάστασης του πυθμένα μετά από τη βυθοκρήση: όπως και κατά την απομάκρυνση του χώματος παρατηρείται διασπορά του χώματος στο έδαφος, έτσι και κατά την απομάκρυνση του ιζήματος παρατηρείται διασπορά ιζήματος στον πυθμένα. Στην περίπτωση της βυθοκρήσης, το υλικό που απομακρύνεται είναι ρευστό και η γωνία φυσικού πρανούς (γωνία που σχηματίζει με το επίπεδο του εδάφους ο σωρός ενός υλικού, π.χ. από χώμα, σιτάρι, χαλίκι, φρούτα, σκουπίδια, κλπ όταν αφηθεί ελεύθερος να ηρεμήσει) είναι πολύ μικρότερη. Έτσι αφ' ενός μεν μέρος του υλικού που συλλέγεται διαρρέει κατά την ανέλκυσή του, αφ' ετέρου δε, όταν η βυθοκρήση πλησιάζει προς το επιθυμητό βάθος, η δυνατότητα επανασυλλογής του υλικού που επανέρχεται στον πυθμένα είναι δύσκολη λόγω της μικρής γωνίας φυσικού πρανούς και της μειωμένης δυνατότητας ελέγχου του χειριστή λόγω απόστασης και μικρής ορατότητας. Αν αυτό συνδυαστεί με το αναμενόμενο μη επίπεδο ανάγλυφο του θαλάσσιου πυθμένα μπορεί να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι το φαινόμενο του κόκκου [μεταβολές που εκδηλώνονται σε διαστάσεις πολύ μικρότερες από τις διαστάσεις του καννάβου δειγματοληψίας (Παναγόπουλος 1980)] είναι κάτι το αναμενόμενο. Πιο πιθανή είναι η παρουσίαση του φαινομένου κόκκου σε περιοχές που έχουν υποστεί βυθοκρήση, η οποία είναι βέβαιο ότι δεν μπορεί να είναι ομοιογενής και κατά τη διενέργειά της είναι λογικό και επόμενο να δημιουργηθούν τοπικά σημεία συσσώρευσης του υλικού που απομακρύνεται, εν προκειμένω του ανώτερου πυθμένα με την όποια επιβάρυνση σε μέταλλα είχε αυτός. Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των μετάλλων στην περιοχή της δυτικής εξόδου είναι πολύ μικρότεροι από τους αντίστοιχους συντελεστές στη Ραφήνα και στο Λαύριο. Αυτό αποτελεί ένδειξη ανομοιογένειας του υλικού. Αυτή η ανομοιογένεια εν μέρει δικαιολογείται από τη γεωλογία της περιοχής (Παπαγεωργάκης 1969, Γαϊτανάκης 1976- 78), αφού υπάρχει ποικιλία στη σύσταση των εδαφών που περιβάλλουν το πέραςμα και θα μπορούσαν με τη διαδικασία της αποσάθρωσης να τροφοδοτήσουν τον πυθμένα με διαφορετικής σύστασης υλικά (ασβεστόλιθοι, αλουβιακές και θαλάσσιες αποθέσεις). Οι αλουβιακές και οι θαλάσσιες αποθέσεις μπορούν να έχουν ποικίλη σύσταση (Whitten with Brooks, 1978). Η ανομοιογένεια πιθανόν ενισχύεται και από τη μεταφορά υλικών που επιτελείται από τα υπάρχοντα θαλάσσια ρεύματα στην περιοχή, τα οποία και έχουν αναφερθεί στην αρχή του κεφαλαίου αυτού.

Η μικρότερη επιβάρυνση της δυτικής εξόδου σε σχέση με το κεντρικό τμήμα του κόλπου είναι αποτέλεσμα της έλλειψης πηγών έντονης ρύπανσης στην περιοχή (Karavoltzos et al. 1999, Ρόζη 2001). Επιπλέον, ο «καθαρός» ασβεστολιθικός πυθμένας δεν διευκολύνει την κατακράτηση ρύπων, αφού είναι λογικό και αναμενόμενο ένας λασπόδης πυθμένας να μπορεί να λειτουργήσει σαν «παγίδα» για οποιοδήποτε νέο ίζημα, ενώ ένας πυθμένας που σε μεγάλο βαθμό αποτελείται (λόγω και της βυθοκρήσης) από συμπαγή πέτρα δεν δεσμεύει το νέο ίζημα, το οποίο μπορεί εύκολα να απομακρυνθεί με τα θαλάσσια ρεύματα. Οι μειωμένες συγκεντρώσεις των ρύπων στην περιοχή της δυτικής εξόδου του κόλπου της Ελευσίνας έχουν εν μέρει αποδοθεί στην επίδραση της φύσης του ιζήματος (χονδρόκοκκη άμμος) που υπάρχει στον πυθμένα (Scoullios 1986).

Οι συσχετίσεις των μετάλλων στα τα δείγματα του εσωτερικού του κόλπου είναι σαφώς μεγαλύτερες, αποτελώντας ένδειξη για κοινή προέλευση των μετάλλων. Η γεωλογική ποικιλία των ακτών που περιβάλλουν τον

κόλπου της Ελευσίνας είναι πολύ μεγαλύτερη από την ποικιλία των ακτών που περιβάλλουν τη δυτική έξοδο (Δουνάς 1965, 1967, 1969, Παπαγεωργάκης 1969, Κατσικάτσος κ.α. 1969, 1976, 1978, 1980, Γαϊτανάκης 1976-78, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β). Η ποικιλία των πετρωμάτων που περιλαμβάνει αλουβιακές αποθέσεις και εμφανίσεις βωξίτη και οφιολίθων μαζί με την παρουσία πηλών και φλύσχη, μεταξύ των άλλων, δεν είναι συνήθως καλή προϋπόθεση για υψηλές συσχετίσεις μεταξύ των γεωλογικά συνδεδεμένων μετάλλων, οι συσχετίσεις όμως μεταξύ των μετάλλων στο κέντρο του κόλπου είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες στην δυτική έξοδο. Πολύ σημαντική είναι η συσχέτιση του μολύβδου με τον ψευδάργυρο (Σχήματα 8.11 και 8.12). Το γεγονός αυτό έχει διαπιστωθεί ότι αποτελεί ισχυρή ένδειξη ρύπανσης από κοινή πηγή (Katz and Karlan 1981, Scoullou 1986, Guerzoni 1990). Με το ίδιο σκεπτικό πρέπει να αντιμετωπιστούν και οι συσχετίσεις μολύβδου – χαλκού και ψευδαργύρου – χαλκού. Το μαγγάνιο παρουσιάζει μεγάλη συσχέτιση με το σίδηρο. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου, μολύβδου και χαλκού καθώς και οι αυξημένες συγκεντρώσεις χρωμίου αποδίδονται στην παρουσία πολλών και μεγάλων βιομηχανικών μονάδων στην περιοχή. Πιο συγκεκριμένα σε: βιομηχανίες γεωργικών φαρμάκων (Pb, Zn), σιδήρου και χάλυβα (Pb, Zn, Cr, Cu), τσιμέντου (Pb, Cr), χρωμάτων (Pb, Cr), βυρσοδεψεία (Cr), διωλιστήρια πετρελαίου (Pb, Zn, Cr), ναυπηγεία (Pb, Zn, Cr), υαλοργείες (Pb), υφαντουργείες-βαφεία (Cr), χαρτοβιομηχανίες (Pb, Zn, Cr) και άλλες χημικές βιομηχανίες (Pb, Zn, Cr) (Μαυράκης κ.α. 2000). Η συκέντρωση του χαλκού είναι πιο πιθανό να σχετίζεται με τη μεταλλουργία παρά με τα ναυπηγεία, όπως νομιζόταν αρχικά (Σκούλλος και Δασενάκης 1982, Σκούλλος κ.α. 1984).

Η χωρική κατανομή των περιεκτικοτήτων των μετάλλων που παρατηρήθηκε δείχνει αύξηση των συγκεντρώσεων στο βόρειο τμήμα του κόλπου, και ειδικά στο κεντρικό τμήμα (E5, E4) και στο ΒΑ τμήμα (E6, E7, E8) και μειωμένες συγκεντρώσεις στη δυτική (E1) και ΝΑ (E9) περιοχή του κόλπου. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις μετάλλων στα Β και ΒΑ σημεία του κόλπου είναι σε άμεση συνάρτηση με την ύπαρξη μεγάλων βιομηχανιών στις ακτές (Karavoltsois et al. 1999). Έτσι, σε συνδυασμό με την παρατήρηση και μελέτη του σχετικού χάρτη που παρατίθεται στην αρχή αυτού του κεφαλαίου, μια πολύ σύντομη αναφορά στις κυριότερες βιομηχανίες μπορεί να δοθεί ως εξής: Το δείγμα E5 είναι κοντά σε ναυπηγεία και διωλιστήρια πετρελαίου, τα δείγματα E6 και E7 σε εργοστάσιο τσιμέντου, ναυπηγεία και το λιμάνι της Ελευσίνας ενώ το E8 κοντά σε μεταλλουργία και διωλιστήρια πετρελαίου. Η πλησιέστερη πηγή ρύπανσης στο δείγμα E9 είναι τα ναυπηγεία Σκαρμαμαγκά, το δείγμα E4 πιθανόν επηρεάζεται (σε μικρότερο βαθμό) από τις ίδιες πηγές ρύπων που επηρεάζουν το δείγμα E5, ενώ η πλησιέστερη πηγή πιθανού ρυπαντικού φορτίου για το δείγμα E1 είναι ένα εργοστάσιο χαρτίου.

Η χωρική κατανομή των περιεκτικοτήτων των μετάλλων, που έχει εν μέρει παρουσιαστεί και προηγουμένως (Χαραλαμπίδης και Σακελλαριάδου 2003, Sakellariadou and Haralambides 2004) είναι παρόμοια με αυτή που έχει παρατηρηθεί σε προηγούμενες μελέτες της περιοχής, τόσο για τα ιζήματα, όσο και για τα νερά του κόλπου της Ελευσίνας (Scoullou 1981, Scoullou 1983, Σκούλλος κ.α. 1984, Scoullou 1986, Βούτσινου-Ταλιαδούρη κ.α. 1987, Voutsinou-Taliadouri et al 1989, Φυλίγκος κ.α. 1987, Σιούλα κ.α. 1990, Voutsinou-Taliadouri and Bogdanos 1992, Μαυράκης κ.α. 2000).

Οι συσχετίσεις μεταξύ των μετάλλων για το σύνολο των δειγμάτων (εσωτερικό του κόλπου και δυτική έξοδος) είναι χαμηλότερες κατά κανόνα από τις αντίστοιχες συσχετίσεις για τις δύο περιοχές στις οποίες χωρίστηκε ο κόλπος για λόγους μελέτης (συσχετίσεις για τα δείγματα από το εσωτερικό του κόλπου και συσχετίσεις για τα δείγματα από τη δυτική έξοδο). Αυτό μάλλον είναι αποτέλεσμα της διαφορετικής σύστασης των ιζημάτων των δύο περιοχών. Τα μόνα μέταλλα που παρουσιάζουν αυξημένες μεταξύ τους συσχετίσεις και στους 3 δυνατούς συνδυασμούς (όλα τα δείγματα, δείγματα από το κέντρο του κόλπου και δείγματα από τη δυτική έξοδο) είναι ο μόλυβδος, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος, υπογραμμίζοντας την κοινή προέλευση και χωρική κατανομή των μετάλλων αυτών.

Αξιοσημείωτα ποσοστά του προσροφημένου κλάσματος εμφανίζουν ο χαλκός και ο ψευδάργυρος, καθιστώντας τα μέταλλα έτοιμα να επανεισέλθουν στη θάλασσα ενώ ιδιαίτερα εμπλουτισμένο σε όλα τα μέταλλα είναι το κλάσμα το ενωμένο με σουλφίδια και οργανική ύλη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν έχει παρατηρηθεί σημαντικό φορτίο ρύπανσης από βαρέα μέταλλα στην παραθαλάσσια λίμνη Κουμουνδούρου, αφού το σύστημα αποφορτίζεται με απορροή προς τη θάλασσα (Γκρίτζαλης κ.α. 1995, Conides and Parpoura 1997).

Τα ρυπαντικά φορτία που καταλήγουν στο νερό και στα ιζήματα του κόλπου, φαίνονται να διαχέονται σε ένα μικρό βαθμό στο Σαρωνικό κόλπο (Ochsenkühn and Grimanis 1992), καθιστώντας το πρόβλημα ρύπανσης πρόβλημα ολόκληρου του Σαρωνικού κόλπου.

Ο κόλπος της Ελευσίνας είναι ιδιαίτερα επιβαρημένος σε βαρέα μέταλλα συγκρινόμενος με τις περισσότερες άλλες θαλάσσιες περιοχές της Μεσογείου. Αισθητά μεγαλύτερο ρυπαντικό φορτίο παρουσιάζεται μόνο σε λιμνοθάλασσες (Βενετία) και λιμάνια με βιομηχανικά συγκροτήματα (Αλεξάνδρεια, Μασσαλία, Πειραιάς) (Scoullos 1981, Scoullos 1986, Scoullos and Constantianos 1996).

8.5.2. Πυρήνες

Σε μία περιοχή ιζηματογένεσης, στην οποία από κάποια χρονική περίοδο και μετά παρατηρείται βιομηχανική ή άλλη ανθρώπινη δραστηριότητα, είναι αναμενόμενο (όταν ο πυθμένας δεν είναι διαταραγμένος) να μειώνονται οι περιεκτικότητες στα μέταλλα που αποτελούν αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας όσο πιο βαθιά στο ιζημα του πυθμένα μιας θαλάσσιας λεκάνης γίνεται ανίχνευση και απομακρυνόμαστε από τις συνέπειες της ανθρωπογενούς επιβάρυνσης (Ridgway and Price 1987). Από ένα βάθος και κάτω οι συγκεντρώσεις παίρνουν τις τιμές που αντιστοιχούν στο τοπικό υπόβαθρο και οι διαφορές που παρατηρούνται οφείλονται σε διαφορές στα

χαρακτηριστικά (γεωλογικά, χημικά, βιολογικά) του αποτιθέμενου ιζήματος. Η συζήτηση που έχει γίνει προηγούμενη μελέτη για τον ορισμό των τιμών υποβάθρου για το μόλυβδο (Scoullos 1986) καταλήγει σε τιμή υποβάθρου στην περίπτωση έλλειψης οποιασδήποτε ανθρώπινης παρέμβασης ίση με 10 ppm, ενώ σαν συνηθέστερη τιμή για περιοχές χωρίς ρύπανση ('unpolluted') προτείνεται η τιμή 15-25 ppm, με μέσο όρο τα 20 ppm. Τα βαθύτερα σημεία των μεγαλύτερων πυρήνων (E4, E5, E9) στο κέντρο του κόλπου παρουσιάζουν τιμές της τάξης των 60 ppm. Φαίνεται ότι με τη μακροχρόνια διαδικασία ρύπανσης μπορεί σε συνδυασμό με τα ανωτέρω να υποθέσει κανείς ότι υπάρχει ρύπανση και σε βαθύτερα ιζήματα αφού με ιζηματογένεση 0,5-0,8 εκατοστά το χρόνο (Scoullos 1986), 35 εκατοστά πάχους ιζήματος αντιστοιχούν σε περίπου 45 με 70 χρόνια ιζηματογένεσης. Χρησιμοποιώντας έτσι τον ορισμό 'τοπικό υπόβαθρο' συγκρίνουμε τα δείγματα του κόλπου μεταξύ τους χωρίς πρόβλημα. Δεν νομίζω ότι η υιοθέτηση της χαμηλότερης τιμής υποβάθρου (10 ppm για το μόλυβδο) μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά συμπεράσματα. Το ίδιο ισχύει για όλα τα μέταλλα που εξετάζονται στη μελέτη αυτή.

Το φαινόμενο των αυξημένων συγκεντρώσεων στα ανώτερα τμήματα των πυρήνων, παρατηρείται για το χρώμιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο και το χαλκό για στους πυρήνες ΕΠ1, ΕΠ4, ΕΠ5 και ΕΠ8 που προέρχονται από το εσωτερικό του κόλπου. Αυξημένος μόλυβδος και ψευδάργυρος παρατηρείται και στα πρώτα εκατοστά του πυρήνα ΕΠ7. Αυξημένες περιεκτικότητες σε μέταλλα για τα ανώτερα τμήματα ενός πυρήνα αποτελούν ενδείξεις ανθρωπογενούς παρέμβασης από μια χρονική περίοδο και έπειτα. Η περίοδος μπορεί να προσδιοριστεί με όση ακρίβεια μπορεί να προσδιοριστεί ο ρυθμός ιζηματογένεσης στην περιοχή, ο οποίος για τον κόλπο της Ελευσίνας έχει προσδιοριστεί σε 0,5 - 0, 8 εκατοστά ετησίως (Scoullos 1986). Για τους υπόλοιπους πυρήνες δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές συναρτήσει του βάθους (απόσταση από την κορυφή του πυρήνα) για τα μέταλλα αυτά, γεγονός που αποτελεί ένδειξη μικρότερης ρύπανσης. Οι παρατηρήσεις συμφωνούν με προηγούμενες έρευνες στην περιοχή (Scoullos 1981, Scoullos 1986, Scoullos and Constantianos 1996). Το αυτό φαινόμενο έχει παρατηρηθεί και άλλες περιοχές με μικρότερο ρυπαντικό φορτίο, όπως η Σιγκαπούρη (Orlic and Tang 1999) και αιτιολογήθηκε με τον ίδιο τρόπο. Γενικά, με τη λήψη πυρήνων από μια περιοχή (θαλάσσια, ποτάμια ή λιμναία) μπορούμε να δούμε την ανθρώπινη επίδραση σε βάθος χρόνου.

Παρατηρήθηκε μείωση της περιεκτικότητας σε σίδηρο στα πρώτα εκατοστά των πυρήνων ΕΠ4 και ΕΠ9, που προέρχονται από βάθη μεγαλύτερα των 30 μέτρων. Η πιθανότερη εξήγηση για το φαινόμενο αυτό είναι η στρωμάτωση και οι ανοξικές συνθήκες (που είναι εποχικό φαινόμενο και παρατηρείται στο τέλος του καλοκαιριού και σε βάθη μεγαλύτερα από 30 μέτρα) που παρατηρούνται στα βαθύτερα σημεία της λεκάνης και η επαναδιάλυση του σιδήρου (Scoullos 1973). Κατά την επαναδιάλυση, μέρος του μετάλλου που περιέχεται στα ιζήματα του πυθμένα επαναδιαλύεται και επανέρχεται στην υδατική φάση. Το χημικό αυτό φαινόμενο είναι ανάλογο με την φυσική (μηχανική) επαναιώρηση και επανακαθίζηση των ιζημάτων του πυθμένα (Scoullos 1973). Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε μεγαλύτερη έκταση σε κλειστές θάλασσες με μειωμένη κυκλοφορία νερών, όπως είναι η Μαύρη Θάλασσα (Scoullos 1973).

Περιοδική ιζηματογένεση και επαναδιάλυση κάτω από ανοξικές συνθήκες έχει παρατηρηθεί και για άλλα μέταλλα. Το ίδιο φαινόμενο κάτω από ανοξικές συνθήκες εμφανίζεται στη Βαλτική, όπου οι μειωμένες συγκεντρώσεις Cd, Cu και Pb στο νερό αποδίδονται στη δημιουργία σουλφιδίων, τα οποία κάτω από άλλες συνθήκες ελευθερώνονται και πάλι στο νερό (Pohl and Hennings 1999) και στη Μαύρη Θάλασσα, όπου το ίδιο συμβαίνει με το χαλκό και τον ψευδάργυρο (Scoullos 1973). Αυξημένες συγκεντρώσεις των μετάλλων στη φάση των σουλφιδίων έχει παρατηρηθεί και στις μετρήσεις που έγιναν για την παρούσα μελέτη, γεγονός που ίσως εξηγείται με τον τρόπο αυτό. Στη Βαλτική έχει παρατηρηθεί αύξηση της περιεκτικότητας σε ιζήματα που βρίσκονται περίπου 5 εκατοστά κάτω από την επιφάνεια πυρήνων στις συγκεντρώσεις Co, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe και S, γεγονός που εξηγήθηκε με την επαναδιάλυση των μετάλλων αυτών (Mälkki 2000). Επαναδιάλυση Zn και Cd έχει παρατηρηθεί και στη Γερμανία κάτω από ανοξικές συνθήκες (Zoumis et al 2001).

Παρόμοια μείωση συγκέντρωσης του σιδήρου παρατηρήθηκε και σε πυρήνες από μικρότερα βάθη. Στον πυρήνα ΕΠ3 αυτό αποδίδεται στην αυξημένη περιεκτικότητα σε ανθρακικά, αλλά για τους πυρήνες ΕΠ6 και ΕΠ7 αυτό δεν ισχύει. Η παύση της λειτουργίας της υψικαμίνου στο βορειοανατολικό τμήμα του κόλπου θα έπρεπε κατ' αρχήν να επηρεάσει τη συγκέντρωση του σιδήρου στον πυρήνα ΕΠ8, όμως αυτό δεν έχει γίνει. Ίσως κάτω από ειδικές συνθήκες παρατηρείται επαναδιάλυση σιδήρου και μαγγανίου (Scoullos 1973) και σε μικρότερα βάθη, αφού στον κόλπο της Ελευσίνας έχει παρατηρηθεί έλλειψη οξυγόνου και σε βάθη κάτω από 10 μόλις μέτρα (Φυλίγκος κ.α. 1987). Η μείωση της περιεκτικότητας σε σίδηρο στη ζώνη 5-14 εκατοστά από την επιφάνεια του πυθμένα στον πυρήνα ΕΠ5 οφείλεται σε αυξημένα ανθρακικά (και επομένως αραίωση του σιδηρούχου ιζήματος, αφού ο σίδηρος είναι μη μετρήσιμος στο κλάσμα των ανθρακικών) στη ζώνη αυτή. Έχει αναφερθεί η λειτουργία των αναδιαλυμένων μετάλλων (Fe και Mn) σαν παγίδων (πυρήνων καθίζησης) για διαλυμένα μέταλλα (Sirinawin et al 1998). Ίσως πρέπει να δεχτούμε ότι ανάλογο φαινόμενο παρατηρείται πιθανόν και σε περιοχές του κόλπου της Ελευσίνας.

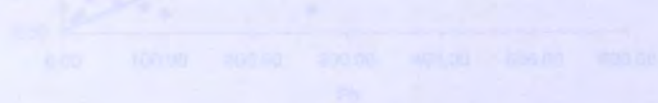
Εκτός από την επαναδιάλυση σιδήρου και μαγγανίου, παρόμοια συμπεριφορά θεωρώ πως πρέπει ίσως να υποθέσουμε ότι ισχύει και για τον ψευδάργυρο (Scoullos 1981), το χαλκό, το μόλυβδο και άλλα μέταλλα. Η συμπεριφορά αυτή του μολύβδου έχει προσομοιωθεί με σειρά πειραμάτων στο εργαστήριο (Scoullos 1986, αναφορά σε δημοσιεύματα εργαστηριακά δεδομένα του 1985).

Στον πυρήνα ΕΠ3 οι διαφορές στις περιεκτικότητες των μετάλλων συναρτήσει του βάθους είναι πολύ μικρές, ένδειξη της μειωμένης επίδρασης ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην περιοχή προς τη δυτική έξοδο του κόλπου.

Στον πυρήνα ΕΠ5 άξια προσοχής είναι τα πρώτα 5 εκατοστά, τα οποία αντιστοιχούν σε 6-10 χρόνια ιζηματογένεσης (Scoullos 1986). Οι τιμές είναι αυξημένες στο τμήμα αυτό σε σχέση με τον υπόλοιπο πυρήνα, αλλά επιπλέον οι περιεκτικότητες στα μέταλλα-τεκμήρια ανθρώπινης δράσης είναι αυξημένες στη ζώνη 3,5-5 εκατοστά σε σχέση με τη ζώνη 0-3,5 εκατοστά. Το διάστημα αυτό του 1,5 εκατοστού, που σύμφωνα με τα

προηγούμενα αντιστοιχεί σε 2-3 χρόνια περίπου, οι δραστηριότητες των βιομηχανιών της περιοχής ή ήταν πιο έντονες ή λιγότερο φιλικές με το περιβάλλον (το πιθανότερο). Η άλλη πιθανότητα είναι να πρόκειται για ατύχημα ή σειρά ατυχημάτων που διαπότισαν μεγαλύτερο πάχος ιζηματογενή ή (β' πιο πιθανή περίπτωση) για «ανήθικη» απελευθέρωση καταλοίπων στο περιβάλλον για το διάστημα αυτό. Παρόμοιο φαινόμενο, όπου οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις δεν παρουσιάζονται στην κορυφή του πυρήνα έχει μελετηθεί και για το λιμάνι της Μυτιλήνης (Αγγελίδης και Αλούπη 1997, Αλούπη 1999). Οι διαφορές στις συγκεντρώσεις στην τελευταία περίπτωση θεωρήθηκε ότι υπάρχουν λόγω ανθρώπινης παρέμβασης στη στήλη ιζηματογένεσης ή λόγω παύσης βιομηχανικής δραστηριότητας.

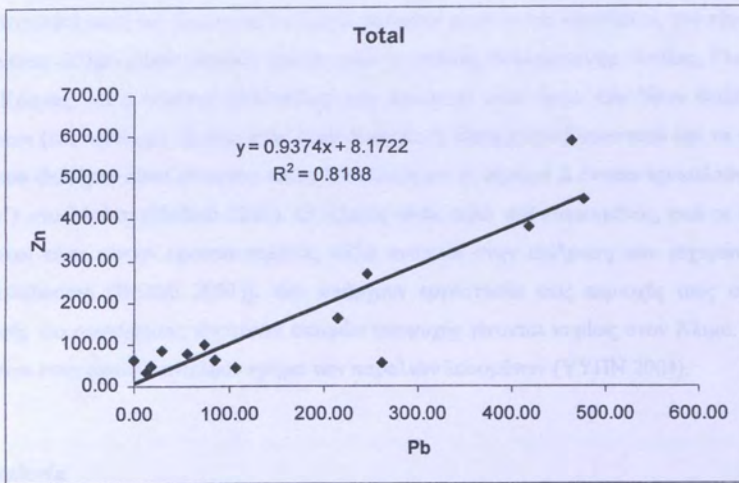
Με βάση όλα τα ανωτέρω, ο πυθμένας του κόλπου της Ελευσίνας, και ιδιαίτερα κατ' αρχήν τα βαθύτερα τμήματά του, αλλά πιθανόν και κάποια άλλα σημεία του (περιοχή των ΕΠ6 και ΕΠ7), μπορεί να θεωρηθεί ότι λειτουργεί σαν «παγίδα» και στη συνέχεια δευτερογενής πηγή βαρέων μετάλλων.



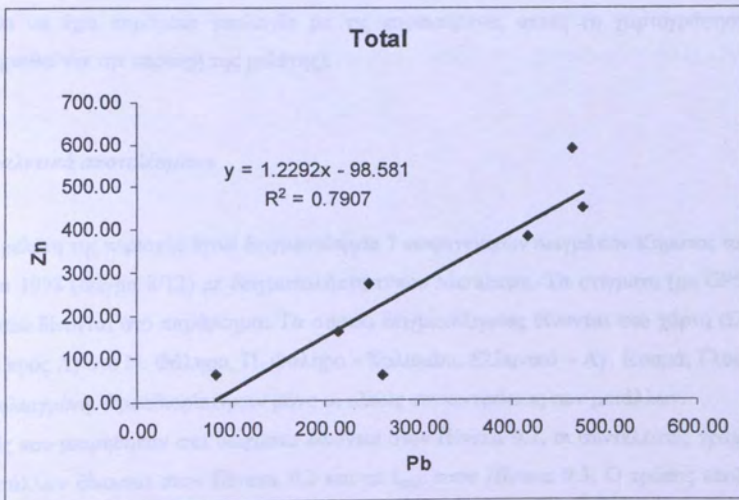
Σχήμα 4.11. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ (n) - ποσότητας για το υπόλοιπο του υδάτινου πυθμένας (14 δείγματα). Οι τιμές είναι σε mg/kg.



Σχήμα 4.12. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ (n) - ποσότητας για το υπόλοιπο του υδάτινου πυθμένας (14 δείγματα). Οι τιμές είναι σε mg/kg.



Σχήμα 8.11. Γραμμική συσχέτιση μολύβδου – ψευδαργύρου για το σύνολο του κόλπου της Ελευσίνας (14 δείγματα). Οι τιμές είναι σε ppm.



Σχήμα 8.12. Γραμμική συσχέτιση μολύβδου – ψευδαργύρου για το εσωτερικό του κόλπου της Ελευσίνας (7 δείγματα). Οι τιμές είναι σε ppm.

9. ΟΙ ΜΑΡΙΝΕΣ ΤΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ

Στην ανατολική ακτή του Σαρωνικού κόλπου υπάρχουν μαρίνες και λιμενίσκοι, που εξυπηρετούν ιδιωτικά σκάφη. Σαν μαρίνες ελλιμενισμού σκαφών λειτουργούν οι μαρίνες Βουλιαγμένης, Βούλας, Γλυφάδας και Αλίμου, ενώ ο Άγιος Κοσμάς και ο Μπάτης (Φλοίσβος) που βρίσκεται στον όρμο του Νέου Φαλήρου χαρακτηρίζονται ως λιμενίσκοι (www.yep.gr). Βρίσκονται στην Ανατολική πλευρά του Σαρωνικού και τα νερά τους είναι αβαθή. Ο όρμος του Φαλήρου είναι ανοικτός στους Ν ανέμους και οι ισχυροί Δ άνεμοι προκαλούν έντονο κυματισμό ('very choppy') στο Μπάτη (Heikell 2001). Ο Άλιμος είναι καλά προστατευμένος, ενώ οι υπόλοιπες μαρίνες και οι λιμενίσκοι είναι γενικά προστατευμένοι, αλλά ανοικτοί στην επίδραση των ισχυρών Ν ανέμων [κυρίως σαν φουσκοθαλασσιά (Heikell 2001)]. Δεν υπάρχουν εργοστάσια στις περιοχές τους και μικρές μόνο εργασίες επισκευής και συντήρησης ιδιωτικών σκαφών αναψυχής γίνονται κυρίως στον Άλιμο. Οι άλλες μαρίνες και οι λιμενίσκοι στην ουσία αποτελούν τμήμα των παραλιών λουομένων (ΥΥΠΝ 2004).

9.1. Γεωλογία

Η περιοχή ανήκει γεωλογικά στη ζώνη Ανατολικής Ελλάδας ή Υποελαγωνική (Μαράτος 1972, Τσόφλιας 1976, www.igme.gr). Οι μαρίνες του Σαρωνικού περιβάλλονται από μαργαϊκό ασβεστόλιθο και ψαμίτη του Πλειοκένου και αλυβιακές αποθέσεις ποταμών και χερσαίων του Ολοκένου. Στη Βουλιαγμένη απολήγει η μάζα του Υμηττού, αποτελούμενη από ασβεστόλιθους, δολομίτες και μάρμαρα του Ιουρασικού με πάχος 5 – 150 μέτρα. (Παπαγεωργάκης 1969, Γαϊτανάκης 1976-77, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β). Ο παράκτιος πυθμένας φαίνεται να έχει παρόμοια γεωλογία με τις παρακείμενες ακτές (η χαρτογράφηση του πυθμένα δεν έχει ολοκληρωθεί για την περιοχή της μελέτης).

9.2. Αναλυτικά αποτελέσματα

Για τη μελέτη της περιοχής έγινε δειγματοληψία 7 επιφανειακών δειγμάτων ιζήματος τα έτη 1997 (δείγματα M1 – M6) και 1998 (δείγμα 8/12) με δειγματολήπτη τύπου Magucawa. Τα στίγματα (με GPS) και λοιπά στοιχεία των δειγμάτων δίνονται στο παράρτημα. Τα σημεία δειγματοληψίας δίνονται στο χάρτη (Σχήμα 9.1) και βρίσκονται (από Δ προς Α) στο Ν. Φάληρο, Π. Φάληρο - Καλαμάκι, Ελληνικό – Αγ. Κοσμά, Γλυφάδα (2 δείγματα), Βούλα και Βουλιαγμένη. Προσδιορίστηκαν μόνο οι ολικές συγκεντρώσεις των μετάλλων.

Οι τιμές που μετρήθηκαν στα δείγματα δίνονται στον Πίνακα 9.1, οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των μετάλλων δίνονται στον Πίνακα 9.2 και τα $t_{\text{παρ}}$ στον Πίνακα 9.3. Ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης και του $t_{\text{παρ}}$, καθώς και τιμές του t δίνονται στον Πίνακα 6.5. Επιλεγμένοι ισοχημικοί χάρτες δεν κατασκευάστηκαν, επειδή τα σημεία δειγματοληψίας εφ' ενός μεν απέχουν πολύ μεταξύ τους, εφ' ετέρου δε βρίσκονται κατά προσέγγιση πάνω στην ίδια ευθεία, με αποτέλεσμα να μη δίνουν καλό κάρναβο.

9.2.1. Σίδηρος

Οι τιμές παρουσιάζονται χαμηλές, από 5.473 έως 17.215 ppm με το ελάχιστο στη Βουλιαγμένη. Οι υπόλοιπες τιμές κινούνται πάνω από τα 11.000 ppm, έτσι ώστε η περίπτωση της Βουλιαγμένης να θεωρείται εξαίρεση. Ο σίδηρος παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το αργίλιο, το μαγγάνιο, το νικέλιο και το χαλκό, τη μεγαλύτερη με το μαγγάνιο. Με τα άλλα μέταλλα παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση.

9.2.2. Αργίλιο

Οι τιμές κυμαίνονται από 5.205 ppm (Βουλιαγμένη) μέχρι 25.553 ppm (Ν. Φάληρο). Οι τιμές στη Βούλα και τη Γλυφάδα είναι της τάξης των 11.000 – 13.000 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα, σημαντική συσχέτιση (95%) με το χρώμιο και πολύ σημαντική (99%) με το νικέλιο.

9.2.3. Μαγγάνιο

Το μαγγάνιο εμφανίζεται ανάμεσα σε 160 (Γλυφάδα) και 331 ppm (Βούλα). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το σίδηρο, το αργίλιο, το νικέλιο και το κάδμιο, τη μεγαλύτερη με τον σίδηρο και το νικέλιο. Με τα άλλα μέταλλα παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση.

9.2.4. Νικέλιο

Οι τιμές του κυμαίνονται από 43 (Βουλιαγμένη) μέχρι 99 ppm (Γλυφάδα και Ν. Φάληρο). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα, πλην του μολύβδου και του χαλκού. Εκτός από την προαναφερθείσα πολύ σημαντική (99%) συσχέτιση με το αργίλιο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες συσχετίσεις με το χρώμιο και το μαγγάνιο.

9.2.5. Χρώμιο

Οι τιμές του κυμαίνονται από 55,6 (Βουλιαγμένη) μέχρι 142,2 ppm (Ν. Φάληρο). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα, εκτός από το σίδηρο και το μαγγάνιο. Εκτός από την προαναφερθείσα σημαντική (95%) συσχέτιση με το αργίλιο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες συσχετίσεις με τον κασσίτερο, το νικέλιο και τον ψευδάργυρο.

9.2.6. Μόλυβδος

Οι τιμές που παρουσιάζει ποικίλουν από 15 (Βουλιαγμένη) μέχρι 168 ppm (Γλυφάδα). Παρουσιάζει σημαντική θετική συσχέτιση (95%) με τον κασσίτερο και τον χαλκό και θετική συσχέτιση με το αργίλιο και το χρώμιο. Με τα υπόλοιπα μέταλλα παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση.



Σχίμα 9.1. Χάρτης της Αττικής. Σημειώνονται τα σημεία δειγματοληψίας για τις μαρίνες του Σαρωνικού (M1 – M6, 8/12) και τα εκτός λιμανιού σημεία δειγματοληψίας για το Λαύριο (Λ4 – Λ6) και τη Ραφήνα (P1, P4) (ο χάρτης προέρχεται από το Microsoft Encarta Atlas ©&®1998).

Πίνακας 9.1. Οι τιμές των δειγμάτων από τις μαρίνες της αττικής (ολικές περιεκτικότητες) . Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για τα CO₃ σε %.

Δείγμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
1	13713	25553	314	99	142,2	114	171	25	3,5	1,8	
2	11386	18663	276	98	117,5	34	410	9	4	0	
3	17215	25033	350	99	109,4	121	105	15	0,4	1,2	
4	12107	9110	217	50	65,3	75	67	11	0,5	0	
5	21838	11055	331	57	64,7	101	44	28	1,9	0	
6	5473	5205	276	43	55,6	92	110	9	1,8	0,2	
8/12	8060	13618	160,4	47,7	125,5	168	233,1	36,8	2	3,1	43,7

Πίνακας 9.2. Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για Μαρίνες του Σαρωνικού (ολικές περιεκτικότητες).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
Fe		0,3680	0,6581	0,3587	-0,0300	-0,0283	-0,3734	0,2166	-0,1546	-0,2375
Al	0,3680		0,4553	0,9233	0,8291	0,1237	0,3128	0,1382	0,2837	0,3855
Mn	0,6581	0,4553		0,5894	-0,0412	-0,2551	-0,2565	-0,2648	0,0400	-0,4035
Ni	0,3587	0,9233	0,5894		0,6830	-0,2490	0,4363	-0,1758	0,4126	0,0480
Cr	-0,0300	0,8291	-0,0412	0,6830		0,2985	0,6022	0,3975	0,5236	0,7022
Pb	-0,0283	0,1237	-0,2551	-0,2490	0,2985		-0,3167		-0,3124	0,8540
Zn	-0,3734	0,3128	-0,2565	0,4363	0,6022	-0,3167		-0,0866	0,7429	0,1673
Cu	0,2166	0,1382	-0,2648	-0,1758	0,3975	0,7961	-0,0866		0,0954	0,7436
Cd	-0,1546	0,2837	0,0400	0,4126	0,5236	-0,3124	0,7429	0,0954		0,0663
Sn	-0,2375	0,3855	-0,4035	0,0480	0,7022	0,8540	0,1673	0,7436	0,0663	

Πίνακας 9.3. Έκθερ. για τις μαρίνες του Σαρωνικού (7 δείγματα).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
Fe	0,884975	1,954438	0,859259	0,067112	0,063306	0,900048	0,496110	0,349903	0,546709	
Al	0,884975	1,143478	5,375349	0,278742	0,736395	0,312019	0,661554	0,934211		
Mn	1,954438	1,143478	1,631432	0,589939	0,593404	0,614030	0,089514	0,986091		
Ni	0,859259	5,375349	1,631432	2,090904	0,574888	0,399320	1,012833	0,107455		
Cr	0,067112	3,315906	0,092204	2,090904	0,699350	1,686689	1,374242	2,205353		
Pb	0,063306	0,278742	0,589939	0,574888	0,699350	0,746593	0,735351	3,670385		
Zn	0,900048	0,736395	0,593404	1,084235	1,686689	0,746593	0,194374	2,481579	0,379442	
Cu	0,496110	0,312019	0,614030	0,399320	0,968652	2,941567	0,194374	0,214298		
Cd	0,349903	0,661554	0,089514	1,012833	1,374242	0,735351	2,481579	0,214298		
Sn	0,546709	0,934211	0,986091	0,107455	2,205353	3,670385	0,379442	2,486806	0,148578	

9.2.7. Ψευδάργυρος

Οι τιμές του κυμαίνονται από 44 (Βούλα) μέχρι 410 ppm (Π. Φάληρο – Καλαμάκι). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το αργίλιο, το νικέλιο, το χρώμιο, το κάδμιο και τον κασσίτερο, τη μεγαλύτερη με το κάδμιο και το χρώμιο. Με τα υπόλοιπα μέταλλα παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση.

9.2.8. Χαλκός

Οι τιμές του είναι από 9 (Βουλαγιμένη και Π. Φάληρο – Καλαμάκι) μέχρι 36,8 ppm (Γλυφάδα). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα. Μετά την προαναφερθείσα σημαντική (95%) συσχέτιση με το μόλυβδο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συσχέτιση με τον κασσίτερο.

9.2.9. Κάδμιο

Παρουσιάζει τιμές από 0,4 (Αγ. Κοσμάς – Ελληνικό) μέχρι 4 ppm (Π. Φάληρο – Καλαμάκι). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα πλην του σιδήρου και του μολύβδου, τη μεγαλύτερη με τον ψευδάργυρο.

9.2.10. Κασσίτερος

Παρουσιάζει τιμές από 0 (Γλυφάδα, Βούλα και Π. Φάληρο – Καλαμάκι) μέχρι 3,1 ppm (Γλυφάδα). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα πλην του σιδήρου και του μαγγανίου, σημαντική (95%) με το μόλυβδο και μεγάλη με το χαλκό και το χρώμιο.

9.3. Σχόλια και συμπεράσματα

Οι περιεκτικότητες των μετάλλων που μετρήθηκαν στα δείγματα είναι κοντά σε αυτές που μετρήθηκαν σε δείγματα του ανοικτού Σαρωνικού κόλπου (Voutsinou – Taliadouri 1981, Αγγελίδης και Oregioni 1982, Ζαφειρόπουλος κ.α. 1984, Καλογερόπουλος κ.α. 1989, Scoullou and Constantianow 1996, Κατσίκη κ.α. 1996). Για το λόγο αυτό οι χαμηλότερες τιμές που μετρήθηκαν, θεωρούνται σαν τιμές υποβάθρου για τις όλες τις μαρίνες (συμπεριλαμβανόμενης και της μαρίνας Ζέας), το Μικρολίμανο και το λιμάνι του Πειραιά. Οι κυριότεροι φορείς ρύπων είναι το σύστημα των ποταμών Κηφισού (Ζαφειρόπουλος και Huynh-Ngoc 1982) και Ιλισού που εκβάλλουν στο Δέλτα του Φαλήρου και δευτερευόντως ένας αριθμός μικρότερων ρεμάτων [με μεγαλύτερο το Βουρλοπόταμο που εκβάλλει Β του Αλίμου (ΥΥΠΝ 2004)] που αποστραγγίζουν τις δυτικές πλαγιές του Υμηττού και η επιφανειακή απορροή. Με βάση τη γεωλογία και γεωγραφία της περιοχής δεν μπορεί να γίνει εκτίμηση για την ιζηματογένεση της περιοχής, πέρα από τον κόλπο του Φαλήρου που έγινε όταν εξετάστηκαν η μαρίνα Ζέας

και το Μικρολίμανο.

Οι τιμές των μετάλλων στη Βουλιαγμένη και τη Βούλα είναι αρκετά χαμηλότερες. Αυτό μάλλον οφείλεται στην παρουσία φερτής χαλαζιακής άμμου στις παραλίες, η οποία με τον κυματισμό εξαπλώνεται πέρα από την περιοχή αρχικής απόθεσης και λειτουργεί σαν αραιωτικό. Η κατά τόπους σχετικά αυξημένη τιμή του μολύβδου και του ψευδαργύρου πιθανώς δηλώνει ανθρώπινη παρουσία. Η συσχέτιση του μολύβδου και του χαλκού με τον κασσίτερο μπορεί ίσως να αποδοθεί σε υφαλοχρώματα. Η επίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας στο περιβάλλον της χώρας μας σε περιοχές που λειτουργούν μαρίνες, έχει διαπιστωθεί και στο παρελθόν (Μαρουλάκου κ.α. 1996, Μαρουλάκου κ.α. 1997, Pardali and Sakellariadou 2000).

Τα δείγματα προέρχονται από μια μεγάλη σχετικά έκταση και απέχουν αρκετά μεταξύ τους. Παρά αυτό το γεγονός, οι συσχετίσεις μεταξύ των μετάλλων είναι καλές, ιδιαίτερα του αργιλίου, που παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα. Αυτό οφείλεται μάλλον στη γεωλογία της περιοχής (Παπαγεωργάκης 1969) και στην έλλειψη σημαντικών (από περιβαλλοντική σκοπιά) ανθρώπινων παρεμβάσεων. Τα αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα με αυτά της Ραφήνας, ενώ οι περιοχές που εξετάστηκαν παρουσιάζουν σαφώς μικρότερο ρυπαντικό φορτίο από τη μαρίνα Ζέας και το Μικρολίμανο, που εξετάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

10. ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΙΑ

Το λιμάνι του Πειραιά, το μεγαλύτερο λιμάνι της χώρας (Σχήμα 10.1) , αποτελείται από τρία τμήματα: το επιβατικό, το εμπορικό και το επισκευαστικό λιμάνι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.2 (The Piraeus Port Authority, 1999). Το λιμάνι είναι πολύ καλά προστατευμένο από τους ανέμους (Heikell 2001).

Το αγκυροβόλιο της ακτοπλοΐας (Σχήματα 10.3 και 10.4) αποτελούν τα τμήματα: Κεντρικός λιμένας, Προλιμένας, λιμένας Αλών και βοθητικός λιμένας (συνολικό μήκος κρηπιδοτοίχων 8.500 μέτρα). Το λιμάνι του Πειραιά εξυπηρετεί (www.olp.gr) περί τα 19 εκατομμύρια επιβάτες ετησίως (περιλαμβανομένης και της πορθμιακής γραμμής Σαλαμίνας, γεγονός που το κατατάσσει στην πρώτη θέση στην Ευρώπη και στην τρίτη θέση παγκοσμίως, ενώ χωρίς την πορθμιακή γραμμή οι ετησίως διακινούμενοι επιβάτες ανέρχονται (www.yen.gr/ports) σε 7.850.000 και τα ετησίως διακινούμενα αυτοκίνητα φτάνουν τα 1.500.000 (31.000 με συνολικό βάρος 35.000 τόνους από το εξωτερικό).

Ο λιμένας Αλών είναι το βορειότερο και εσωτερικότερο τμήμα του λιμένα ακτοπλοΐας με βάθος από 4 έως 9 μέτρα. Ορίζεται από την ακτή Ποσειδώνος (Α), την ακτή Κονδύλη (Β), την Προβλήτα Ι (ΝΑ) και την Ηετώνια Ακτή (Δ) και συνδέεται με τον Κεντρικό λιμένα.

Ο Κεντρικός λιμένας συνδέεται με το λιμένα Αλών (Β) και τον Προλιμένα (ΝΑ) και ορίζεται (δεξιόστροφα) από τις Προβλήτες Ι και ΙΙ (Β), την Αγία Τριάδα (ΒΑ), την Ακτή Μιαούλη (Α, ΝΑ), το Τελωνείο, την Προβλήτα ΙΙΙ (ΟΛΠ), την Ακτή Αλκίμου και την Ακτή Ξαβερίου (Ν) και την Ηετώνια Ακτή (ΒΔ). Είναι βαθύτερος από το λιμένα Αλών (από 5 μέχρι 20 μέτρα στην έξοδο προς τον Προλιμένα), αλλά ρηχότερος από τον Προλιμένα. Στο ΒΑ τμήμα του Κεντρικού λιμένα εκβάλλει ο μοναδικός (παντοροϊκός) αγωγός της ΕΥΔΑΠ που φτάνει στο λιμάνι, αφού διατρέξει όλη τη διαδρομή κάτω από την οδό Γούναρη.

Ο Προλιμένας έχει στη ΒΔ - Β πλευρά του την Ακτή Βασιλειάδη, τις Δεξαμενές Βασιλειάδη (περιοχή ναυπηγοεπισκευαστικών εργασιών, ουσιαστικά μέσα στο λιμάνι) και τα Σιλό. Στην Ακτή Βασιλειάδη αγκυροβολούν πλοία της ακτοπλοΐας που έχουν αποσυρθεί, ενώ στο δυτικότερο τμήμα της, που καταλήγει στο βόρειο λιμενοβραχίονα του λιμανιού, διαμορφώνονται νέα αγκυροβόλια. Στην Ν - ΝΔ πλευρά του Προλιμένα υπάρχουν η ακτή Ξαβερίου, το βοηθητικό λιμάνι και ο νότιος λιμενοβραχίονας. Στην εσωτερική πλευρά του διαμορφώνονται νέα αγκυροβόλια, ενώ πάνω σ' αυτόν και από την εσωτερική πλευρά γίνονται ελαφρές επισκευές πλοίων. Ο Προλιμένας είναι και το βαθύτερο τμήμα του λιμανιού, με βάθος που ξεπερνά τα 25 μέτρα. Εντοπίστηκε ένα έντονο ρεύμα από τα Σιλό και τη Δεξαμενή Βασιλειάδη προς την έξοδο του λιμένα (που έχει κατεύθυνση προς τα δυτικά).

Το βοηθητικό λιμάνι βρίσκεται στη Ν πλευρά του Προλιμένα και επικοινωνεί μέσω αυτού με το υπόλοιπο λιμάνι. Εδώ εδρεύουν τα σκάφη του λιμενικού, τα πυροσβεστικά και άλλα βοηθητικά σκάφη. Η έξοδος του βοηθητικού λιμανιού είναι πολύ στενή και είναι ιδιαίτερα αβαθής (8 μέτρα στην έξοδο και 7 μέτρα στο κέντρο, αλλά στα περισσότερα σημεία κάτω από 4 μέτρα). Η περιοχή που περιλαμβάνεται ανάμεσα στο βοηθητικό λιμάνι και το νότιο λιμενοβραχίονα έχει λειτουργήσει σαν περιοχή μακροχρόνιας παραμονής σκαφών (κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες).

Οι τελευταίες πριν τις δειγματοληψίες εργασίες εκβάθυνσης έγιναν το 1984 (στατιστικό δελτίο ΟΛΠ 1999 – 2000), αλλά τα σχέδια των εργασιών δεν είναι διαθέσιμα (Ι. Κ. Θεοχάρης, προσωπική επικοινωνία).

Εξερχόμενος από το λιμάνι βρίσκει κάποιος αριστερά τον Όρμο Κανελλοπούλου και δεξιά τη Δραπετσώνα και το εγκαταλεημένο σήμερα εργοστάσιο λιπασμάτων και το σύστημα αυτόματης φόρτωσης με μεταφορικές ταινίες που φτάνει μέχρι την ακτή.

Η συνολική διακίνηση εμπορευμάτων το 2002 ανήλθε σε 16.500.000 τόνους (εκ των οποίων οι 14.000.000 τόνοι κίνηση εξωτερικού), ενώ με βάση νεώτερα στοιχεία η συνολική ετήσια κίνηση υπολογίζεται σε 18.000.000 μετρικούς τόνους. Τα εμπορεύματα που διακινούνται είναι σχεδόν αποκλειστικά σε μορφή συμβατικού φορτίου και containers, περίπου εξίσου με ελαφρά υπεροχή του πρώτου. Η μεταφορά του χύμα, τόσο υγρού όσο και ξηρού φορτίου έχει σχεδόν μηδενιστεί κατά τα τελευταία χρόνια (www.olp.gr). Στο Νέο Ικόνιο βρίσκεται το τμήμα του εμπορικού λιμανιού για συμβατικό φορτίο και containers, το οποίο και επεκτείνεται με δύο ακόμα προβλήτες. Το εμπορικό τμήμα του λιμανιού είναι ιδιαίτερα απλωμένο και τα βάθη που απαντώνται ξεπερνούν τα 30 μέτρα (Σχήμα 10.5). Το εμπορικό λιμάνι βρίσκεται στο τέλος της ανατολικής εξόδου του κόλπου της Ελευσίνας.

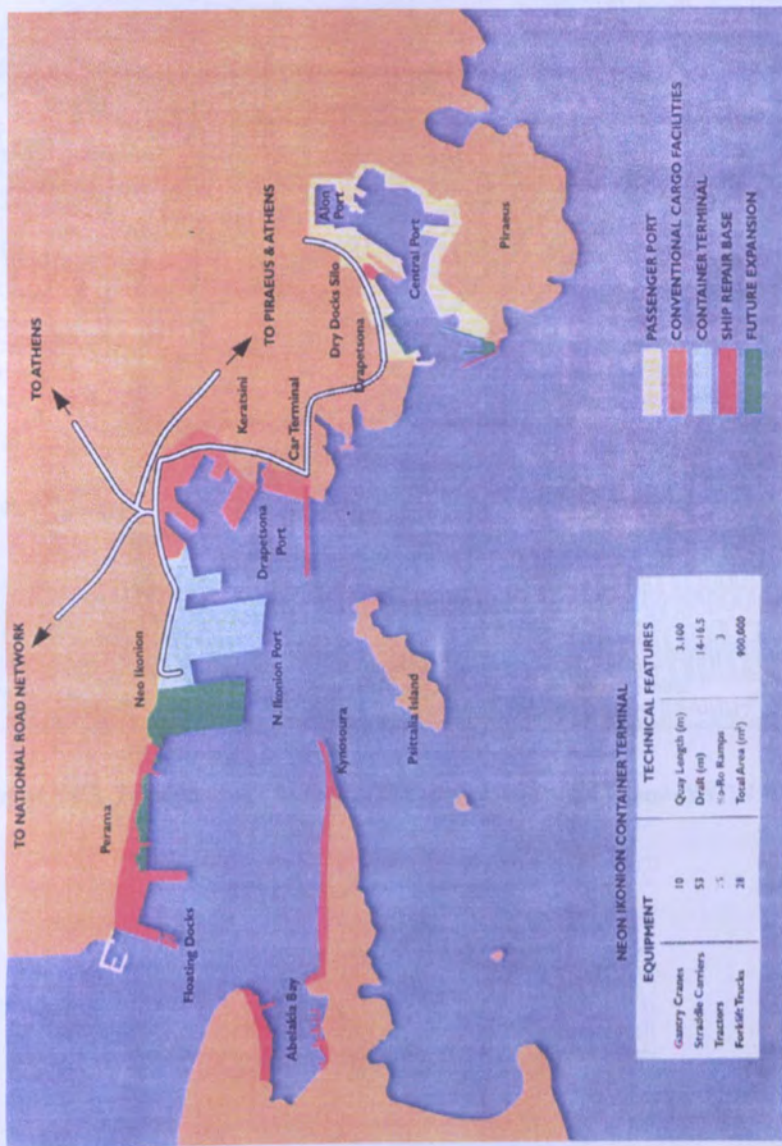
Το επισκευαστικό λιμάνι βρίσκεται διασκορπισμένο (The Piraeus Port Authority, 1999) στα Αμπελάκια και την Κυνόσουρα στη Σαλαμίνα, στη Δραπετσώνα, στο Πέραμα και στο επιβατικό λιμάνι [νότιος λιμενοβραχίονας και (κυρίως) δεξαμενές Βασιλειάδη]. Οι εργασίες χαρακτηρίζονται μικρού και μεσαίου μεγέθους. Οι μονάδες στα Αμπελάκια είναι ιδιωτικές (οι υπόλοιπες ελέγχονται από τον ΟΛΠ), ενώ η Κυνόσουρα χρησιμοποιείται για πρόσδεση των πλοίων που βρίσκονται σε αναμονή για επισκευές ή / και εργασίες συντήρησης (ΥΥΠΝ 1986, ΥΥΠΝ 1998, www.olp.gr).

10.1. Το Μικρολίμανο (Τουρκολίμανο)

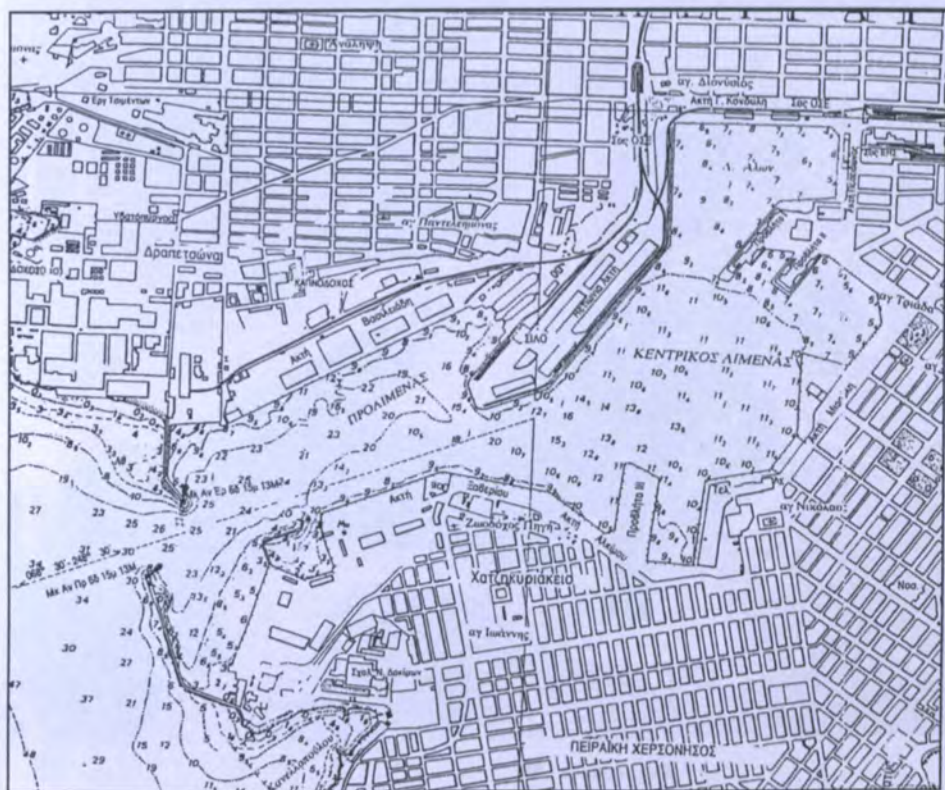
Το Μικρολίμανο βρίσκεται στην Καστέλα, στο ΒΑ τμήμα της Χερσονήσου της Πειραιϊκής (Σχήματα 10.6 και 10.7), υπάγεται στο λιμεναρχείο Πειραιά και είναι χαρακτηρισμένο σαν αλιευτικό καταφύγιο (χρησιμοποιείται όμως και από μικρά ιδιωτικά σκάφη). Είναι ιδιαίτερα αβαθές με μέγιστο βάθος κάτω από τα 4 μέτρα και πολύ



Σχήμα 10.1. Η Αττική και οι κύριες ακτοπλοϊκές γραμμές που την εξυπηρετούν (Microsoft AutoRoute ©&© 2002).



Σχήμα 10.2. Χαρακτηρισμός των τμημάτων του λιμανιού του Πειραιά (The Piraeus Port Authority, 1999).



Σχήμα 10.3. Τα βάθη στο επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (ΥΥΠΝ 1998).



- | | |
|---|-----------------------------------|
| E1 Πύλη | 1 Σταθμός ΟΣΕ |
| 2 Γεφυροπλάστιγγα | 2 Σταθμός ΟΣΕ Πελοποννήσου |
| 3 Κτίριο Σταθμού Επιβατών | 3 Σταθμός ΗΣΑΠ |
| 4 Εσωτερικό Λεωφορείο ΟΑΠ | 4 Λεωφορεία ΕΘΕΛ |
| 5 Χώρος Προσωρινής Στάθμευσης Επισκεπτών | |

Σχήμα 10.4. Διάγραμμα του επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά (www.olp.gr).



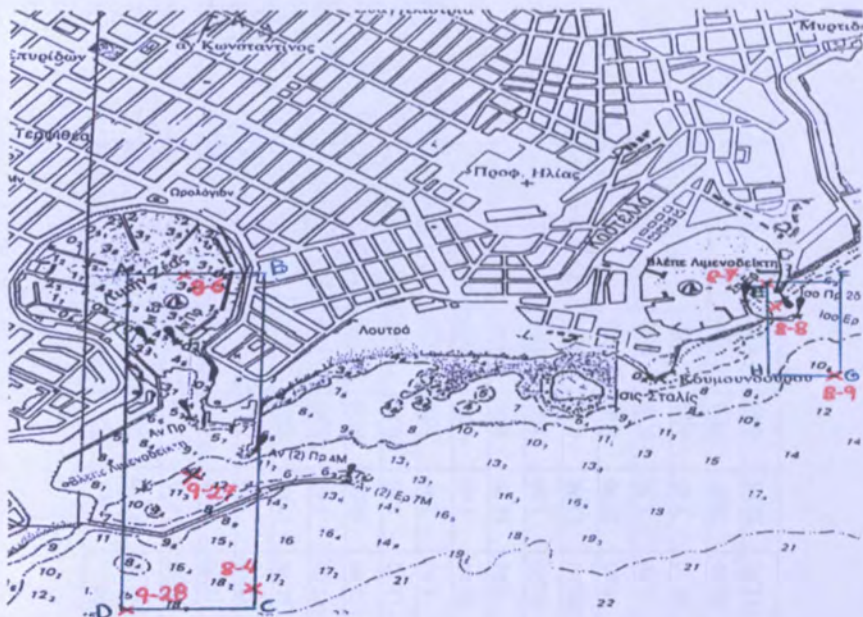
Σχήμα 10.5. Τα βόθρη στο εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά. Κάτω δεξιά στην εικόνα διακρίνεται η είσοδος του επιβατικού τμήματος του λιμανιού (ΥΥΠΠ 1998).



©2003. Maporama, Ερατμήθρες

1 km

Σχήμα 10.6. Το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (σημειώνεται με πλοίο), με τη χερσόνησο της Πειραιϊκής, στην οποία βρίσκονται η μαρίνα Ζέας (ανατολικά) και το Μικρολίμανο (βορειοανατολικά). Διακρίνονται οι εκβολές του Κηφισού (αριστερά) και του Ιλισού στο Φαληρικό Δέλτα (www.maporama.com).



Σχήμα 10.7. Μαρίνα Ζέας και Μικρολίμανο. Διακρίνονται τα βάθη της θάλασσας, τα σημεία δειγματοληψίας (κόκκινο χρώμα) και οι περιοχές που απεικονίζονται στους ισοχημικούς χάρτες (πράσινο χρώμα). Για τη μαρίνα Ζέας είναι το ορθογώνιο ABCD και για το Μικρολίμανο το ορθογώνιο EFGH (ο χάρτης προέρχεται από ΥΥΠΠ 2004)

Πίνακας 10.1 (2/2). Οι τιμές των δεγμάτων της μαρίνας Ζέας. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm και για τα CO₃ σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
9/28	T	10025,00	20918,00	285,00	57,00	110,00	80,00	205,00	32,00	0,00	5,50	39,20	0,2775
	A	30,00	0,00	3,80	3,70	1,20	0,00	4,90	6,40		0,00		
	B	40,90	0,00	48,30	6,50	1,10	5,40	2,90	0,80			0,30	
	C	868,00	401,00	110,70	18,60	9,80	41,20	23,00	5,50			0,40	
	D	764,00	955,00	28,50	14,10	4,40	8,75	7,60	9,70			1,40	
	R	8322,10	19562,00	93,70	14,10	93,50	24,65	166,60	9,60			3,40	

Πίνακας 10.2. Οι τιμές των δειγμάτων του Μικρολίμανου. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm και για τα CO₃ σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
8/7	T	17399,00	40112,00	318,60	147,80	325,00	71,00	743,10	103,70	3,30	13,60	44,50
	A	0,00	0,00	6,10	4,30	1,00	0,00	44,50	15,00	0,10	0,20	
	B	0,00	0,00	28,00	7,30	3,50	4,50	13,80	5,10	0,10	0,10	
	C	1427,00	1089,00	100,50	22,30	31,20	40,25	135,40	4,70	0,00	0,00	
	D	2422,00	1374,80	59,50	16,50	40,40	11,25	48,70	47,20	0,10	0,80	
	R	13550,00	37647,40	124,50	97,40	248,90	15,00	500,70	31,70	3,00	12,50	
8/8	T	17115,00	45289,00	331,30	113,00	200,00	0,00	174,90	15,30	1,80	0,00	38,00
	A	0,00	0,00	7,50	2,70	0,40		8,00	2,80	0,00	0,30	
	B	0,00	0,00	39,40	5,60	1,80		0,50	1,20	0,10	0,00	
	C	887,00	212,70	102,00	21,50	9,30		26,00	3,80	0,00	0,40	
	D	964,00	2996,80	45,20	16,90	8,10		12,30	5,50	0,10	0,30	
	R	15264,00	42079,50	137,20	66,30	180,40		128,10	2,00	1,60	7,60	
8/9	T	15667,00	48024,00	236,80	120,50	180,00	0,00	217,10	16,70	1,00	1,50	35,50
	A	0,00	0,00	8,80	3,60	2,20		8,70	2,20	0,00	0,00	
	B	0,00	0,00	45,60	5,90	2,00		1,10	1,60	0,10	0,00	
	C	1170,00	166,90	115,60	22,80	14,80		29,50	2,70	0,00	0,10	
	D	1862,00	383,60	54,50	17,00	18,10		11,90	7,10	0,10	0,00	
	R	12635,00	47473,50	12,30	71,20	142,90		165,90	3,10	0,80	1,40	

Πίνακας 10.3. Οι τιμές των δειγμάτων της μαρίνας Ζέας. Οι τιμές για τα επί μέρους κλάσματα δίνονται σε % του ολικού μετάλλου.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
8/4	A	0,00	0,00	2,53	1,65	0,29	0,00	9,16	30,34	1,00	1,30
	B	0,00	0,00	15,88	5,49	1,30	8,73	0,75	1,06	0,00	0,00
	C	8,63	0,50	52,62	15,46	1,88	45,54	16,72	4,75	1,00	0,00
	D	19,00	0,60	23,79	14,91	6,38	8,06	8,09	51,72	0,00	3,90
	R	72,37	98,90	5,18	62,49	90,15	37,67	65,28	12,13	98,00	94,80
8/6	A	0,00	0,00	3,35	5,24	2,15	0,00	10,31	24,85	0,70	0,00
	B	0,26	0,00	10,45	15,24	1,16	1,05	4,48	7,36	2,10	3,80
	C	17,25	5,50	60,95	45,71	8,43	32,62	24,01	4,91	0,00	17,00
	D	22,63	0,40	21,03	22,14	6,94	5,71	7,95	51,23	0,00	7,50
	R	59,86	94,10	4,22	11,67	81,32	60,62	53,25	11,65	97,20	71,70
9/27	A	0,15	0,00	3,11	4,12	0,84	0,00	6,67	27,63	12,50	1,80
	B	0,00	0,00	17,75	8,71	1,14	2,46	1,19	3,76	12,50	5,40
	C	9,60	3,30	43,41	22,35	6,89	23,31	18,35	3,66	0,00	0,00
	D	11,69	0,30	19,39	17,29	10,42	4,45	6,53	40,43	0,00	0,00
	R	78,56	96,40	16,34	47,53	80,71	69,78	67,26	24,52	75,00	92,80
9/28	A	0,30	0,00	1,33	6,49	1,09	0,00	2,39	20,00		0,00
	B	0,41	0,00	16,95	11,40	1,00	6,75	1,41	2,50		5,45
	C	8,66	1,92	38,84	32,63	8,91	51,50	11,22	17,19		7,27
	D	7,62	4,57	10,00	24,74	4,00	10,94	3,71	30,31		25,45
	R	83,01	93,51	32,88	24,74	85,00	30,81	81,27	30,00		61,83

Πίνακας 10.4. Οι τιμές των δειγμάτων του Μικρολίμανου. Οι τιμές για τα επί μέρους κλάσματα δίνονται σε % του ολικού μετάλλου.

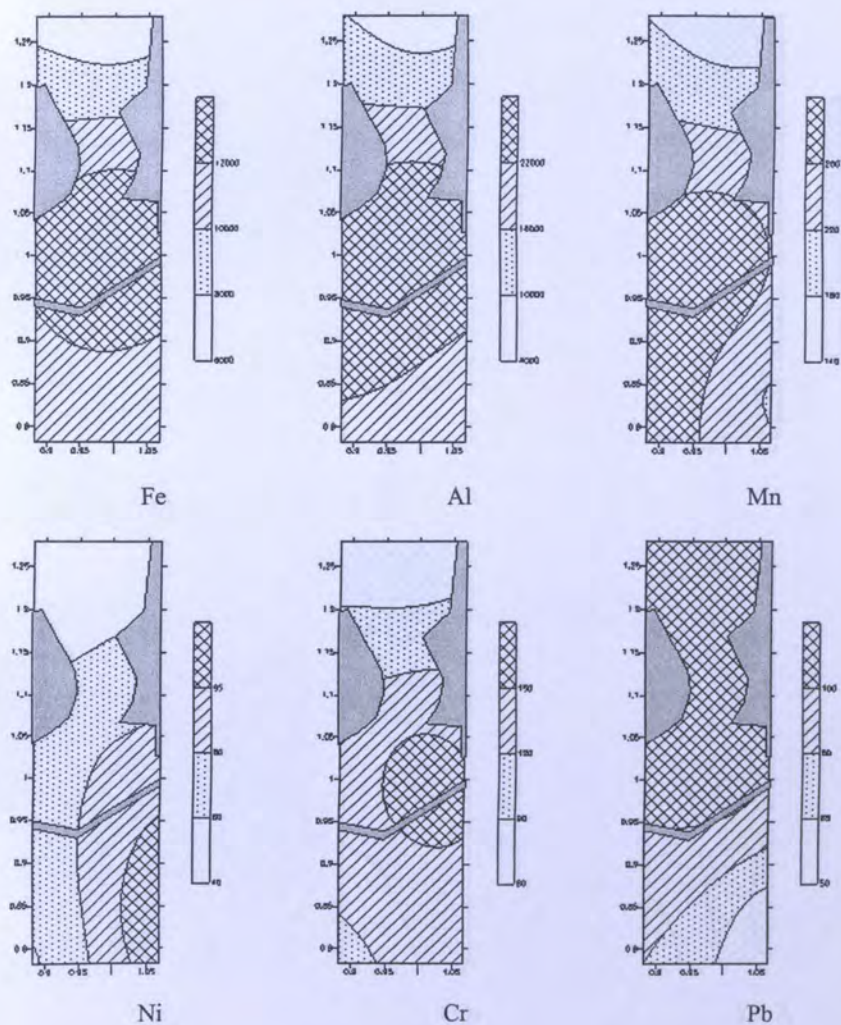
Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
8/7	A	0,00	0,00	1,91	2,91	0,31	0,00	5,99	14,46	3,00	1,50
	B	0,00	0,00	8,79	4,94	1,08	6,34	1,86	4,92	3,00	0,70
	C	8,20	2,70	31,54	15,09	9,60	56,69	18,22	4,53	0,00	0,00
	D	13,92	3,40	18,68	11,16	12,43	15,84	6,55	45,52	3,00	5,90
	R	77,88	93,90	39,08	65,90	76,58	21,13	67,38	30,57	91,00	91,90
8/8	A	0,00	0,00	2,26	2,39	0,20		4,57	18,30	0,00	3,50
	B	0,00	0,00	11,89	4,96	0,90		0,29	7,84	5,60	0,00
	C	5,18	0,50	30,79	19,03	4,65		14,87	24,84	0,00	4,70
	D	5,63	6,60	13,64	14,96	4,05		7,03	35,95	5,60	3,50
	R	89,19	92,90	41,42	58,66	90,20		73,24	13,07	88,80	88,30
8/9	A	0,00	0,00	3,72	2,99	1,22		4,01	13,17	0,00	0,00
	B	0,00	0,00	19,26	4,90	1,11		0,51	9,58	10,00	0,00
	C	7,47	0,30	48,82	18,92	8,22		13,59	16,17	0,00	6,70
	D	11,88	0,80	23,02	14,11	10,06		5,48	42,51	10,00	0,00
	R	80,65	98,90	5,18	59,08	79,39		76,41	18,57	80,00	93,30

Πίνακας 10.5. Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για το Μικρολίμανο και την Μαρίνα Ζέας (ολικές περιεκτικότητες).

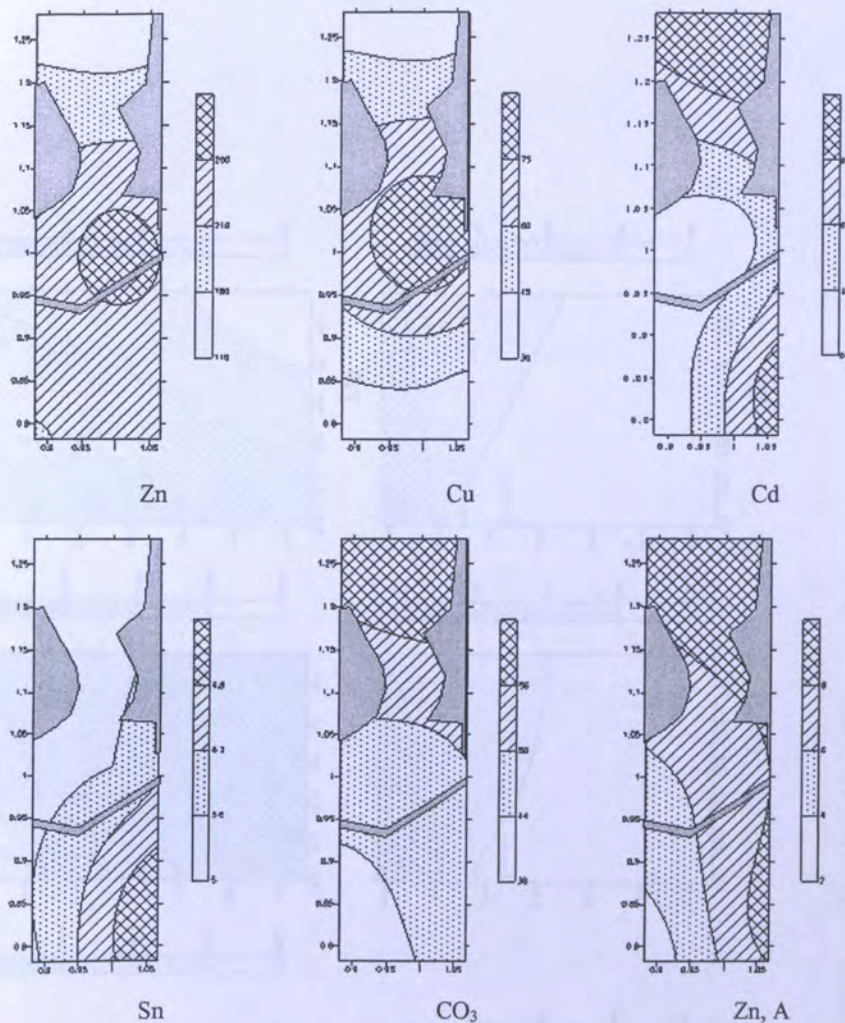
	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		0,9475	0,8147	0,8345	0,8617	-0,4972	0,5426	0,3192	-0,6966	-0,0141	-0,7054
Al	0,9475		0,7100	0,7624	0,7347	-0,6704	0,3637	0,0608	-0,7430	-0,2322	-0,8062
Mn	0,8147	0,7100		0,5323	0,7107	-0,2460	0,4879	0,3520	-0,8079	0,0600	-0,7087
Ni	0,8345	0,7624	0,5323		0,8952	-0,5613	0,6733	0,2977	-0,3028	0,2702	-0,5339
Cr	0,8617	0,7347	0,7107	0,8952		-0,2886	0,8766	0,5653	-0,4490	0,4571	-0,4605
Pb	-0,4972	-0,6704	-0,2460	-0,5613	-0,2886		0,1200	0,6061	0,2615	0,5175	0,6790
Zn	0,5426	0,3637	0,4879	0,6733	0,8766	0,1200		0,7873	-0,2298	0,8119	-0,1353
Cu	0,3192	0,0608	0,3520	0,2977	0,5653	0,6061	0,7873		-0,1477	0,7818	0,1822
Cd	-0,6966	-0,7430	-0,8079	-0,3028	-0,4490	0,2615	-0,2298	-0,1477		0,2124	0,8358
Sn	-0,0141	-0,2322	0,0600	0,2702	0,4571	0,5175	0,8119	0,7818	0,2124		0,3102
CO ₃	-0,7054	-0,8062	-0,7087	-0,5339	-0,4605	0,6790	-0,1353	0,1882	0,8358	0,3102	

Πίνακας 10.6. t_{exp} για τις μπιρίνα Ζέας και Μικρολίμανο (7 δείγματα).

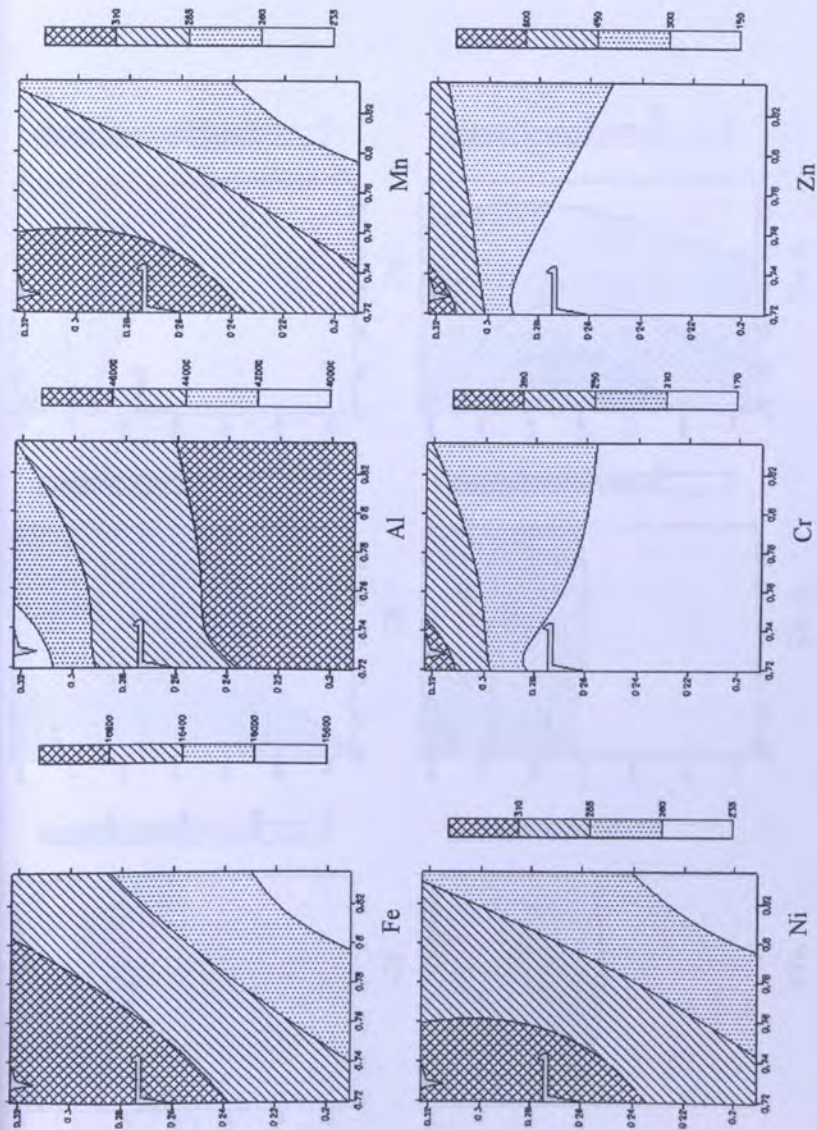
	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe	6,625915	3,141540	3,386519	3,797302	1,281382	1,444409	0,753152	2,171056	0,031532	2,225312	
Al	6,625915	2,254480	2,634465	2,421666	2,020297	0,873048	0,136205	2,482325	0,533805	3,046969	
Mn	3,141540	2,254480	1,406002	2,258968	0,567512	1,249832	0,840914	3,065432	0,134406	2,246179	
Ni	3,386519	2,634465	1,406002	4,491557	1,516537	2,036255	0,697293	0,710433	0,627527	1,411909	
Cr	3,797302	2,421666	2,258968	4,491557	0,674008	4,073268	1,532394	1,123625	1,149189	1,160027	
Pb	1,281382	2,020297	0,567512	1,516537	0,674008	0,270281	1,703923	0,605812	1,352329	2,068126	
Zn	1,444409	0,873048	1,249832	2,036255	4,073268	0,270281	2,855241	2,855241	0,527978	3,109754	
Cu	0,753152	0,136205	0,840914	0,697293	1,532394	1,703923	2,855241	0,333930	0,333930	2,803650	0,414347
Cd	2,171056	2,482325	3,065432	1,123625	0,605812	0,527978	0,527978	0,333930	0,333930	0,486031	3,403989
Sn	0,031532	0,533805	0,134406	0,627527	1,149189	1,352329	3,109754	2,803650	0,486031	0,729619	
CO ₃	2,225312	3,046969	2,246179	1,411909	1,160027	2,068126	0,305348	0,414347	3,403989	0,729619	



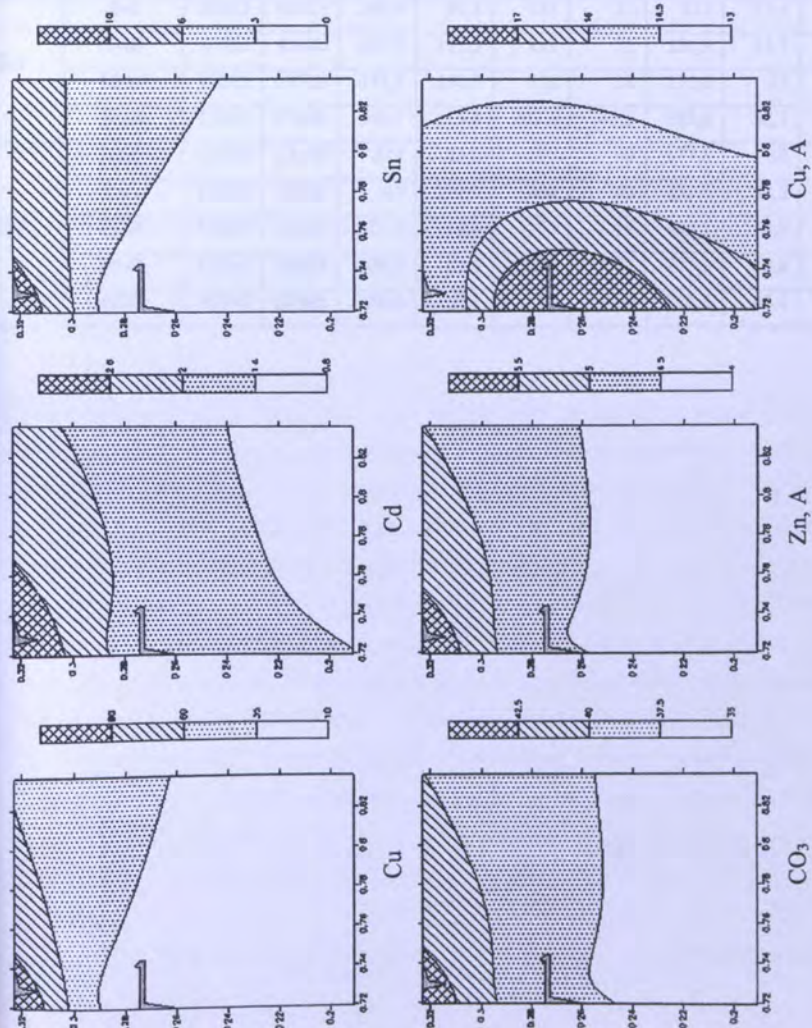
Σχήμα 10.8. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα της θαλάσσιας περιοχής της μαρίνας Ζέας.



Σχήμα 10.9. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) και ανθρακικών (%) και ανταλλάξιμο κλάσμα του ψευδαργύρου (% του συνόλου) στα ιζήματα της θαλάσσιας περιοχής της μαρίνας Ζέας.



Σχήμα 10.10. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα της θαλάσσιας περιοχής του Μικρολίμανου.



Σχήμα 10.11. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) και ανθρακικών (%) και ανταλλάξιμα κλάσματα του ψευδαργύρου και του χαλκού (% του συνόλου) στα ιζήματα της θαλάσσιας περιοχής του Μικρολίμανου.

καλά προστατευμένο από τους ανέμους (Heikell 2001), με έξοδο προς Α (ΥΥΠΝ 2004, www.yen.gr).

10.2. Η μαρίνα Ζέας (Πασαλιμάνι)

Ο λιμένας της Ζέας βρίσκεται στη μέση και στο στενότερο σημείο της χερσονήσου της Πειραιϊκής και υπάγεται στο λιμεναρχείο Πειραιά. Είναι χαρακτηρισμένος σαν μαρίνα και χωρίζεται σε δύο τμήματα (Σχήματα 10.6 και 10.7). Το εσωτερικό βόρειο είναι αβαθές με μέγιστο βάθος κάτω από 5 μέτρα και χρησιμοποιείται σαν μαρίνα εδώ και χρόνια. Χωρίζεται με ένα στενό πέρασμα από το εξωτερικό νότιο τμήμα (προς τη μεριά της Φρεαττόδας, προς τα Ν), το οποίο έχει πολύ μεγαλύτερο βάθος (από 5 έως πάνω από 12 μέτρα). Το τμήμα αυτό του λιμένα Ζέας ήταν η αφετηρία αναχώρησης των «ιπταμένων δελφινιών» για τα νησιά του Αργοσαρωνικού, την Α. Πελοπόννησο και τα Κύθηρα με διακίνηση 500.000 επιβατών ετησίως. Μετά τη μεταφορά της αφετηρίας αυτής στο κεντρικό Λιμάνι του Πειραιά (αρχές 2002) ο χώρος χρησιμοποιείται σαν μαρίνα ελλιμενισμού μεγαλύτερων σκαφών. Το εσωτερικό λιμάνι είναι πολύ καλά προστατευμένο από τους ανέμους, αλλά το εξωτερικό τμήμα δέχεται έντονο κυματισμό από την αντανάκλαση της φουσκοθαλασσιάς όταν πνέουν ισχυροί άνεμοι νότιας κατεύθυνσης (Heikell 2001). Η έξοδός του στο Σαρωνικό είναι προς Α, ενώ ο διάυλος που συνδέει τα δύο τμήματα έχει κατεύθυνση από Β προς Ν (ΥΥΠΝ 2004, www.yen.gr).

10.3. Γεωλογία

Η περιοχή ανήκει γεωλογικά στη ζώνη Ανατολικής Ελλάδας ή Υποπελαγονική (Μαράτος 1972, Τσόφλιας 1976, www.igme.gr). Ολόκληρη η χερσονήσος της Πειραιϊκής και η Δραπετσώνα (Δ-ΒΔ πλευρά του επιβατικού λιμανιού) καλύπτεται από μαργαϊκό ασβεστόλιθο (αποτελείται από ιλύ, άργιλο και ασβεστόλιθο) και ψαμμίτη (αποτελείται κυρίως από χαλαζία) (Whitten with Brooks 1978) του Πλειοκένου, με μέγιστο πάχος 60 – 80 μέτρα. Αυτά τα πετρώματα εμφανίζονται και στη Σαλαμίνα (Κυνόσουρα και αλλού). Στο βόρειο τμήμα του λιμανιού υπάρχουν αλουβιακές αποθέσεις ποταμών και χερμάρρων του Ολοκένου, που επικάθονται σε παρόμοιες αποθέσεις του Πλειστοκένου. Σε μικρή απόσταση από τους κόλπους των Παλουκιών και των Αμπελακιών καθώς και στην Κυνόσουρα (Σαλαμίνα) εμφανίζεται η σχιστοκερατολιθική διάπλαση, που περιλαμβάνει κυρίως αργιλικούς σχιστόλιθους, ασβεστόλιθους και σερπεντινωμένα πετρώματα (Παπαγεωργάκης 1969, Γαϊτανάκης 1976-77, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β). Ο παράκτιος πυθμένας φαίνεται (η χαρτογράφηση του πυθμένα δεν έχει ολοκληρωθεί για την περιοχή της μελέτης) να έχει παρόμοια γεωλογία με τις παρακείμενες ακτές. Στο λιμένα Αλών έχει διαπιστωθεί (Κατσίκη κ.α. 1996) ότι το σκληρό υπόβαθρο του πυθμένα είναι μαργαϊκός ασβεστόλιθος (κοινώς “μάργα”).

Κοντά στο λιμάνι (Ταμπούρια) εμφανίζονται οφιόλιθοι υποκείμενοι των ασβεστόλιθων του Κενομανιού –

Τουρωνίου και στην επαφή τους παρουσιάζονται λατεριτικά σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα. Αυτό το σύστημα ασβεστολίθων θεωρείται ότι δεν ανήκει στην Υποπελαγονική ζώνη (αποτελεί αλλόχθονη σειρά). Οι οφιόλιθοι είναι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες και τοπικά σερπεντινίτες έντονα εξαλλοιωμένοι. Το βασικό τους συστατικό είναι ο σερπεντίνης (πλούσιος σε μαγνήσιο και πυρίτιο), ενώ υπάρχει έντονη παρουσία κρυστάλλων χρωμίτη (Cr), αιματίτη (Fe) και μαγνησίτη (Mg) (Αυγουστίδης 1976, Γαϊτανάκης 1976-77). Η επαφή του με τους υποκείμενους σχηματισμούς είναι πάντα τεκτονική (Γαϊτανάκης 1976-77).

Το λιμάνι Μικρολίμανο και η μαρίνα Ζέας περιβάλλονται από τον μαργαϊκό ασβεστόλιθο και ψαμμίτη του Πλειοκένου που προαναφέρθηκε (Παπαγεωργάκης 1969, Γαϊτανάκης 1976-77, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β). Ο παράκτιος πυθμένας φαίνεται να έχει παρόμοια γεωλογία με τις παρακείμενες ακτές (η χαρτογράφηση του πυθμένα δεν έχει ολοκληρωθεί για την περιοχή της μελέτης).

10.4. Αναλυτικά αποτελέσματα: Η μαρίνα Ζέας και το Μικρολίμανο

Τα δύο λιμάνια εξετάζονται μαζί στο κεφάλαιο αυτό επειδή βρίσκονται πολύ κοντά, περιβάλλονται από το ίδιο πέτρωμα και έχουν παρόμοιες χρήσεις. Για τη μελέτη της περιοχής τα έτη 1998 και 1999 έγινε δειγματοληψία επτά επιφανειακών δειγμάτων ιζήματος (Σχήμα 10.7) με δειγματολήπτες τύπου Marucawa και Van Veen. Τα τρία δείγματα προέρχονται από το Μικρολίμανο και τα τέσσερα από τη μαρίνα Ζέας. Ελήφθησαν και δύο πυρήνες με πυρηνολήπτη βαρύτητας, ένας έξω από κάθε λιμάνι. Τα στίγματα (με GPS) και λοιπά στοιχεία των δειγμάτων δίνονται στο παράρτημα.

Οι τιμές που μετρήθηκαν στα επιφανειακά δείγματα δίνονται στους Πίνακες 10.1 και 10.2 και τα ποσοστά των επί μέρους γεωχημικών κλασμάτων στους Πίνακες 10.3 και 10.4 για τη μαρίνα Ζέας και το Μικρολίμανο αντίστοιχα. Οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των μετάλλων δίνονται στον Πίνακα 10.5 και τα $t_{\text{περ}}$ στον Πίνακα 10.6. Ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης και του $t_{\text{περ}}$, καθώς και τιμές του t δίνονται στον Πίνακα 6.5. Επιλεγμένοι ισοχημικοί χάρτες δίνονται στα Σχήματα 10.8 και 10.9 για τη μαρίνα Ζέας και στα Σχήματα 10.10 και 10.11 για το Μικρολίμανο, ενώ το σύνολό τους δίνεται στο παράρτημα. Οι τιμές που μετρήθηκαν στους πυρήνες δίνονται στον Πίνακα 10.7.

10.4.1. Επιφανειακά δείγματα

10.4.1.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Στη μαρίνα Ζέας (Σχήμα 10.8) κυμαίνεται από 6.200 έως 15.000 ppm περίπου, με τη μικρότερη τιμή μέσα στο

λιμάνι, ενώ τη μεγαλύτερη μέσα από το μεγάλο λιμενοβραχίονα, ενώ στο Μικρολίμανο (Σχήμα 10.10) η περιεκτικότητα είναι πρακτικά σταθερή, μεταξύ 15.700 και 17.400 ppm. Ο σίδηρος παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα, εκτός από το μόλυβδο, το κάδμιο και τον κασσίτερο και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Παρουσιάζει πολύ σημαντική συσχέτιση με το αργίλιο (99%) και σημαντική (95%) με νικέλιο, το μαγγάνιο και το χρώμιο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Και στα δύο λιμάνια ο προσροφημένος σίδηρος καθώς και ο σίδηρος στα ανθρακικά είναι πρακτικά μηδενικός. Το υπό μορφή οξειδίων κλάσμα παρουσιάζεται λίγο πιο πλούσιο στη μαρίνα Ζέας (μέσα στο λιμάνι φτάνει το 17% του ολικού), αλλά γενικά κινείται μέχρι το 9% του συνόλου. Το ίδιο ισχύει και για το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης, που ενώ στη μαρίνα Ζέας ξεπερνά το 22%, στο Μικρολίμανο είναι κάτω από το 14% του ολικού σιδήρου. Ο δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα σίδηρος είναι 60 με 83% στη μαρίνα Ζέας και 78 με 89% στο Μικρολίμανο.

10.4.1.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Στη μαρίνα Ζέας η ολική περιεκτικότητα σε αργίλιο (Σχήμα 10.8) κυμαίνεται μεταξύ 6.000 και 31.000 ppm περίπου, με τη μικρότερη τιμή μέσα στο λιμάνι, ενώ στο Μικρολίμανο (Σχήμα 10.10) είναι πολύ πιο σταθερή, αφού μετρήθηκε μεταξύ 40.000 και 48.000 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα, εκτός από το μόλυβδο, το κάδμιο και τον κασσίτερο και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Παρουσιάζει πολύ σημαντική συσχέτιση με το σίδηρο (99%), σημαντική συσχέτιση (95%) με το νικέλιο και μεγάλη με το μαγγάνιο (0,71) και το χρώμιο (0,73).

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κλάσμα και το κλάσμα στα ανθρακικά είναι μηδενικά. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία φτάνει μέχρι 5,5% στη μαρίνα Ζέας και 8,2% στο Μικρολίμανο, και τα δύο μέγιστα μέσα στα λιμάνια. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης φτάνει το 6,6% του ολικού έξω από το Μικρολίμανο, ενώ μέσα στα λιμάνια είναι μικρότερο. Το περισσότερο αργίλιο βρίσκεται δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα (78 – 99%).

10.4.1.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται από 149 (μέσα στη μαρίνα Ζέας) μέχρι 331 ppm, με τις τιμές μεγαλύτερες στην περιοχή του Μικρολίμανου (Σχήματα 10.8 και 10.10). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα, εκτός από το μόλυβδο και το κάδμιο και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Παρουσιάζει σημαντική (95%) συσχέτιση με το σίδηρο και μεγάλη με το χρώμιο (0,71) και το αργίλιο (0,71).

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μαγγάνιο κυμαίνεται μεταξύ 1 και 4% του ολικού, ενώ το κλάσμα στα ανθρακικά είναι μεταξύ 9 και 20% του ολικού. Το υπό μορφή οξειδίων κλάσμα είναι το μεγαλύτερο και αποτελεί το 39 με 61% (μέσα στο λιμάνι) του ολικού μαγγανίου στη μαρίνα Ζέας και το 32 με 49% του ολικού στο Μικρολίμανο. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι το 4 με 33% του ολικού στη μαρίνα Ζέας και το 14 με 23% στο Μικρολίμανο. Το μαγγάνιο που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι το 5 με 41% του ολικού μετάλλου.

10.4.1.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται από 42 (μέσα στη μαρίνα Ζέας) μέχρι 147 ppm, με τις μεγαλύτερες τιμές στην περιοχή του Μικρολίμανου (Σχήματα 10.8 και 10.10). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα, εκτός από το μόλυβδο και το κάδμιο και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Παρουσιάζει πολύ σημαντική (99%) συσχέτιση με το χρώμιο, σημαντική (95%) με το αργίλιο και το σίδηρο και μεγάλη (0,67) με τον ψευδάργυρο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μέταλλο κυμαίνεται μεταξύ 1,5 και 6,5% (μέσα στο λιμάνι) του ολικού στη μαρίνα Ζέας ενώ στο Μικρολίμανο είναι 2,7±0,3% του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά στη μαρίνα Ζέας βρίσκεται μεταξύ 6,5 και 15,5%, ενώ στο Μικρολίμανο παρουσιάζεται πολύ σταθερό, 4,93±0,3% του ολικού. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία στη μαρίνα Ζέας είναι από 15 μέχρι 46% (μέσα στο λιμάνι) του ολικού, ενώ στο Μικρολίμανο βρίσκεται μεταξύ 15 και 19% του ολικού. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αντιπροσωπεύει το 10 με 24% περίπου του ολικού, ενώ στο Μικρολίμανο είναι πιο σταθερό μεταξύ 11 και 15% του ολικού. Μετά από τα προηγούμενα είναι λογικό το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα να είναι πολύ πιο σταθερό στο Μικρολίμανο (58,5 με 66% του ολικού), ενώ στη μαρίνα Ζέας κυμαίνεται μεταξύ του 11,5 (μέσα στο λιμάνι) και 62,5% του ολικού μετάλλου.

10.4.1.5. Χρώμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται από 60 (μέσα στη μαρίνα Ζέας) μέχρι 325 ppm, με τις τιμές μεγαλύτερες στην περιοχή του Μικρολίμανου (Σχήματα 10.8 και 10.10). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα, εκτός από το μόλυβδο και το κάδμιο και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Παρουσιάζει πολύ σημαντική συσχέτιση (99%) με το νικέλιο και τον ψευδάργυρο, σημαντική (95%) συσχέτιση με το σίδηρο και μεγάλη με το μαγγάνιο (0,71) και το αργίλιο (0,73).

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μέταλλο κυμαίνεται στη μαρίνα Ζέας μεταξύ 0,3 και 2,2% (μέσα στο λιμάνι) του ολικού, ενώ στο Μικρολίμανο από 0,2 έως 1,2%. Το κλάσμα στα ανθρακικά είναι ασήμαντο και στα δύο λιμάνια, γύρω στο 1% του ολικού, ενώ το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία κυμαίνεται στη μαρίνα Ζέας μεταξύ 2 και 9% και στο Μικρολίμανο μεταξύ 4,5 και 10% του ολικού μετάλλου. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αποτελεί το 4 έως 10,4% (μεγάλος λιμενοβραχίονας) του συνόλου στη μαρίνα Ζέας και το 4 με 12,5% (μέσα στο λιμάνι) του συνόλου στο Μικρολίμανο. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτωτικό πλέγμα είναι το συντριπτικά μεγαλύτερο (76 – 90% του ολικού μετάλλου).

10.4.1.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται από 53 μέχρι 118 ppm (μεγάλος λιμενοβραχίονας) στη μαρίνα Ζέας (Σχήμα 10.8), ενώ στην περιοχή του Μικρολίμανου μετρήθηκε 71 ppm μέσα στο λιμάνι (στα άλλα δύο σημεία δειγματοληψίας ήταν μη ανιχνεύσιμος). Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα, εκτός από τον ψευδάργυρο, το χαλκό, τον κασσίτερο και το κάδμιο και μεγάλη θετική συσχέτιση (0,68) με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος μόλυβδος είναι μη μετρήσιμος, ενώ ο μόλυβδος στα ανθρακικά κυμαίνεται (εκεί που ολικός μόλυβδος είναι μετρήσιμος) μεταξύ 1 και 8% του ολικού. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία μέσα στο Μικρολίμανο αποτελεί το 57% του ολικού, ενώ στη μαρίνα Ζέας το 23 με 51,5%. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αποτελεί το 16% του ολικού μέσα στο Μικρολίμανο και το 4,5 με 11% στη μαρίνα Ζέας. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτωτικό πλέγμα μέταλλο είναι 21% στο Μικρολίμανο και 30 με 70% του ολικού στη μαρίνα Ζέας.

10.4.1.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται από 118 (μέσα στο λιμάνι) μέχρι 331 (μεγάλος λιμενοβραχίονας) ppm στη μαρίνα Ζέας (Σχήματα 10.9), περίπου 200 ppm στην περιοχή έξω από και στην είσοδο Μικρολίμανου 743 ppm μέσα στο Μικρολίμανο (Σχήμα 10.10). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα, εκτός από το κάδμιο και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Παρουσιάζει πολύ σημαντική (99%) συσχέτιση με το χρώμιο, σημαντική με το χαλκό και τον κασσίτερο και μεγάλη με το νικέλιο (0,67),

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος ψευδάργυρος (Σχήμα 10.9) κυμαίνεται μεταξύ 2,4 και 10,3% του ολικού στη μαρίνα Ζέας, ενώ στο Μικρολίμανο είναι 4 – 6% του ολικού (Σχήμα 10.11). Ο ψευδάργυρος στα ανθρακικά είναι 0,75 με 4,5% (μέσα στο λιμάνι) στη μαρίνα Ζέας και 0,3 με 1,9% του ολικού μετάλλου στο Μικρολίμανο. Το κλάσμα του

μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία αποτελεί το 11 με 24% (μέσα στο λιμάνι) στη μαρίνα Ζέας και 13 με 18% του ολικού μετάλλου στο Μικρολίμανο. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι περίπου 4 με 8% του ολικού μετάλλου, ενώ το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι το μεγαλύτερο κλάσμα, ανερχόμενο στο 53 με 81% του ολικού μετάλλου, με μικρότερες τιμές μέσα στα δύο λιμάνια.

10.4.1.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται από 32 έως 38 ppm (με εξαίρεση τα 93 ppm στο μεγάλο λιμενοβραχίονα) στη μαρίνα Ζέας (Σχήμα 10.9), ενώ μέσα στο Μικρολίμανο μετρήθηκε 103,7 ppm και έξω από αυτό και στην είσοδό του 15 με 17 ppm αντίστοιχα (Σχήμα 10.11). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα (εκτός από το κάδμιο) και με τα ανθρακικά. Παρουσιάζει σημαντική (95 %) συσχέτιση με τον ψευδάργυρο και τον κασσίτερο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Ο προσροφημένος χαλκός αντιπροσωπεύει σημαντικό τμήμα του ολικού μετάλλου, 20 με 30% στη μαρίνα Ζέας και 13 με 18% στο Μικρολίμανο (Σχήμα 10.11). Ο χαλκός στα ανθρακικά είναι το 1 με 7% και το 5 με 10% περίπου του ολικού μετάλλου για μαρίνα Ζέας και Μικρολίμανο αντίστοιχα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία παρουσιάζει μικρότερες τιμές μέσα στα λιμάνια (4 - 5% του ολικού), ενώ έξω από αυτά μετρήθηκε μέχρι και 24% του ολικού (Μικρολίμανο). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές, 30 με 51% και 36 με 46% του ολικού μετάλλου για μαρίνα Ζέας και Μικρολίμανο αντίστοιχα. Ο χαλκός που είναι δεσμευμένος στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αντιπροσωπεύει το 11 με 31% του ολικού μετάλλου.

10.4.1.9. Κάδμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται από 0 έως 14 ppm (μέσα στο λιμάνι) στη μαρίνα Ζέας (Σχήμα 10.9) και από 1 μέχρι 3,3 ppm (μέσα στο λιμάνι) στην περιοχή του Μικρολίμανου (Σχήμα 10.11) . Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα, εκτός από το μόλυβδο και τον κασσίτερο και σημαντική (95%) συσχέτιση θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Από το προσροφημένο κλάσμα το μόνο αξιοσημείωτο είναι το 12,5% του ολικού μέσα από το μεγάλο λιμενοβραχίονα της μαρίνας Ζέας. Στο ίδιο σημείο το κλάσμα στα ανθρακικά είναι το 12,5%, ενώ έξω από το Μικρολίμανο το 10% του ολικού. Σε όλα τα άλλα δείγματα οι τιμές είναι πολύ μικρές και για τα δύο αυτά κλάσματα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία είναι μη μετρήσιμο και στα δύο λιμάνια, όπως είναι και το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης στη μαρίνα Ζέας, ενώ έξω από το Μικρολίμανο είναι το 10% του ολικού μετάλλου. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αποτελεί το 75 με

98 % του ολικού μετάλλου.

10.4.1.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Κυμαίνεται από 5,3 έως 7,6 ppm στη μαρίνα Ζέας (Σχήμα 10.9) και από 0 μέχρι 13,6 ppm (μέσα στο λιμάνι) στην περιοχή του Μικρολίμανου (Σχήμα 10.11). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα (πλην σιδήρου και αργιλίου) και με τα ανθρακικά. Παρουσιάζει σημαντική (95%) συσχέτιση με τον ψευδάργυρο και το χαλκό.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κλάσμα και στα δύο λιμάνια είναι πολύ μικρό (κάτω του 1,5%), με μόνη εξαίρεση την είσοδο του Μικρολίμανου (3,5%). Ο κασσίτερος στα ανθρακικά είναι μηδενικός στο Μικρολίμανο και 0 – 5,5% του ολικού στη μαρίνα Ζέας. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία είναι 0 – 17% (μέσα στο λιμάνι) στη μαρίνα Ζέας και 0 – 7% του ολικού στο Μικρολίμανο. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης είναι 0 – 25% στη μαρίνα Ζέας και 0 – 6% του ολικού στο Μικρολίμανο. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα είναι το μεγαλύτερο, 71 με 95% του ολικού μετάλλου.

10.4.1.11. Ανθρακικά και οργανικός άνθρακας

Τα ανθρακικά είναι στη μεν μαρίνα Ζέας (Σχήμα 10.9) από 39 έως 63% (μέσα στο λιμάνι), στο δε Μικρολίμανο από 36 έως 45% (Σχήμα 10.11). Παρουσιάζουν σημαντική συσχέτιση (95%) με το κάδμιο και μεγάλη με τον μόλυβδο (0,68). Ο ολικός οργανικός άνθρακας μετρήθηκε σε δύο δείγματα από τη μαρίνα Ζέας και βρέθηκε έξω από το λιμάνι 0,2775%, ενώ μέσα από το μεγάλο λιμενοβραχίονα πενταπλάσιος.

10.4.2. Πυρήνες

Ο πυρήνας που ελήφθη έξω μαρίνα Ζέας στο σημείο 8/4 είχε μήκος 20 εκατοστά και χωρίστηκε σε 5 συνολικά τμήματα, το καθένα μήκους 5 εκατοστών. Ο πυρήνας ήταν αμμώδης. Ονομάζεται στο εξής Π4. Ο πυρήνας που ελήφθη έξω από Μικρολίμανο στο σημείο 8/9 είχε μήκος 25 εκατοστά. Τα 5 πρώτα εκατοστά είχαν διαφορετική υφή από τον υπόλοιπο πυρήνα, ο οποίος χωρίστηκε σε 5 συνολικά τμήματα, το καθένα μήκους 5 εκατοστών. Ο πυρήνας αποτελείται από μαύρη ιλύ (silt). Ονομάζεται στο εξής Π9.

10.4.2.1. Σίδηρος

Στον Π4 παρουσιάζει αυξητική τάση με το βάθος κυμαινόμενος μεταξύ 13.000 και 14.200 ppm περίπου. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα (πλην αργιλίου, ψευδαργύρου και καδμίου) και με τα ανθρακικά. Στον Π9 παρουσιάζει αυξητική τάση με το βάθος κυμαινόμενος μεταξύ 13.000 και 19.000 ppm

περίπου. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα (πλην κασσιτέρου) και με τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το μαγγάνιο είναι πολύ μικρή, ενώ με τον μόλυβδο πρακτικά μηδενική.

10.4.2.2. Αργίλιο

Στον Π4 παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος κυμαινόμενο από 43.000 μέχρι 28.000 ppm περίπου. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα (πλην καδμίου) και τα με ανθρακικά. Στον Π9 παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος κυμαινόμενο από 53.000 μέχρι 23.000 ppm περίπου. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα (πλην καδμίου και μολύβδου) και τα με ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το κάδμιο είναι πολύ μικρή, ενώ με τον μόλυβδο πρακτικά μηδενική.

10.4.2.3. Μαγγάνιο

Στον Π4 παρουσιάζει τάση αύξησης με το βάθος κυμαινόμενο μεταξύ 310 και 370 ppm περίπου. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα (πλην αργιλίου ψευδαργύρου, καδμίου και κασσιτέρου) και με τα ανθρακικά. Στον Π9 παρουσιάζει σχεδόν μηδενική τάση αύξησης με το βάθος κυμαινόμενο μεταξύ 235 και 320 ppm περίπου. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και με τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το σίδηρο είναι πολύ μικρή.

10.4.2.4. Νικέλιο

Στον Π4 παρουσιάζει αυξητική τάση με το βάθος κυμαινόμενο μεταξύ 98 και 115 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα (εκτός από το αργίλιο, τον ψευδάργυρο (σχεδόν μηδενική) και το κάδμιο) και με τα ανθρακικά. Στον Π9 παρουσιάζει αυξητική τάση με το βάθος κυμαινόμενο μεταξύ 83 και 160 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα (εκτός από τον κασσίτερο) και με τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το μόλυβδο είναι πολύ μικρή.

10.4.2.5. Χρόμιο

Στον Π4 παρουσιάζει αυξητική τάση με το βάθος κυμαινόμενο μεταξύ 187 και 232 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα (πλην αργιλίου και ψευδαργύρου) και σχεδόν μηδενική (ελαφρά αρνητική) με τα ανθρακικά. Στον Π9 παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος κυμαινόμενο μεταξύ 95 και 404 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα (πλην μολύβδου και καδμίου) και με τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με το μόλυβδο είναι πολύ μικρή.

10.4.2.6. Μόλυβδος

Στον Π4 αυξάνεται λίγο με το βάθος κυμαινόμενος μεταξύ 19 και 43,5 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα

μέταλλα (πλην αργιλίου και καδμίου) και με τα ανθρακικά. Η συσχέτισή του με τον ψευδάργυρο είναι σχεδόν μηδενική. Στον Π9 αυξάνεται λίγο με το βάθος κυμαινόμενος μεταξύ 0 και 64 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το μαγγάνιο, το νικέλιο (πολύ μικρή), τον ψευδάργυρο, το χαλκό, το κάδμιο και τα ανθρακικά και αρνητική με τα υπόλοιπα μέταλλα. Η συσχέτισή του με τον σίδηρο και το αργίλιο είναι σχεδόν μηδενική και η συσχέτισή του με το χρώμιο πολύ μικρή.

10.4.2.7. Ψευδάργυρος

Στον Π4 παρουσιάζει αυξητική τάση με το βάθος κυμαινόμενος μεταξύ 227 και 386 ppm. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα περισσότερα μέταλλα (η συσχέτισή του με το νικέλιο είναι σχεδόν μηδενική). Θετική συσχέτιση παρουσιάζει με το μόλυβδο (σχεδόν μηδενική), το χαλκό, τον κασσίτερο και τα ανθρακικά.

Στον Π9 παρουσιάζει αυξητική τάση με το βάθος κυμαινόμενος μεταξύ 177 και 815 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και όλα περισσότερα μέταλλα εκτός από τον κασσίτερο.

10.4.2.8. Χαλκός

Στον Π4 αυξάνεται με το βάθος κυμαινόμενος μεταξύ 27 και 38 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα (πλην καδμίου) και με τα ανθρακικά. Στον Π9 αυξάνεται με το βάθος κυμαινόμενος μεταξύ 18 και 60 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και όλα τα μέταλλα εκτός από τον κασσίτερο.

10.4.2.9. Κάδμιο

Στον Π4 παρουσιάζει αυξητική τάση με το βάθος κυμαινόμενο μεταξύ 1,5 και 3,5 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το αργίλιο και το χρώμιο και αρνητική με όλα τα άλλα μέταλλα (με τον κασσίτερο σχεδόν μηδενική) και τα ανθρακικά. Στον Π9 παρουσιάζει αυξητική τάση με το βάθος κυμαινόμενο μεταξύ 4 και 5 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το σίδηρο, το μαγγάνιο, το νικέλιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό και τα ανθρακικά.

10.4.2.10. Κασσίτερος

Στον Π4 παρουσιάζει αυξητική τάση με το βάθος κυμαινόμενος μεταξύ 2 και 6,5 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα μέταλλα [πλην αργιλίου, μαγγανίου και καδμίου (σχεδόν μηδενική)] και σχεδόν μηδενική (θετική) συσχέτιση τα ανθρακικά. Στον Π9 παρουσιάζει τάση μείωσης με το βάθος κυμαινόμενος μεταξύ 0,5 και 6,5 ppm. Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το αργίλιο, το μαγγάνιο, το χρώμιο και τα ανθρακικά.

10.4.2.11. Ανθρακικά

Τα ανθρακικά στον Π4 παρουσιάζουν μικρή αύξηση με το βάθος, κυμαινόμενα μεταξύ 3,5 και 5,6%.

Παρουσιάζουν θετική συσχέτιση με τα μέταλλα (πλην αργιλίου, χρωμίου και καδμίου). Η συσχέτιση των ανθρακικών στον Π4 με κασσίτερο και χρώμιο είναι σχεδόν μηδενική. Τα ανθρακικά στον Π9 παρουσιάζουν μικρή αύξηση με το βάθος κυμαινόμενα μεταξύ 4,7 και 9,2%. Παρουσιάζουν θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα.

10.4.3. Σχόλια και συμπεράσματα

Οι κύριες εξωτερικές πηγές ρύπανσης είναι οι εκβολές του Κηφισού (Ζαφειρόπουλος και Huynh-Ngoc 1982) κατά πρώτο λόγο λόγω όγκου υδάτων, προέλευσης υδάτων και απόστασης και του Ιλισού στον κόλπο του Φαλήρου. Αυτή η παρατήρηση έχει γίνει σε πολλές εκβολές ποταμών. Έχουν παρατηρηθεί αυξημένες συγκεντρώσεις μετάλλων κοντά στις εκβολές του ποταμού Ασωπού μέχρι βάθους 10 μέτρων (Αγγελίδης και Αλούπη 1997) και οι τιμές των μετάλλων είναι ελαφρά αυξημένες και στην ευρύτερη περιοχή. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στις εκβολές του ποταμού Αχελώου, χωρίς βέβαια να καθιστά την περιοχή σημείο υψηλής ρύπανσης (Dassenakis et al 1995). Εμπλουτισμός σε μέταλλα λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας έχει παρατηρηθεί και για τους ποταμούς Αξιό και Αλιάκμονα (Σαμανίδου 1990). Σε όλες τις περιπτώσεις, η επίδραση του ποτάμιου συστήματος στην περιεκτικότητα της θαλάσσιας περιοχής των εκβολών σε μέταλλα μειώνεται με την απομάκρυνση από τις εκβολές του ποταμού.

Με βάση τη γεωγραφία και τη γεωλογία της περιοχής, λόγω του ότι η Π9 είναι πολύ πιο κοντά στις εκβολές του Κηφισού και σε βάθος 11 μέτρων έναντι 18 μέτρων της Π4 και δεν υπάρχει άλλος κύριος άξονας απορροής που καταλήγει στην περιοχή (Γαϊτανάκης 1976-77, Παπαδέας 2003α, ΥΥΠΝ 2004), πρέπει να δεχτούμε ότι ο ρυθμός ιζηματογένεσης είναι μεγαλύτερος στην Π9 από την Π4. Σύγκριση με τον ρυθμό που βρέθηκε στον κόλπο της Ελευσίνας μόνο κατ' εκτίμηση μπορεί να γίνει. Εδώ έχουμε πιο ανοικτό κόλπο που αποτελεί τον αποδέκτη των υδάτων και ιζημάτων μεγαλύτερης λεκάνης απορροής, της οποίας όμως το μεγαλύτερο τμήμα είναι σήμερα καλυμμένο με κτήρια και δρόμους. Έτσι πιθανόν ο ρυθμός στην περιοχή των εκβολών του Κηφισού να βρίσκεται κοντά στο κάτω όριο αυτού του κόλπου της Ελευσίνας (0,5 έως 0,8 εκατοστά ετησίως (Scoullos 1986). Με βάση αυτά προτείνεται ότι η Π9 επηρεάζεται σαφώς περισσότερο από την Π4 από το σύστημα αυτό των ποταμών. Η επίδραση σε κάποιο βαθμό από το ρυπαντικό φορτίο του λιμανιού του Πειραιά δεν πρέπει να αποκλειστεί τελείως, αλλά αν η σημασία της ρύπανσης από την πηγή αυτή ήταν σημαντικότερη από αυτήν που οφείλεται στο σύστημα Κηφισού – Ιλισού, θα έπρεπε να δώσει μεγαλύτερες τιμές μετάλλων έξω από τη μαρίνα Ζέας σε σύγκριση με την περιοχή έξω από το Μικρολίμανο. Αυτό δεν ισχύει (ισχύει μάλλον το αντίθετο) και το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι η τυχόν επίδραση του φορτίου του λιμανιού του Πειραιά στο ίζημα της περιοχής των δύο μικρών λιμανιών πρέπει μάλλον να θεωρηθεί ήσσονος σημασίας.

10.4.3.1. Επιφανειακά ιζήματα

Όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, υψηλές συσχετίσεις μεταξύ των μετάλλων δηλώνουν πιθανόν κοινή προέλευση. Να σημειωθεί ότι ο μαργαϊκός ασβεστόλιθος (Γαϊτανάκης 1976-77, Whitten with Brooks 1978, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β) που περικλείει τα δύο λιμάνια είναι από τη φύση του μη σταθερής σύστασης, αφού τα ποσοστά των συστατικών που αποτελούν ένα τέτοιο πέτρωμα ποικίλουν και επιπλέον η σύσταση των αργίλων και ιλύων δεν είναι σταθερή (Whitten with Brooks 1978). Οι αλουβιακές ποτάμιες αποθέσεις επίσης δεν μπορούν να έχουν σταθερή σύσταση, λόγω της ποικιλίας των φερτών υλικών (Παπαγεωργάκης 1969, Γαϊτανάκης 1976-77, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β). Με βάση αυτά, οι συσχετίσεις αποκτούν ακόμη μεγαλύτερη βαρύτητα για το χαρακτηρισμό των μετάλλων ως πιθανόν χερσογενών με κοινή προέλευση.

Η μεγάλη διαφοροποίηση εδώ παρουσιάζεται από το μόλυβδο, ο οποίος παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές του (με διαφορά) μέσα στα δύο λιμάνια, χωρίς όμως να παρουσιάζεται στο προσροφημένο κλάσμα. Τα μεγαλύτερα ποσοστά στο προσροφημένο κλάσμα παρουσιάζει ο χαλκός, ο οποίος μάλιστα παρουσιάζει μεγάλα ποσοστά στο κλάσμα που συνδέεται με τα σουλφίδια και την οργανική ύλη. Τα ποσοστά αυτά είναι αυξημένα μέσα στα λιμάνια. Τα αμέσως μεγαλύτερα κλάσματα στην προσροφημένη φάση παρουσιάζουν ο ψευδάργυρος και ο σίδηρος, ο οποίος παρουσιάζει μέσα στη μαρίνα Ζέας αξιόλογο ποσοστό και στη φάση που συνδέεται με σουλφίδια και οργανική ύλη. Τα ανθρακικά παρουσιάζονται αυξημένα, μεταξύ 35 και 63 %. Ο οργανικός άνθρακας παρουσιάζεται αυξημένος μέσα στη μαρίνα Ζέας, συνδεδεμένος με την παρουσία μετάλλων στην αντίστοιχη φάση.

Για τα περισσότερα μέταλλα οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται μέσα στα λιμάνια, καθώς και στην είσοδο και μέσα από το μεγάλο λιμενοβραχίονα της μαρίνας Ζέας. Τα μικρότερα ποσοστά στο κλάσμα το ενωμένο με το αργιλοपुरιτικό πλέγμα παρουσιάζουν ο χαλκός, το μαγγάνιο και ο μόλυβδος.

Εν κατακλείδι, την μεγαλύτερη επικινδυνότητα για την περιοχή παρουσιάζουν ο χαλκός, λόγω υψηλών τιμών στην προσροφημένη (ανταλλάξιμη) φάση και ο μόλυβδος με τον κασσίτερο λόγω αυξημένων τιμών στις ολικές περιεκτικότητες μέσα στα λιμάνια. Σαν τιμές υποβάθρου μπορούν να ληφθούν οι τιμές από τις μαρίνες του Σαρωνικού που εξετάζονται στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου. Οι περιεκτικότητες των μετάλλων που μετρήθηκαν στα δείγματα από τις μαρίνες του Σαρωνικού είναι κοντά σε αυτές που μετρήθηκαν σε δείγματα του ανοικτού Σαρωνικού κόλπου (Voutsinou – Taliadouri 1981, Αγγελίδης και Oregioni 1982, Ζαφειρόπουλος κ.α. 1984, Καλογερόπουλος κ.α. 1989, Scoullou and Constantianos 1996, Κατσίκη κ.α. 1996). Για το λόγο αυτό, οι χαμηλότερες τιμές που μετρήθηκαν στις μαρίνες χρησιμοποιούνται σαν τιμές υποβάθρου. Πέρα από τις εξωτερικές πηγές ρύπανσης που προαναφέρθηκαν (τα δύο ποτάμια που εκβάλλουν στο Φαληρικό Δέλτα), σαν κύριες πηγές ρύπανσης πρέπει να θεωρηθούν και τα ίδια τα λιμάνια, τα οποία με την ύπαρξη και λειτουργία τους, καθώς και με τις παράπλευρες δραστηριότητες που αναπτύσσονται γύρω από αυτά συντελούν στην αύξηση του ρυπαντικού φορτίου της περιοχής. Γενικά όμως, η περιοχή τόσο του Μικρολίμανου, όσο και αυτή της μαρίνας

Ζέας δεν είναι ιδιαίτερα επιβαρημένες σε μέταλλα.

10.4.3.2. Πυρήνες

Και στους δύο πυρήνες φαίνεται ότι παρατηρήθηκε το φαινόμενο του κόκκου (Παναγόπουλος 1980, αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο), όπου τοπικά παρατηρείται κάποια αλλαγή στην γενική γεωλογική εικόνα. Αυτό μάλλον έχει να κάνει με την ευκολία λήψης δείγματος πυρήνα με τον διαθέσιμο εξοπλισμό σε μαλακότερο πυθμένα: Πολλές προσπάθειες διεξόδου απέτυχαν και πέτυχαν αυτές στα λιγότερο ασβεστολιθικά και πιο μαλακά σημεία. Η γειννίαση με τις εκβολές του Κηφισού μπορεί να δικαιολογήσει τη διαφορά στη σύσταση του υλικού του πυθμένα στην περιοχή. Έτσι, η περιεκτικότητα και των δύο πυρήνων σε ανθρακικά είναι πολύ μικρότερη από αυτή των επιφανειακών δειγμάτων που ελήφθησαν από δείγματα με το ίδιο στίγμα, αλλά και από αυτή που μετρήθηκε και στα άλλα δείγματα της περιοχής.

Η μικρή συσχέτιση των μετάλλων μεταξύ τους οφείλεται πιθανόν στο ότι το υλικό που δημιουργεί τα ιζήματα της περιοχής παρουσιάζει αλλαγές στη σύστασή του, κυρίως λόγω της αλλαγής του τόπου προέλευσής του. Οι διαφορές στις περιεκτικότητες των μετάλλων οφείλονται μάλλον κατά κύριο λόγο στη σύσταση του φερτού υλικού, καθότι τα δύο ποτάμια αποστραγγίζουν το λεκανοπέδιο της Αττικής. Οι βροχοπτώσεις δεν έχουν σταθερή ένταση (άρα και αποσπασθωτική ισχύ), ενώ οι πολύ ισχυρές βροχοπτώσεις που προκαλούν τη μεταφορά μεγαλύτερης μάζας ιζημάτων είναι πολλές φορές τοπικού χαρακτήρα, με αποτέλεσμα την ανομοιογένεια του φερτού υλικού. Στην περίπτωση που δεν έχουμε φερτό υλικό και βιομηχανική ρύπανση, η σύσταση ενός πυρήνα είναι σχεδόν σταθερή σε όλο του το μήκος, όπως είναι στην περίπτωση του κόλπου της Μήλου (Sakellariadou and Haralambides 2002).

Στον Π9, το ανώτερο τμήμα εμφανίζεται φτωχότερο σε μέταλλα από το υπόλοιπο τμήμα του. Ο μόλυβδος στον Π9 και ο ψευδάργυρος στον Π4 δείχνουν να μην έχουν μεγάλη συνάφεια με τα άλλα μέταλλα. Κατά τα άλλα τίποτα δεν δηλώνει έντονα ανθρώπινη δράση. Ο πυρήνας από τα βαθύτερα νερά και έξω από τη μαρίνα Ζέας (Π4) είναι σαφώς πιο ομοιογενής από εκείνον που προέρχεται από πιο ρηχά νερά και έξω από το Μικρολίμανο, άρα και πιο κοντά στις εκβολές των δύο ποταμών στο Φαληρικό Δέλτα. Ο λόγος που προτείνεται για την ερμηνεία του γεγονότος αυτού είναι ότι η ποιότητα και ποσότητα του φερτού υλικού που εισέρχεται με το ποτάμιο σύστημα στο Φαληρικό Δέλτα επηρεάζει πιο έντονα τα σημεία που είναι πλησιέστερα στις εκβολές των ποταμών. Σε πιο απομακρυσμένα σημεία η επίδραση του ποτάμιου συστήματος μειώνεται, όπως γίνεται και σε άλλα ποτάμια συστήματα (Σαμανίδου 1990, Dassenakis et al 1995, Αγγελίδης και Αλούπη 1997)

Η σύγκριση με τους πυρήνες από τον κόλπο της Ελευσίνας δείχνει καθαρά πως αντανακλάται η έλλειψη (μαρίνα Ζέας και Μικρολίμανο) ή η παρουσία (κόλπος Ελευσίνας) έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας.

10.5. Αναλυτικά αποτελέσματα :Το επιβατικό λιμάνι

Το λιμάνι του Πειραιά χωρίστηκε σε δύο τμήματα, λόγω διαφορετικής χρήσης και χαρακτηριστικών. Οι περιοχές που εξετάζεται δίνονται στο Σχήμα 10.12. Για τη μελέτη του κλειστού επιβατικού λιμανιού τα έτη 1997, 1998 και 1999 έγινε δειγματοληψία είκοσι επιφανειακών δειγμάτων ιζήματος με δειγματολήπτες τύπου Matuscawa και Van Veen. Τα στίγματα (με GPS) και λοιπά στοιχεία των δειγμάτων δίνονται στο παράρτημα. Ανάλυση σε γεωχημικά κλάσματα έγινε σε 14 επιφανειακά δείγματα. Για λόγους καλύτερης μελέτης γίνεται διαχωρισμός του επιβατικού λιμανιού σε τρεις τομείς: λιμένα Αλών, Κεντρικό λιμένα και Προλιμένα, στον οποίο συμπεριλαμβάνεται το αβαθές και απομονωμένο βοηθητικό λιμάνι (νηοδόχη). Οι συσχετίσεις με τον οργανικό άνθρακα αναφέρονται σε 7 δείγματα. Τα ιζήματα χαρακτηρίζονται από αμμώδεις ιλύαργιλοι έως ιλύαργιλοι και συνήθως περιέχουν πολλά κελύφη οστράκων. Τα δείγματα 7/X προέρχονται από τη δειγματοληψία που έγινε το 1997, ενώ τα δείγματα 8/X και 9/X από τις δειγματοληψίες του 1998 και 1999 αντίστοιχα. Τα σημεία δειγματοληψίας δίνονται στο σχήμα 10.12α.

Οι τιμές που μετρήθηκαν στα δείγματα δίνονται στον Πίνακα 10.8 και τα ποσοστά των επί μέρους γεωχημικών κλασμάτων στον Πίνακα 10.9. Οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των μετάλλων δίνονται στον Πίνακα 10.10 και τα $t_{\text{περι}}$ στον Πίνακα 10.11. Οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των μετάλλων και του ολικού άνθρακα, καθώς και τα αντίστοιχα $t_{\text{περι}}$, δίνονται στον Πίνακα 10.12. Ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης και του $t_{\text{περι}}$, καθώς και τιμές του t δίνονται στον Πίνακα 6.5. Επιλεγμένοι ισοχημικοί χάρτες δίνονται στα Σχήματα 10.13 έως 10.17, ενώ το σύνολό τους δίνεται στο παράρτημα.

10.5.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Η ολική περιεκτικότητα σε σίδηρο (Σχήμα 10.13) κυμαίνεται από 5.750 ppm μέχρι 64.500 ppm, μια σαφώς μεγάλη διακύμανση αφού η μέγιστη τιμή είναι πάνω από 11 φορές μεγαλύτερη από την ελάχιστη. Η ίδια η ανώτατη τιμή (εσωτερικό νότιου λιμενοβραχίονα) είναι 65% μεγαλύτερη από τη δεύτερη σε μέγεθος τιμή. Τιμές πάνω από 20.000 ppm παρατηρούνται κατά κανόνα στον Προλιμένα, ενώ στον Κυρίως λιμένα και το λιμένα Αλών οι περισσότερες τιμές βρίσκονται κάτω από 15.000 ppm. Η μοναδική τιμή κάτω των 15.000 ppm στον Προλιμένα βρέθηκε στο βοηθητικό λιμάνι. Παρουσιάζει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99% με το χρώμιο και το κάδμιο, 99,9% με τον ψευδάργυρο και 99% με το μαγγάνιο. Επίσης παρουσιάζει σημαντική συσχέτιση 95% με το μόλυβδο και το χαλκό. Η συσχέτισή του με όλα τα μέταλλα και τα ανθρακικά είναι θετική με τον οργανικό άνθρακα είναι αρνητική.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο ο προσροφημένος σίδηρος (Σχήμα 10.15) όσο και ο σίδηρος στα ανθρακικά (Σχήμα 10.16) είναι πρακτικά μηδενικός (μέγιστο 0,5% και 0,2% του ολικού μετάλλου αντίστοιχα, με την κατανομή για τις απόλυτες τιμές και τα ποσοστά να συμβαδίζει με αυτή του ολικού σιδήρου). Ο υπό μορφή οξειδίων σίδηρος (Σχήμα 10.16) κυμαίνεται μεταξύ 8,7 και 15,4% του ολικού μετάλλου. Η κατανομή των απόλυτων τιμών ακολουθεί τη κατανομή του ολικού μετάλλου, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά μετρήθηκαν στο βοηθητικό λιμάνι και στο λιμένα Αλών. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης (Σχήμα 10.16) κινείται μεταξύ 8,1 και 34,3% του ολικού. Παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στον Προλιμένα (μέχρι 8.400 ppm), αλλά τα μεγαλύτερα ποσοστά στην Α πλευρά του Κεντρικού λιμένα (Ακτή Μιαούλη) και γενικά μεγαλύτερα ποσοστά στον Κεντρικό λιμένα και το λιμένα Αλών από τον Προλιμένα. Οι απόλυτες τιμές του δεσμευμένου στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσματος ακολουθούν την κατανομή του ολικού μετάλλου (αυξημένες στον Προλιμένα με εξαίρεση το βοηθητικό λιμάνι). Τα ποσοστά του κλάσματος αυτού κυμαίνονται μεταξύ 55% (Αγ. Τριάδα) και 83% (νότιος λιμενοβραχίονας), με περισσότερες τιμές γύρω στο 65 με 75% του ολικού μετάλλου. Τα ποσοστά είναι γενικά μεγαλύτερα στον Προλιμένα και στο κέντρο του Κεντρικού λιμένα.

10.5.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

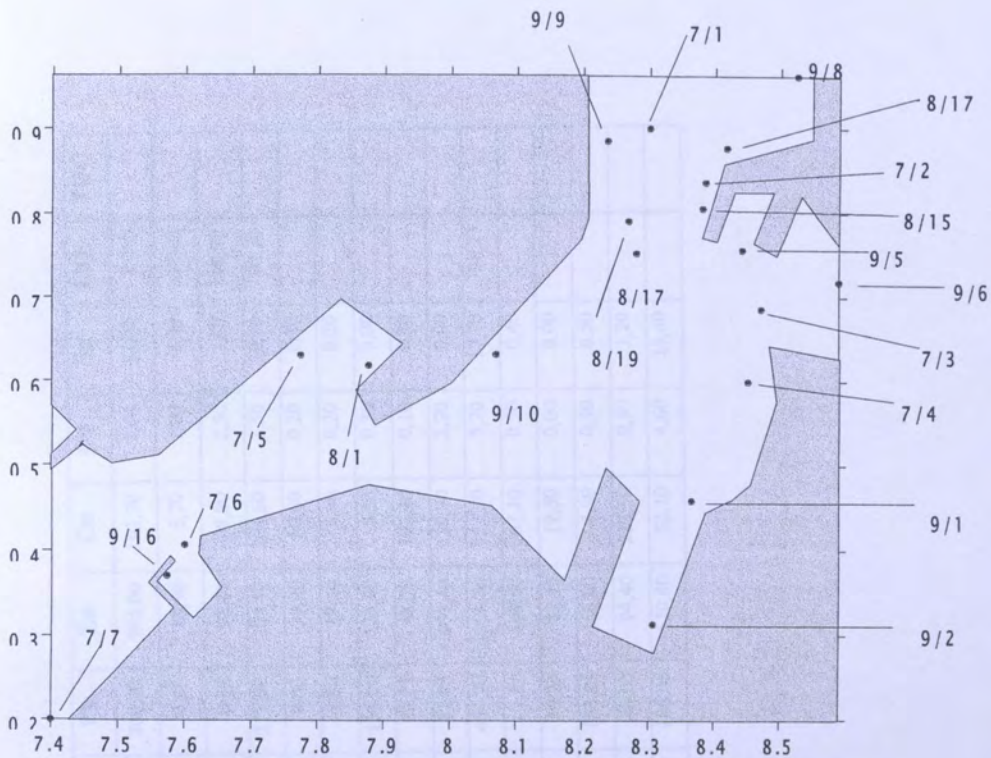
Η ολική περιεκτικότητα σε αργίλιο (Σχήμα 10.13) κυμαίνεται από 8.800 ppm μέχρι 39.700 ppm, μια μεγάλη διακύμανση αφού η μέγιστη τιμή είναι σχεδόν 4,5 φορές μεγαλύτερη από την ελάχιστη. Η ίδια η ανώτατη τιμή (Κεντρικός λιμένας) είναι 30 και 33% μεγαλύτερη από τη δεύτερη (νότιος λιμενοβραχίονας) και την τρίτη (λιμένας Αλών) σε μέγεθος τιμή. Οι περισσότερες τιμές είναι κοντά στα 20.000 ppm και κατά κανόνα είναι πιο αυξημένες στη περιοχή σύνδεσης λιμένα Αλών-Κεντρικού λιμένα, ενώ η ελάχιστη και ταυτόχρονα μοναδική τιμή κάτω των 10.000 ppm βρέθηκε στο βοηθητικό λιμάνι. Παρουσιάζει πολύ σημαντική θετική συσχέτιση 99% με το μαγγάνιο και σημαντική συσχέτιση 95% με το χρώμιο και τον οργανικό άνθρακα. Η συσχέτισή του είναι αρνητική με το νικέλιο (99%), τα ανθρακικά (95%), το μόλυβδο και τον κασσίτερο και θετική με τα υπόλοιπα μέταλλα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Τόσο το προσροφημένο αργίλιο όσο και το αργίλιο στα ανθρακικά είναι πρακτικά μηδενικά. Το αργίλιο στο κλάσμα των οξειδίων σιδηρομαγγανίου κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 2,8% του ολικού μετάλλου. Τα μεγαλύτερα ποσοστά και οι ψηλότερες απόλυτες τιμές παρουσιάζονται στο λιμένα Αλών και τον Προλιμένα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τις υψηλότερες απόλυτες τιμές στην ακτή Μιαούλη (ξεπερνά τα 2.500 ppm) και στο βοηθητικό λιμάνι, στο οποίο και παρατηρήθηκε πολύ μεγάλο ποσοστό για το κλάσμα αυτό (20%), ενώ το ποσοστό του κλάσματος στο υπόλοιπο λιμάνι κινείται μεταξύ 0,3 και 9,2% του ολικού μετάλλου. Οι απόλυτες τιμές του δεσμευμένου στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσματος ακολουθούν την κατανομή του ολικού μετάλλου και τα ποσοστά του κυμαίνονται μεταξύ 90,7% και 99,6% με αξιοσημείωτη εξαίρεση το 77,6% στο βοηθητικό λιμάνι.



Σχήμα 10.12. Χάρτης του λιμανιού του Πειραιά. Οι ισοπεδικτικοί χάρτες παρουσιάζουν το ορθογώνιο ABCD για το ευρύτερο λιμάνι και το τετράγωνο EFGC για το επιβατικό λιμάνι. Σημειώνεται η πορεία εισόδου του πλοίου στο επιβατικό λιμάνι, το εργοστάσιο λιπασμάτων (κττήριο αριστερά των σημείων E και F) και ο ΚΑΑΚ (X) (ο χάρτης προέρχεται από το Microsoft Encarta Atlas ©&®1998).



Σχήμα 10.12α. Χάρτης του επιβατικού λιμανιού του Πειραιά, όπου φαίνονται τα σημεία δειγματοληψίας.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
7/1	T	14637,90	17522,00	218,80	101,10	317,00	206,70	965,00	193,50	5,00	13,20	35,90	
	T	8262,30	20695,00	126,60	68,60	202,50	0,00	88,90	5,70	1,00	4,30	22,60	
7/3	T	11000,00	11418,00	204,50	77,60	141,00	0,00	95,40	8,90	2,50	3,80	46,90	
	T	20541,00	21833,00	305,90	110,00	289,50	217,00	701,40	204,60	3,50	10,30	42,30	
7/4	A	0,00	0,00	3,80	1,00	2,40	0,00	99,00	50,80	0,20	0,40		
	B	0,00	0,00	25,20	7,40	2,40	1,30	17,40	5,40	0,20	0,20		
	C	2286,00	261,10	106,60	14,70	38,40	106,00	133,40	5,10	0,30	0,00		
	D	5125,00	1505,50	65,50	19,80	38,50	37,75	48,20	103,40	0,10	0,70		
	R	13130,00	20066,40	104,80	67,10	207,80	71,95	403,40	39,90	2,70	9,00		
7/5	T	24869,00	17289,00	242,50	70,60	294,00	404,70	1058,80	357,10	5,70	17,70	52,23	
	A	0,00	0,00	5,30	1,30	3,70	1,20	144,60	67,10	0,50	0,40		
	B	0,00	0,00	20,80	5,00	2,50	19,20	43,40	19,50	0,00	0,00		
	C	2174,00	94,50	78,20	16,60	41,50	152,25	166,00	4,90	0,30	0,50		
	D	4841,00	258,40	62,90	16,50	41,60	46,00	94,40	213,50	0,30	1,20		
R	17854,00	16936,10	75,30	31,20	204,70	186,05	610,40	52,10	4,60	15,60			

Πίνακας 10.8 (2/5). Οι τιμές των δειγμάτων του επιβαρικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
7/6	T	39191,00	22093,00	248,20	80,20	440,00	749,00	2403,00	463,40	12,50	11,00	48,00	
	A	30,00	0,00	3,60	2,50	5,10	1,40	330,40	93,70	0,80	0,40		
	B	0,00	0,00	16,80	8,60	6,30	10,40	43,20	5,00	0,80	0,20		
	C	3768,00	637,30	76,60	18,60	88,90	265,00	319,80	6,40	0,00	0,00		
	D	8368,00	145,00	82,40	18,40	71,50	93,00	133,80	228,60	0,10	0,00		
	R	27025,00	21310,70	68,80	32,10	268,20	379,20	1575,80	129,70	10,80	11,90		
7/7	T	64429,00	33600,00	294,40	68,00	520,00	444,00	1469,40	291,00	13,00	14,00	49,70	
	A	193,80	0,10	6,90	2,50	7,10	2,60	181,70	67,70	0,50	0,00		
	B	24,80	0,00	19,90	8,60	7,20	4,50	29,40	4,90	0,30	0,00		
	C	5007,00	529,10	83,60	17,80	83,80	173,50	289,70	8,90	0,20	0,30		
	D	5201,00	68,60	68,90	14,15	71,50	88,75	140,80	188,00	1,60	0,30		
	R	54002,00	33002,20	115,10	24,95	350,40	174,65	827,80	21,50	10,40	13,40		
8/1	T	25003,00	20582,00	239,40	86,30	232,00	613,50	1454,70	867,40	6,70	36,60	56,50	
	A	0,00	0,00	6,40	4,10	7,20	1,40	142,90	129,60	0,20	0,20		
	B	0,00	0,00	23,20	8,60	7,30	9,30	43,00	11,40	0,20	0,30		
	C	2908,00	262,40	83,80	10,70	47,00	150,25	220,00	3,45	0,00	0,60		
	D	6514,00	924,50	71,50	17,40	51,20	65,00	95,70	503,60	0,10	0,30		
	R	15581,00	19395,10	54,50	45,50	119,30	387,55	953,10	219,40	6,20	34,90		

Πίνακας 10.8 (3/5). Οι τιμές των δειγμάτων του επιβαρικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
8/15	T	14995,00	29768,00	180,60	114,80	218,00	3,40	224,50	0,00	2,00	3,50	31,40	
	T	5750,00	15464,00	131,60	73,00	89,00	0,00	67,30	0,00	1,00	0,30	2,23	
8/16	T	18055,00	39723,00	294,20	143,60	299,00	56,00	918,10	98,40	3,00	0,00	7,50	
	A	0,00	0,00	5,70	5,60	3,10	0,00	59,00	18,90	0,00	0,90		
8/17	B	0,00	0,00	24,70	8,70	3,20	0,00	3,80	1,90	0,10	0,10		
	C	1622,00	472,40	112,80	23,70	36,00	24,75	143,90	4,00	0,10	0,00		
	D	3009,00	1361,30	56,70	21,60	13,80	11,50	51,70	50,00	0,10	0,30		
	R	13424,00	37889,30	94,30	84,00	242,90	19,75	659,70	23,60	2,70	8,50		
8/19	T	12619,00	25317,00	248,50	100,20	186,00	248,50	312,90	87,00	3,80	0,00	8,00	
	A	0,00	0,00	5,70	4,50	3,60	0,00	61,20	26,30	0,20	0,20		
	B	20,40	0,00	23,30	9,00	4,20	6,80	13,20	3,30	0,10	0,00		
	C	1277,00	1,50	105,20	20,30	11,20	63,25	67,40	3,40	0,20	0,50		
	D	3037,00	107,60	51,20	12,80	17,40	17,75	31,50	50,50	0,00	0,20		
	R	8284,60	25207,90	63,10	53,60	149,60	160,70	139,60	3,50	3,30	6,80		
9/1	T	14175,00	21095,00	208,00	53,00	139,00	464,00	700,00	228,00	2,50	6,30	64,40	2,82
	A	16,00	0,30	3,90	3,90	0,80	0,00	67,90	58,00	0,20	0,40		
	B	0,00	0,00	18,80	7,10	0,40	8,00	6,10	2,80	0,20	0,60		
	C	1384,00	281,10	92,20	16,10	15,90	62,50	71,60	4,40	0,10	0,90		
	D	2818,00	58,50	58,50	11,50	20,30	19,75	29,70	120,50	0,00	0,70		
	R	9957,00	20755,10	34,60	14,40	101,60	373,75	524,70	42,30	2,00	3,70		

Πίνακας 10.8 (4/5). Οι τιμές των δεγμάτων του επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Δείγμα	Κλάση	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
9/2	T	7575,00	10245,00	125,00	22,00	56,00	365,00	370,00	118,00	1,13	6,30	74,00	
	T	14600,00	19018,00	225,00	39,00	105,00	411,00	375,00	173,00	1,00	3,50	52,80	2,01
9/5	A	0,00	0,00	6,80	3,20	0,40	3,40	51,40	30,00	0,10	0,10		
	B	0,00	0,00	21,10	6,80	4,40	7,20	11,90	2,70	0,00	0,00		
	C	1347,00	175,00	103,30	13,60	18,50	76,50	76,10	3,40	0,10	0,30		
	D	2977,00	914,00	60,70	9,20	20,00	23,00	38,40	101,88	0,20	0,10		
	R	10276,00	17929,00	33,10	6,20	61,70	300,90	197,20	35,02	0,60	3,00		
	T	15888,00	27375,00	235,00	48,00	156,00	419,00	900,00	305,00	1,60	11,00	45,30	2,83
9/6	A	25,00	0,00	6,30	4,20	2,50	0,00	139,40	83,60	0,10	0,30		
	B	0,00	0,00	20,20	7,20	4,80	3,70	24,60	4,40	0,10	0,70		
	C	1581,00	32,60	110,10	9,80	12,90	85,25	127,00	4,00	0,00	0,80		
	D	5455,00	2519,20	67,50	15,08	25,10	26,00	48,00	137,50	0,10	1,90		
	R	8827,00	24823,20	30,90	11,72	110,70	304,05	561,00	75,50	1,30	7,30		
	T	12650,00	22353,00	175,00	32,00	167,00	374,00	925,00	270,00	1,63	9,50	42,30	2,72
9/8	A	23,00	0,80	6,50	3,90	1,40	0,00	83,40	32,20	0,00	0,50		
	B	0,00	0,00	16,00	6,10	3,60	19,00	33,10	8,20	0,10	0,40		
	C	1909,00	483,50	77,10	9,60	17,60	92,50	99,20	4,45	0,00	0,90		
	D	2646,00	975,30	51,50	10,50	24,10	32,25	29,70	106,50	0,10	1,40		
	R	8072,00	21958,40	23,90	1,90	120,30	230,25	679,60	118,65	0,90	3,30		

Πίνακας 10.8 (5/5). Οι τιμές των δειγμάτων του επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
9/9	T	12800,00	23418,00	233,00	34,00	154,00	339,00	720,00	215,00	1,13	6,50	48,70	2,38
	A	0,00	0,80	6,90	6,30	4,00	0,00	114,40	70,70	0,00	0,50		
	B	0,00	0,00	20,10	7,00	1,00	24,60	20,10	2,20	0,10	0,10	0,40	
	C	1407,00	483,50	104,60	9,60	25,50	60,00	84,60	3,20	0,00	0,00	0,90	
	D	2685,00	975,30	54,60	6,50	18,00	17,25	36,00	81,00	0,10	0,10	1,40	
	R	8708,00	21958,40	46,80	4,60	105,50	237,15	464,90	57,90	0,90	0,90	3,30	
9/10	T	15225,00	19248,00	243,00	52,00	184,00	542,00	718,00	250,00	0,80	7,00	57,30	1,86
	A	0,00	0,00	5,10	5,30	1,60	4,00	67,10	48,20	0,10	0,30		
	B	0,00	0,00	22,80	8,10	2,70	22,40	28,10	5,20	0,10	0,00		
	C	1506,00	353,00	106,10	9,40	15,40	128,50	109,90	4,00	0,00	0,30		
	D	3895,00	349,80	67,30	6,40	19,50	58,25	73,00	108,10	0,10	0,70		
	R	9824,00	18545,20	41,70	22,80	144,80	328,85	439,90	84,50	0,50	5,70		
9/16	T	14650,00	8783,00	150,00	19,00	101,00	436,00	1090,00	248,00	0,25	10,80	73,68	1,66
	A	73,50	0,00	1,70	2,20	4,20	1,30	146,90	60,20	0,00	0,30		
	B	27,60	0,00	10,80	4,60	4,70	12,30	43,10	2,30	0,00	0,40		
	C	2262,00	249,60	44,70	6,40	29,80	161,00	118,10	0,90	0,00	0,80		
	D	2554,00	1722,50	34,70	4,80	20,50	54,25	58,30	128,70	0,00	1,20		
	R	9732,90	6810,90	58,10	1,00	41,80	207,15	723,60	55,90	0,30	8,10		

Πίνακας 10.9 (1/3). Οι τιμές των δειγμάτων του επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα επί μέρους κλάσματα δίνονται σε % του ολικού μετάλλου.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
7/4	A	0,00	0,00	1,24	0,90	0,83	0,00	14,11	24,83	5,70	3,90
	B	0,00	0,00	8,24	6,73	0,83	0,60	2,48	2,63	5,70	1,90
	C	11,13	1,20	34,85	13,36	13,26	48,85	19,02	2,49	8,60	0,00
	D	24,95	6,90	21,41	18,00	13,30	17,40	6,87	50,54	2,90	6,80
	R	63,92	91,90	34,26	61,01	71,78	33,15	57,52	19,51	77,10	87,40
7/5	A	0,00	0,00	2,19	1,84	1,26	0,30	13,66	18,79	8,80	2,30
	B	0,00	0,00	8,58	7,08	0,85	4,70	4,10	5,46	0,00	0,00
	C	8,74	0,50	32,25	23,51	14,12	37,60	15,68	1,37	5,30	2,80
	D	19,47	1,50	25,94	23,37	14,15	11,37	8,92	59,65	5,30	6,80
	R	71,79	98,00	31,04	44,20	69,62	46,03	57,46	14,73	80,60	88,10
7/6	A	0,08	0,00	1,45	3,12	1,16	0,19	13,75	20,22	6,40	3,20
	B	0,00	0,00	6,77	10,72	1,43	1,39	1,80	1,08	6,40	1,60
	C	9,61	2,90	30,86	23,19	20,20	35,38	13,31	1,38	0,00	0,00
	D	21,35	0,70	33,20	22,94	16,25	12,42	5,57	49,33	0,80	0,00
	R	68,96	96,40	27,72	40,03	60,96	50,62	65,57	27,99	86,40	95,20
7/7	A	0,30	0,00	2,34	3,68	1,37	0,59	12,37	23,26	3,80	0,00
	B	0,04	0,00	6,76	12,65	1,38	1,01	2,00	1,68	2,30	0,00
	C	7,77	1,60	28,40	26,18	16,12	39,08	19,72	3,06	1,50	2,10
	D	8,07	0,20	23,40	20,81	13,75	19,99	9,58	64,60	12,30	2,10
	R	83,82	98,20	39,10	36,68	67,38	39,33	56,33	7,40	80,10	95,80
8/1	A	0,00	0,00	2,67	4,75	3,10	0,23	9,82	14,94	3,00	0,50
	B	0,00	0,00	9,69	9,97	3,15	1,52	2,96	1,31	3,00	0,80
	C	11,63	1,30	35,00	12,40	20,26	24,49	15,12	0,40	0,00	1,60
	D	26,05	4,50	29,87	20,16	22,07	10,59	6,58	58,06	1,50	0,80
	R	62,32	94,20	22,77	52,72	51,42	63,17	65,52	25,29	92,50	96,30

Πίνακας 10.9 (2/3). Οι τιμές των δειγμάτων του επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα επί μέρους κλάσματα δίνονται σε % του ολικού μετάλλου.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
8/17	A	0,00	0,00	1,94	3,90	1,04	0,00	6,43	19,21	0,00	9,20
	B	0,00	0,00	8,40	6,06	1,07	0,00	0,41	1,93	3,30	1,00
	C	8,98	1,20	38,34	16,50	12,04	44,20	15,67	4,07	3,30	0,00
	D	16,67	3,40	19,27	15,04	4,62	20,54	5,63	50,81	3,30	3,10
	R	74,35	95,40	32,05	58,50	81,23	35,26	71,86	23,98	90,10	86,70
8/19	A	0,00	0,00	2,29	4,49	1,94	0,00	19,56	30,23	5,30	2,60
	B	0,16	0,00	9,38	8,98	2,26	2,74	4,22	3,79	2,60	0,00
	C	10,12	0,00	42,33	20,26	6,02	25,45	21,54	3,91	5,30	6,50
	D	24,07	0,40	20,60	12,77	9,35	7,14	10,17	58,05	0,00	2,60
	R	65,65	99,60	25,40	53,50	80,43	64,67	44,61	4,02	86,80	88,30
9/1	A	0,11	0,00	1,88	7,36	0,58	0,00	9,70	25,44	8,00	6,30
	B	0,00	0,00	9,04	13,40	0,29	1,72	0,87	1,23	8,00	9,50
	C	9,76	1,30	44,33	30,38	11,44	13,47	10,23	1,93	4,00	14,30
	D	19,88	0,30	28,13	21,70	14,60	4,26	4,24	52,85	0,00	11,10
	R	70,25	98,40	16,62	27,16	73,09	80,55	74,96	18,55	80,00	58,80
9/5	A	0,00	0,00	3,02	8,21	0,38	0,83	13,71	17,34	10,00	2,86
	B	0,00	0,00	9,38	17,44	4,19	1,75	3,17	1,56	0,00	0,00
	C	9,23	0,92	45,91	34,87	17,62	18,61	20,29	1,97	10,00	8,57
	D	20,39	4,81	26,98	23,59	19,05	5,60	10,24	58,89	20,00	2,86
	R	70,38	94,27	14,71	15,89	58,76	73,21	52,59	20,24	70,00	85,71
9/6	A	0,16	0,00	2,68	8,75	1,60	0,00	15,49	27,41	6,30	2,70
	B	0,00	0,00	8,60	15,00	3,08	0,88	2,73	1,44	6,30	6,40
	C	9,95	0,10	46,85	20,42	8,27	20,35	14,11	1,31	0,00	7,30
	D	34,33	9,20	28,72	31,42	16,09	6,21	5,33	45,08	6,30	17,30
	R	55,56	90,70	13,15	24,41	70,96	72,56	62,34	24,76	81,10	66,30

Πίνακας 10.9 (3/3). Οι τιμές των δειγμάτων του επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα επί μέρους κλάσματα δίνονται σε % του ολικού μετάλλου.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
9/8	A	0,18	0,00	3,71	12,19	0,84	0,00	9,02	11,93	0,00	7,70
	B	0,00	0,00	9,14	19,06	2,16	5,08	3,58	3,04	9,10	6,20
	C	15,09	2,10	44,06	30,00	10,54	24,73	10,72	1,65	0,00	13,80
	D	20,92	4,20	29,43	32,81	14,43	8,62	3,21	39,44	9,10	21,50
	R	63,81	93,70	13,66	5,94	72,03	61,57	73,47	43,94	81,80	50,80
9/9	A	0,00	0,00	2,96	18,53	2,60	0,00	15,89	32,88	0,00	7,70
	B	0,00	0,00	8,63	20,59	0,65	7,26	2,79	1,02	9,10	6,20
	C	10,99	2,10	44,89	28,24	16,56	17,70	11,75	1,49	0,00	13,80
	D	20,98	4,20	23,43	19,12	11,69	5,09	5,00	37,67	9,10	21,50
	R	68,03	93,70	20,09	13,52	68,50	69,95	64,57	26,94	81,80	50,80
9/10	A	0,00	0,00	2,10	10,19	0,87	0,74	9,35	19,28	12,50	4,30
	B	0,00	0,00	9,38	15,58	1,47	4,13	3,91	2,08	12,50	0,00
	C	9,89	1,80	43,66	18,08	8,37	23,71	15,31	1,60	0,00	4,30
	D	25,58	1,80	27,70	12,31	10,60	10,75	10,17	43,24	12,50	10,00
	R	64,53	96,40	17,16	43,84	78,69	60,67	61,26	33,80	62,50	81,40
9/16	A	0,50	0,00	1,13	11,58	4,16	0,30	13,48	24,27	0,00	2,80
	B	0,19	0,00	7,20	24,21	4,65	2,82	3,95	0,93	0,00	3,70
	C	15,44	2,80	29,80	33,68	29,50	36,93	10,83	0,36	0,00	7,40
	D	17,43	19,60	23,13	25,26	20,30	12,44	5,35	51,90	0,00	11,10
	R	66,44	77,60	38,74	5,27	41,39	47,51	66,39	22,54	100,0	75,00

Πίνακας 10.10. Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για το επιβατικό λιμάνι του Πειραιά (ολικές περιεκτικότητες).

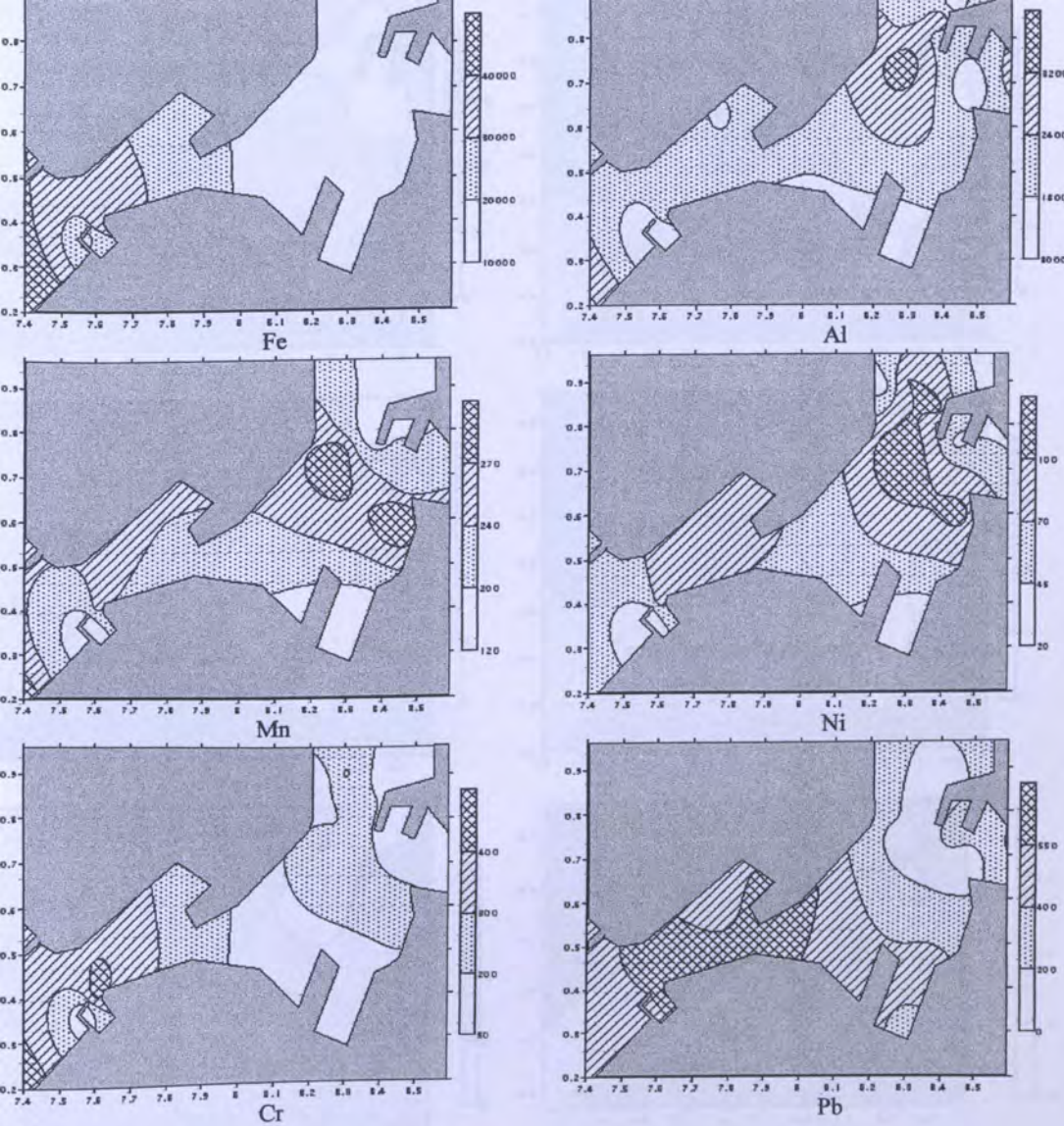
	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		0,4337	0,5910	0,1449	0,8639	0,4658	0,7128	0,4499	0,9014	0,4107	0,1738
Al	0,4337		0,6063	-0,6136	0,5463	-0,0917	0,2117	0,0141	0,3339	-0,1015	-0,4743
Mn	0,5910	0,6063		0,4899	0,6546	0,2867	0,4689	0,3523	0,5324	0,2252	-0,0714
Ni	0,1449	-0,6136	0,4899		0,4941	-0,4326	0,0173	-0,1005	0,3007	-0,0539	-0,6591
Cr	0,8639	0,5463	0,6546	0,4941		0,2379	0,6818	0,3230	0,8924	0,3180	-0,1233
Pb	0,4658	-0,0917	0,2867	-0,4326	0,2379		0,7647	0,7911	0,4479	0,5714	0,6533
Zn	0,7128	0,2117	0,4689	0,0173	0,6818	0,7647		0,7538	0,7646	0,5906	0,3266
Cu	0,4499	0,0141	0,3523	-0,1005	0,3230	0,7911	0,7538		0,4982	0,9110	0,4442
Cd	0,9014	0,3339	0,5324	0,3007	0,8924	0,4479	0,7646	0,4982		0,4491	0,0436
Sn	0,4107	-0,1015	0,2252	-0,0539	0,3180	0,5714	0,5906	0,9110	0,4491		0,4509
CO ₃	0,1738	-0,4743	-0,0714	-0,6591	-0,1233	0,6533	0,3266	0,4442	0,0436	0,4509	

Πίνακας 10.11. t_{max} για το επιβαρτικό λιμάνι του Πειραιά (20 δείγματα).

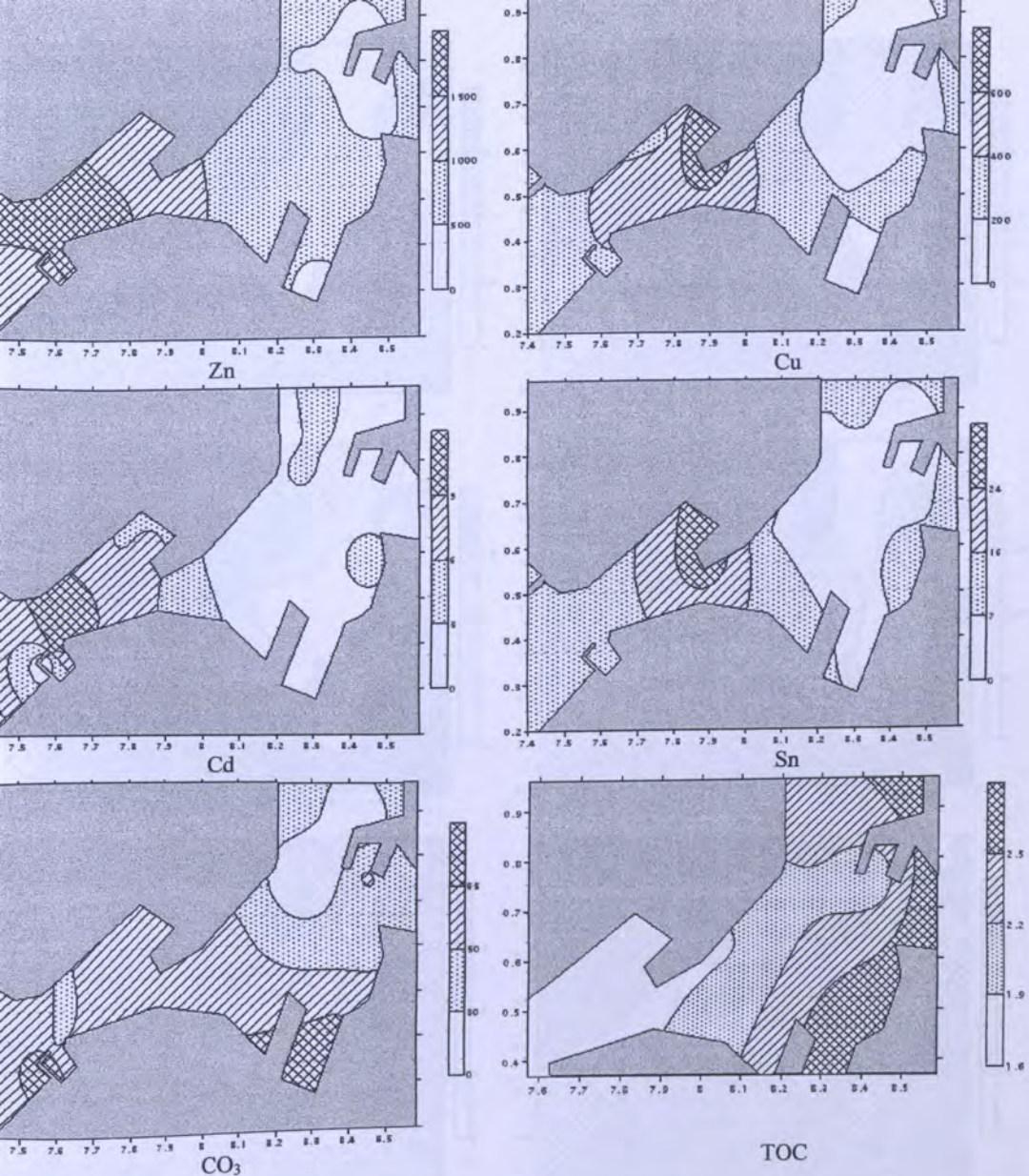
	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		2,042082	3,108329	0,621316	7,277117	2,233297	4,311798	2,137285	8,832397	1,911065	0,748766
Al	2,042082		3,234654	3,296895	2,767172	0,390696	0,918996	0,059827	1,502870	0,432864	2,285743
Mn	3,108329	3,234654		2,384171	3,673708	1,269665	2,252331	1,597075	2,668400	0,980633	0,303700
Ni	0,621316	3,296895	2,384171		2,411176	2,035709	0,073409	0,428555	1,337671	0,229011	3,718243
Cr	7,277117	2,767172	3,673708	2,411176		1,039159	3,954176	1,447987	8,390410	1,423028	0,527140
Pb	2,233297	0,390696	1,269665	2,035709	1,039159		5,034785	5,487045	2,125393	2,953976	3,660970
Zn	4,311798	0,918996	2,252331	0,073409	3,954176	5,034785		4,866966	5,033200	3,105098	1,466040
Cu	2,137285	0,059827	1,597075	0,428555	1,447987	5,487045	4,866966		2,437753	9,371935	2,103497
Cd	8,832397	1,502870	2,668400	1,337671	8,390410	2,125393	5,033200	2,437753		2,132523	0,185155
Sn	1,911065	0,432864	0,980633	0,229011	1,423028	2,953976	3,105098	9,371935	2,132523		2,143246
CO ₃	0,748766	2,285743	0,303700	3,718243	0,527140	3,660970	1,466040	2,103497	0,185155	2,143246	

Πίνακας 10.12. Συντελεστές συσχέτισης και $t_{\text{πειρ}}$ για τον οργανικό άνθρακα (TOC) και τις ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (7 δείγματα) για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά.

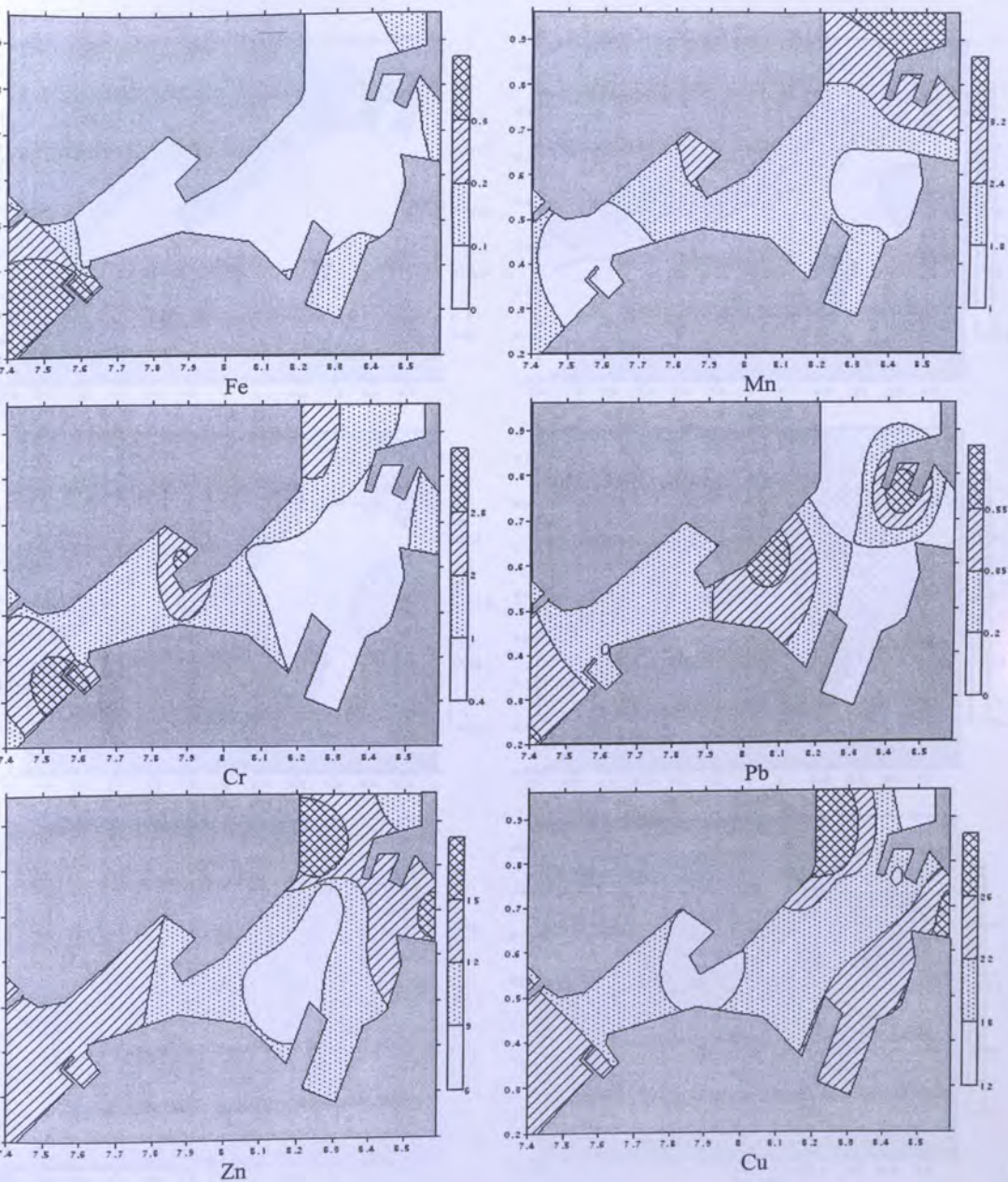
	Συντελεστές συσχέτισης	$t_{\text{πειρ}}$ (7 δείγματα)
Fe	-0,2149	0,492027
Al	0,8029	3,011739
Mn	0,1857	0,422588
Ni	0,4343	1,078107
Cr	0,3959	0,964026
Pb	-0,3463	0,825424
Zn	0,6424	1,874357
Cu	0,4011	0,979097
Cd	<u>0,9003</u>	4,625020
Sn	0,1546	0,349903
CO ₃	-0,5688	1,546399



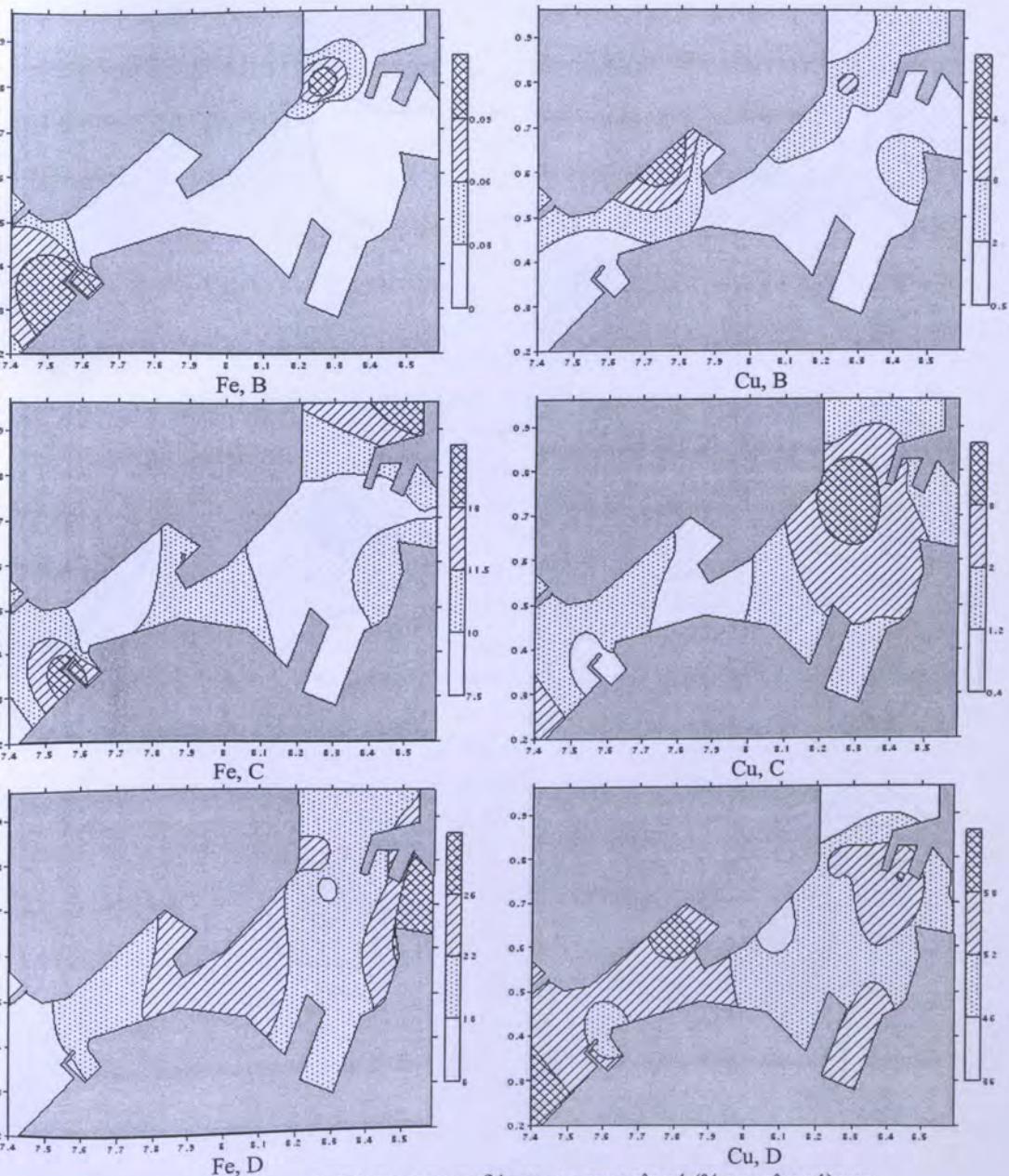
Σχήμα 10.13. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα του επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά.



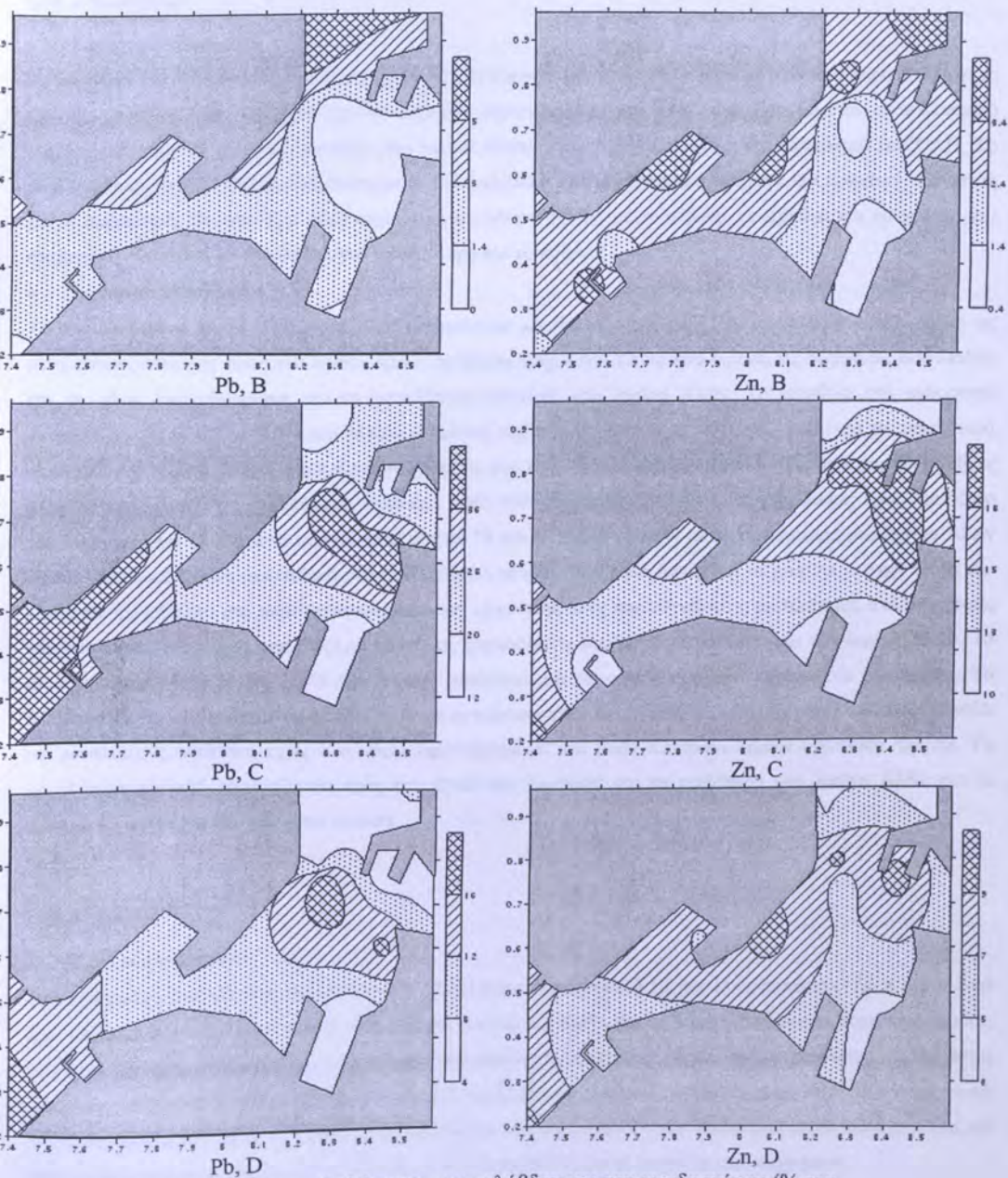
Σχήμα 10.14. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm), ανθρακικών και οργανικού άνθρακα (%) στα ιζήματα του επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά.



Σχήμα 10.15. Ανταλλάξιμο κλάσμα μετάλλων (% του ολικού) στα ιζήματα του επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά.



Σχήμα 10.16. Γεωχημικά κλάσματα του σιδήρου και του χαλκού (% του ολικού) στα ιζήματα του επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά.



Σχήμα 10.17. Γεωχημικά κλάσματα του μολύβδου και του ψευδαργύρου (% του ολικού) στα ιζήματα του επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά.

10.5.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το περιεχόμενο στα ιζήματα μαγγάνιο (Σχήμα 10.13) κυμαίνεται σε πιο στενά πλαίσια από το σίδηρο αλλά και το αργίλιο, μεταξύ 125 και 305 ppm. Σχετικά αυξημένο παρουσιάζεται στο νότιο λιμενοβραχίονα και στον Κεντρικό λιμένα, ενώ χαμηλές τιμές παρουσιάζει στο λιμένα Αλών, στο βοηθητικό λιμένα και ανατολικά του ΟΛΠ. Το μαγγάνιο παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τον οργανικό άνθρακα και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Παρουσιάζει πολύ σημαντική συσχέτιση (99%) με το σίδηρο, το αργίλιο και το χρώμιο και σημαντική συσχέτιση με το νικέλιο, τον ψευδάργυρο και το κάδμιο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μαγγάνιο (Σχήμα 10.15) κυμαίνεται μεταξύ του 1,1 και 3,7% του ολικού μετάλλου με τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στο λιμένα Αλών, το βόρειο τμήμα του Κεντρικού λιμένα, τις δεξαμενές Βασιλειάδη και το νότιο λιμενοβραχίονα και τα μεγαλύτερα ποσοστά στο λιμένα Αλών. Το μέταλλο στα ανθρακικά αντιπροσωπεύει το 6,8 με 9,7% του ολικού μετάλλου και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές και τα μεγαλύτερα ποσοστά στο λιμένα Αλών, στον Κεντρικό λιμένα και στις δεξαμενές Βασιλειάδη. Το υπό μορφή οξειδίων μέταλλο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στον Κεντρικό λιμένα και τις μικρότερες προς την έξοδο του λιμανιού, ενώ τα ποσοστά κυμαίνονται μεταξύ 28 και 47% του ολικού, με τα μεγαλύτερα στο λιμένα Αλών και τον Κεντρικό λιμένα (ανατολικά του ΟΛΠ, βόρειο τμήμα, Ηετιώνεια Ακτή) και τα μικρότερα στην έξοδο του λιμανιού. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές του στο ανατολικό τμήμα του Προλιμένα και τις χαμηλότερες στο βοηθητικό λιμάνι και τον λιμένα Αλών. Το κλάσμα αποτελεί το 19 με 33 % του ολικού μετάλλου, με τα μεγαλύτερα στο κέντρο του Προλιμένα. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα αντιπροσωπεύει το 13-39% του ολικού μετάλλου. Παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στο νότιο λιμενοβραχίονα και στον Κεντρικό λιμένα (κεντρικό τμήμα). Τα μεγαλύτερα ποσοστά εμφανίζονται προς την έξοδο του λιμανιού και τα μικρότερα στο λιμένα Αλών και το Κεντρικό λιμένα (βόρειο και νότιο τμήμα).

10.5.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το περιεχόμενο στα ιζήματα νικέλιο (Σχήμα 10.13) κυμαίνεται μεταξύ 19 και 144 ppm (max>7,5 x min). Άνω των 100 ppm εμφανίζεται μόνο στο νότιο τμήμα του λιμένα Αλών και το βόρειο τμήμα του Κεντρικού λιμένα, ενώ στην περιοχή αυτή με την προσέγγιση στις προκυμαίες η περιεκτικότητα σε νικέλιο μειώνεται. Οι ελάχιστες τιμές παρουσιάζονται στο βοηθητικό λιμάνι και Α του ΟΛΠ. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά (99%), το αργίλιο (99%), το μόλυβδο, το χαλκό και τον κασσίτερο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα και τον οργανικό άνθρακα. Παρουσιάζει σημαντική συσχέτιση (95%) με το μαγγάνιο και το χρώμιο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο νικέλιο αποτελεί το 1 με 19% του ολικού, με τις μεγαλύτερες τιμές κατά κανόνα στο λιμένα Αλών και τις μικρότερες προς την έξοδο του λιμένα. Στον λιμένα Αλών απαντώνται και τα μεγαλύτερα ποσοστά. Το κλάσμα στα ανθρακικά παρουσιάζει μικρότερη διακύμανση απόλυτων τιμών (5-9 ppm), με τις τιμές πιο αυξημένες στον Κεντρικό λιμένα και το λιμένα Αλών. Τα ποσοστά του κλάσματος είναι μεταξύ 6 και 24% (βοηθητικό λιμάνι), με τις τιμές αυξημένες και στο βόρειο τμήμα του λιμένα Αλών. Οι μεγαλύτερες τιμές για το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία απαντώνται στη ένωση Κεντρικού λιμένα – λιμένα Αλών και τα ποσοστά κινούνται μεταξύ 12 με 35% του ολικού μετάλλου με τα μεγαλύτερα στο βοηθητικό λιμάνι, το λιμένα Αλών και τον Κεντρικό λιμένα (ανατολικά του ΟΛΠ και ανάμεσα στις προβλήτες I και II). Το νικέλιο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στον Κεντρικό λιμένα και τον Προλιμένα και τα ποσοστά είναι ίδιου μεγέθους με του προηγούμενου κλάσματος (13 με 33%) με τα μεγαλύτερα στο ανατολικό τμήμα του λιμένα Αλών και το βορειοανατολικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα και τα μικρότερα στην Ηπειώνια Ακτή. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κυμαίνεται μεταξύ 5 και 61% του ολικού μετάλλου. Οι μεγαλύτερες απόλυτες τιμές εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα του Κεντρικού λιμένα και τα μεγαλύτερα ποσοστά στην ίδια περιοχή και στις δεξαμενές Βασιλειάδη (τα μικρότερα στο λιμένα Αλών και το βοηθητικό λιμάνι).

10.5.5. Χρώμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το περιεχόμενο στα ιζήματα χρώμιο (Σχήμα 10.13) κυμαίνεται μεταξύ 56 και 520 ppm (max > 9 x min). Οι μικρότερες τιμές υπάρχουν στο λιμένα Αλών, τον Κεντρικό λιμένα και το βοηθητικό λιμάνι, ενώ είναι ιδιαίτερα αυξημένες στον Προλιμένα (νότιος λιμενοβραχίονας.) Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα και τον οργανικό άνθρακα και αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά. Παρουσιάζει πολύ μεγάλη συσχέτιση 99,99% με το σίδηρο και το κάδμιο, 99,9% με τον ψευδάργυρο και 99% με το μαγγάνιο, ενώ έχει και μεγάλη συσχέτιση (95 %) με το αργίλιο και το νικέλιο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μέταλλο (Σχήμα 10.15) αποτελεί το 0,4-4,2% του ολικού με τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στον Προλιμένα (δεξαμενές Βασιλειάδη, νότιος λιμενοβραχίονας) και τα μεγαλύτερα ποσοστά στις δεξαμενές Βασιλειάδη και το βοηθητικό λιμάνι. Το χρώμιο που μετρήθηκε στα ανθρακικά παρουσιάζει τη ίδια κατανομή στις απόλυτες τιμές με το προηγούμενο κλάσμα, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά (0,3-4,7%) παρουσιάζονται στο βοηθητικό λιμάνι και το βορειοανατολικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνητιούχα οξειδία παρουσιάζει αυξημένες απόλυτες τιμές στον Προλιμένα (νότιος λιμενοβραχίονας), όπου εμφανίζει και τα μεγαλύτερα ποσοστά επί του ολικού μετάλλου (βοηθητικό λιμάνι), τα οποία κυμαίνονται από 6 έως 30%. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αντιπροσωπεύει το 5 με 22% του ολικού και παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές προς την έξοδο του λιμανιού και μειωμένες στο λιμένα Αλών και τον

Κεντρικό λιμένα, ενώ τα ποσοστά του παρουσιάζονται μειωμένα προς την Ηπειρώνια Ακτή και πιο αυξημένα στον Προλιμένα (βοηθητικό λιμάνι, δεξαμενές Βασιλειάδη) και στο ανατολικό τμήμα του λιμένα Αλών και του Κεντρικού λιμένα (ιδίως στο βορειοανατολικό τμήμα). Οι απόλυτες τιμές του μετάλλου που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι γενικά μεγαλύτερες στον Προλιμένα και τα ποσοστά του κυμαίνονται μεταξύ 41 και 81% του ολικού μετάλλου, με τα μικρότερα στο βοηθητικό λιμάνι και τα μεγαλύτερα στον Κεντρικό λιμένα και την ένωση λιμένα Αλών-Κεντρικού λιμένα.

10.5.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει πολύ μεγάλη διακύμανση, από μηδενική τιμή σε τρία δείγματα (σε κανένα από αυτά δεν έγινε ανάλυση γεωχημικών κλασμάτων), 3,4 και 56 ppm σε δύο άλλα και πάνω από 200 ppm για τα υπόλοιπα δείγματα. Στις δεξαμενές Βασιλειάδη μετρήθηκε πάνω από 600 ppm. Οι τιμές είναι μικρότερες στο λιμένα Αλών και το βόρειο τμήμα του Κεντρικού λιμένα και ιδιαίτερα αυξημένες στον Προλιμένα (Σχήμα 10.13). Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τον οργανικό άνθρακα, το αργίλιο και το νικέλιο και θετική συσχέτιση με τα υπόλοιπα μέταλλα και τα ανθρακικά. Παρουσιάζει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99% με τον ψευδάργυρο και το χαλκό, 99% με τον κασσίτερο και τα ανθρακικά και σημαντική συσχέτιση με το σίδηρο και το κάδμιο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κλάσμα (Σχήμα 10.15) δεν ξεπερνά ποθενά το 0,8% και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στη Ηπειρώνια Ακτή και το βορειοανατολικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα και τα σχετικά μεγαλύτερα ποσοστά του στα ίδια σημεία και το νότιο λιμενοβραχίονα. Το κλάσμα του μολύβδου στα ανθρακικά (Σχήμα 10.17) αντιπροσωπεύει το 0-7,3% του ολικού και παρουσιάζει τα μεγαλύτερα ποσοστά στο βορειοδυτικό τμήμα του λιμένα Αλών και τα μικρότερα στο ανατολικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα και τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στα ίδια σημεία, την Ηπειρώνια Ακτή και την Ακτή Βασιλειάδη. Οι μεγαλύτερες απόλυτες τιμές του μολύβδου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία (Σχήμα 10.17) βρίσκονται στο κέντρο του Προλιμένα και οι μικρότερες στο λιμένα Αλών και τον Κεντρικό λιμένα, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά (που κυμαίνονται μεταξύ 13 και 49%) παρουσιάζονται προς την έξοδο του λιμανιού (νότιος λιμενοβραχίονας 39%, βοηθητικό λιμάνι 37%) και στον Κεντρικό λιμένα (2 τιμές πάνω από 40 %). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης (Σχήμα 10.17) παρουσιάζει σαφώς μικρότερες τιμές από το προηγούμενο κλάσμα. Παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές προς την έξοδο του λιμανιού και τις μικρότερες στο λιμένα Αλών και το βόρειο και ανατολικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα, ενώ τα ποσοστά κινούνται μεταξύ 4,3 και 20,5%, με τα μεγαλύτερα στον Κεντρικό λιμένα (βόρειο τμήμα) και το νότιο λιμενοβραχίονα και τα μικρότερα στο λιμένα Αλών και ανατολικά του ΟΛΠ. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα του μολύβδου αντιπροσωπεύει το 33-81% του ολικού και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στο νότιο τμήμα του Κεντρικού λιμένα και στην ένωση Κεντρικού λιμένα-Προλιμένα και τα μεγαλύτερα ποσοστά ανατολικά του ΟΛΠ και στο βορειοανατολικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα.

10.5.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζεται (Σχήμα 10.14) κάτω από 100 ppm στα δείγματα με μηδενικό μόλυβδο και 225-2400 ppm (έξω από το βοηθητικό λιμάνι) στα άλλα δείγματα. Παρουσιάζεται άνω των 1000 ppm στον Προλιμένα και κάτω από 1000 ppm στον Κεντρικό λιμένα και το λιμένα Αλών (μικρότερες τιμές). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα, τα ανθρακικά και τον οργανικό άνθρακα. Παρουσιάζει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99% με το μόλυβδο και το κάδμιο, 99,9% με το σίδηρο, το χρώμιο και το χαλκό, 99% με τον κασσίτερο και μεγάλη συσχέτιση (95%) με το μαγγάνιο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κλάσμα (Σχήμα 10.15) είναι 6,5-20% του ολικού μετάλλου και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στον Προλιμένα και τα σχετικά μεγαλύτερα ποσοστά του στο βορειοανατολικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα και το δυτικό τμήμα του λιμένα Αλών. Το κλάσμα του μετάλλου στα ανθρακικά (Σχήμα 10.17) αντιπροσωπεύει το 0,9-4,1% του ολικού και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές του στον Προλιμένα. Τα μεγαλύτερα ποσοστά του κλάσματος δεν είναι συγκεντρωμένα σε κάποια σημεία, ενώ τα μικρότερα παρουσιάζονται στο ΝΑ τμήμα του Κεντρικού λιμένα. Οι πιο μεγάλες απόλυτες τιμές του ψευδαργύρου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία (Σχήμα 10.17) βρίσκονται στο κέντρο του Προλιμένα και οι μικρότερες στο λιμένα Αλών και τον Κεντρικό λιμένα, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά (που κυμαίνονται μεταξύ 10 και 22%) παρουσιάζονται στο νότιο λιμενοβραχίονα, στο βόρειο τμήμα του Κεντρικού λιμένα και στο νότιο τμήμα του λιμένα Αλών. Το κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης του μετάλλου (Σχήμα 10.17) είναι φτωχότερο από το προηγούμενο και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές προς την έξοδο του λιμανιού, ενώ τα ποσοστά κινούνται μεταξύ 4,2 και 10,25%, με τα μεγαλύτερα στον Κεντρικό λιμένα (βόρειο και δυτικό τμήμα), το νότιο τμήμα του λιμένα Αλών και το νότιο λιμενοβραχίονα. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα του ψευδαργύρου αντιπροσωπεύει το 45-75% του ολικού και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στον Προλιμένα και τα μεγαλύτερα ποσοστά στην περιοχή του ΟΛΠ, στο βόρειο τμήμα του Κεντρικού λιμένα και στο βορειοανατολικό τμήμα του λιμένα Αλών.

10.5.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζεται (Σχήμα 10.14) κάτω από 9 ppm στα δείγματα με μηδενικό μόλυβδο και κυμαίνεται από 87 έως 867 ppm (δεξαμενές Βασιλειάδη) στα άλλα δείγματα. Παρουσιάζεται αυξημένος στον Προλιμένα και μειωμένος στο βόρειο τμήμα του λιμανιού (Κεντρικό λιμένα και λιμένα Αλών). Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με το νικέλιο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα, τα ανθρακικά και τον οργανικό άνθρακα. Παρουσιάζει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99% με το μόλυβδο και τον κασσίτερο, 99,9% με τον ψευδάργυρο και μεγάλη

συσχέτιση (95%) με το σίδηρο και το κάδμιο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κλάσμα (Σχήμα 10.15) είναι 12-33% του ολικού μετάλλου και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στον Προλιμένα (δεξαμενές Βασιλειάδη 129 ppm) και τα μεγαλύτερα ποσοστά του στο βορειοανατολικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα και το δυτικό τμήμα του λιμένα Αλών. Το κλάσμα του μετάλλου στα ανθρακικά (Σχήμα 10.16) είναι πολύ μικρότερο και αντιπροσωπεύει το 1-5,5% του ολικού και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές του και τα μεγαλύτερα ποσοστά του στον Προλιμένα (ακτή Βασιλειάδη). Οι μεγαλύτερες απόλυτες τιμές του χαλκού στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία (Σχήμα 10.16) βρίσκονται στον Προλιμένα (νότιος λιμενοβραχίονας, έξω από βοηθητικό λιμάνι) και οι μικρότερες στο λιμένα Αλών και τον Κεντρικό λιμένα, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά (που κυμαίνονται μεταξύ 0,4 και 4,1%) παρουσιάζονται στο βόρειο τμήμα του Κεντρικού λιμένα και στο νότιο τμήμα του λιμένα Αλών. Το κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης του μετάλλου (Σχήμα 10.16) είναι το πιο πλούσιο και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στη δεξαμενή Βασιλειάδη και τις μικρότερες στο βόρειο και ανατολικό τμήμα του λιμανιού, ενώ τα ποσοστά κινούνται μεταξύ 38 και 65%, με τα μεγαλύτερα στον κατά κανόνα στον Προλιμένα (νότιο λιμενοβραχίονα, Ακτή Βασιλειάδη) και τα μικρότερα στο λιμένα Αλών. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα του χαλκού αντιπροσωπεύει το 4-44% του ολικού και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στον Προλιμένα και τα μεγαλύτερα ποσοστά στην Ηετιώνεια Ακτή και στο βορειοανατολικό τμήμα του λιμένα Αλών.

10.5.9. Κάδμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Είναι μεταξύ 0 και 13 ppm (Σχήμα 10.14) με τα δείγματα στο λιμένα Αλών και στον Κεντρικό λιμένα να παρουσιάζουν μέγιστη περιεκτικότητα 5 ppm και τις μεγαλύτερες περιεκτικότητες στον Προλιμένα (νότιος λιμενοβραχίονας, έξω από είσοδο βοηθητικού λιμανιού). Το κάδμιο παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το νικέλιο και όλα τα μέταλλα, τα ανθρακικά και τον οργανικό άνθρακα. Παρουσιάζει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99% με το σίδηρο, το χρώμιο και τον ψευδάργυρο και μεγάλη συσχέτιση (95%) με το μαγγάνιο, το μόλυβδο, το χαλκό και τον κασσίτερο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κλάσμα είναι 0-12,5% του ολικού μετάλλου και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στο κέντρο του Προλιμένα και τις μικρότερες στο λιμένα Αλών και τον Κεντρικό λιμένα και τα μεγαλύτερα ποσοστά του στο δυτικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα. Το κλάσμα του μετάλλου στα ανθρακικά είναι επίσης μικρό και αντιπροσωπεύει το ίδιο ποσοστό του ολικού και παρουσιάζει παρόμοια κατανομή απολύτων τιμών με το προηγούμενο κλάσμα. Παρουσιάζει τα μεγαλύτερα ποσοστά του στον λιμένα Αλών (δυτικό τμήμα) και στο δυτικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα. Οι μεγαλύτερες απόλυτες τιμές του καδμίου στα οξειδία σιδήρου και μαγγανίου βρίσκονται στον Κεντρικό λιμένα (ανατολικό τμήμα) και στην Ακτή Βασιλειάδη και οι μικρότερες στο λιμένα Αλών, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά (που κυμαίνονται μεταξύ 0 και 10 %) παρουσιάζονται στο βόρειο

τμήμα του Κεντρικού λιμένα και στο νότιο τμήμα του λιμένα Αλών. Το κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης του μετάλλου είναι το πιο πλούσιο και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στο νότιο λιμενοβραχίονα και τις μικρότερες στο λιμένα Αλών και τον Κεντρικό λιμένα, ενώ τα ποσοστά κινούνται μεταξύ 0 και 20% με τα μεγαλύτερα στο Β τμήμα του Κεντρικού λιμένα, το νότιο λιμενοβραχίονα και την Ακτή Βασιλειάδη. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα του καδμίου αντιπροσωπεύει το 70-100% (βοηθητικό λιμάνι) του ολικού και παρουσιάζει τόσο τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές όσο και τα μεγαλύτερα ποσοστά στον Προλιμένα.

10.5.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Είναι μεταξύ 0 και 37 ppm (δεξαμενή Βασιλειάδη) με την πρώτη τιμή διπλάσια από τη δεύτερη (Ακτή Βασιλειάδη) και τα δείγματα από το λιμένα Αλών και τον Κεντρικό λιμένα να παρουσιάζουν μικρότερες ολικές περιεκτικότητες (Σχήμα 10.14). Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με το αργίλιο και το νικέλιο και θετική συσχέτιση με τα ανθρακικά και τον ολικό άνθρακα και τα υπόλοιπα μέταλλα. Παρουσιάζει πολύ σημαντική συσχέτιση 99,99% με το χαλκό, 99% με το μόλυβδο και τον ψευδάργυρο και μεγάλη συσχέτιση (95%) με το κάδμιο και τα ανθρακικά.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο κλάσμα είναι 0-9,2% του ολικού μετάλλου και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στο βόρειο τμήμα του Κεντρικού λιμένα και τα μεγαλύτερα ποσοστά του στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα και το βόρειο τμήμα του λιμένα Αλών. Το κλάσμα του μετάλλου που μετρήθηκε στα ανθρακικά είναι επίσης μικρό (μεταξύ 0 και 9,5%) και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στον Κεντρικό λιμένα (βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα) και τα μεγαλύτερα ποσοστά στα ίδια σημεία και στο βόρειο τμήμα του λιμένα Αλών. Οι μεγαλύτερες απόλυτες τιμές του κασσιτέρου στα οξειδία σιδήρου και μαγγανίου βρίσκονται και πάλι στον Κεντρικό λιμένα (βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα) και στο βόρειο τμήμα του λιμένα Αλών ενώ τα ποσοστά κυμαίνονται μεταξύ 0 και 14,3% του ολικού και τα μεγαλύτερα παρουσιάζονται στο βορειοανατολικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα και στο βόρειο τμήμα του λιμένα Αλών. Το κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης του κασσιτέρου παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στο βόρειο τμήμα του λιμένα Αλών και τις μικρότερες στο λιμένα Αλών και στο βορειοανατολικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα, ενώ τα ποσοστά κινούνται μεταξύ 0 και 21,5% με τα μεγαλύτερα στο βορειοανατολικό τμήμα του Κεντρικού λιμένα και το βόρειο τμήμα του λιμένα Αλών. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα του κασσιτέρου αντιπροσωπεύει το 50,8-95,8% του ολικού μετάλλου και παρουσιάζει τόσο τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στις δεξαμενές Βασιλειάδη και τα μεγαλύτερα ποσοστά στον Προλιμένα (δεξαμενή Βασιλειάδη).

10.5.11. Ανθρακικά

Κυμαίνονται από 2,2 (λιμένας Αλών) έως 74% (ανατολικά του ΟΛΠ και βοηθητικό λιμάνι). Οι τρεις τιμές κάτω

του 10% αποτελούν μάλλον εξαίρεση και βρίσκονται στα σημεία 8/16, 8/17 και 8/19 (νότια περιοχή λιμένα Αλών και βορειοδυτική περιοχή κεντρικού λιμένα). Στα περισσότερα σημεία η τιμή τους είναι 40-50% (Σχήμα 10.14). Παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση με τον οργανικό άνθρακα, το αργίλιο (95%), το μαγγάνιο, το νικέλιο (99%) και το χρώμιο και θετική συσχέτιση με τα υπόλοιπα μέταλλα. Πολύ σημαντική είναι οι συσχετίσεις τους με το μόλυβδο (99%) και σημαντικές (95 %) οι συσχετίσεις τους το χαλκό και τον κασσίτερο.

10.5.12. Οργανικός άνθρακας

Ο οργανικός άνθρακας μετρήθηκε σε 7 δείγματα ιζήματος. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 1,66 και 2,83% και είναι αυξημένες στην ανατολική πλευρά του λιμένα Αλών και του Κεντρικού λιμένα (Σχήμα 10.14). Η ελάχιστη τιμή μετρήθηκε στο βοθητικό λιμάνι. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το σίδηρο και το μόλυβδο και θετική με τα υπόλοιπα μέταλλα (κάδμιο 99%, αργίλιο 95%).

10.5.13. Σχόλια και συμπεράσματα

Όπως αναφέρθηκε κατά την εξέταση της γεωλογίας της περιοχής, η επιφάνεια και τα ανώτερα στρώματα της χερσονήσου της Πειραιϊκής, η οποία αποτελεί το φυσικό χώρισμα του λιμανιού του Πειραιά από το Μικρολίμανο και τη μαρίνα Ζέας, και όλης περιοχής γύρω από το λιμάνι του Πειραιά, αποτελείται εξ ολοκλήρου από μαργαϊκό ασβεστόλιθο, ο οποίος και αποτελεί κατά πάσα πιθανότητα και το σκληρό υπόστρωμα του θαλάσσιου πυθμένα της περιοχής. Οι συσχετίσεις όμως των μετάλλων μεταξύ τους είναι κατά κανόνα πολύ μικρότερες από τα μικρότερα λιμάνια της μαρίνας Ζέας και του Μικρολίμανου, αν και με βάση τη γεωλογία της περιοχής (Παπαγεωργάκης 1969, Γαϊτανάκης 1976-77, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β) η υποθετική έλλειψη επιπλέον ανθρώπινης ρύπανσης θα επέβαλε πανομοιότυπες συγκεντρώσεις και συσχετίσεις μετάλλων στο λιμάνι του Πειραιά. Οι διαφοροποιήσεις θα μπορούσαν βέβαια να προέλθουν από μία σειρά παραγόντων. Αρχικά λόγος διαφοροποίησης πιθανόν να είναι η εμφάνιση στην περιοχή των οφιολίθων και των σιδηρονικελούχων συγκεντρώσεων που σχετίζονται με αυτούς. Όπως εξηγήθηκε, τα πετρώματα αυτά δεν έχουν σταθερή σύσταση και μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία τους διαφοροποίηση στις τιμές των μετάλλων. Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι δεν έχουν μεν σταθερή σύσταση (Whitten with Brooks 1978), αλλά η απόσταση ανάμεσα στα λιμάνια είναι μικρή και η κλίση του πετρώματος στην περιοχή (10-25°) δεν νομίζω πως είναι δυνατό να δικαιολογήσουν τέτοιες διαφορές. Η διαφορά σύστασης των φερτών από τον Κηφισό και όποια τυχόν ρέματα έχουν κατά καιρούς δράσει στην περιοχή είναι ένας άλλος παράγοντας που πιθανόν μπορεί να επιφέρει κάποια τροποποίηση στη σύσταση των ιζημάτων της περιοχής. Όλοι αυτοί οι παράγοντες όμως δεν είναι δυνατόν να δώσουν τις διαφορές και τις υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων που παρατηρούνται. Οι περιεκτικότητες των μετάλλων που μετρήθηκαν στα δείγματα από τις μαρίνες του Σαρωνικού είναι κοντά σε αυτές που μετρήθηκαν σε δείγματα του ανοικτού Σαρωνικού κόλπου (Voutsinou – Taliadourι 1981, Αγγελιδής και Oregioni 1982, Ζαφειρόπουλος κ.α. 1984,

Καλογερόπουλος κ.α. 1989, Scoullou and Constantianos 1996, Κατσίκη κ.α. 1996). Για το λόγο αυτό, οι χαμηλότερες τιμές που μετρήθηκαν στις μαρίνες χρησιμοποιούνται σαν τιμές υποβάθρου.

Με βάση τα αποτελέσματα και τις επί τόπου παρατηρήσεις, σαν κύριες πηγές ρύπανσης μέσα στο λιμάνι πρέπει να χαρακτηριστούν κατ' αρχήν δύο σημεία: οι δεξαμενές Βασιλειάδη (θέση για δύο πλοία) που είναι στο ΒΔ σημείο του Προλιμένα και ο νότιος λιμενοβραχίονας του λιμανιού, στην εσωτερική πλευρά του οποίου γίνονται ελαφρές ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες. Το ίδιο το λιμάνι με την αναπόφευκτη φθορά των υλικών κατασκευής και διαμόρφωσής του και με την ίδια τη λειτουργία του επιβαρύνει το περιβάλλον. Τα πλοία που είναι σε φάση μακροχρόνιας παραμονής κατά το χειμώνα ή σε πιο μόνιμη βάση επιβαρύνουν με το σκούριασμά τους το λιμάνι και η κυκλοφορία στους γύρω δρόμους είναι συνεχής πηγή ρύπανσης, ιδιαίτερα σε μόλυβδο. Όλα τα πλοία είναι πηγή κασιτέρου και άλλων μετάλλων από τα υφαλοχρώματα. Οι βιοτεχνίες που υπάρχουν στην περιοχή, κυρίως στην περιοχή της Δραπετσώνας και του σιδηροδρομικού σταθμού του ΟΣΕ και ο αγωγός της ΕΥΔΑΠ που εκβάλλει στον Κεντρικό λιμένα στη συμβολή της Ακτής Ποσειδώνος με την οδό Γούναρη είναι πηγές μετάλλων εν λειτουργία, αν και με βάση τα αποτελέσματα όχι οι πρώτες σε σπουδαιότητα, μολονότι τα νερά της βροχής, ιδιαίτερα μετά από καταιγίδα, έχει παρατηρηθεί ότι αυξάνουν το ρυπαντικό φορτίο ενός λιγότερο ρυπασμένου λιμανιού (Pilotto et al 1998, Pilotto et al 1999).

Στο νοτιοδυτικό τμήμα του εμπορικού τμήματος του λιμανιού υπάρχει το (τόρα εκτός λειτουργίας) εργοστάσιο λιπασμάτων. Όπως προκύπτει στη συνέχεια, κατά την εξέταση του εμπορικού και ναυπηγοεπισκευαστικού τμήματος του λιμανιού, το εργοστάσιο αυτό αποτελεί πηγή ρύπανσης για την περιοχή. Οι μετρήσεις στα δείγματα που προέρχονται από το επιβατικό τμήμα του λιμανιού δεν συνηγορούν στην άποψη ότι υπάρχει επίδραση στις συγκεντρώσεις των μετάλλων στο εσωτερικό του λιμανιού, πέρα από τον Προλιμένα. Στην περίπτωση του Προλιμένα και μόνο, ίσως μπορούμε να θεωρήσουμε σαν πηγή ρύπανσης για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού το εργοστάσιο λιπασμάτων. Η άποψη αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι τα βάθη του λιμανιού μειώνονται καθώς προχωρεί κανείς από τον Προλιμένα προς το εσωτερικό τμήμα του λιμανιού (Κεντρικό λιμένα και λιμένα Αλών), καθιστώντας δύσκολη την μετακίνηση ιζήματος κατά την κατεύθυνση αυτή.

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προέκυψαν από τον προσδιορισμό των μετάλλων, παρατηρείται μια αυξημένη παρουσία ολικών περιεκτικότητας σε όλα τα μέταλλα στον Προλιμένα. Πρέπει να τονιστεί η διαφορά στις συσχετίσεις μεταξύ του λιμανιού και των δύο μικρότερων λιμανιών στην ανατολική πλευρά της Πειραιϊκής χερσονήσου: Στο πρώτο οι μεγαλύτερες συσχετίσεις είναι εκείνες του σιδήρου με τα μέταλλα που πιθανόν δηλώνουν ανθρωπογενή παρέμβαση (μόλυβδος, ψευδάργυρος), δηλώνοντας πιθανή κοινή προέλευση και μικρότερες οι συσχετίσεις του χερσογενούς αργιλίου με τα υπόλοιπα μέταλλα. Στα δεύτερα συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Λόγω της κοινής γεωλογικής εικόνας της περιοχής, οι συσχετίσεις του Μικρολίμανου και της μαρίνας Ζέας θα αναμενόταν να παρουσιάζονται και μέσα στο λιμάνι του Πειραιά. Επίσης στο λιμάνι του Πειραιά είναι μεγάλη η συσχέτιση ψευδαργύρου - μόλυβδου, η οποία αποτελεί ένδειξη ρύπανσης από κοινή πηγή (Katz and

Kaplan 1981, Scoullios 1986, Guerzoni 1990). Η μεγάλη συσχέτιση του χαλκού με τον κασσίτερο θα μπορούσε να αποδοθεί στα υφαλοχρώματα των πλοίων. Ο ψευδάργυρος, ο μόλυβδος, το χρώμιο και το κάδμιο έχουν μεγάλη συσχέτιση με το σίδηρο, ένδειξη πιθανής κοινής πηγής ρύπανσης (ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες). Απλή παρατήρηση αρκεί για τη διαπίστωση ότι κατά τον κατάπλου και απόπλου των πλοίων, ιδιαίτερα στα αβαθή σημεία του λιμανιού, τμήμα του ιζήματος του πυθμένα αναστηκώνεται, αναδεύεται και επανακαθαίζεται. Αυτό ομογενοποιεί σε κάποιο βαθμό το ίζημα του πυθμένα.

Η επιβάρυνση του λιμένα Αλών είναι μεγαλύτερη κοντά στις προβλήτες, ενδεικτική της πηγής της (απορροή και σταθμεύοντα πλοία), ενώ του Κεντρικού λιμένα στο Α τμήμα, όπου χύνεται ο αγωγός της ΕΥΔΑΠ, σταθμεύουν κρουαζιερόπλοια (ΟΛΠ) και όπου λόγω της μορφής του κρηπιδώματος τα νερά είναι πιο απομονωμένα από το υπόλοιπο λιμάνι.

Τόπος συγκέντρωσης ρύπων λόγω της χρήσης του σαν χώρο μακροχρόνιας παραμονής πλοίων είναι ο λασπώδης τομέας στο Ν τμήμα του λιμανιού, μεταξύ Ν λιμενοβραχίονα και βοηθητικού λιμανιού. Ο βαθμός οξειδωσης του σιδήρου δεν είναι γνωστός, αλλά στο λιμάνι του Χονγκ Κονγκ, που αποτελεί το μεγαλύτερο κέντρο διακίνησης containers, βρέθηκε ότι ο σίδηρος(III) αποτελεί περίπου το 70 % του συνολικού σιδήρου με υψηλότερο ποσοστό σε παλιότερα ιζήματα και μικρότερο ποσοστό στα τμήματα του λιμανιού με το βαρύτερο ρυπαντικό φορτίο (Tanner et al 2000).

Τα ρεύματα που (πιθανόν) υπάρχουν μέσα στο λιμάνι δεν έχουν γίνει μέχρι σήμερα αντικείμενο καταγραφής και μελέτης. Το ΕΚΘΕ (Γεωργόπουλος, προσωπική επικοινωνία), η Υδρογραφική Υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού (Παπαευσταθίου, προσωπική επικοινωνία), το Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων του ΕΜΠ (Μαυράκος, προσωπική επικοινωνία) και ο Τομέας Λιμενικών Έργων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ (Γουλουμής, Ματζούρης, Τσουκαλά, προσωπική επικοινωνία), δεν διαθέτουν κάποιο στοιχείο. Στοιχεία για ρεύματα δεν διαθέτει ούτε και ο ΟΛΠ (Τσελέντης, προσωπική επικοινωνία). Η ύπαρξη ρευμάτων είναι πιθανό να επιδρά στην απόθεση των ιζημάτων, για το λόγο αυτό προτείνεται η εξέταση του ζητήματος, ώστε να υπάρξει πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την κατάσταση του λιμανιού από πλευράς περιβαλλοντικής κατάστασης. Κατά τη δειγματοληψία των ετών 1998 και 1999 (Απρίλιο, πρωινές ώρες) διαπιστώθηκε ύπαρξη σχετικά ισχυρού ρεύματος στο σημείο σύνδεσης του Προλιμένα με τον Κεντρικό λιμένα, με κατεύθυνση προς την έξοδο του λιμένα.

Το βοηθητικό λιμάνι αποτελεί μια ιδιαιτερότητα για το λιμάνι, παρουσιάζοντας παρόμοια χαρακτηριστικά με το βοηθητικό λιμάνι στο λιμάνι της Ραφήνας. Επειδή είναι αβαθές και κλειστό (απομονωμένο στην ουσία από το υπόλοιπο λιμάνι) παρουσιάζει συγκέντρωση ρύπων στο λασπώδη βυθό του. Στην περίπτωση αυτή, άξιο μνείας είναι το υψηλό ποσοστό του αργιλίου στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης. Αυτό μάλλον οφείλεται στην ιδιαίτερα χαμηλή ολική συγκέντρωση του μετάλλου, αφού η απόλυτη τιμή του αργιλίου στο κλάσμα σουλφιδίων -

οργανικής ύλης είναι το μόλις το 70% της μέγιστης απόλυτης τιμής που μετρήθηκε για το κλάσμα αυτό του αργιλίου σε ολόκληρο το λιμάνι. Ανάλογο φαινόμενο παρατηρήθηκε και στο δείγμα 9/24 στο εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού

Η βυθοκόρηση του λιμανιού [η τελευταία πριν από τη λήψη δειγμάτων έγινε το 1984, ενώ μετά τη λήψη των δειγμάτων έχουν πραγματοποιηθεί νέες βυθοκορήσεις κατά τα έτη 1999- 2002 (Τσελέντης, προσωπική επικοινωνία)] έχει συντελέσει στο να υπάρχουν εκτεταμένα τμήματα του λιμανιού όπου δεν είναι δυνατή η λήψη δείγματος. Με τον τρόπο αυτό είναι αναπόφευκτη η παρουσία κενών στα δείγματα από πλευράς χωρικής κατανομής. Σε αρκετές περιπτώσεις κατά τη λήψη δειγμάτων χρειάστηκαν περισσότερες από μία ρίψεις του δειματολήπτη για τη λήψη δείγματος επιφανειακού ιζήματος, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των μετάλλων. Τα δείγματα αυτά (τα 'απομονωμένα') δεν είναι βέβαιο ότι είναι αντιπροσωπευτικά του δείγματος που υπήρχε πριν τη διενέργεια βυθοκόρησης, αφού η περιοχή επίδρασής τους είναι μεγαλύτερη λόγω της έλλειψης γειτονικών δειγμάτων και το φαινόμενο κόκκου (Παναγόπουλος 1980) στις περιοχές αυτές είναι ίσως αναμενόμενο. Τα αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα με αυτά προηγούμενης μελέτης για ιζήματα μέσα στο λιμάνι (Κατσίκη κ.α. 1996). Υπάρχουν αποτελέσματα στη διάθεση του ΟΛΠ, τα οποία όμως δεν είναι προσβάσιμα (Τσελέντης, προσωπική επικοινωνία). Οι συγκεντρώσεις είναι σαφώς μεγαλύτερες από αυτές που παρατηρούνται σε άλλες Ελληνικές θάλασσες, ακόμη και από αυτές του κόλπου της Ελευσίνας (Sakellariadou et al 1999, Sakellariadou et al 2001).

Μεγάλα ποσοστά στο προσροφημένο κλάσμα παρουσιάζει ο ψευδάργυρος και το νικέλιο, αλλά ιδιαίτερα ο χαλκός, όπως έχει παρατηρηθεί και προηγουμένως (Sakellariadou et al 2002). Το ίδιο έχει παρατηρηθεί στον κόλπο της Ελευσίνας και στο λιμάνι της Χαλκίδας (Dassenakis et al. 1996). Οι υψηλές τιμές των ολικών περιεκτικότητων σε ψευδάργυρο και χαλκό έχουν σαν αποτέλεσμα να είναι αυξημένες και οι απόλυτες τιμές των δύο αυτών μετάλλων στο προσροφημένο γεωχημικό κλάσμα. Έτσι τα δύο αυτά μέταλλα είναι εύκολο να απελευθερωθούν στο περιβάλλον, καθιστώντας την περιοχή του λιμανιού πιθανή πηγή δευτερογενούς ρύπανσης. Η παρουσία υψηλών περιεκτικότητων στο προσροφημένο κλάσμα αποτελεί ένδειξη ανθρωπογενούς προέλευσης του ιζήματος. Ο σίδηρος, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο, το νικέλιο, το μαγγάνιο και ιδιαίτερα ο χαλκός παρουσιάζουν μεγάλα ποσοστά στο κλάσμα που είναι ενωμένο με σουλφίδια και οργανική ύλη. Αυξημένη συμμετοχή του χαλκού του ψευδαργύρου και του μολύβδου στο κλάσμα αυτό έχουν παρατηρηθεί και αλλού (Ferguson 1990, Buffraaf et al 1997). Η τελευταία παρατήρηση μπορεί, με βάση τα όσα ήδη έχουν παρατηρηθεί για τον κόλπο της Ελευσίνας (συνδυασμός επαναδιάλυσης μετάλλων με αυξημένη παρουσία τους στο κλάσμα σουλφιδίων – οργανικής ύλης), να οδηγήσει στη σκέψη ότι υπάρχει πιθανός κίνδυνος επαναδιάλυσης για κάποια μέταλλα (Scoullos 1981, Scoullos 1986, Φριλίγκος κ.α.1987), ιδιαίτερα αυτά που παρουσιάζουν πλούσιο κλάσμα προσροφημένου μετάλλου, με αποτέλεσμα να έχουμε δευτερογενή ρύπανση.

Εμπλουτισμός στα ίδια μέταλλα έχει μετρηθεί και σε άλλα λιμάνια της χώρας με σαφώς μικρότερο ρυπαντικό

φορτίο. Στο λιμάνι της Ρόδου το αποτέλεσμα της ανθρώπινης παρέμβασης φαίνεται στις αυξημένες, σε σχέση με αυτές της γύρω θαλάσσιας περιοχής, συγκεντρώσεις χαλκού (έως 100 ppm), μολύβδου (έως 230 ppm) και ψευδαργύρου (έως 245 ppm), ενώ παράλληλα τα τρία μέταλλα σχετίζονται μεταξύ τους (Angelidis and Aloupi 1995). Τα ίδια μέταλλα παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις σε τμήματα πυρήνων που έχουν ληφθεί από το λιμάνι της Μυτιλήνης (Αγγελίδης και Αλούπη 1997, Αλούπη 1999). Εδώ, οι συγκεντρώσεις ήταν μάλλον μικρότερες (Cu έως 80 ppm, Pb έως 125 ppm, Zn έως 245 ppm).

Αλλά, αυξημένες συγκεντρώσεις στα μέταλλα αυτά παρατηρούνται και σε άλλα μεγάλα λιμάνια της χώρας, τα οποία φυσικά παρουσιάζουν επίσης μικρότερο ρυπαντικό φορτίο από το λιμάνι του Πειραιά. Στον κόλπο της Θεσσαλονίκης, παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων κυρίως του μολύβδου, του χαλκού, του ψευδαργύρου και του καδμίου στην περιοχή του λιμανιού (Καμπέρη κ.α. 1997, Anagnostou et al 1998). Τα μέταλλα σχετίζονται μεταξύ τους και μάλιστα ο ψευδάργυρος φτάνει τα 470 ppm. Έντονη είναι η επίδραση των αστικών λυμάτων και των λιμενικών εγκαταστάσεων, καθώς και η συνεισφορά των ποταμών Γαλλικού και Αξιού (Αναγνώστου κ.α. 1997). Αυξημένες τιμές παρατηρούνται και για το νικέλιο και το χρώμιο. Η κατακόρυφη κατανομή των μετάλλων αυτών στους πυρήνες ιζημάτων είναι παρόμοια με αυτές των πυρήνων από την Ελευσίνα που μελετήθηκαν. Έτσι, παρόμοια κατανομή αναμένεται και για πυρήνες από το λιμάνι του Πειραιά. Στον Παγασητικό κόλπο παρατηρούνται κάποιες «μη εξηγήσιμες» αυξήσεις στη συγκέντρωση του σιδήρου και του ψευδαργύρου (945 ppm) (Chester and Voutsinou-Taliadouri 1981, Voutsinou-Taliadouri and Satsamadjis 1982), ενώ η περιοχή του λιμανιού του Βόλου είναι ελαφρά επιβαρημένη σε χαλκό (κάτω των 120 ppm), μόλυβδο (κάτω των 110 ppm) και ψευδάργυρο (κάτω των 220 ppm).

Στο στενό τμήμα θάλασσας που χωρίζει την Εύβοια από τη Στερεά Ελλάδα, όπου βρίσκεται η Χαλκίδα και υπάρχουν χημικά εργοστάσια, εργοστάσιο τσιμέντων, ναυπηγεία, λιμενικές εγκαταστάσεις και κέντρο επεξεργασίας λυμάτων, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η περιοχή σαν μια μικρογραφία του λιμανιού του Πειραιά. Στην περιοχή παρατηρήθηκε ρύπανση σε μέταλλα (Mn, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd) και οργανικό φορτίο. Οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν (Dassenakis et al 1996) είναι μεγαλύτερες από αυτές που αντιστοιχούν σε κόλπους με μικρό ρυπαντικό φορτίο (Πατραϊκό, Αμβρακικό, Μαλιακό, Παγασητικό, κόλπο Γέρας) αλλά μικρότερες από αυτές που έχουν μετρηθεί στο λιμάνι του Πειραιά, τον κόλπο της Ελευσίνας και το Θερμαϊκό κόλπο.

Αυξημένη ρύπανση (σε κάδμιο, χαλκό, ψευδάργυρο, χρώμιο και κυρίως μόλυβδο) έχει παρατηρηθεί και στην βιομηχανοποιημένη περιοχή της άλλης πλευράς του Αιγαίου, στη περιοχή του λιμανιού της Σμύρνης (Batki et al 1999). Ακόμα και σε χώρες με μικρότερη βιομηχανική δραστηριότητα, τα λιμάνια αποτελούν σημεία με αυξημένες συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα, όπως παρατηρήθηκε σε ακτές και λιμάνια της Κένυας στην ανατολική Αφρική (Muohi et al 2003).

Μετά από τα ανωτέρω μπορούμε να καταλήξουμε ότι η παρουσία αυξημένων τιμών σε μέταλλα είναι κοινό χαρακτηριστικό των λιμανιών και αποδίδεται σε ανθρωπογενή δραστηριότητα. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να υποθέσουμε ότι και στην περίπτωση του λιμανιού του Πειραιά οι αυξημένες τιμές των μετάλλων πρέπει να αποδοθούν στη δράση του ανθρώπου.

Τα ανθρακικά σε μεγάλο πιθανόν προέρχονται (με τη διαδικασία της αποσάθρωσης) από το πέτρωμα του πυθμένα (bedrock), το οποίο κατά πάσα πιθανότητα είναι μαργαϊκός ασβεστόλιθος (Παπαγεωργάκης 1969, Γαϊτανάκης 1976-77, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β). Η περιεκτικότητα σε ανθρακικά είναι γενικά άνω του 40 %, με ακραίες τιμές σε ήρεμα νερά (βοηθητικό λιμάνι) άνω του 70 %, και αυτό δηλώνει (με βάση και τις παρατηρήσεις) παρουσία οργανισμών που με τα ανθρακικά κελύφη τους εμπλουτίζουν περαιτέρω τα ιζήματα του πυθμένα του λιμανιού σε ανθρακικά.

Ο οργανικός άνθρακας παρουσιάζει αυξημένες τιμές για μια κανονική σύσταση ιζημάτων, προσδίδει το μαύρο χρώμα στα ιζήματα και οδηγεί σε παντελή έλλειψη οξυγόνου στον πυθμένα, καθιστώντας το υλικό αυτό οργανικό ρύπο, όπως έχει διαπιστωθεί και σε προηγούμενη έρευνα στο χώρο του λιμανιού (Κατσίκη κ.α. 1996).

10.6. Αναλυτικά αποτελέσματα: Το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό λιμάνι

Για τη μελέτη της περιοχής το έτος 1999 έγινε δειγματοληψία δέκα επιφανειακών δειγμάτων ιζήματος με δειγματολήπτες τύπου Van Veen. Η περιοχή που εξετάζεται φαίνεται στο Σχήμα 10.12. Τα στίγματα (με GPS) και λοιπά στοιχεία των δειγμάτων δίνονται στο παράρτημα. Τρία δείγματα παρουσίασαν πολύ υψηλές περιεκτικότητες σε σίδηρο. Για καλύτερη μελέτη εξαιρείται ένα ή περισσότερα από αυτά ή γίνεται χωριστή αναφορά στα 7 υπόλοιπα δείγματα, όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Οι συσχετίσεις στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται σε 10 δείγματα (ανθρακικά 9 δείγματα, οργανικός άνθρακας 6 δείγματα). Τα σημεία δειγματοληψίας φαίνονται στο Σχήμα 10.18.

Οι τιμές που μετρήθηκαν στα δείγματα δίνονται στον Πίνακα 10.13 και τα ποσοστά των επί μέρους γεωχημικών κλασμάτων στον Πίνακα 10.14. Οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των μετάλλων δίνονται στον Πίνακα 10.15 και τα $t_{πειρ.}$ στον Πίνακα 10.16. Οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των μετάλλων για ολόκληρο το λιμάνι του Πειραιά δίνονται στον Πίνακα 10.17 και τα $t_{πειρ.}$ στον Πίνακα 10.18. Στη συνέχεια δίνονται στους Πίνακες 10.19 έως 10.22 οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των μετάλλων και τα $t_{πειρ.}$ για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού και για ολόκληρο το λιμάνι, μετά την εξαίρεση των δειγμάτων 9/13, 9/17 και 9/23. Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των μετάλλων και του οργανικού άνθρακα και τα $t_{πειρ.}$ δίνονται στους Πίνακες 8.23 και 8.24. Ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης και του $t_{πειρ.}$

καθώς και τιμές του t δίνονται στον Πίνακα 6.5. Επιλεγμένοι ισοχημικοί χάρτες δίνονται στα Σχήματα 10.19 έως 10.25, ενώ το σύνολό τους δίνεται στο παράρτημα.

10.6.1. Σίδηρος

- Ολική περιεκτικότητα

Η περιεκτικότητα σε σίδηρο (Σχήμα 10.19) στα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/21 είναι 200.000, 175.000 και 227.000 ppm αντίστοιχα, ενώ οι περιεκτικότητες στα υπόλοιπα δείγματα κυμαίνονται μεταξύ 7.500 (9/24) και 20.250 ppm (Νότια της Κυνόσουρας). Οι υπόλοιπες περιεκτικότητες (εκτός του δείγματος 9/18 – 17.400 ppm) κυμαίνονται μεταξύ 10.000 και 13.000 ppm. Ο σίδηρος παρουσιάζει πολύ σημαντική αρνητική συσχέτιση (99,9%) με τα ανθρακικά και θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα και τον οργανικό άνθρακα (0,79). Παρουσιάζει πολύ σημαντική θετική συσχέτιση 99% με το μαγγάνιο και το χαλκό και σημαντική συσχέτιση (95%) με το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το κάδμιο και τον κασσίτερο.

- Γεωχημικά κλάσματα (Σχήμα 10.22)

Λόγω των υπερβολικά μεγάλων ολικών περιεκτικοτήτων στα προαναφερθέντα σημεία (9/13, 9/17, 9/23) σε σίδηρο, οι απόλυτες τιμές στα σημεία αυτά για όλα τα επί μέρους κλάσματα θα ήταν αναμενόμενο να είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από αυτές των άλλων σημείων δειγματοληψίας. Αυτό όμως ισχύει μόνο εν μέρει. Το προσροφημένο κλάσμα παρουσιάζεται στα 540 ppm στο δείγμα 9/23 και κάτω από τα 100 ppm στα άλλα δείγματα, ενώ τα ποσοστά δεν ξεπερνούν το 1% του ολικού. Το κλάσμα στα ανθρακικά παρουσιάζεται στο ίδιο σημείο στα 500 ppm, ενώ στα άλλα σημεία δεν ξεπερνά τα 50 ppm, ενώ τα ποσοστά δεν ξεπερνούν το 0,5%. Το υπό μορφή οξειδίων κλάσμα έχει απόλυτη τιμή 52.000 ppm στο 9/23 (1400-1500 ppm στα υπόλοιπα σημεία), ενώ τα ποσοστά είναι 41 % στο 9/24, περίπου 1,5% στα 9/13 και 9/17 και 13 -23% (9/23) στα υπόλοιπα δείγματα. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζεται στα 45.000 ppm στο 9/23, στα 200 ppm στο 9/17 και στα 1.400-5.200 ppm στα υπόλοιπα δείγματα. Τα ποσοστά επί του ολικού μετάλλου είναι κάτω του 2,5% στα 9/13 και 9/17 και μεταξύ 14 (9/19) και 40% (9/21) στα υπόλοιπα δείγματα. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα αντιπροσωπεύει άνω του 96 % στα δείγματα 9/13 και 9/17 και από 31% (9/24) μέχρι 73% (9/19) του ολικού μετάλλου στα υπόλοιπα δείγματα.

10.6.2. Αργίλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το αργίλιο (Σχήμα 10.19) παρουσιάζει την ελάχιστη περιεκτικότητα (3.100 ppm) στο δείγμα 9/24, τη μέγιστη (31.400 ppm) στο δείγμα 9/23 οι άλλες τιμές του είναι μεταξύ 11.500 και 25.200 ppm. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά (95%), το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο και το κάδμιο και θετική με τα άλλα μέταλλα (χρómιο 0,66, νικέλιο 0,63) και τον οργανικό άνθρακα (0,62).

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο αργίλιο και το κλάσμα στα ανθρακικά είναι πρακτικά μηδενικά. Το κλάσμα του μετάλλου στα

σιδηρομαγνηιούχα οξειδία καταλαμβάνει το 0,1-4,7% του ολικού μετάλλου, με εξαίρεση το δείγμα 9/24 (16%), ενώ το δείγμα 9/23 έχει απόλυτη τιμή 1.500 ppm περίπου. Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης αντιπροσωπεύει το 0,4-6% του ολικού μετάλλου, με εξαίρεση πάλι το δείγμα 9/24 (16,5%), ενώ το δείγμα 9/23 έχει και πάλι απόλυτη τιμή 1.500 ppm περίπου. Το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα είναι το 90-98,5% του ολικού μετάλλου, με εξαίρεση το δείγμα 9/24 (67,5%).

10.6.3. Μαγγάνιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το μαγγάνιο (Σχήμα 10.19) παρουσιάζεται πολύ αυξημένο στα δείγματα με πολύ υψηλό σίδηρο (9/13 770, 9/17 660 και 9/23 2.600 ppm) και στα υπόλοιπα κινείται μεταξύ 135 και 295 ppm. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά (99%) και θετική με τον οργανικό άνθρακα (0,60) και τα άλλα μέταλλα. Πολύ σημαντική συσχέτιση (99,99%) παρουσιάζει με το χρώμιο και τον κασσίτερο, 99,9% με το νικέλιο και 99% με το σίδηρο.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μαγγάνιο με μεγαλύτερη απόλυτη τιμή στο 9/23 (12,5 ppm) αντιπροσωπεύει το 0,4 με 2,9 του ολικού μετάλλου, ενώ το μαγγάνιο στα ανθρακικά το 1,2 με 14,8%. Το υπό μορφή οξειδίου μέταλλο παρουσιάζει γενικά τιμές μέχρι 104 ppm (εξαίρεση το δείγμα 9/23 με τιμή 1045 ppm) και ποσοστά επί του ολικού μεταξύ 8,9 (9/17) και 55,6% (9/24). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τιμές γενικά μεταξύ 40 και 210 ppm (9/13) με εξαίρεση το 9/23 (860 ppm) και ποσοστά επί του ολικού μεταξύ 17,8 και 32,8% (9/23). Το κλάσμα του μετάλλου το εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αντιπροσωπεύει το 4,5 (9/21) με 70% (9/17) του ολικού μετάλλου.

10.6.4. Νικέλιο

- Ολική περιεκτικότητα

Είναι 690 ppm στο δείγμα 9/23, 295 ppm στο δείγμα 9/21 και μεταξύ 39 και 115 ppm στα υπόλοιπα δείγματα, σχετικά αυξημένο στο στενό μεταξύ Σαλαμίνας (Κυνόσουρας) και Αττικής (Σχήμα 10.19). Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο και το κάδμιο και θετική με τα υπόλοιπα μέταλλα (μαγγάνιο, χρώμιο και κασσίτερος 99,99%) και τον οργανικό άνθρακα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο νικέλιο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απόλυτη τιμή στο 9/23 (11,5 ppm) και αντιπροσωπεύει το 0,8 με 5,1% του ολικού, ενώ το νικέλιο στα ανθρακικά αντιπροσωπεύει το 1,4 (9/23) με 10% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνηιούχα οξειδία παρουσιάζει τιμές μεταξύ 10 και 26 ppm (9/23 250 ppm) και ποσοστά επί του ολικού μεταξύ 8,7 (9/21) και 36,2% (9/23). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τιμές μεταξύ 10 και 30 ppm με εξαίρεση και πάλι το 9/23 (280 ppm) και ποσοστά επί του ολικού μεταξύ 10,7 (9/25) και 40,7% (9/23). Το κλάσμα του νικελίου το δεσμευμένο στο

αργιλοπυριτικό πλέγμα αντιπροσωπεύει το 20 (9/23) με 77,5% (9/21) του ολικού μετάλλου.

10.6.5. Χρώμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Το χρώμιο είναι 350 ppm στο δείγμα 9/18, 390 ppm στο 9/25 και 'εκτοξεύεται' στα 7.100 ppm στο δείγμα 9/23. Στα άλλα δείγματα κυμαίνεται μεταξύ 140 και 200 ppm (Σχήμα 10.20). Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά (95%), τον ψευδάργυρο, το μόλυβδο και το κάδμιο και θετική συσχέτιση με τα άλλα μέταλλα (μαγγάνιο, νικέλιο και κασσίτερος 99,99%, αργίλιο 95%) και τον οργανικό άνθρακα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Το προσροφημένο μέταλλο έχει τη μεγαλύτερη απόλυτη τιμή στο δείγμα 9/23 (14,8 ppm) και αντιπροσωπεύει το 0,2 (9/23) με 2,7% (9/17) του ολικού μετάλλου, ενώ το κλάσμα στα ανθρακικά το 0,2 (9/23, 13 ppm) με 4,9% του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία παρουσιάζει γενικά τιμές 22 με 85 ppm (εξαιρούνται τα δείγματα 9/18 με 215 ppm και 9/23 με 930 ppm) και ποσοστά επί του ολικού μεταξύ 13 (9/23) και 48% (9/18). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τιμές γενικά μεταξύ 25 και 94 ppm με εξαίρεση και πάλι το 9/23 (1.100 ppm) και ποσοστά επί του ολικού μεταξύ 12,3 (9/19) και 37,4% (9/21). Το κλάσμα του μετάλλου το εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αντιπροσωπεύει το 28 (9/18) με 71% (9/23) του ολικού μετάλλου.

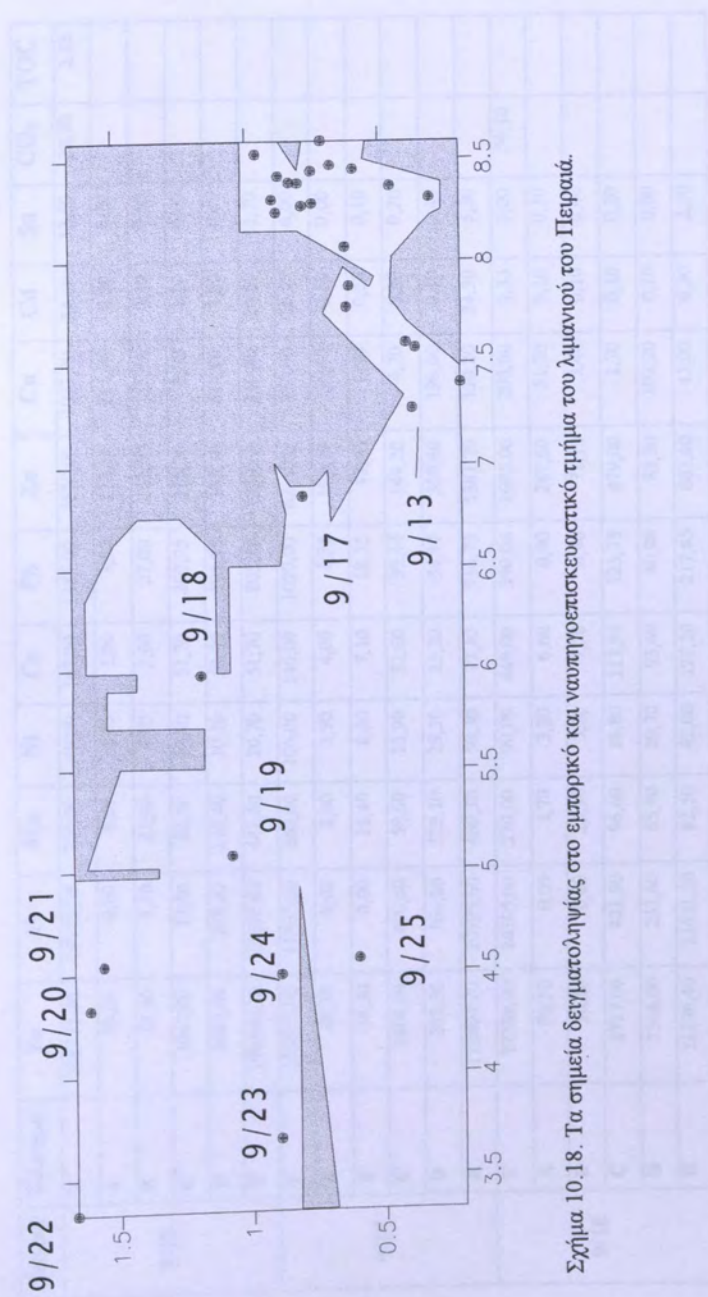
10.6.6. Μόλυβδος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο μόλυβδος (Σχήμα 10.20) παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στα δείγματα 9/13 και 9/17 (1.300 και 1.100 ppm αντίστοιχα) και στα άλλα δείγματα κυμαίνεται μεταξύ 120 (9/24) και 450 ppm. Ο μόλυβδος παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά (95%), το αργίλιο, το νικέλιο και το χρώμιο και θετική με τα υπόλοιπα μέταλλα (με ψευδάργυρος και κάδμιο 99,99%, χαλκό 99%, σίδηρο 95%) και τον οργανικό άνθρακα (0,68).

- Γεωχημικά κλάσματα (Σχήμα 10.23)

Το προσροφημένο μέταλλο έχει τη μεγαλύτερη απόλυτη τιμή στο 9/13 (3,9 ppm) και αντιπροσωπεύει το 0 με 0,5% (9/25) του ολικού μετάλλου, ενώ το κλάσμα στα ανθρακικά αντιπροσωπεύει το 1,4 με 6,2% (9/23-28 ppm) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία παρουσιάζει τιμές μεταξύ 31 (9/19) και 361 ppm (9/13) και ποσοστά επί του ολικού μεταξύ 9 (9/17) και 49% (9/24). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τιμές μεταξύ 0 (9/19) και 192 ppm (9/13) και ποσοστά επί του ολικού μεταξύ 0 και 42% (9/22). Το κλάσμα του μολύβδου το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αντιπροσωπεύει το 25 (9/20) με 85% (9/17) του ολικού μετάλλου.



Σχήμα 10.18. Τα σημεία δειγματοληψίας στο εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά.

Πίνακας 10.13 (1/4). Οι τιμές των δειγμάτων του εμπορικού και ναυπηγοεπισκευαστικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
9/13	T	198375,00	14128,00	766,00	49,00	167,00	1287,00	4650,00	1023,00	24,60	12,50	28,50	2,15
	A	50,60	0,00	8,60	2,50	3,00	3,90	173,10	184,70	0,90	0,20		
	B	18,30	1,10	21,90	4,90	2,60	27,00	42,50	5,50	0,10	0,00		
	C	3067,00	13,50	82,50	10,80	51,70	260,75	218,70	8,00	1,30	0,00		
	D	4849,00	218,40	210,40	10,10	58,00	191,75	365,10	514,90	1,80	0,60		
9/17	R	190390,10	13895,00	442,60	20,70	51,70	803,60	3850,60	310,80	20,50	11,70		
	T	175575,00	11563,00	660,00	106,00	146,00	1090,00	6230,00	375,00	26,25	6,00		
	A	68,70	0,00	2,60	3,90	4,00	1,33	104,10	36,60	0,50	0,00		
	B	34,30	0,00	15,40	8,60	7,10	18,33	49,40	6,90	0,50	0,10		
	C	2464,00	400,60	58,60	13,90	32,60	99,44	144,20	4,70	0,90	0,20		
9/18	D	203,30	166,80	123,10	29,30	25,20	54,17	550,60	196,60	0,10	0,40		
	R	172804,70	10995,60	460,30	50,30	77,10	916,73	5381,70	130,20	24,30	5,30		
	T	17388,00	24305,00	270,00	90,00	449,00	390,00	1605,00	205,00	1,33	3,00	54,10	
	A	70,50	0,00	1,70	3,30	6,60	0,00	287,60	51,70	0,10	0,10		
	B	36,10	0,00	23,30	5,20	7,70	6,40	72,10	3,40	0,10	0,40		
9/18	C	2717,00	421,90	96,60	18,80	213,90	125,75	479,00	1,70	0,10	0,20		
	D	3368,00	231,60	65,90	20,70	93,60	40,00	83,30	103,20	0,10	0,00		
	R	11196,40	23651,50	82,50	42,00	127,20	217,85	683,00	45,00	0,90	2,30		

Πίνακας 10.13 (2/4). Οι τιμές των δειγμάτων του εμπορικού και ναυπηγοεπισκευαστικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
9/19	T	10725,00	16865,00	200,00	84,00	201,00	143,00	718,00	70,00	0,75	1,50	71,90	1,03
	A	0,00	0,00	8,50	2,00	3,30	0,00	22,70	13,80	0,10	0,00		
	B	0,00	0,00	27,00	6,00	4,00	2,00	6,20	0,00	0,00	0,10		
	C	1393,00	353,00	100,40	17,90	31,70	30,75	52,80	0,00	0,10	0,10		
	D	1451,00	1013,00	51,70	15,80	24,70	0,00	17,30	34,60	0,10	0,40		
9/20	R	7881,00	15499,00	12,40	42,30	137,30	110,25	619,00	21,60	0,50	0,90		
	T	11600,00	12283,00	200,00	75,00	140,00	367,00	1405,00	160,00	0,75	1,50	70,20	0,75
	A	27,20	0,00	8,00	3,80	1,40	1,30	88,00	23,30	0,10	0,00		
	B	0,00	0,00	20,30	7,00	0,90	3,50	14,20	2,10	0,00	0,10		
	C	1752,00	258,00	95,20	15,50	34,90	155,00	161,50	0,00	0,10	0,10		
9/21	D	3666,00	914,00	50,90	14,70	41,50	117,00	109,20	107,40	0,10	0,50		
	R	6154,80	11111,00	25,60	34,00	61,30	90,20	1032,10	27,20	0,50	0,80		
	T	13025,00	14300,00	190,00	295,00	138,00	357,00	1225,00	250,00	0,75	8,80	67,43	
	A	41,90	0,00	8,50	2,50	1,70	0,00	125,20	40,90	0,10	0,00		
	B	0,00	0,00	28,20	9,30	1,50	3,10	36,10	4,70	0,10	0,10		
9/21	C	1860,00	52,90	89,30	25,60	30,20	62,97	235,90	4,80	0,00	0,30		
	D	5179,00	52,50	55,40	29,00	51,60	33,75	103,50	168,40	0,20	0,40		
	R	5944,10	14194,60	8,60	228,60	53,00	257,18	724,30	31,20	0,40	8,00		

Πίνακας 10.13 (3/4). Οι τιμές των δειγμάτων του εμπορικού και ναυπηγοεπισκευαστικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
9/22	T	12775,00	15275,00	188,00	59,00	165,00	288,00	1200,00	408,00	0,75	3,30	66,60	1,81
	A	71,20	0,00	1,80	3,20	2,20	1,00	147,80	68,40	0,10	0,00		
	B	34,40	0,00	18,10	2,10	1,70	7,20	46,60	6,70	0,00	0,10		
	C	2147,00	555,00	91,80	10,30	22,30	72,50	377,30	2,50	0,10	0,70		
	D	3548,00	1178,00	41,00	10,00	27,90	120,50	164,30	280,80	0,20	0,70		
	R	6947,40	13542,00	35,30	33,40	110,90	86,80	464,00	49,60	0,40	1,80		
9/23	T	227488,00	31443,00	2625,00	688,00	7094,00	451,00	2130,00	660,00	0,00	66,00	21,30	2,00
	A	544,00	24,00	12,80	11,20	14,80	0,00	129,60	113,00		0,10		
	B	503,60	0,00	31,80	9,60	13,00	28,00	278,80	72,20		0,10		
	C	51982,00	1477,40	1045,20	249,00	928,60	65,50	362,80	5,70		1,00		
	D	45000,00	1531,70	860,00	280,00	1093,20	89,50	157,00	407,70		0,70		
	R	129458,40	28409,90	675,20	138,20	5044,40	268,00	1201,80	61,40		64,10		
9/24	T	7625,00	3105,00	135,00	39,00	177,00	117,00	475,00	80,00	0,00	7,50	81,60	0,72
	A	81,40	0,00	3,90	2,90	2,60	0,00	33,40	22,40		0,00		
	B	39,60	0,00	13,40	4,10	3,20	2,70	10,60	4,20		0,30		
	C	3177,00	497,00	75,00	12,50	53,70	57,75	76,30	1,90		0,40		
	D	2056,00	514,00	25,30	9,60	48,30	15,75	18,30	30,30		2,30		
	R	2331,00	2094,00	17,40	9,90	69,20	40,80	336,40	21,20		4,50		

Πίνακας 10.13 (4/4). Οι τιμές των δειγμάτων του εμπορικού και ναυπηγοεπισκευαστικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα μέταλλα δίνονται σε ppm, για CO₃ και TOC σε %.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃	TOC
9/25	T	20250,00	25180,00	295,00	115,00	391,00	279,00	1243,00	203,00	1,00	3,30	51,80	
	A	67,00	0,00	3,60	4,20	2,00	1,30	173,00	33,80	0,20	0,10		
	B	46,70	0,00	25,60	4,30	0,90	6,60	27,30	1,60	0,20	0,00		
	C	3550,00	37,10	104,00	14,30	85,30	110,00	216,40	6,00	0,10	0,00		
	D	4004,00	827,30	52,60	11,10	84,30	33,50	72,90	145,80	0,00	1,00		
	R	12582,30	24315,60	109,20	81,10	218,50	127,60	753,40	15,80	0,50	2,20		

Πίνακας 10.14 (1/2). Οι τιμές των δειγμάτων του εμπορικού και ναυπηγοεπισκευαστικού επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα επί μέρους κλάσματα δίνονται σε % του ολικού μετάλλου.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
9/13	A	0,03	0,00	1,12	5,10	1,80	0,30	3,72	18,05	3,70	1,60
	B	0,00	0,00	2,86	10,00	1,55	2,10	0,91	0,54	0,40	0,00
	C	1,55	0,10	10,77	22,04	30,96	20,26	4,70	0,78	5,30	0,00
	D	2,44	1,50	27,47	20,61	34,73	14,90	7,85	50,33	7,30	4,80
	R	95,98	98,40	57,78	42,25	30,96	62,44	82,82	30,30	83,30	93,60
9/17	A	0,04	0,00	0,39	3,68	2,74	0,12	1,67	9,76	1,90	0,00
	B	0,02	0,00	2,33	8,11	4,86	1,68	0,79	1,84	1,90	1,70
	C	1,40	3,50	8,88	13,11	22,33	9,12	2,31	1,25	3,00	3,30
	D	0,12	1,40	18,65	27,64	17,26	4,97	8,84	52,43	0,40	6,70
	R	98,40	95,10	69,75	47,46	52,81	84,11	86,39	34,72	92,40	88,30
9/18	A	0,41	0,00	0,63	3,67	1,47	0,00	17,92	25,22	7,70	3,30
	B	0,21	0,00	8,63	5,78	1,71	1,64	4,49	1,66	7,70	13,30
	C	15,63	1,70	35,78	20,89	47,64	32,24	29,84	0,83	7,70	6,70
	D	19,73	1,00	24,41	23,00	20,85	10,26	5,19	50,34	7,70	0,00
	R	64,38	97,30	30,55	46,66	28,33	55,86	42,56	21,95	69,20	76,70
9/19	A	0,00	0,00	4,25	2,38	1,64	0,00	3,16	19,71	12,50	0,00
	B	0,00	0,00	13,50	7,14	1,99	1,40	0,86	0,00	0,00	6,67
	C	12,99	2,09	50,20	21,31	15,77	21,50	7,35	0,00	12,50	6,67
	D	13,53	6,01	25,85	18,81	12,29	0,00	2,41	49,43	12,50	26,67
	R	73,48	91,90	6,20	50,36	68,31	77,10	86,22	30,86	62,50	59,99
9/20	A	0,23	0,00	4,00	5,07	1,00	0,35	6,26	14,56	12,50	0,00
	B	0,00	0,00	10,15	9,33	0,64	0,95	1,01	1,31	0,00	6,67
	C	15,10	2,10	47,60	20,67	24,93	42,23	11,49	0,00	12,50	6,67
	D	31,60	7,44	25,45	19,60	29,64	31,88	7,77	67,13	12,50	33,30
	R	53,07	90,46	12,80	45,33	43,79	24,59	73,47	17,00	62,50	53,33

Πίνακας 10.14 (2/2). Οι τιμές των δειγμάτων του εμπορικού και ναυπηγοεπισκευαστικού επιβατικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά. Οι τιμές για τα επί μέρους κλάσματα δίνονται σε % του ολικού μετάλλου.

Δείγμα	Κλάσμα	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
9/21	A	0,32	0,00	4,47	0,85	1,23	0,00	10,22	16,36	12,50	0,00
	B	0,00	0,00	14,84	3,15	1,09	0,87	2,95	1,88	12,50	1,10
	C	14,28	0,40	47,00	8,68	21,88	17,64	19,26	1,92	0,00	3,40
	D	39,76	0,40	29,16	9,83	37,39	9,45	8,45	67,36	25,00	4,50
	R	45,64	99,20	4,53	77,49	38,41	72,04	59,12	12,48	50,00	91,00
9/22	A	0,56	0,00	0,96	5,42	1,33	0,35	12,32	16,76	12,50	0,00
	B	0,27	0,00	9,63	3,56	1,03	2,50	3,88	1,64	0,00	3,03
	C	17,02	3,63	48,83	17,46	13,52	25,17	31,44	0,61	12,50	21,21
	D	27,77	7,71	21,81	16,95	16,91	41,84	13,69	68,82	25,00	21,21
	R	54,38	88,66	18,77	56,61	67,21	30,14	38,67	12,17	50,00	54,55
9/23	A	0,24	0,10	0,49	1,63	0,21	0,00	6,08	17,12		0,20
	B	0,22	0,00	1,21	1,40	0,18	6,21	13,09	10,94		0,20
	C	22,85	4,70	39,82	36,19	13,09	14,52	17,03	0,86		1,50
	D	19,78	4,90	32,76	40,70	15,41	19,84	7,37	61,77		1,10
	R	56,91	90,30	25,72	20,08	71,11	59,43	56,43	9,31		97,00
9/24	A	1,07	0,00	2,89	7,44	1,47	0,00	7,03	28,00		0,00
	B	0,52	0,00	9,93	10,51	1,81	2,30	2,23	5,25		4,00
	C	40,88	16,01	55,56	32,05	30,34	49,36	16,06	2,38		5,33
	D	26,96	16,55	18,74	24,62	27,29	13,46	3,85	37,88		30,67
	R	30,57	67,44	12,88	25,38	39,09	34,88	70,83	26,49		60,00
9/25	A	0,33	0,00	1,22	3,65	0,51	0,47	13,92	16,65	20,00	3,00
	B	0,23	0,00	8,68	3,74	0,23	2,36	2,20	0,79	20,00	0,00
	C	17,53	0,10	35,25	12,43	21,82	39,43	17,41	2,96	10,00	0,00
	D	19,77	3,30	17,83	9,65	21,56	12,00	5,86	71,82	0,00	30,30
	R	62,14	96,60	37,02	70,53	55,88	45,74	60,61	7,78	50,00	66,70

Πίνακας 10.15. Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για το λιμάνι του Πειραιά (εμπορικό και επισκευαστικό τμήμα) (Πειραιάς – Σαλαμίνα - Κερατσίνι – Πέραμα) (ολικές περιεκτικότητες).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		0,2915	0,8047	0,5147	0,5967	0,7619	0,7602	0,8190	0,6595	0,6878	-0,9155
Al	0,2915		0,6079	0,6370	0,6625	-0,0728	-0,0742	0,2304	-0,2538	0,5685	-0,6945
Mn	0,8047	0,6079		0,8756	0,9561	0,2538	0,2728	0,5728	0,0889	0,9729	-0,8035
Ni	0,5147	0,6370	0,8756		0,9287	-0,0574	-0,0245	0,2915	-0,2339	0,9281	-0,5845
Cr	0,5946	0,6625	0,9561	0,9287		-0,0346	-0,0032	0,7706	-0,2027	0,9792	-0,6678
Pb	0,7619	-0,0728	0,2538	-0,0574	-0,0346		0,9459	0,6075	0,9530	0,0889	-0,6920
Zn	0,7602	-0,0742	0,2728	-0,0245	-0,0032	0,9459		0,6075	0,9564	0,0911	-0,7740
Cu	0,8190	0,2304	0,5728	0,2915	0,3643	0,7706	0,6075		0,6038	0,4876	-0,8356
Cd	0,6595	-0,2538	0,0889	-0,2339	-0,2027	0,9530	0,9564	0,6038		-0,0837	-0,5185
Sn	0,6878	0,5685	0,9729	0,9281	0,9792	0,0889	0,0911	0,4876	-0,0837		-0,7119
CO ₃	-0,9115	-0,6945	-0,8035	-0,5845	-0,6678	-0,6920	-0,7740	-0,8356	-0,5185	-0,7119	

Πίνακας 10.16. $t_{\text{εμπ}}$ για το λυμάνι του Πειραιά (εμπορικό και επισκευαστικό τμήμα) (Πειραιάς – Σαλαμίνα - Κερατσίνι – Πέραμα) (10 δείγματα, 9 για τα ανθρακικά).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe	0,861919	3,833764	1,697973	2,103174	3,327152	3,309537	4,037135	2,481490	2,679972	6,020575	
Al	0,861919	2,165455	2,337259	2,501573	0,206457	0,210449	0,669687	0,742155	1,954532	2,553847	
Mn	3,833764	2,165455	5,127084	9,228275	0,742155	0,802015	1,976495	0,252447	11,900800	3,571047	
Ni	1,697973	2,337259	5,127084	7,083426	0,162620	0,069317	0,861919	0,680444	7,050348	1,905908	
Cr	2,101533	2,501573	9,228275	7,083426	0,097922	0,009051	1,106428	0,585476	13,650230	2,373688	
Pb	3,327152	0,206457	0,742155	0,162620	0,097922		8,245772	3,419929	8,896882	0,252447	2,536177
Zn	3,309537	0,210449	0,802015	0,069317	0,009051	8,245772		2,163196	0,258746	3,234141	
Cu	4,037135	0,669687	1,976495	0,861919	1,106428	3,419929	2,163196		2,142426	1,579651	4,024459
Cd	2,481490	0,742155	0,252447	0,680444	0,585476	8,896882	9,262164	2,142426		0,237573	1,604325
Sn	2,679972	1,954532	11,900800	7,050348	13,650230	0,252447	0,258746	1,579651	0,237573		2,681990
CO ₃	6,020575	2,553847	3,571047	1,905908	2,373688	2,536177	3,234141	4,024459	1,604325	2,681990	

Πίνακας 10.17. Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για ολόκληρο το λιμάνι του Πειραιά (επιβατικό, εμπορικό και επισκευαστικό τμήμα) (Πειραιάς – Σαλαμίνα - Κερατσίνι – Πέραμα) (ολικές περιεκτικότητες).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		0,0933	0,8244	0,5713	0,6325	0,6715	0,7915	0,6665	0,6554	0,5982	-0,2922
Al	0,0933		0,2724	0,3305	0,3251	-0,1473	-0,1082	0,0300	-0,0566	0,2107	-0,5759
Mn	0,8244	0,2724		0,8761	0,9534	0,2884	0,3908	0,4818	0,1507	0,8151	-0,2922
Ni	0,5713	0,3305	0,8761		0,9131	-0,0024	0,1552	0,2579	-0,1030	0,7455	-0,2757
Cr	0,6325	0,3251	0,9534	0,9131		0,0557	0,1428	0,3257	-0,1015	0,8390	-0,2494
Pb	0,6715	-0,1473	0,2884	-0,0024	0,0557		0,8606	0,7913	0,7921	0,2613	0,1546
Zn	0,7915	-0,1082	0,3908	0,1552	0,1428	0,8606		0,6393	0,8705	0,2168	-0,0173
Cu	0,6665	0,0300	0,4818	0,2579	0,3257	0,7913	0,6393		0,5580	0,6269	0,0100
Cd	0,6554	-0,0566	0,1507	-0,1030	-0,1015	0,7921	0,8705	0,5580		0,0548	-0,2054
Sn	0,5982	0,2107	0,8151	0,7455	0,8390	0,2613	0,2168	0,6269	0,0548		-0,0922
CO ₃	-0,2922	-0,5759	-0,2922	-0,2757	-0,2494	0,1546	-0,0173	0,0100	-0,2054	-0,0922	

Πίνακας 10.18. $t_{\text{επιρ}}$ για ολόκληρο το λιμάνι του Πειραιά (επιβατικό, εμπορικό και επισκευαστικό τμήμα) (Πειραιάς – Σάλαμινα – Κερατσίνι – Πέραμα) (30 δείγματα, 29 για τα ανθρώπινα).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe	0,495860	0,495860	7,707166	3,683299	4,321000	4,795172	6,852807	4,730735	4,591730	3,950071	1,587603
Al	0,495860	1,498056	1,498056	1,852967	1,819081	0,788034	0,575922	0,158817	0,299980	1,140523	3,660416
Mn	7,707166	1,498056	9,615438	9,615438	16,721130	1,593789	2,246577	2,909392	0,806642	7,445111	1,587603
Ni	3,683299	1,852967	9,615438	11,850010	0,012700	0,831314	0,763451	1,412460	0,547939	5,918653	1,490339
Cr	4,321000	1,819081	16,721130	11,850010	0,295195	0,295195	8,941749	6,848174	0,539876	8,159005	1,338207
Pb	4,795172	0,788034	1,593789	0,012700	0,295195	8,941749	8,941749	4,399278	9,359099	1,175147	0,089907
Zn	6,852807	0,575922	2,246577	0,831314	0,763451	8,941749	4,399278	3,558102	4,257790	0,051964	0,051964
Cu	4,730735	0,158817	2,909392	1,412460	1,822836	6,848174	4,399278	3,558102	0,290411	0,290411	1,090542
Cd	4,591730	0,299980	0,806642	0,547939	0,539876	6,866741	9,359099	4,257790	0,290411	0,290411	0,481135
Sn	3,950071	1,140523	7,445111	5,918653	8,159005	1,432436	1,175147	0,051964	1,090542	0,481135	0,481135
CO ₃	1,587603	3,660416	1,587603	1,490339	1,338207	0,813101	0,089907	0,051964	1,090542	0,481135	0,481135

Πίνακας 10.19. Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για το λιμάνι του Πειραιά (εμπορικό και επσκευαστικό τμήμα) (Πειραιάς – Σαλαμίνα - Κερατσίνι – Πέραμα) (ολικές περιεκτικότητες – 7 δείγματα).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		0,9254	0,9466	0,2110	0,8028	0,5616	0,7004	0,3457	0,8245	-0,2621	-0,9884
Al	0,9254		0,9561	0,1616	0,7824	0,4958	0,6693	0,2746	0,9327	-0,4658	-0,9537
Mn	0,9466	0,9561		0,0933	0,8496	0,4976	0,6687	0,1536	0,8649	-0,4434	-0,9653
Ni	0,2110	0,1616	0,0933		-0,1446	0,4231	0,2600	0,2005	0,2090	0,5711	-0,1887
Cr	0,8028	0,7824	0,8496	-0,1446		0,2550	0,4353	-0,0300	0,6731	-0,2821	-0,8141
Pb	0,5616	0,4958	0,4976	0,4231	0,2550		0,9635	0,5340	0,7126	-0,1005	-0,6170
Zn	0,7004	0,6693	0,6687	0,2600	0,4353	0,9635		0,5300	0,8432	-0,3084	-0,7617
Cu	0,3457	0,2746	0,1536	0,2005	-0,0300	0,5340	0,5300		0,3418	0,0480	-0,3813
Cd	0,8245	0,9327	0,8649	0,2090	0,6731	0,7126	0,8432	0,3418		-0,4909	-0,8935
Sn	-0,2621	-0,4658	-0,4434	0,5711	-0,2821	-0,1005	-0,3084	0,0480	-0,4909		0,3219
CO ₃	-0,9884	-0,9537	-0,9653	-0,1887	-0,8141	-0,6170	-0,7617	-0,3813	-0,8935	0,3219	

Πίνακας 10.20. $t_{\text{εξερ}}$ για το λημάνι του Πειραιά (εμπορικό και επισκευαστικό τηρήμα) (Πειραιάς – Σαλαμίνα - Κερατσίνι – Πέραμα) (Ζ δειγμάτων).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		12,208705	14,680049	1,079299	6,732093	3,393727	4,906476	1,842073	7,285346	1,357974	32,540324
Al	12,208705		16,313439	0,818762	6,281550	2,854555	4,504085	1,427890	12,930706	2,631965	15,854858
Mn	14,680049	16,313439		0,468544	8,054186	2,868320	4,496778	0,777223	8,615499	2,473436	18,482178
Ni	1,079299	0,818762	0,468544		0,730679	2,334775	1,346301	1,023279	1,068599	3,478582	0,960760
Cr	6,732093	6,281550	8,054186	0,730679		1,318591	2,417567	0,150068	4,550731	1,470213	7,009345
Pb	3,393727	2,854555	2,868320	2,334775	1,318591		17,995331	3,157953	5,078605	0,505057	3,920133
Zn	4,906476	4,504085	4,496778	1,346301	2,417567	17,995331		3,125009	7,842262	1,621013	5,877951
Cu	1,842073	1,427890	0,777223	1,023279	0,150068	3,157953	3,125009		1,818525	0,240277	2,062304
Cd	7,285346	12,930706	8,615499	1,068599	4,550731	5,078605	7,842262	1,818525		2,817327	9,948489
Sn	1,357974	2,631965	2,473436	3,478582	1,470213	0,505057	1,621013	0,240277	2,817327		1,699984
CO ₃	32,540324	15,854858	18,482178	0,960760	7,009345	3,920133	5,877951	2,062304	9,948489	1,699984	

Πίνακας 10.21. Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για ολόκληρο το λιμάνι του Πειραιά (επιβατικό, εμπορικό και επισκευαστικό τμήμα) (Πειραιάς – Σαλαμίνα - Κερασίνη – Πέραμα) (ολικές περιεκτικότητες- 27 δείγματα).

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		0,4824	0,5884	0,0412	0,7654	0,4744	0,6030	0,4420	0,8872	0,1489	0,0028
Al	0,4824		0,6684	0,2066	0,5465	0,0141	0,1755	0,0678	0,3965	-0,0316	-0,5894
Mn	0,5884	0,6684		0,2504	0,6966	0,3089	0,4658	0,3173	0,4718	0,1572	-0,1865
Ni	0,0412	0,2066	0,2504		0,1952	-0,1625	0,1712	-0,0224	0,4718	-0,0346	-0,1688
Cr	0,7654	0,5465	0,6966	0,1952		0,2223	0,6210	0,2510	0,6933	0,2030	-0,1456
Pb	0,4744	0,0141	0,3089	-0,1625	0,2223		0,7212	0,7699	0,4416	0,5352	0,4402
Zn	0,6030	0,1755	0,4658	0,1712	0,6210	0,7212		0,6804	0,5477	0,3974	0,3317
Cu	0,4420	0,0678	0,3173	-0,0224	0,2510	0,7699	0,6804		0,4663	0,8332	0,2955
Cd	0,8872	0,3965	0,4718	0,0412	0,6933	0,4416	0,5477	0,4663		0,4901	-0,1606
Sn	0,1489	-0,0316	0,1572	-0,0346	0,2030	0,5352	0,3974	0,8332	0,4901		0,2287
CO ₃	0,0028	-0,5894	-0,1865	-0,1688	-0,1456	0,4402	0,3317	0,2955	-0,1606	0,2287	

Πίνακας 10.22. $t_{\text{εκφ}}$ για ολόκληρο το λιμάνι του Πειραιά (επιβατικό, εμπορικό και επισκευαστικό τμήμα) (Πειραιάς – Σαλαμίνα – Κερατσίνι – Πέραμα) (27 δείγματα).

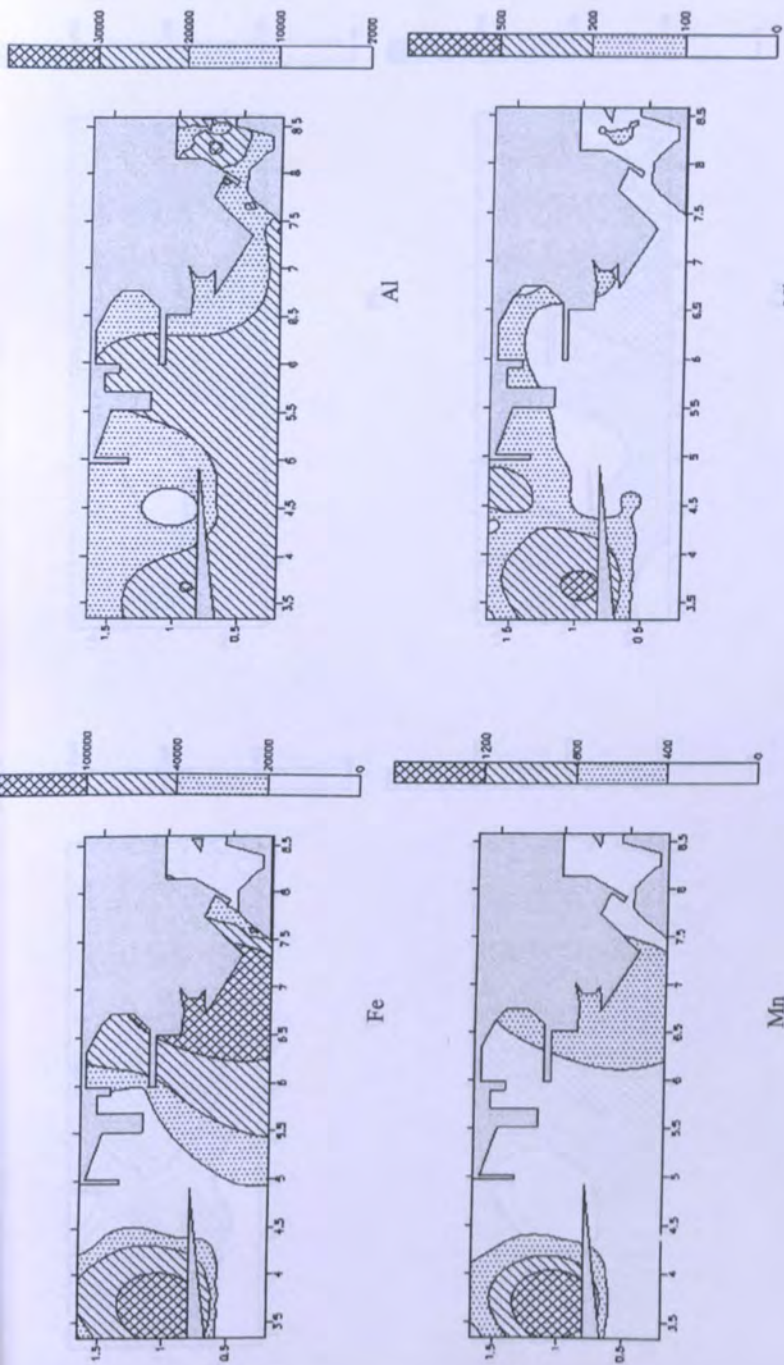
	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn	CO ₃
Fe		2,753579	3,638522	0,206175	5,946657	2,694507	3,779421	2,463727	9,614529	0,752893	0,014000
Al	2,753579		4,493131	1,055778	3,262846	0,070507	0,891334	0,339782	2,159504	0,158079	3,647994
Mn	3,638522	4,493131		1,293198	4,854628	1,623919	2,631965	1,672949	2,675496	0,795896	0,949153
Ni	0,206175	1,055778	1,293198		0,995143	0,823445	0,868827	0,112028	0,206175	0,173104	0,856287
Cr	5,946657	3,262846	4,854628	0,995143		1,140025	3,961416	1,296505	4,810247	1,036583	0,735841
Pb	2,694507	0,070507	1,623919	0,823445	1,140025		5,205515	6,032143	2,460957	3,167893	2,451276
Zn	3,779421	0,891334	2,631965	0,868827	3,961416	5,205515		4,642208	3,273076	2,165324	1,758031
Cu	2,463727	0,339782	1,672949	0,112028	1,296505	6,032143	4,642208		2,635575	7,533839	1,546565
Cd	9,614529	2,159504	2,675496	0,206175	4,810247	2,460957	3,273076	2,635575		2,811283	0,813560
Sn	0,752893	0,158079	0,795896	0,173104	1,036583	3,167893	2,165324	7,533839	2,811283		1,174631
CO ₃	0,014000	3,647994	0,949153	0,856287	0,735841	2,451276	1,758031	1,546565	0,813560	1,174631	

Πίνακας 10.23. Συντελεστές συσχέτισης και $t_{πειρ}$ για τον οργανικό άνθρακα (TOC) και τις ολικές περιεκτικότητες μετάλλων για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά. Η συσχέτιση των 6 σημείων αφορά όλα τα δείγματα, ενώ για τη συσχέτιση των 4 σημείων έχουν εξαιρεθεί τα δείγματα 9/13 και 9/23.

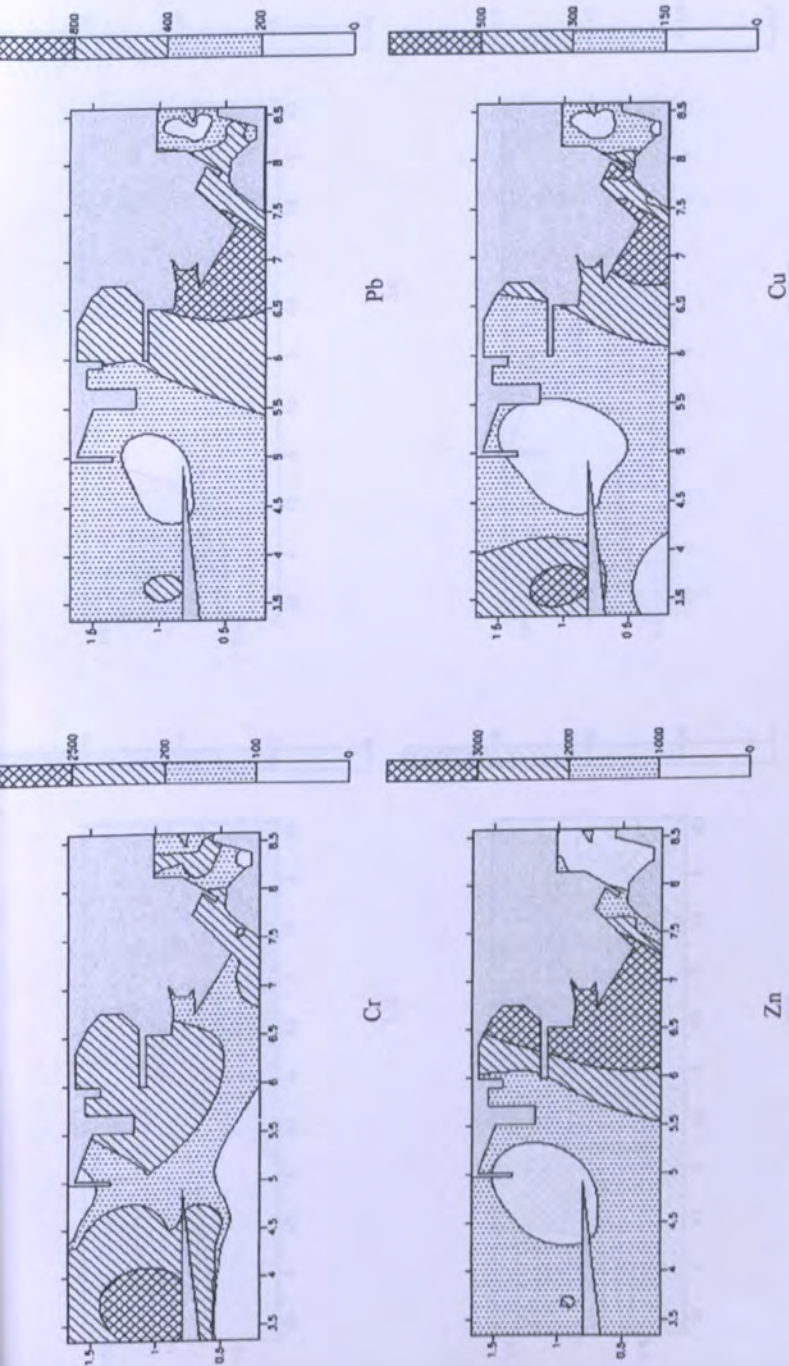
	6 σημεία		4 σημεία	
	Συντελεστές συσχέτισης	$t_{πειρ}$	Συντελεστές συσχέτισης	$t_{πειρ}$
Fe	0,7908	2,583999	0,6879	1,340356
Al	0,6173	1,569285	0,5553	0,944283
Mn	0,5952	1,481375	0,2997	0,444261
Ni	0,4299	0,952290	0,0173	0,024470
Cr	0,4458	0,996054	0,0566	0,080173
Pb	0,6793	1,851305	0,2298	0,333923
Zn	0,7353	2,169853	0,3265	0,488513
Cu	0,9076	4,323593	0,8941	2,823265
Cd	0,5528	1,326751	0,4637	0,740154
Sn	0,5248	1,233046	-0,1855	0,266970
CO ₃	-0,8505	3,233994	-0,6914	1,353391

Πίνακας 10.24. Συντελεστές συσχέτισης και $t_{πειρ}$ για τον οργανικό άνθρακα (TOC) και τις ολικές περιεκτικότητες μετάλλων για ολόκληρο το λιμάνι του Πειραιά. Η συσχέτιση των 13 σημείων αφορά όλα τα δείγματα, ενώ για τη συσχέτιση των 11 σημείων έχουν εξαιρεθεί τα δείγματα 9/13 και 9/23.

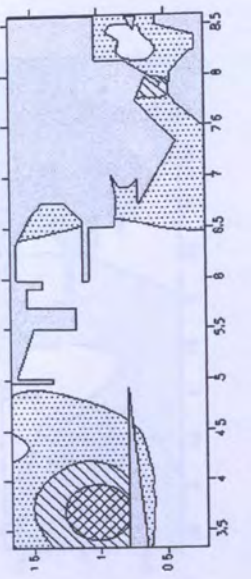
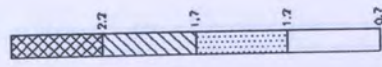
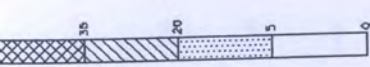
	13 σημεία		11 σημεία	
	Συντελεστές συσχέτισης	$t_{πειρ}$	Συντελεστές συσχέτισης	$t_{πειρ}$
Fe	0,1229	0,410727	0,7000	2,940588
Al	<u>0,6961</u>	3,215710	<u>0,8227</u>	4,341610
Mn	0,0860	0,286290	0,4565	1,539242
Ni	0,0005	0,001658	-0,4142	1,365216
Cr	0,0387	0,128450	-0,1987	0,608228
Pb	0,3445	1,217079	0,5951	2,221485
Zn	0,0781	0,259822	-0,1304	0,394569
Cu	0,3113	1,086449	0,6014	2,258219
Cd	0,1778	0,599244	<u>0,8115</u>	4,166150
Sn	0,1493	0,500785	0,5282	1,866167
CO ₃	-0,5962	2,462984	<u>-0,8043</u>	4,060594



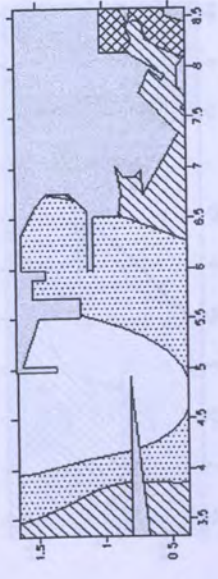
Σχήμα 10.19. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα του λιμανιού του Πειραιά.



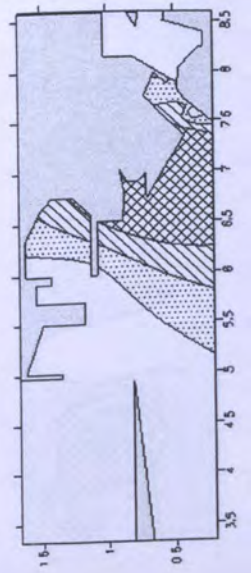
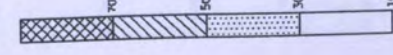
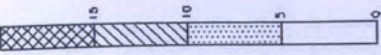
Σχήμα 10.20. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm) στα ιζήματα του λιμανιού του Πειραιά.



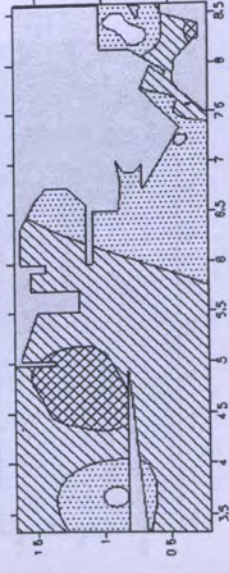
Cd



TOC

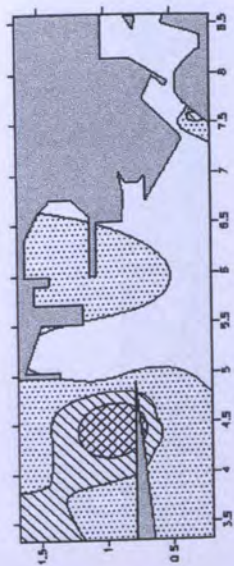
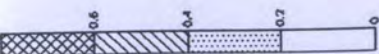
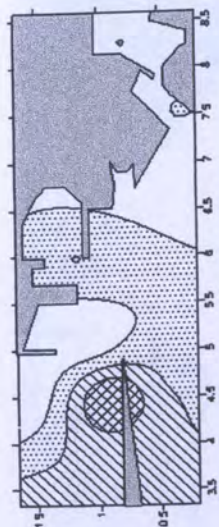
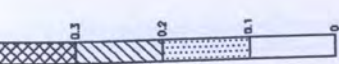


CO₃

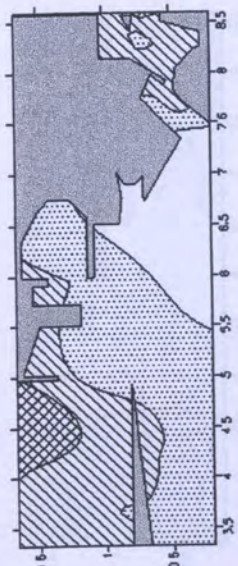
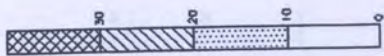


Sn

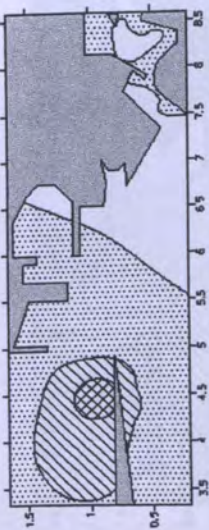
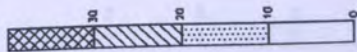
Σχήμα 10.21. Ολικές περιεκτικότητες μετάλλων (ppm), ανθρακικών και οργανικών άνθρακα (%) στα ιζήματα του λιμανιού του Πειραιά.



B



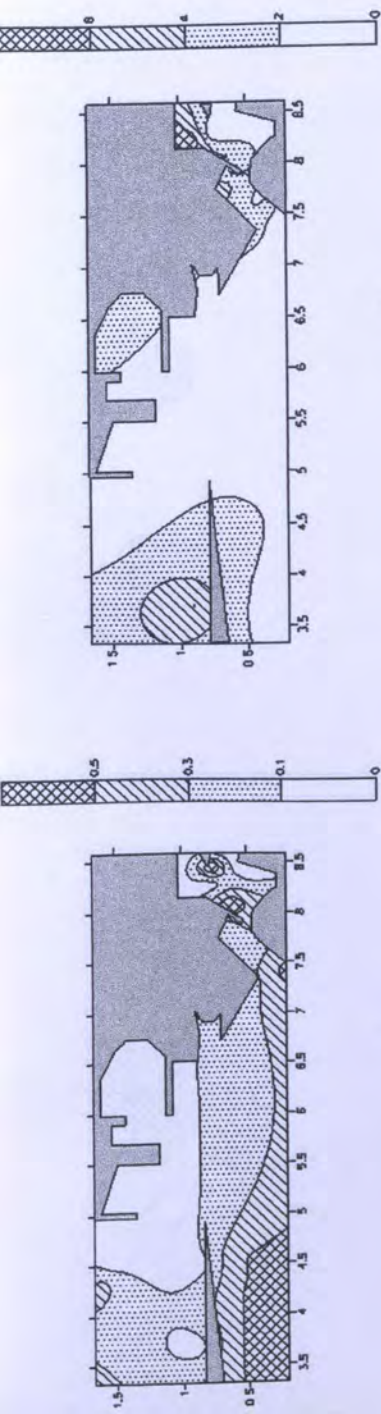
A



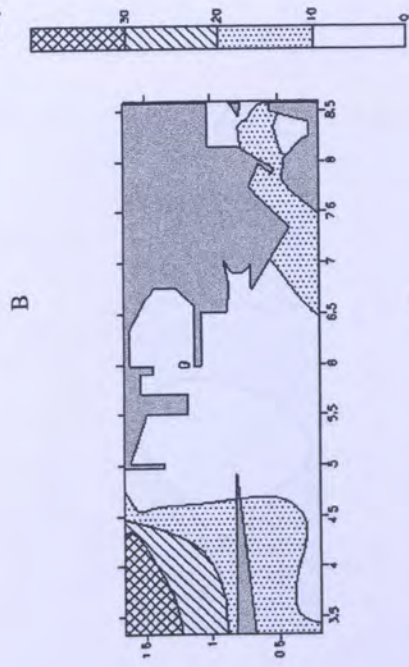
D

C

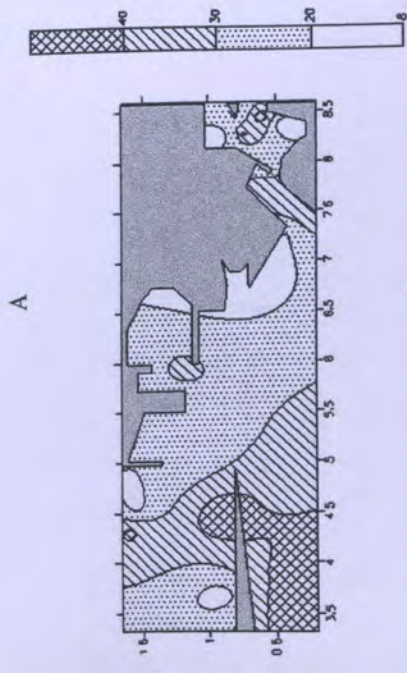
Σχήμα 10.22. Γεωχημικά κλάσματα του σιδήρου (% του συνόλου) στα ιζήματα του λιμανιού του Πειραιά.



A



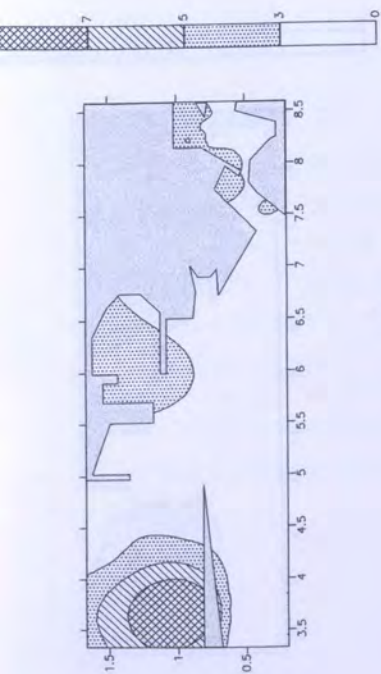
B



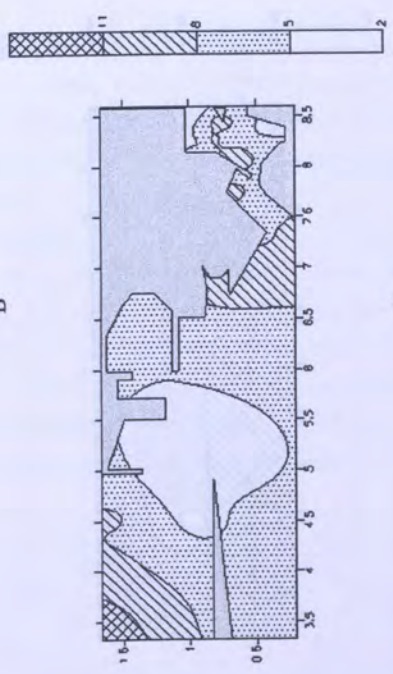
C

D

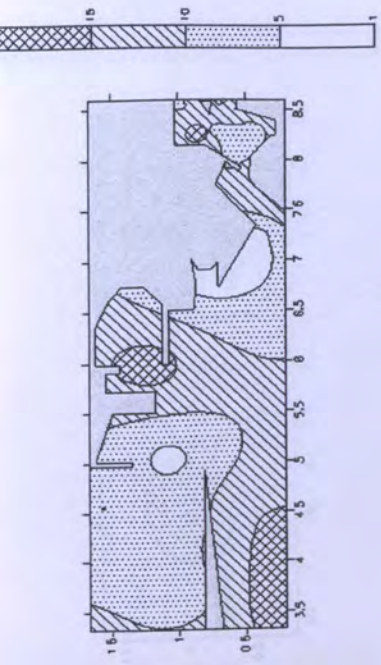
Σχήμα 10.23. Γεωγραφικά κλάσματα του μολύβδου (% του συνόλου) στα ιζήματα του λιμανιού του Πειραιά.



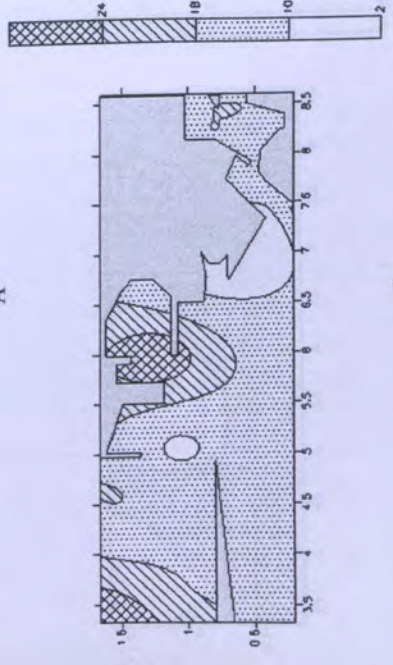
B



D

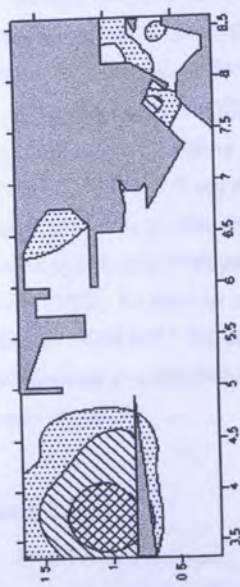


A

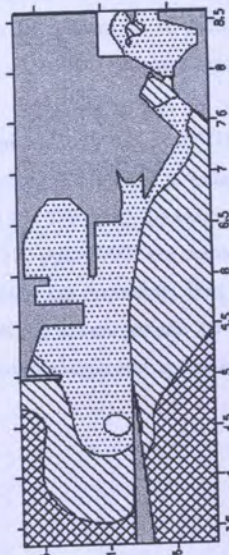
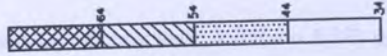


C

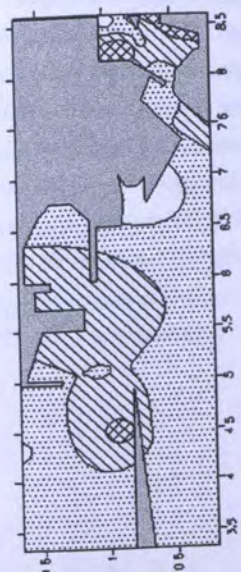
Σχήμα 10.24. Γεωχημικά κλάσματα του ψευδαργύρου (% του συνόλου) στα ιζήματα του λιμανιού του Πειραιά.



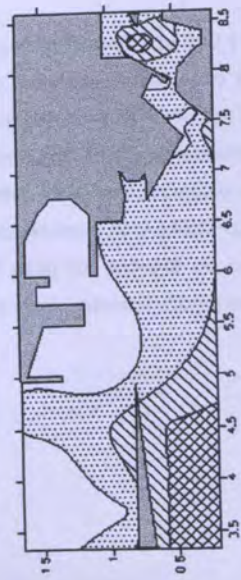
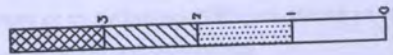
B



D



A



C

Σχήμα 10.25. Γεωχημικά κλάσματα του χαλκού (% του συνόλου) στα ιζήματα του λιμανιού του Πειραιά.

10.6.7. Ψευδάργυρος

- Ολική περιεκτικότητα

Ο ψευδάργυρος (Σχήμα 10.20) παρουσιάζει μέγιστες τιμές 4.700 και 6.200 ppm στα δείγματα 9/13 και 9/17 αντίστοιχα, ενώ στα άλλα δείγματα κυμαίνεται μεταξύ 475 (9/24) και 2.130 ppm. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά (95%), το αργίλιο, το νικέλιο και το χρώμιο και θετική με τα υπόλοιπα μέταλλα (ψευδάργυρο και κάδμιο 99,99%, σίδηρο 90 %, χαλκό 0,61) και τον οργανικό άνθρακα (0,74).

- Γεωχημικά κλάσματα (Σχήμα 10.24)

Το προσροφημένο μέταλλο έχει τη μεγαλύτερη απόλυτη τιμή στο 9/18 (288 ppm) και αντιπροσωπεύει το 1,7 (9/17) με 17,9% (9/18) του ολικού μετάλλου, ενώ το κλάσμα στα ανθρακικά αντιπροσωπεύει το 0,9 με 4,5 % του ολικού μετάλλου, με εξαίρεση το δείγμα 9/23 (13%, 279 ppm). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία παρουσιάζει τιμές μεταξύ 53 (9/19) και 377 ppm (9/22) και ποσοστά επί του ολικού μεταξύ 2,3 (9/17) και 31,4% (9/22). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τιμές μεταξύ 17 (9/19) και 550 ppm (9/17) (9/13 365 ppm) και ποσοστά επί του ολικού μεταξύ 2,4 (9/19) και 13,7% (9/22). Το κλάσμα του ψευδαργύρου το εγκλωβισμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αντιπροσωπεύει το 38,7 (9/22) με 86,4% (9/17) του ολικού μετάλλου.

10.6.8. Χαλκός

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει (Σχήμα 10.20) μέγιστες τιμές 1.020 και 660 ppm στα δείγματα 9/13 και 9/23 αντίστοιχα, ελάχιστες τιμές 80 και 90 ppm στα δείγματα 9/19 και 9/24 αντίστοιχα, ενώ στα άλλα δείγματα κυμαίνεται μεταξύ 160 και 410 ppm. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά (99%) και θετική με τα άλλα μέταλλα (μόλυβδος και σίδηρος 99%, ψευδάργυρος 0,61) και τον οργανικό άνθρακα (95%).

- Γεωχημικά κλάσματα (Σχήμα 10.25)

Ο προσροφημένος χαλκός έχει τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στο 9/13 (185 ppm) και το 9/23 (113 ppm), ενώ στα άλλα δείγματα είναι μεταξύ 13 και 68 ppm και αντιπροσωπεύει το 9,8 (9/17) με 28% (9/24) του ολικού μετάλλου. Το κλάσμα στα ανθρακικά αντιπροσωπεύει το 0 με 5,3% του ολικού μετάλλου και απόλυτες τιμές μεταξύ 0-6,9 ppm, με την εξαίρεση και για τις δύο περιπτώσεις του δείγματος 9/23 (11,9%, 72 ppm). Το κλάσμα του μετάλλου στα σιδηρομαγνησιούχα οξειδία παρουσιάζει τιμές μεταξύ 0 και 8 ppm (9/13) και ποσοστά επί του ολικού μεταξύ 0 και 3% (9/25). Το μέταλλο στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης παρουσιάζει τιμές μεταξύ 30 (9/24) και 515 ppm (9/13) (9/23 408 ppm) και ποσοστά επί του ολικού μεταξύ 38 (9/24) και 72% (9/25). Το κλάσμα του χαλκού το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα αντιπροσωπεύει το 7,8 (9/25) με 34,7% (9/17) του ολικού μετάλλου.

10.6.9. Κάδμιο

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει (Σχήμα 10.21) μέγιστες τιμές 24,6 και 26,2 ppm στα δείγματα 9/13 και 9/17 αντίστοιχα, ενώ στα άλλα δείγματα κυμαίνεται μόλις μεταξύ 0 και 1,3 ppm. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά, το αργίλιο, το νικέλιο, το χρώμιο και τον κασσίτερο και θετική με τα άλλα μέταλλα (μόλυβδο και ψευδάργυρο 99,99%, σίδηρο 95%, χαλκό 0,60) και τον οργανικό άνθρακα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Επειδή υπάρχει μεγάλη διαφορά ολικής περιεκτικότητας ανάμεσα στα δείγματα 9/13 και 9/17 και τα υπόλοιπα κλάσματα, υπολογίσιμες περιεκτικότητες καδμίου παρουσιάζονται μόνο στα δύο αυτά δείγματα, όπου και πάλι το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα αντιπροσωπεύει άνω του 80 % του ολικού μετάλλου. Στα άλλα δείγματα που το κάδμιο είναι μη μηδενικό το κλάσμα αυτό κυμαίνεται μεταξύ 50 και 70 % του ολικού μετάλλου.

10.6.10. Κασσίτερος

- Ολική περιεκτικότητα

Παρουσιάζει (Σχήμα 10.21) μέγιστη τιμή 66 ppm στο δείγμα 9/23 και στα άλλα δείγματα κυμαίνεται μεταξύ 1,5 και 12,5 (9/13) ppm. Παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά (95%) και το κάδμιο και θετική με τα άλλα μέταλλα (μαγγάνιο, νικέλιο και χρώμιο 99,99%, σίδηρο 95 %) και τον οργανικό άνθρακα.

- Γεωχημικά κλάσματα

Επειδή υπάρχει μεγάλη διαφορά ολικής περιεκτικότητας ανάμεσα στο δείγμα 9/23 και τα υπόλοιπα κλάσματα, υπολογίσιμες περιεκτικότητες κασσίτερου παρουσιάζονται μόνο στο δείγμα αυτό, όπου και πάλι το δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα κλάσμα αντιπροσωπεύει το 97% του ολικού μετάλλου. Στα άλλα δείγματα το κλάσμα αυτό κυμαίνεται μεταξύ 53 και 94% του ολικού μετάλλου, με τα ποσοστά να είναι γενικά μεγαλύτερα στα πιο πλούσια σε ολικό κασσίτερο δείγματα.

10.6.11. Ανθρακικά

Κυμαίνονται (Σχήμα 10.21) μεταξύ 50 και 70 %, με εξαίρεση τις τιμές σε τρία δείγματα [21% (9/23), 28% (9/17) και 82% (9/24)]. Παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα και με τον οργανικό άνθρακα. Πολύ σημαντικές είναι οι συσχετίσεις τους με το σίδηρο (99,9%), το χαλκό (99%) και το μαγγάνιο (99%) και σημαντικές (95%) με το αργίλιο, το χρώμιο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο και τον κασσίτερο.

10.6.12. Οργανικός άνθρακας

Κυμαίνεται (Σχήμα 10.21) μεταξύ 0,72 (9/24) και 2,15% (9/13). Παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλα τα μέταλλα (χαλκός 95%, σίδηρος 0,79, ψευδάργυρος 0,74, μόλυβδος 0,68, αργίλιο 0,62, μαγγάνιο 0,60) και

αρνητική συσχέτιση με τα ανθρακικά (95%).

10.6.13. Σχόλια και συμπεράσματα

Η περιοχή αυτή του λιμανιού στην ουσία καταλαμβάνει ένα μεγάλο τμήμα της ανατολικής εξόδου του κόλπου της Ελευσίνας προς το Σαρωνικό κόλπο. Καταλαμβάνει πολύ μεγαλύτερη έκταση από το επιβατικό λιμάνι. Η γεωλογική ποικιλία των ακτών είναι πολύ μεγαλύτερη (Παπαγεωργάκης 1969, Γαϊτανάκης 1976-77, Παπαδέας 2003α, Παπαδέας 2003β). Στα πετρώματα που εμφανίζονται κυριαρχεί ο ασβεστόλιθος και περιλαμβάνονται μαργαϊκός ασβεστόλιθος (μάργα), ψαμμίτης, η σχιστοκερατολιθική διάπλαση (που περιλαμβάνει κυρίως αργιλικούς σχιστόλιθους, ασβεστόλιθους και σερπεντινωμένα πετρώματα), κώνιοι παλαιών κορημάτων και παράκτιες αποθέσεις.

Σαν μεγαλύτερες πηγές ρύπανσης θα πρέπει αρχικά να καθοριστούν το εργοστάσιο λιπασμάτων στο ανατολικό άκρο του εμπορικού και ναυπηγοεπισκευαστικού τμήματος του λιμανιού, κοντά στο βόρειο λιμενοβραχίονα του επιβατικού λιμανιού στη Δραπετσώνα (ανάμεσα στα δείγματα 9/13 και 9/17) και ο Κεντρικός Αγωγός Αποχέτευσης Κερασινίου (ΚΑΑΚ, πολύ κοντά στο δείγμα 9/18). Ο ΚΑΑΚ έχει σταματήσει να λειτουργεί οριστικά από το 1994 (λειτουργία Ψυτάλλειας), αλλά το φορτίο σε μέταλλα που έχει δώσει στην περιοχή παραμένει. Αυτό ισχύει γιατί το ιζημα που έχει δημιουργηθεί από τη λειτουργία του μέχρι το 1994 δεν έχει απομακρυνθεί με καθαρισμό του πυθμένα, με αποτέλεσμα να συνεχίζει να επιβαρύνει περιβαλλοντικά την περιοχή. Η μη επιδείνωση της κατάστασης με το σταμάτημα της λειτουργίας του αγωγού μπορεί να βελτιώνει την ποιότητα του νερού, αλλά χωρίς την απομάκρυνση του επιβαρημένου ιζήματος δεν δυνατό να ισχυριστεί κανείς ότι το πρόβλημα έχει λυθεί οριστικά. Σύμφωνα μάλιστα με όσα αναφέρθηκαν για τον κόλπο της Ελευσίνας και για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά, πιθανό είναι να υπάρχει κίνδυνος επαναδιάλυσης μετάλλων από το ιζημα και εκ νέου ρύπανση της ευρύτερης περιοχής. Με βάση όμως τις επί τόπου παρατηρήσεις διαπιστώθηκε ότι οι ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες μπορούν να δημιουργήσουν έναν πολύ ανομοιογενή από πλευράς ρύπανσης χώρο. Αυτό συμβαίνει γιατί το σημείο στάθμευσης κάθε πλοίου αποτελεί και ένα εν δυνάμει πυρήνα ρύπανσης. Επιπλέον, η διενέργεια εργασιών αμμοβολής ρυπαίνει (αρχικά τουλάχιστον) μόνο το συγκεκριμένο σημείο στο οποίο γίνεται και κάνει πολύ πιθανή την εμφάνιση του φαινομένου κόκκου (Παναγόπουλος 1980). Αυτό φάνηκε και από τις μετρήσεις (δείγμα 9/23), όπως και θα αναλυθεί στη συνέχεια. Σαν τιμές υποβάθρου χρησιμοποιούνται οι ίδιες που χρησιμοποιούνται στο επιβατικό τμήμα του λιμανιού. Αυξημένα επίπεδα βαρέων μετάλλων υπάρχουν και σε λιμάνια αλλά και από ανάλυση του ιζήματος που συλλέχθηκε κατά τη βυθοκόρηση πυθμένων λιμανιών όπου κυκλοφορεί χύδη φορτίο (Rao and Rao 1997). Η κυκλοφορία χύδη φορτίου είναι πρακτικά μηδενική σήμερα στο λιμάνι του Πειραιά, αλλά κάποιο πιθανό ατύχημα κατά τη φόρτωση ή εκφόρτωση είναι πιθανό να προκαλέσει ρύπανση λόγω διαφυγής φορτίου.

Οι συσχετίσεις μεταξύ των μετάλλων είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες από το επιβατικό λιμάνι, γεγονός επόμενο, αφού πρόκειται για το φυσικό πυθμένα της θαλάσσης ελλείψει βυθοκόρησης. Υπάρχει πολύ σημαντική συσχέτιση των μετάλλων που συνδέονται με ανθρωπογενείς δραστηριότητες, ήτοι των σιδήρου, μολύβδου, ψευδαργύρου και χαλκού μεταξύ τους. Αυτό πιθανόν είναι να συμβαίνει λόγω της φύσης των εργασιών που τελούνται στην περιοχή (ναυπηγοεπισκευαστικές). Η εικόνα της περιοχής γενικά δείχνει, όπως είναι αναμενόμενο) μεγαλύτερο ρυπαντικό φορτίο από το επιβατικό λιμάνι, ιδιαίτερα γύρω από το εργοστάσιο λιπασμάτων. Η μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα είναι μεγάλη και αποτελεί πιθανή πηγή ρύπανσης λόγω οργανικού φορτίου, όπως έχει διαπιστωθεί και σε προηγούμενη έρευνα (Κατσίκη κ.α. 1996). Η περιοχή αυτή με τις υψηλές περιεκτικότητες σε σίδηρο, μολύβδο, ψευδάργυρο, χαλκό και κάδμιο αποτελεί πιθανή πηγή ρύπανσης με επαναδιάλυση μετάλλων για όλη την περιοχή, όπως έχει ήδη επισημανθεί και προηγούμενως (Scoullou 1981, Scoullou 1986, Φυλίδης κ.α.1987), αλλά και για τον ευρύτερο Σαρωνικό κόλπο, όπως επίσης έχει ήδη επισημανθεί (Papakostidis et al 1975a, Papakostidis et al 1975b, Ochsenkühn and Grimanis 1992). Η εξάπλωση μετάλλων στο Σαρωνικό κόλπο δεν αφορά τις σπάνιες γαίες (Σληβάγκου κ.α. 1997). Αυτό μάλλον σημαίνει πως τα εξαπλούμενα μέταλλα δεν προέρχονται από τα φυσικά ιζήματα του πυθμένα του κόλπου, αφού στην περίπτωση αυτή θα είχαμε και εξάπλωση των σπανίων γαίων, οι οποίες περιέχονται στα φυσικά ιζήματα. Με το σκεπτικό αυτό προτείνεται σαν εξήγηση ότι η επιβάρυνση του ευρύτερου Σαρωνικού κόλπου με μέταλλα μάλλον οφείλεται στην ύπαρξη ανθρωπογενούς δραστηριότητα. Οι μετρήσεις συμβαδίζουν με προηγούμενες μετρήσεις που έχουν γίνει (Voutsinou-Taliadouri et al 1989).

Στο σημείο 9/23 (Κυνόσουρα) το ιζημα φαίνεται ότι προέρχεται από εργασίες αμμοβολής, όπως δείχνουν και οι υψηλές τιμές κασιτέρου και σιδήρου. Από πλευράς υψής και περιεκτικότητας σε μέταλλα δεν έχει σχέση με τα άλλα ιζήματα που ελήφθησαν από την περιοχή. Οι εκληκτικά μεγάλες τιμές χρωμίου και μαγγανίου, η πολύ μεγάλη τιμή σιδήρου και νικελίου αλλά και η εξέταση οπτικά και δια της αφής του ιζήματος οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται πιθανότατα για σκωρία από το εργοστάσιο παραγωγής νικελίου στον Αγ. Ιωάννη (Λάρυμνα). Εκεί το χρώμιο και το μαγγάνιο χρησιμοποιούνται για την αναγωγική εξαγωγή του νικελίου από το φτωχό λατεριτικό σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα σύμφωνα με τη μέθοδο LM (Μούσουλος 1973).

Η υψηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικά συμβαδίζει με τη γεωλογική σύσταση των ακτών, οι οποίες αποτελούνται σε μεγάλο βαθμό από ασβεστόλιθο ή προϊόντα αποσάθρωσης του ασβεστολιθίου. Η περιεκτικότητα σε ολικό οργανικό άνθρακα είναι κατά τόπους υψηλή, με υψηλότερες τιμή στην περιοχή του εργοστασίου λιπασμάτων. Αν και οι τιμές σε μέταλλα είναι ήδη γενικά αρκετά υψηλές είναι στατιστικά βέβαιο ότι η περίπτωση του δείγματος 9/23 αποκλείεται να είναι μοναδική στην περιοχή. Κατά πάσα βεβαιότητα έχει γίνει και αλλού στην περιοχή εργασία αμμοβολής με ακατάλληλο υλικό, όπως αυτό το οποίο βρέθηκε στο ιζημα. Το δείγμα μάλιστα προέρχεται όχι από περιοχή εκτέλεσης εργασιών (το δείγμα 9/24 μάλλον αντιπροσωπεύει την κατ' εξοχήν ασβεστολιθική γεωλογική σύσταση της περιοχής με φυσιολογικό οργανικό φορτίο) αλλά από περιοχή αναμονής πλοίων προς εκτέλεση εργασιών. Στους χώρους εκτέλεσης εργασιών, όπου η πρόσβαση δεν είναι συνήθως δυνατή,

αναμένονται πολλές παρόμοιες ή και με μεγαλύτερο ρυπαντικό φορτίο περιπτώσεις ιζημάτων.

Ο ψευδάργυρος και ιδιαίτερα ο χαλκός παρουσιάζονται ιδιαίτερα αυξημένοι στο προσροφημένο κλάσμα, ένδειξη ανθρωπογενούς προέλευσης. Έτσι, τα δύο αυτά μέταλλα είναι εύκολο να απελευθερωθούν στο περιβάλλον. Ο σίδηρος, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο, το νικέλιο, το μαγγάνιο και ιδιαίτερα ο χαλκός παρουσιάζουν μεγάλα ποσοστά στο κλάσμα σουλφιδίων και οργανικής ύλης. Στο δείγμα 9/24 αυξημένο ποσοστό στο κλάσμα σουλφιδίων – οργανικής ύλης παρουσιάζει και το αργίλιο. Αυτό μάλλον οφείλεται στην ιδιαίτερα χαμηλή ολική συγκέντρωση του μετάλλου, αφού η απόλυτη τιμή του αργιλίου στο κλάσμα σουλφιδίων - οργανικής ύλης είναι μόλις το 1/3 της μέγιστης τιμής που μετρήθηκε. Ανάλογο φαινόμενο παρατηρήθηκε και στο δείγμα 9/16 στο επιβατικό τμήμα του λιμανιού. Το κλάσμα στα σιδηρομαγγανιούχα οξειδία για το σίδηρο, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το χρώμιο, το νικέλιο και το μαγγάνιο είναι επίσης αυξημένο. Το κλάσμα που είναι δεσμευμένο στο αργιλοπυριτικό πλέγμα είναι μειωμένο, γεγονός που έχει εξηγηθεί ως ένδειξη ανθρωπογενούς παρέμβασης (Αγγελίδης και Oregioni 1982, Ζαφειρόπουλος κ.α. 1984). Δεν είναι απαραίτητο να γίνει αυτό αβασάνιστα αποδεκτό, καθότι μόνο με χημική ή ορυκτολογική ανάλυση μπορούμε να αποκλείσουμε τη συμμετοχή σουλφιδίων στη σύσταση των ορυκτών και να υιοθετήσουμε αυτό το συμπέρασμα.

Επιβεβαιώθηκε η μη συμμετοχή του ΚΑΑΚ στη συσσώρευση καδμίου στην περιοχή (Ζαφειρόπουλος και Huynh-Ngoe 1982), αφού το μέταλλο έχει αυξημένες τιμές μόνο στην περιοχή του εργοστασίου λιπασμάτων. Άρα η πηγή καδμίου στην περιοχή φαίνεται να είναι το εργοστάσιο λιπασμάτων στη Δραπετσώνα, που όπως όλα τα εργοστάσια αυτού του τύπου επιβαρύνουν το περιβάλλον με μόλυβδο και ψευδάργυρο (Μαυράκης κ.α. 2000), ο δε τελευταίος είναι γνωστό ότι πάντα συνοδεύεται από το κάδμιο (Αυγουστήδης και Βέλλος 1973, Μούσουλος 1983).

Οι συσχετίσεις μεταξύ των μετάλλων βελτιώνονται αισθητά (ιδιαίτερα του αργιλίου με τα υπόλοιπα μέταλλα) αν κατά τον υπολογισμό εξαιρεθούν τα τρία δείγματα με αφύσικα μεγάλη περιεκτικότητα σε σίδηρο (τα 9/13, 9/17 και 9/23). Με την αφαίρεση των τριών αυτών δειγμάτων, δίνεται μια εικόνα πιο ομοιογενούς θαλάσσιας περιοχής και αυτό αντανακλάται στις αυξημένες συσχετίσεις του γενικά χερσογενούς αργιλίου με τα υπόλοιπα μέταλλα. Οι συσχετίσεις μεταξύ των μετάλλων για το σύνολο του λιμανιού (επιβατικό, εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα) είναι γενικά είναι γενικά μικρότερες από αυτές που υπολογίστηκαν για τα δύο τμήματα (στα οποία χωρίστηκε το λιμάνι για τη μελέτη αυτή) μεμονωμένα. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο ότι πρόκειται για δύο περιοχές με διαφορετικά γεωλογικά στοιχεία και διαφορετικές χρήσεις. Υψηλές παραμένουν οι συσχετίσεις μεταξύ μολύβδου, ψευδαργύρου, χαλκού και σιδήρου, ένδειξη ανθρωπογενούς δράσης. Αν αφαιρεθούν κατά τους υπολογισμούς των συσχετίσεων μεταξύ των μετάλλων τα τρία δείγματα με πολύ υψηλό σίδηρο (9/13, 9/17, 9/23) οι συντελεστές συσχέτισης βελτιώνονται, αφού και πάλι η εικόνα της περιοχής παρουσιάζεται πιο ομογενής με αυξημένες συσχετίσεις του αργιλίου με τα άλλα μέταλλα.

Ανάλογη περίπτωση με εμφανή την επίδραση του αποχετευτικού αγωγού έχει παρατηρηθεί στην περιοχή του λιμανιού της Μυτιλήνης. Εδώ οι συγκεντρώσεις των μετάλλων είναι μεγαλύτερες στο εξωτερικό τμήμα του λιμανιού (όπως στο λιμάνι του Πειραιά). Αυτό εξηγείται (Αγγελίδης και Αλούπη 1997) από το γεγονός ότι εκεί καταλήγει αγωγός-ρέμα μέσω του οποίου αποχετεύεται περιοχή της πόλης στην οποία λειτουργούν βιοτεχνίες (μηχανουργεία, συνεργεία κλπ.). Η λειτουργία του ρέματος είναι παρόμοια με αυτήν του ΚΑΑΚ στο λιμάνι του Πειραιά (αλλά και του ρέματος του Αγίου Γεωργίου στον κόλπο της Ελευσίνας, του Κηφισού και του Ιλισού στο Φαληρικό Δέλτα και σε πολύ μικρότερο βαθμό του Βουρλοπόταμου και άλλων ρεμάτων στο Σαρωνικό κόλπο). Αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων έχουν μετρηθεί και σε κέντρα υποδοχής αυξημένου όγκου αστικών και βιομηχανικών λυμάτων πολυάνθρωπων περιοχών της Ινδίας, έχουν δε αποδοθεί στη συσσώρευση του φορτίου από τα λύματα (Singh 2001).

Η γενική εικόνα του εμπορικού και ναυπηγοεπισκευαστικού τμήματος του λιμανιού του Πειραιά είναι ότι αποτελεί το πιο προβληματικό από πλευράς ρυπαντικού φορτίου σε βαρέα μέταλλα κομμάτι του λιμανιού με μεγάλη διαφορά από το επιβατικό λιμάνι και από τον κόλπο της Ελευσίνας. Είναι γνωστό ότι ο ΚΑΑΚ και το εργοστάσιο λιπασμάτων έχουν σταματήσει τη λειτουργία τους, άρα το ευρύτερο λιμάνι του Πειραιά αποτελεί τη μεγαλύτερη εν λειτουργία απειλή (όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα) για το περιβάλλον της περιοχής.

Όπως είναι φανερό το λιμάνι του Πειραιά είναι η θαλάσσια περιοχή της Ελλάδας με το μεγαλύτερο ρυπαντικό φορτίο και μάλιστα ανήκει σε μια κατηγορία με τον κόλπο της Ελευσίνας, έχοντας μεγάλη διαφορά από κάθε άλλη περιοχή, ακόμα και από το λιμάνι της Θεσσαλονίκης και το λιμάνι της Χαλκίδας που ακολουθούν. Ενδεικτικά η μέγιστη τιμή του κασσίτερου στον Πειραιά (Κυνόσουρα) είναι 75 φορές μεγαλύτερη από αυτή της Θεσσαλονίκης (www.greenpeace.gr).

11. ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΙΑ: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

Το λιμάνι του Πειραιά για λόγους μελέτης διαχωρίζεται σε δύο τμήματα, αλλά από πλευράς περιβαλλοντικής επίδρασης στη περιοχή άμεσης γειτονίας, αλλά και στην ευρύτερη περιοχή αποτελεί ένα ενιαίο σύνολο. Η σύγκριση της περιεκτικότητας στα διάφορα μέταλλα πρέπει να γίνει με τις τιμές υποβάθρου. Σαν τέτοιες μπορούν να ληφθούν οι τιμές που αναφέρονται από τη βιβλιογραφία και είναι, όπως αναφέρθηκε πολύ κοντά στις τιμές που μετρήθηκαν στις μαρίνες του Σαρωνικού. Είναι φανερή η ρύπανση που υπάρχει στο λιμάνι, ιδιαίτερα σε μόλυβδο, χαλκό, ψευδάργυρο και σίδηρο, αλλά και σε κασσίτερο, κάδμιο, χρώμιο, νικέλιο και μαγγάνιο. Ο οργανικός άνθρακας παρουσιάζει επίσης κατά τόπους υψηλές τιμές. Στη συνέχεια γίνεται μια σύγκριση της κατάστασης που επικρατεί στο λιμάνι του Πειραιά με την κατάσταση που επικρατεί σε λιμάνια και άλλους χώρους συγκέντρωσης ρύπων. Στον Πίνακα 11.1 δίνονται μέγιστες τιμές για το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο και το χαλκό σε επιφανειακά ιζήματα από περιοχές της Μεσογείου που παρουσιάζουν βιομηχανική δραστηριότητα. Στον Πίνακα 11.2 δίνεται το εύρος τιμών για μέταλλα σε επιφανειακά ιζήματα από διάφορες περιοχές της Μεσογείου για το χαλκό, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το νικέλιο και το μαγγάνιο (Dasenakis et al 2000). Οι νεότερες τιμές διαθέσιμες για μέταλλα σε επιφανειακά ιζήματα (ανοικτά των αντιστοιχών λιμανιών) από τον Πατραϊκό Κόλπο, τον Παγασητικό Κόλπο, το Θερμαϊκό Κόλπο και το Σαρωνικό Κόλπο δίνονται στον Πίνακα 11.3 (Δίκτυο Εργαστηρίων Παρακολούθησης Ποιότητας Περιβάλλοντος Ελληνικών Θαλασσών 2004). Στον Πίνακα 11.4 δίνονται οι μέγιστες τιμές των μετάλλων στις περιοχές που μελετήθηκαν. Από τους Πίνακες αυτούς γίνεται για μια ακόμη φορά εμφανής η ιδιαίτερα μεγάλη επιβάρυνση του λιμανιού του Πειραιά σε βαρέα μέταλλα. Επιβάρυνση παρουσιάζεται και στον Κόλπο της Ελευσίνας, όπως και στο λιμάνι του Λαυρίου.

Η κατάσταση σε λιμάνια με μεγάλη κυκλοφορία και βαρύ ρυπαντικό φορτίο (π.χ. Ν. Υόρκη) δεν είναι καθόλου εύκολο να περιγραφεί επακριβώς, καθώς μεταβάλλεται διαρκώς και σε ευρέα όρια και αν η δειγματοληψία δεν είναι αντιπροσωπευτική τα παλαιότερα αποτελέσματα εύκολα ανατρέπονται (Breslin and Sanudo – Wilhelmly 1999).

Για λόγους σύγκρισης αναφέρεται ότι η ρύπανση του λιμανιού του Πειραιά είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που έχει μετρηθεί στο Λονδίνο (Fatoki and Mathabatha 2001). Και τα δύο λιμάνια βρίσκονται στην βιομηχανική περιοχή της χώρας τους, εκτελούνται σε αυτά ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες και η περιοχή τους δεχόταν για πολλά χρόνια τα αστικά και βιομηχανικά λύματα ολόκληρης της γύρω περιοχής (το Λονδίνο δεχόταν τα λύματα και άλλων περιοχών, τα οποία κατέληγαν στο ποταμό Τάμεση πριν αυτός φτάσει στην πόλη). Έτσι, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι τα δύο λιμάνια έχουν παρόμοιες πηγές ρύπανσης. Στην περιοχή του Λονδίνου η ποιότητα του περιβάλλοντος έχει βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια μετά την έναρξη της εφαρμογής επεξεργασίας λυμάτων από τη δεκαετία του 1960 (Wiese et al 1997). Βελτίωση με τον ίδιο τρόπο έχει παρατηρηθεί και σε άλλο λιμάνι στην Αυστραλία με μικρότερη ιστορία ρύπανσης (He and Morrison 2001). Αυτό σημαίνει πως η διαχείριση του

ρυπαντικού φορτίου ενός λιμανιού μπορεί να φέρει αποτελέσματα. Τα ιζήματα έχουν επανειλημμένως χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση της ανθρώπινης επίδρασης σε υδάτινα συστήματα όπως το μεγάλο λιμάνι του Σίδνεϋ (Irvine and Birch 1998, Birch et al 2000) , όπου έχουν παρατηρηθεί ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις μετάλλων στα πιο κλειστά σημεία του λιμανιού (Cu, Pb, Zn) με μεγαλύτερες μέγιστες τιμές από αυτές που έχουν μετρηθεί στο λιμάνι του Πειραιά (Birch and Taylor 1999). Με βάση τα στοιχεία της Greenpeace οι τιμές του κασσίτερου στην περιοχή της Κυνόσουρας είναι από τις μεγαλύτερες της Ευρώπης, φτάνοντας το 90 % της μέγιστης τιμής που βρέθηκε στο Κίελο της Γερμανίας, το 40 % της μέγιστης τιμής της Μασσαλίας και το διπλάσιο της μέγιστης τιμής της Αμβέρσας (Βέλγιο), που είναι η περιοχή με την αμέσως επόμενη σε μέγεθος τιμή ενώ είναι 4,5 φορές μεγαλύτερη από τη μεγαλύτερη τιμή της Βαρκελώνης, με τις τιμές σε όλα τα άλλα τα σημεία της Ευρώπης και της Μεσογείου να είναι πολύ μικρότερες (www.greenpeace.org). Όλες οι μετρήσεις της εργασίας αυτής έδειξαν ότι υψηλές τιμές κασσίτερου συνοδεύονται πάντα από υψηλές τιμές βαρέων μετάλλων (αν και το αντίστροφο δεν είναι απαραίτητο), επομένως το λιμάνι του Πειραιά είναι μια περιοχή της Ευρώπης και της Μεσογείου με πολύ αυξημένες τιμές σε βαρέα μέταλλα, όπως έχει ήδη δηλωθεί με βάση τις χαμηλότερες τιμές του κόλπου της Ελευσίνας (Scoullou 1981, Scoullou 1986, Scoullou and Constantianos 1996). Το γεγονός της σύνδεσης των υψηλών τιμών του κασσίτερου με υψηλές τιμές βαρέων μετάλλων μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία του μετάλλου στα υφαλοχρώματα, όπου συνδέεται με το χαλκό και το μόλυβδο κυρίως (Τσελέντης 2001). Όταν το χρώμα διαλύεται στη θάλασσα, κυρίως σε χώρους στάθμευσης πλοίων, παρασύρει τα μέταλλα αυτά στο ιζήμα. Παράλληλα, λόγω της οξειδωσίας του χάλυβα των πλοίων, υπάρχει στα ίδια σημεία επιβάρυνση σε σίδηρο και σε άλλα μέταλλα που υπάρχουν στα κράματα (κυρίως μαγγάνιο, χρώμιο, νικέλιο, ψευδάργυρος). Αν λάβουμε υπ' όψη ότι κατά τη διενέργεια εργασιών αμμοβολής το κέλυφος του πλοίου «ξεφλουδίζει», τότε συμπεραίνουμε ότι όλα τα μέταλλα που συμμετέχουν στη σύσταση του κύτους του πλοίου (μεταξύ αυτών και ο κασσίτερος) ελευθερώνονται στα ιζήματα του πυθμένα. Αυτό ισχύει για τον κασσίτερο στα λιμάνια, αλλά αν η πηγή ρύπανσης είναι άλλη από πλοίο ή εργασίες αμμοβολής, είναι δυνατό να υπάρχουν αυξημένες τιμές σε άλλα μέταλλα, χωρίς αυξημένες τιμές κασσίτερου. Τέτοια παραδείγματα είναι το εργοστάσιο λιπασμάτων της Δραπετσώνας (δείγματα 9/13 και 9/17), ο ΚΑΑΚ (δείγμα 9/18), τα εργοστάσια του κόλπου της Ελευσίνας (π.χ. δείγματα E4 και E5) και το λιμάνι του Λαυρίου (π.χ. δείγματα Λ3 και Λ10).

Είναι φανερό ότι αν μια περιοχή, όπως το λιμάνι του Πειραιά (και ειδικά το ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του) χαρακτηριστεί σαν φορέας υψηλού ρυπαντικού φορτίου, υπάρχει αναγκαιότητα ανάληψης δράσης. Το πρώτο βήμα είναι η γνώση της κατάστασης, πορείας και λειτουργίας του λιμανιού για τον εντοπισμό των προβλημάτων και την πορεία προς την λύση τους. Έχει καταβληθεί προσπάθεια από την ΕΕ για τη χρήση μοντέλων που προβλέπουν την ιζηματογένεση στα λιμάνια με στόχο την όσο τα δυνατό αποτελεσματικότερη διαχείριση των λιμενικών δραστηριοτήτων που επηρεάζουν ή / και επηρεάζονται από ιζηματογένεση (<http://hjs.geol.uib.no/hsense/>). Αφορά κυρίως λιμάνια με έντονα προβλήματα διαρκούς ιζηματογένεσης και ό,τι αυτό συνεπάγεται, όπως την αναγκαιότητα να γίνονται συχνές προγραμματισμένες, αλλά και αρκετές έκτακτες βυθοκορήσεις ώστε να είναι δυνατή η απρόσκοπτη λειτουργία του λιμανιού. Στη συνέχεια φυσικά προκύπτει η

αναγκαιότητα διαχείρισης του υλικού βυθοκόρησης. Η ύπαρξη και λειτουργία ενός λιμανιού σε περιοχή έντονης ιζηματογένεσης είναι πιθανό να δημιουργεί προβλήματα, στερώντας από το οικοσύστημα χώρο για απόθεση των ιζημάτων και δημιουργώντας πιθανό κίνδυνο απόφραξης οδών απορροής με τα φυσικά επακόλουθα (πλημμύρες κλπ). Το λιμάνι δηλαδή δεν πρέπει να εξετάζεται αυστηρά στα όριά του και μόνο, αλλά σαν ένα τμήμα ενός ευρύτερου συνόλου, που αλληλεπιδρά με τα άλλα μέρη του συνόλου. Για παράδειγμα, αν για τη δημιουργία του Χ λιμανιού κλείσουν έστω 2 ρέματα, πρέπει να απαντηθεί το ερώτημα τι θα γίνει με το υδάτινο φορτίο που εξυπηρετούσαν τα ρέματα. Τα συμπεράσματα μια τέτοιας έκτασης εργασίας είναι πάντα χρήσιμα, έστω και σαν οδηγός σκέψης.

Δεν είναι φυσικά μόνο η ΕΕ που ενδιαφέρεται για τη δημιουργία τέτοιων μοντέλων. Το πρώτο βήμα για την κατασκευή ενός μοντέλου πρόβλεψης είναι η γνώση της κυκλοφορίας του νερού μέσα και γύρω από το λιμάνι, έτσι ώστε να προκύψει γνώση της κίνησης του ιζήματος. Αυτό είναι πρωταρχικό για τη σχεδίαση νέων τμημάτων ενός λιμανιού ή ενός νέου λιμανιού, αλλά και για την καλύτερη κατανόηση της κατάστασης σε ένα υπάρχον σύστημα. Η μελέτη μπορεί:

- να αφορά την ευρύτερη περιοχή, όπως η περίπτωση της Αλεξάνδρειας της Αιγύπτου που αντιμετωπίζει την εισροή και διασπορά λάσπης από το Δέλτα του Νείλου. Εκεί κρίνεται αναγκαία η εξέταση της ευρύτερης περιοχής, καθότι ο όγκος των υδάτων και του ιζήματος καθορίζει σαν άμεση προτεραιότητα την ανάλυση του συνόλου της ροής των υλικών (Sharaf El Din and Mahar 1997)
- να εξετάζει γενικότερα τον τρόπο δράσης των κυμάτων ή της παλίρροιας στα λιμάνια, σε μια προσπάθεια πρότασης μιας αποτελεσματικότερης κατασκευής τμημάτων του λιμανιού για καλύτερο και ασφαλέστερο ελλυμνισμό (Hu et al 1997)
- να εξετάζει τη μεταφορά ιζημάτων σε κανάλια που καταλήγουν σε λιμάνια και στην ουσία αποτελούν τμήματά τους, έτσι ώστε το λιμάνι να μην αντιμετωπίσει προβλήματα από το εισρέον ίζημα, πολλές μορφές υπό μορφή λάσπης (Kaczmarek and Ostrowski 1997)
- να είναι μια γενικότερη μελέτη του φαινομένου με τη βοήθεια μαθηματικών και πειραματικών μοντέλων με δεξαμενές και μακέτες του λιμανιού, έτσι ώστε να οριστούν οι μεταβλητές που επιδρούν στη λειτουργία του λιμανιού και να υπάρξει δυνατότητα βελτιστοποίησης της σχεδίασης της οποιασδήποτε επέκτασης του λιμανιού (Yin et al 2000).

Μελέτες έχουν γίνει και στην Ελλάδα για τον κόλπο της Ελευσίνιας (Ασημακόπουλος και Αμπατζόγλου 1989, Πάρης κ.α. 1991) που αποτελεί και την περισσότερο μελετημένη θαλάσσια περιοχή της Ελλάδας. Τα μοντέλα διάχυσης που υπάρχουν αφορούν κατά κανόνα την ανοικτή θάλασσα, αλλά μπορούν να επεκταθούν και σε παράκτιες περιοχές (Καραμπάς κ.α. 1995). Θεωρείται αρχικά απαραίτητη μια μελέτη των ρευμάτων στο λιμάνι του Πειραιά, ώστε να μπορέσει να προχωρήσει η μελέτη για την κατασκευή ενός μοντέλου μεταφοράς ιζημάτων για το λιμάνι και να προσομοιωθεί η επίδραση των πλοίων στην ανακατανομή του ιζήματος κατά τους ελιγμούς

που τελούν κατά τον απόπλου και κατάπλου. Παράλληλα με την προσπάθεια μαθηματικής μοντελοποίησης, προτείνεται και η λύση της προσομοίωσης της λειτουργίας του λιμανιού με τη χρήση μακέτας του λιμανιού και δεξαμενής. Η παράλληλη προσέγγιση του προβλήματος με τους δύο αυτούς τρόπους προτείνεται σαν η καλύτερη λύση.

Απλά μοντέλα έχουν δημιουργηθεί για την πρόβλεψη του φορτίου σε βαρέα μέταλλα από απορροές και αστικά λύματα (Yuan et al 2001). Τα μοντέλα για τα λιμάνια είναι πιο πολύπλοκα, καθώς πρέπει να λάβουν υπ' όψη τους πολύ περισσότερες παραμέτρους (Pontee et al 2000). Εκτεταμένες μελέτες έχουν γίνει για την κατάσταση στο λιμάνι του Ρότερνταμ (De Kok and Van der Meulen 1997, Van der Meulen et al 1998) και η επίδραση κάθε νέας επέμβασης πάντα εξετάζεται από πλευράς περιβαλλοντικής επίδρασης κάτω από τα πρίσματα της προηγούμενης εμπειρίας και του γενικότερου σχεδιασμού (Deelstra et al 2003).

Ανεξάρτητα από την κατασκευή μοντέλου μια διαδικασία ρουτίνας για ένα λιμάνι είναι ο καθαρισμός του με βυθοκόρηση. Αρχικός στόχος είναι, από τεχνολογικής πλευράς, η διατήρηση του επιθυμητού βάθους αλλά η σύγχρονη διαχείριση ενός λιμανιού προχωρά παραπέρα και θεωρεί το λιμάνι από όλες τις πλευρές και ενδιαφέρεται ιδιαίτερα για την ποιότητα του περιβάλλοντος. Το ίζημα αποτελεί μια φυσική παγίδα ρύπων. Αν το ίζημα με αυξημένο ρυπαντικό φορτίο απομακρυνθεί και καθαριστεί δεν αποτελεί πλέον ρύπο. Αν μάλιστα το καθαρό ίζημα (όλο ή μέρος του) επιστραφεί στο λιμάνι (με την προϋπόθεση χαμηλού ρυθμού ιζηματογένεσης) θα αποτελέσει εκ νέου παγίδα ρύπων και με συνεχή καθαρισμό καθιστούμε το ίζημα ένα φίλτρο για σύλληψη και απομάκρυνση των ρύπων. Για πιο αποτελεσματική επέμβαση απαραίτητη είναι η τήρηση όσο το δυνατόν πιο λεπτομερούς βάσης δεδομένων για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε κάθε απόφαση για δράση να μπορεί να στηριχτεί σε πραγματικά και όχι υποθετικά στοιχεία (Manheim et al 1999). Η μεγαλύτερη τέτοιας μορφής εργασία στην ιστορία των Η.Π.Α. υπήρξε ο καθαρισμός του λιμανιού της Βοστώνης στη Μασαχουσέτη (Banahan 2000), ενώ είχε προηγηθεί η απόρριψη των επεξεργασμένων λυμάτων (sludge) στο λιμάνι (Zago et al 2001). Με την ευκαιρία αυτή «διαβάστηκε» σε πυρήνες από το λιμάνι ολόκληρη η ιστορία της μεταλλευτικής και βιομηχανικής δραστηριότητα και η όλη ιστορία της περιοχής γενικότερα από την πρώτη εγκατάσταση των αποίκων μέχρι σήμερα (Mason et al in press). Δηλαδή μια εργασία αναβάθμισης του περιβάλλοντος της περιοχής της Βοστώνης συνετέλεσε και στη λήψη πιθανόν ανεκτίμητων και αδιάψευστων στοιχείων για την ιστορία της ιστορικής αυτής περιοχής της Νέας Αγγλίας. Σε μια τόσο μεγάλης έκτασης εργασία, πάντα παραμένει το ερώτημα αν και κατά πόσο υπήρξε επιτυχής. Ο λόγος για την αμφιβολία αυτή είναι το γεγονός ότι το κάθε αποτέλεσμα μπορεί να κριθεί αντικειμενικά μόνο σε βάθος χρόνου. Τα βιαστικά συμπεράσματα ('jumping into conclusions') δεν είναι το ζητούμενο. Σε κάθε περίπτωση, μια τέτοιας μορφής επέμβαση πρέπει να αντιμετωπίζεται μόνο σαν μια νέα αρχή για μια καλύτερη διαχείριση του λιμανιού. Το μεγαλύτερο ίσως πρόβλημα που ανακύπτει είναι η διάθεση του υλικού που προκύπτει από τη βυθοκόρηση, ιδιαίτερα αν προέρχεται από περιοχή αυξημένης ιζηματογένεσης, οπότε ο καθαρισμός και η επιστροφή του στην αρχική του θέση δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν.

Μια πρόχειρη λύση είναι η τοποθέτηση του υλικού της βυθοκόρησης (χωρίς προηγούμενο καθαρισμό) σε βαθύτερα σημεία του λιμανιού, αλλά αυτό σαν πρόχειρη μόνο λύση μπορεί να αντιμετωπιστεί, αφού απλά αναβάλλει τη λύση του προβλήματος. Το πρόβλημα δε λύνεται έτσι, επιπλέον δε το ιζήμα με το ρυπαντικό φορτίο που μετακινείται μπορεί να προκαλέσει νέα προβλήματα, όπως να νεκρώσει τους βενθικούς οργανισμούς στη νέα θέση των ιζημάτων και να δράσει σαν δευτερογενής πηγή ρύπανσης σε νέο περιβάλλον, όπου οι φυσικοχημικές συνθήκες μπορεί να ευνοούν την απελευθέρωση των ρύπων. Προσπάθειες γίνονται για τη μείωση του υλικού που πρέπει να απομακρυνθεί με τη βοήθεια βυθοκόρησης μέσω της μείωσης της ιζηματογένεσης μέσα στο λιμάνι (Abood et al 1999).

Μια πιο συμβατική αντιμετώπιση περιλαμβάνει μεταφορά στη ξηρά, ξήρανση και επί τόπου συμπίεση (Vaghar et al 1997). Εννοείται ότι σε περίπτωση υψηλών ρυπαντικών φορτίων πρέπει να παρεμβληθεί έλεγχος, κυρίως για τη δυνατότητα απελευθέρωσης μετάλλων προς το περιβάλλον στη νέα τους θέση κάτω από ορισμένες συνθήκες (Guevara-Riba et al 2004) και, αν κριθεί απαραίτητο, καθαρισμός. Μια μη συμβατική προσπάθεια καθαρισμού έχει γίνει για το εξορυσσόμενο υλικό που προκύπτει από την εκθάμνιση του λιμανιού της Νέας Υόρκης με τη βοήθεια υπερήχων (Meegoda and Perera 2001). Μια πιο πρωτοποριακή αντιμετώπιση του θέματος είναι η χρήση του ιζήματος σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή τούβλων (Hamer and Karius 2002), στα οποία τα βαρέα μέταλλα δεσμεύονται με αποτέλεσμα να μην υπάρχει περιορισμός ως προς τη χρήση τους, να μην υπάρχει υλικό προς απόθεση αλλά και να μην εξορύσσεται νέο υλικό για τούβλα.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, για το λιμάνι του Πειραιά προέχει η μελέτη των ρευμάτων που πιθανόν επηρεάζουν την κυκλοφορία νερού και ιζήματος μέσα στο λιμάνι, ώστε να γίνει δυνατή η πιο ολοκληρωμένη μελέτη της περιοχής. Στη συνέχεια προτείνεται η προσπάθεια κατασκευής μαθηματικού μοντέλου, το οποίο θα λαμβάνει υπ' όψη του τα ρεύματα, τον κυματισμό και την επίδραση της κυκλοφορίας των πλοίων στην περιοχή του λιμανιού, καθώς και μοντέλου – μακέτας του λιμανιού σε εργαστηριακή δεξαμενή για τη μελέτη της διασποράς του ιζήματος κάτω από ελεγχόμενες πειραματικές συνθήκες. Με τη βοήθεια και των δύο αυτών προσεγγίσεων, είναι πιο ολοκληρωμένη η προσέγγιση του προβλήματος, καθώς η θεωρία (μαθηματικό μοντέλο) πρέπει να ελέγχεται και να επιβεβαιώνεται στην πράξη (μοντέλο μακέτα), αλλά και οι παρατηρούμενες συνθήκες του πειράματος να κωδικοποιηθούν με τρόπο που να διευκολύνεται η πρόβλεψη για συνθήκες που δεν έχουν ακόμα εξεταστεί πειραματικά (Davies 1971). Πέρα από τη μελέτη του λιμανιού με στόχο αρχικά την κατάγραφή των χαρακτηριστικών του και την κατανόηση της λειτουργίας του μέσα στο ευρύτερο οικοσύστημα της περιοχής, υπάρχει ένα πρόβλημα, το οποίο επισημαίνεται με την εργασία αυτή: Υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων δίπλα σε κατοικημένη περιοχή και υπάρχει κίνδυνος επιβάρυνσης ολόκληρου του Σαρωνικού κόλπου. Άρα υπάρχει αναγκαιότητα καθαρισμού της περιοχής. Με βάση αυτά που εκτέθηκαν προηγουμένως, επειδή στην περιοχή του Πειραιά δεν φαίνεται να υπάρχει υψηλός ρυθμός ιζηματογένεσης, προτείνεται η απομάκρυνση, ο καθαρισμός και η επιστροφή στην αρχική θέση του ιζήματος (η επιστροφή στη θέση αφορά τις περιοχές που δεν

κρίνεται απαραίτητη η άμεση ή μελλοντική εκβάθυνση του λιμανιού). Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι το ιζήμα θα λειτουργήσει σαν παγίδα - σφουγγάρι για τα βαρέα μέταλλα, που αναμενόμενα θα εξακολουθήσουν να επιβαρύνουν τη θαλάσσια περιοχή του λιμανιού, όπως γίνεται με όλα τα λιμάνια. Υπάρχουν δύο τουλάχιστον μεγάλες περιοχές του λιμανιού του Πειραιά, όπου οι πηγές ρύπανσης έχουν σταματήσει να «εκπέμπουν», η περιοχή της εκβολής του ΚΑΑΚ στη θάλασσα στο Κερατσίνι και η περιοχή του εργοστασίου λιπασμάτων στη Δραπετσώνα. Τα ιζήματα που βρίσκονται στις περιοχές επίδρασης των πηγών αυτών, καλύτερο είναι να απομακρυνθούν για δύο λόγους: (α) παρουσιάζουν πολύ υψηλές τιμές σε βαρέα μέταλλα για όλη την περιοχή και (β) δεν χρειάζονται ως παγίδες, αφού οι πηγές που προκάλεσαν τους συγκεκριμένους ρύπους δεν υπάρχουν πλέον. Όλα αυτά πρέπει να γίνουν αντικείμενο ειδικής τεχνικοοικονομικής και περιβαλλοντικής μελέτης, έτσι ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση για το περιβάλλον με το καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα.

Η λύση της δημιουργίας τούβλων (Hamer and Karius 2002) δεν είναι καθόλου άσχημη για το ιζήμα που απομακρύνεται οριστικά από την περιοχή, ιδιαίτερα αν το κόστος καθαρισμού του αποδειχθεί μεγάλο. Με βάση την πρότυπη δοκιμή εκχύλισης της Γερμανίας (LAGA 1996) μπορεί να ελεγχθεί η σταθερότητα του υλικού που αποτελεί τα τούβλα, ενώ από τις προτεινόμενες ανώτατες περιεκτικότητες (LAGA 1996) πρόβλημα φαίνεται να παρουσιάζεται μόνο για το μόλυβδο (max 1000 ppm), τον ψευδάργυρο (max 1500 ppm), το χαλκό (max 600 ppm) και το χρώμιο (max 600 ppm), από τα μέταλλα που μετρήθηκαν (στην περιοχή του εργοστασίου λιπασμάτων για τα τρία πρώτα και όπου γίνονται εργασίες αμμοβολής για τον ψευδάργυρο και το χρώμιο). Το πρόβλημα αυτό δεν πρέπει να αποτελέσει εμπόδιο, καθότι με κατάλληλη ανάμειξη του ιζήματος από διάφορες περιοχές του λιμανιού και με τη χρήση αδρανών από άργιλο ή με την ανακύκλωση θρυμματισμένων τούβλων, μπορεί εύκολα να επιτευχθεί περιεκτικότητα αρκετά χαμηλότερη από τα προτεινόμενα ανώτατα όρια.

Μια άλλη πιθανή λύση μετά τον καθαρισμό του είναι η χρησιμοποίησή του στις χωματερές, στο ρόλο του αδρανούς υλικού επιχωμάτωσης. Η περιοδική δειγματοληψία στο λιμάνι του Πειραιά κρίνεται επιβεβλημένη για την παρακολούθηση των τιμών των μετάλλων και την έγκαιρη προειδοποίηση από τυχόν αύξηση των τιμών τους, ώστε να αναληφθεί δράση για τον καθαρισμό της περιοχής.

Καθαρότερο λιμάνι του Πειραιά σημαίνει σε μεγάλο βαθμό και καθαρότερος Σαρωνικός και επομένως αναβάθμιση της ποιότητας ζωής για ολόκληρο το Λεκανοπέδιο.

Παρόμοια προσέγγιση προτείνεται, ανάλογα με το βαθμό επιβάρυνσης και για τα υπόλοιπα λιμάνια που μελετήθηκαν, καθώς και για τον κόλπο της Ελευσίνας, ανάλογα βέβαια με το ρυπαντικό τους φορτίο.

Η βυθοκόρηση και ο καθαρισμός του ιζήματος θα αναβαθμίσει την ποιότητα ζωής και στο Μικρολίμανο και στη μαρίνα Ζέας. Οι τιμές των ρύπων δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές (τα ίχνη ρύπανσης είναι όμως εμφανή), αλλά τα λιμάνια περικλείονται από κατοικίες και κέντρα αναψυχής και αποτελούν χώρο περιπάτου των κατοίκων του

Πειραιά. Η επιστροφή του ιζήματος θα κριθεί κατά περίπτωση. Στην περίπτωση της μαρίνας Ζέας, μετά την ανακάλυψη των νεώσοικων (κτηρίων στα οποία ανασύρονταν οι αθηναϊκές τριήρεις όταν δεν γίνονταν επιχειρήσεις) στη μαρίνα Ζέας (www.in.gr 23/7/2004 και 27/7/2004), η προστασία του περιβάλλοντος συμβαδίζει με την προστασία σημαντικών αρχαιολογικών τεκμηρίων για την αρχαία ιστορία του τόπου, αλλά και με την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η περιοδική δειγματοληψία στη μαρίνα Ζέας και στο Μικρολίμανο κρίνεται επιβεβλημένη για την παρακολούθηση των τιμών των μετάλλων, ώστε να ληφθεί απόφαση για τον καθαρισμό της περιοχής, όποτε αυτό κριθεί απαραίτητο.

Επειδή το πρόβλημα της σωστής περιβαλλοντικής διαχείρισης ενός λιμανιού ή ενός κλειστού κόλπου είναι ένα πρόβλημα παγκόσμιο, η εμπειρία από άλλες περιπτώσεις (Case Studies) πιο απλές ή πιο πολύπλοκες πρέπει απαραίτητα να λαμβάνεται συνεχώς υπ' όψη. Κάθε μέθοδος και κάθε πρακτική υπόκειται σε συνεχή έλεγχο, κριτική, αναθεώρηση και βελτίωση. Η κατάσταση στα λιμάνια μπορεί να βελτιωθεί και βελτιώνεται εκεί που υπάρχει θέληση.

	Pb	Cd	Cu	Υπόψη
	240			Quaresima et al 1994
	310	300	70	Clawson and Verdine 1981
	40	40	100	Vannote and Pomeroy 1983
			100	Clawson and Verdine 1981
	75		20	Verdine and Salomondje 1982
	100	100	100	Quaresima et al 1990
	100	100	100	Προστασία αρωματισμού
	100	100	100	
	100	100	100	

Πίνακας 11.1. Συγκριτικές τιμές ολικών περιεκτικοτήτων Pb, Zn και Cu σε ιζήματα από λιμάνια και κόλπους της Μεσογείου. Οι τιμές σε $\mu\text{g/g}$ (ppm) είναι οι μέγιστες που μετρήθηκαν

Περιοχή	Σχόλια	Pb	Zn	Cu	Πηγή
Βενετία		23			Guerzoni et al 1984
			5930		Stengar et al 1981
Αλεξάνδρεια	$\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$		470 ¹	1890 ¹	Saad et al 1981
Μασσαλία	200 μm , $\text{HCl}/\text{HNO}_3=3:1$	1250	2550	34	Arnoux et al 1980
Κόλπος Σμύρνης	160 μm , $\text{HCl}/\text{HNO}_3=3:1$	240			Uysal and Tuncer 1984
Θερμαϊκός κόλπος		310	2400	70	Chester and Voutsinou 1981
Πατραϊκός κόλπος		40	430	101	Varnavas and Ferentinos 1983
Παγασητικός κόλπος			945		Chester and Voutsinou 1981
		50		55	Voutsinou and Satsamadjis 1982
Χαλκίδα		110	377	80,4	Dasenakis et al 1996
Πειραιάς		1287	6230	1023	Παρούσα εργασία
Κόλπος Ελευσίνας		277	590,6	138	
Λάυριο		6255	21360	259	

(¹: μέσες τιμές).

Πίνακας 11.2 Μέταλλα σε επιφανειακά ιζήματα του Αιγαίου (Dasenakis et al 2000).

Δίνεται το εύρος τιμών σε µg/g (ppm).

	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Πηγή
Ανατολικό Αιγαίο 1980	5-30	10-25	22-55	60-305	270-2920	1,2
Ανατολικό Αιγαίο 1993	3-77		19-162	11-344	113-2625	3
Κόλπος Σμύρνης 1989	14-870	20-280	53-860			4
Σαρωνικός 1988	43-188	63-274	100-632		345-1223	5
Κόλπος Ελευσίνας 1977-84,1992	25-150	160-500	125-1500	40-80	350-1000	5,6,7
Θερμαϊκός 1975-76	7-69	16-268	39-560	75-440	340-2600	8
Στενά Ευρίππου 1993	28,4-80,4	27,5-110	77-377		351-676	9
Στενά Ευρίππου 1997	4,4-240	33,1-183	35,1-435		300-700	11
Παγασητικός 1975-76	10-55	15-50	30-945	55-420	255-4200	10
Ανοικτή Μεσόγειος 1990	10-49	10-93	20-260	9-46	52-2560	12

(1) Scoullas and Dassenakis 1983. (2) Voutsinou-Taliadouri 1982. (3) Ergin et al 1993. (4) UNEP 1989. (5) Φούφα 1993. (6) Scoullas 1979. (7) Voutsinou-Taliadouri et al. 1987. (8) Chester and Voutsinou 1981 (9) Dassenakis et al. 1996. (10) Voutsinou-Taliadouri and Balopoulos 1989. (11) Dasenakis et al. 1999. (12) UNEP 1990.

Πίνακας 11.3 Μέγιστες ολικές περιεκτικότητες μετάλλων σε $\mu\text{g/g}$ (ppm) στα ιζήματα Ελληνικών κόλπων (Δίκτυο Εργαστηρίων Παρακολούθησης Ποιότητας Περιβάλλοντος Ελληνικών Θαλασσών 2004). Τα ιζήματα προέρχονται από περιοχές ανοικτά των αντιστοιχών λιμανιών.

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd
Πατραϊκός					67,2	7,56	25,8	22,9	0,44
Παγασητικός	5.440	9.740	2.879	270	343	114	171	60,6	
Θερμαϊκός			562,3		286,7	269,7	249,3	66,9	1,07
Σαρωνικός			967,8		252,8	193,8	677,5	162,9	
Κόλπος Ελευσίνας			991,2		195	141,2	618,7	164,2	

Πίνακας 11.4 Μέγιστες ολικές περιεκτικότητες μετάλλων σε $\mu\text{g/g}$ (ppm) στα επιφανειακά ιζήματα των περιοχών της παρούσας μελέτης.

	Fe	Al	Mn	Ni	Cr	Pb	Zn	Cu	Cd	Sn
Πειραιάς (επιβ.)	64429	39723	305,9	143,6	520	749	2403	867,4	12,5	36,6
Πειραιάς (εμπ.-ναυπ.)	227488	31443	2625	688	7094	1287	6230	1023	26,3	66
Μαρίνα Ζέας	14950	31348	293	109,3	167	118	285	93	14	7,6
Μικρολίμανο	17399	48024	331,3	147,8	325	71	743,1	103,7	3,3	13,6
Μαρίνες Σαρωνικού	21838	25553	350	99	142,2	168	410	36,8	3,5	3,1
Κόλπος Ελευσίνας	41828	42230	851,3	257	185,6	477	590,6	138	13	9,2
Λαύριο	49700	26373	5363	203	151	6255	21360	259	7,9	10,3
Ραφήνα	15403	42808	288	75	149	69	188	47,5	0,4	0,0

12. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Όπως αναφέρθηκε στο πέμπτο κεφάλαιο η Μεταλλευτική έχει προηγηθεί χρονικά στην έρευνα για την εύρεση περιεκτικότητας σε σημεία που δεν υπάρχει δείγμα. Οι πρώτοι ερευνητές είχαν στηριχθεί στο «ένστικτο» τους, το οποίο δεν κάτι διαφορετικό από την αξιοποίηση πληροφοριών που κατέχουμε εν αγνοία μας. Για παράδειγμα, οι αρχαίοι Αθηναίοι χωρίς να είναι αναπτυγμένη η επιστήμη της γεωλογίας ακολουθούσαν πάντα την επαφή σχιστόλιθου – μαρμάρου για να φτάσουν στο μέταλλευμα, έχοντας αναγνωρίσει στην ουσία την τάση του μεταλλεύματος να βρίσκεται σε αυτή την επαφή. Η ικανότητα αυτή διάκρινε τους πιο επιτυχημένους ερευνητές μεταλλευμάτων (prospectors) μέχρι τη συστηματοποίηση των γνώσεων. Η ικανότητα να διαβάσει κάποιος την τάση στην μεταβολή των ιδιοτήτων ενός κοιτάσματος αποτελεί βασικό προσόν για μια πρώτη εκτίμηση της κατάστασης και προώθηση της έρευνας προς τη σωστή κατεύθυνση. Η πρωταρχική ανάλυση των δεδομένων σκοπό έχει να βρει την τάση μεταβολής των ιδιοτήτων που ενδιαφέρουν (π.χ. περιεκτικότητα σε σίδηρο), ανακαλύπτοντας την εξίσωση που εκφράζει καλύτερα την κατανομή, έτσι ώστε να δίνεται συνεχής τιμή στις μεταβλητές (Peters et al 1973). Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η κατασκευή ισοπεριεκτικών χαρτών με τη μέθοδο της πολυωνυμικής παλινδρόμησης που έχει εξεταστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, αλλά και η εύρεση της τάσης μιας μεταβλητής σε μία διεύθυνση, που εξετάζεται στο κεφάλαιο αυτό.

12.1. Εξίσωση επιφάνειας

Η συνήθης πρακτική της μεταλλευτικής είναι να χρησιμοποιεί την απλούστερη δυνατή πολυωνυμική εξίσωση για την έκφραση του κατανομής. Οι άξονες, αν δεν υπάρχει άλλος λόγος ορίζονται σαν η διεύθυνση Δύση – Ανατολή (άξονας των x) και Νότος – Βορράς (άξονας των y). Η συνηθέστερη εξίσωση που περιγράφει την τάση είναι πολυωνυμική, της μορφής:

$$\Phi_1 = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

Με δημοφιλέστερη τη μορφή της ευθείας: $\Phi_1 = a_0 + a_1x$

Η ουσία του προβλήματος είναι η εύρεση των συντελεστών του πολυωνύμου, οι οποίοι ικανοποιούν ένα συγκεκριμένο κριτήριο. Σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές το κριτήριο αυτό είναι η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των αποστάσεων των σημείων από τη δημιουργούμενη καμπύλη, ή (στην ουσία) να απέχουν όσο το δυνατό λιγότερο από τις μετρήσεις, με ιδανική την περίπτωση να επαληθεύουν τις μετρήσεις (McCracken and Donn 1965, Weiss 1965, Lustig 1969, Britannica CD97 1997). Με εξειδικευμένα υπολογιστικά προγράμματα, όπως αυτά που αναφέρθηκαν στο πέμπτο κεφάλαιο μπορούν να δημιουργηθούν αντί των ισοπεριεκτικών χαρτών τρισδιάστατοι χάρτες, όπου η εξαρτημένη μεταβλητή δίνεται σαν ύψος. Αυτό έχει αναλυθεί από μαθηματική και

προγραμματιστική άποψη πολύ πριν την γενιά προγραμμάτων της δεκαετίας του 1990 (McCracken and Dorn 1965, Weiss 1965, Lustig 1969). Η πρώτου βαθμού επιφάνεια είναι επίπεδο με εξίσωση:

$$z = A + Bx + Cy$$

Η δευτέρου βαθμού εξίσωση που περιγράφει μια επιφάνεια είναι:

$$z = A + Bx + Cy + Dx^2 + Exy + Fy^2$$

ενώ η τρίτου βαθμού είναι:

$$z = A + Bx + Cy + Dx^2 + Exy + Fy^2 + Gx^3 + Hx^2y + Ixy^2 + Jy^3$$

Τελικά καταλήγουν οι εξισώσεις αυτές να δίνουν υπερεπιφάνειες (hypersurfaces, Harbaugh and Merriam 1968). Θεωρητικά μπορεί να βρεθεί για κάθε σύστημα δεδομένων μία καμπύλη που να τα επαληθεύει απόλυτα. Αυτό δεν είναι πάντοτε επιθυμητό για τους εξής λόγους (Peters et al 1973) :

1. Μία καμπύλη που να περνά από όλα τα σημεία δεν είναι επιθυμητή. Μία ευθεία γραμμή είναι συνήθως πιο επιθυμητή γιατί δείχνει ξεκάθαρα την τάση των πραγμάτων.
2. Μπορεί να υπεισέλθουν σημαντικά λάθη στους υπολογισμούς λόγω στρογγυλοποίησης του αποτελέσματος και απώλειας δεκαδικών ψηφίων (round-off errors) κατά τους υπολογισμούς. Το πρόβλημα είναι προφανώς πιο έντονο όταν οι συντελεστές είναι μικροί και η τάξη του πολυώνυμου μεγάλη. Για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων εφαρμόζεται σε επιλεγμένα δεδομένα ανάλυση με σειρές Φουριέ (Fourier analysis), που αναφέρεται συχνά σαν αρμονική ανάλυση (harmonic analysis).

Η διαδικασία αυτή που δίνει τους χάρτες παρουσιάζεται πολύπλοκη και για μια ξεκάθαρη εικόνα και αυτό αποτελεί μειονέκτημα όταν πρέπει να ληφθεί μια απόφαση ή να διατυπωθεί μία κρίση (Hazen and Meyer 1966, Brooke 1968).

12.2. Εξίσωση καμπύλης

Με βάση όλα τα ανωτέρω μία εξίσωση του μικρότερου δυνατού βαθμού που περιγράφει την τάση σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση φαίνεται πιο χρήσιμη. Είναι μαθηματικά αποδειγμένο ότι υπάρχει πάντα ένα και μοναδικό πολυώνυμο n βαθμού που περνάει από κάθε ένα από $n + 1$ σημεία (Britannica CD97 1997). Επομένως αν έχουμε σε μία κατεύθυνση 6 σημεία, σίγουρα υπάρχει ένα πολυώνυμο πέμπτου βαθμού, το οποίο θα περνά και από τα 6 σημεία. Το ζήτημα είναι αν αυτό, με βάση όσα έχουν αναφερθεί, μπορεί να προσφέρει κάτι.

Στόχος ήταν μία απλή μεθοδολογία, η οποία να μπορεί να δώσει αποτελέσματα χωρίς τη χρήση εξειδικευμένων

προγραμμάτων. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε σαν εργαλείο το Excel XP σε περιβάλλον Windows XP της Microsoft. Παρά τη θετική ή αρνητική κριτική που δέχεται το πρόγραμμα ή / και η παραγωγός εταιρεία είναι ο ευρύτερα διαδεδομένος συνδυασμός και έτσι η εφαρμογή μπορεί να έχει ευρύτερη χρήση. Στη συνέχεια αναπτύσσεται το σκεπτικό που προτείνεται από την εργασία αυτή για τη χρησιμοποίηση του μοντέλου μιας εξίσωσης για την μελέτη των τιμών που μετρώνται σε μια περιοχή, χρησιμοποιώντας απλά μαθηματικά και θεωρώντας το αποτέλεσμα ρύπανσης σαν ένα κοίτασμα.

Αν υπάρχει μία σταδιακή αύξηση ή μείωση μιας μεταβλητής σε κάποια κατεύθυνση, τότε αναμένεται αυτή να εκφράζεται από μία εξίσωση ευθείας. Στην περίπτωση που η υψηλότερη μέτρηση έχει σημειωθεί στο σημείο θ (αρχή άξονα), τότε μπορεί το σημείο αυτό να θεωρηθεί σαν 'πηγή'. Αν λοιπόν υπάρχει μία πηγή, υπάρχει μείωση όσο απομακρυνόμαστε από αυτή. Αν όμως η πηγή δεν βρίσκεται στο σημείο θ (αρχή) του άξονα, τότε είναι προφανές ότι έχουμε μείωση σε δύο κατευθύνσεις (όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή) με τον σχηματισμό ενός ακρότατου (μεγίστου) και τότε ίσως μία δευτεροβάθμια εξίσωση (η οποία έχει ένα σημείο καμπυλότητας) να είναι ικανή να περιγράψει το φαινόμενο. Ίδια λύση αναμένεται όταν υπάρχουν δύο πηγές, με τη μία στην αρχή του άξονα. Αυτό το σκεπτικό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αν έχω δύο πηγές (καμία στην αρχή του άξονα) τότε ίσως χρειάζεται μια εξίσωση τρίτου βαθμού (που έχει δύο σημεία καμπυλότητας) κοκ. Αυτό που ενδιαφέρει είναι η γραμμική τάσης, δηλ. η γραμμή που εκφράζει την πορεία των τιμών, χωρίς να τις ακολουθεί απόλυτα. Το πόσο απέχουν οι τιμές από τη γραμμική τάσης δίνεται από το συντελεστή συσχέτισης. Μεγαλύτερος συντελεστής σημαίνει πως η γραμμική τάσης «σέβεται» περισσότερο τις τιμές των δειγμάτων ($max = 1$). Είναι αυτονόητο, με βάση τα προηγούμενα, πως αν πρόκειται για το ίδιο σύνολο δεδομένων και για πολυωνυμική συνάρτηση όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός του πολυωνύμου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής συσχέτισης.

Οι τύποι γραμμής τάσης που υποστηρίζει το πρόγραμμα που επιλέχθηκε είναι: ο γραμμικός και ο πολυωνυμικός (μέχρι 6^{ου} βαθμού) που αναφέρθηκαν, ο λογαριθμικός ($y = a \ln(x) + b$), ο υπερβολικός ($y = ax^b$) και ο εκθετικός ($y = ae^{bx}$). Παρέχεται αυτόματα το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης (R^2) και οι συντελεστές των συναρτήσεων. Η επιλεγόμενη καμπύλη για κάθε τύπο που επιλέγει ο χρήστης και για κάθε σύνολο δεδομένων χαράσσεται με παρεμβολή με βάση τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων (Britannica CD97 1997).

Σημαντική είναι η ταύτιση των ανωτάτων και κατωτάτων σημείων (ακροτάτων, σημείων μηδενισμού της α' παραγώγου) και των σημείων καμπής (σημείων μηδενισμού της β' παραγώγου) των καμπυλών για δύο ή περισσότερα μέταλλα. Παρόμοια καμπύλη ή / και παρόμοια μορφή χάρτη για δύο ή περισσότερα μέταλλα που παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή συσχέτισης επιβεβαιώνει και ενισχύει τη συσχέτισή τους με κοινή πηγή. Εννοείται πως δεν είναι απαραίτητο πάντα να υπάρχει κάποια τάση. Τα περισσότερα ιζήματα δεν εμφανίζουν έντονες τάσεις, οι οποίες είναι έντονες σε περιοχές που έχουμε ρύπανση («κοιτάσματα»).

12.3. Εφαρμογή

Δοκιμάστηκε η προσαρμογή όλων των τύπων καμπύλης στα δεδομένα για τα λιμάνια που μελετήθηκαν και έγινε η επιλογή αυτής που θεωρήθηκε η πιο κατάλληλη. Ενώ στην περίπτωση των ισοπεριεκτικών χαρτών προτιμήθηκε η επιλογή ενός τύπου χάρτη για όλες τις περιπτώσεις ώστε να είναι πιο εύκολη η σύγκριση, στην περίπτωση της μορφής των καμπυλών τάσης αναζητήθηκε η καμπύλη που εκφράζει καλύτερα τις περιεκτικότητες στο κάθε λιμάνι ώστε να αναδειχθούν οι διαφορές. Η αρχική επιλογή αξόνων ήταν ο άξονας Δύση – Ανατολή για τον άξονα των x και Νότος – Βορράς για τον άξονα των y , με μονάδες μέτρησης τα πρώτα λεπτά της μοίρας (ναυτικό μίλι, ίσο με 1.852 μέτρα). Δεν είναι δύσκολη η μετατροπή σε διαφορετικές συντεταγμένες (Britannica CD97 1997), x' και y' : αν οι συντεταγμένες της αρχής των αξόνων του νέου συστήματος με βάση το ισχύον σύστημα (x, y) είναι (h, k) τότε:

$$x' = x - h \text{ και } y' = y - k$$

ενώ αν η γωνία κλίσης προς το ισχύον σύστημα των συντεταγμένων είναι ϕ (ίδια αρχή αξόνων):

$$x' = x \cos \phi + y \sin \phi \text{ και } y' = y \cos \phi - x \sin \phi$$

Από τα μέταλλα επιλέχθηκε ο σίδηρος για τις πρώτες δοκιμές για την επιλογή της πιο κατάλληλης καμπύλης τάσης. Το σκεπτικό ήταν ότι από όλα τα μέταλλα που μετρήθηκαν ο σίδηρος είναι εκείνο που συμμετέχει στο ίζημα σε σημαντικό βαθμό και σαν χερσογενές υλικό και σαν αποτέλεσμα ρύπανσης, σε αντίθεση με το αργίλιο και τον μόλυβδο π.χ., που έχουν συμμετοχή σχεδόν αποκλειστικά σαν χερσογενές υλικό και αποτέλεσμα ρύπανσης αντίστοιχα. Μετά τη σειρά των δοκιμών για το σίδηρο και την επιλογή του τύπου καμπύλης, αν αυτός αποδειχθεί μη ικανοποιητικός για κάποιο μέταλλο μετατρέπεται. Καμπύλες για το Μικρολίμανο και τη μαρίνα Ζέας δεν κατασκευάστηκαν επειδή λόγω του μικρού αριθμού των σημείων δεν θεωρήθηκε απαραίτητο. Οι μαρίνες του Σαρωνικού απέχουν πολύ μεταξύ τους για να υπάρξουν αντιπροσωπευτικές καμπύλες (εξ' άλλου στα μεταξύ τους διαστήματα, τα οποία είναι ελεύθερα από κάθε δραστηριότητα, οι τιμές αναμένεται να είναι μικρότερες και έτσι οι καμπύλες θα ήταν μη ικανοποιητικές). Όλες οι καμπύλες τάσης δίνονται στο παράρτημα.

12.3.1. Το λιμάνι της Ραφήνας

Έγινε μελέτη μόνο για το λιμάνι και όχι την ευρύτερη περιοχή επειδή τα εκτός λιμανιού σημεία απέχουν πολύ περισσότερο από τα υπόλοιπα απ' ότι τα εντός λιμανιού σημεία μεταξύ τους. Έγιναν δοκιμές για όλους τους δυνατούς τύπους καμπύλης. Μετά από τις σχετικές συγκρίσεις (Σχήματα 12.1 έως 12.7) και λαμβάνοντας υπ' όψη ότι αφενός στόχος πρέπει να είναι η καμπύλη που περιγράφει την κατανομή να είναι όσο το δυνατό χαμηλότερου βαθμού με μια καλή συσχέτιση και αφετέρου τα σημεία δειγματοληψίας στο λιμάνι είναι έξι, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί για όλα τα μέταλλα και κατά τους δύο άξονες το πολυώνυμο β' βαθμού

(τριώνυμο). Όπως είναι φυσικό η ευθεία παρουσιάζει μικρότερο συντελεστή συσχέτισης, ενώ όσο αυξάνεται ο βαθμός του πολυώνυμου ο συντελεστής αυξάνεται και φυσικά για πολυώνυμο $5^{ου}$ βαθμού έχουμε $R^2 = 1$. Το βασικό ζήτημα είναι όμως ότι οι καμπύλες αυτές, εκτός του ότι είναι πιο πολύπλοκες, δεν έχουν φυσικό νόημα, αφού ενώ ικανοποιούν τα μαθηματικά κριτήρια, τα ακρότατά τους απέχουν σημαντικά από τις πραγματικές τιμές (μετρήσεις) και ως εκ τούτου δεν περιγράφουν ικανοποιητικά την κατάσταση. Αυτό μοιάζει με τη συχνή απόρριψη μιας ή και περισσότερων τιμών που προκύπτουν από την επίλυση μιας εξίσωσης που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση / μελέτη ενός προβλήματος (π.χ. απόρριψη της αρνητικής λύσης του τριωνύμου όταν ζητείται η ηλικία ή η απόλυτη θερμοκρασία, απόρριψη μιγαδικών λύσεων όταν ζητείται η ταχύτητα κλπ). Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις σημειώνουμε το γνωστό «η λύση αυτή απορρίπτεται γιατί δεν έχει φυσικό νόημα». Από τους άλλους τύπους καμπύλης μόνο ο εκθετικός μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αλλά τα αποτελέσματα που δίνει δεν είναι καλύτερα από του τριωνύμου. Με βάση όλα τα ανωτέρω θεωρώ ότι το τριώνυμο εκφράζει καλύτερα την κατάσταση στο λιμάνι της Ραφήνας με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία. Οποιοδήποτε νέο στοιχείο προκύψει στο μέλλον είναι δυνατόν να ελέγξει η / και βελτιώσει το υπάρχον μοντέλο. Πάντα πρέπει να έχουμε υπ' όψη μας ότι χρησιμοποιούμε τα μαθηματικά για να εκφράσουμε στον καλύτερο δυνατό βαθμό ποσοτικά μια κατάσταση που είναι εκφρασμένη ποιοτικά και ότι προσπαθούμε να προσαρμόσουμε το μοντέλο στην κατάσταση και όχι το αντίθετο. Η κατάσταση που παρατηρούμε είναι η πραγματικότητα και το μοντέλο μια προσέγγισή της. Οι καμπύλες δίνονται στα Σχήματα 12.1, 12.5 και 12.8 έως 12.16.

Αξιοσημείωτη είναι η κατά κανόνα καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων (για το ίδιο μέταλλο και τον ίδιο τύπο εξίσωσης καμπύλης) από τις καμπύλες της κατεύθυνσης Δύση – Ανατολή από αυτές της κατεύθυνσης Νότου – Βορρά για τα μέταλλα που συνδέονται με ανθρωπογενή επίδραση (μόλυβδος, ψευδάργυρος, χαλκό και σε μικρότερο βαθμό νικέλιο και χρώμιο), ενώ ακριβώς η αντίθετη παρατήρηση ισχύει για το αργίλιο, το σίδηρο (όπως έχει σημειωθεί η ρύπανση στη Ραφήνα είναι μικρή), το μαγγάνιο και τα ανθρακικά. Αυτό προκύπτει από την παρατήρηση των συντελεστών συσχέτισης για κάθε μέταλλο και κάθε κατεύθυνση, αφού μεγαλύτερο R^2 σημαίνει καλύτερη απεικόνιση της κατάστασης. Οι τάσεις για κάθε μια από τις δύο ομάδες των μετάλλων ακολουθούν παρόμοιες καμπύλες αποτελώντας ισχυρή ένδειξη για την κοινή προέλευσή τους. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί μέχρι ένα βαθμό από το γεγονός ότι ο άξονας κατάπλου και απόπλου στο λιμάνι έχει τη διεύθυνση Ανατολή - Δύση, στην ίδια δε διεύθυνση βρίσκονται και οι προβλήτες πρόσδεσης των πλοίων. Η πορεία και παραμονή των πλοίων επηρεάζει πιθανόν τη συγκέντρωση των προαναφερθέντων μετάλλων, ενώ η επίδρασή της στην συγκέντρωση του σιδήρου είναι μικρότερη. Ένα άλλο γεγονός που ίσως συντείνει το φαινόμενο είναι το γεγονός ότι το λιμάνι είναι ανοικτό προς τα ανατολικά, άρα ο κυματισμός είναι πιο εύκολο να επηρεάσει στην κατεύθυνση αυτή την απόθεση των ρύπων. Ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το αργίλιο και τα ανθρακικά φαίνεται να παρουσιάζουν μια μικρή μεταβολή για γεωλογικούς λόγους. Η ύπαρξη της αμμώδους παραλίας στο Ν τμήμα του λιμανιού, σε ασυμφωνία με την υπόλοιπη ακτογραμμή ενισχύει αυτή την υπόθεση.

12.3.2. Το λιμάνι του Λαυρίου

Έγινε μελέτη μόνο για το λιμάνι και όχι την ευρύτερη περιοχή επειδή τα εκτός λιμανιού σημεία απέχουν πολύ περισσότερο από τα υπόλοιπα απ' ότι τα εντός λιμανιού σημεία μεταξύ τους. Έγιναν δοκιμές (Σχήματα 12.17 έως 12.23) για όλους τους δυνατούς τύπους καμπύλης. Με βάση το ίδιο σκεπτικό που αναπτύχθηκε για το λιμάνι της Ραφήνας, μετά από τις σχετικές συγκρίσεις και λαμβάνοντας υπ' όψη ότι τα σημεία δειγματοληψίας στο λιμάνι είναι εννέα, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί για όλα τα μέταλλα και κατά τους δύο άξονες το πολυώνυμο β' βαθμού (τριώνυμο). Όπως είναι φυσικό η ευθεία παρουσιάζει μικρότερο συντελεστή συσχέτισης, ενώ όσο αυξάνεται ο βαθμός του πολυωνύμου ο συντελεστής αυξάνεται, οι καμπύλες όμως δεν έχουν φυσικό νόημα, αφού τα ακρότατά τους απέχουν σημαντικά από τις πραγματικές τιμές (μετρήσεις). Το R^2 τείνει προς τη μονάδα (1) χωρίς ο βαθμός του πολυωνύμου να χρειαστεί να φτάσει στον θεωρητικά απαιτούμενο 8° . Από τους άλλους τύπους καμπύλης δυνατή είναι η κατασκευή μόνο της εκθετικής, η οποία δίνει αποτελέσματα ανάλογης αξιοπιστίας με αυτά της ευθείας (πρωτοβάθμιας εξίσωσης). Οι καμπύλες δίνονται στα Σχήματα 12.17, 12.21 και 12.24 έως 12.34.

Σε σύγκριση με ότι παρατηρήθηκε και αναλύθηκε προηγουμένως για το λιμάνι της Ραφήνας παρατηρείται γενικά μεγαλύτερη αξιοπιστία όλων των αντίστοιχων παραγόμενων καμπυλών, γεγονός που αν συνδυαστεί με τις μεγαλύτερες συσχετίσεις των μετάλλων μεταξύ τους έχει να κάνει με την σημαντικά μεγαλύτερη γεωλογική ομοιομορφία του λιμανιού του Λαυρίου. Η ιδιαιτερότητα που παρατηρήθηκε στη Ραφήνα με την άνιση προσέγγιση των καμπυλών στα αποτελέσματα ανάλογα με τον άξονα (πάντα για το ίδιο μέταλλο και τον ίδιο τύπο εξίσωσης καμπύλης) παρατηρείται και εδώ και μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις πολύ πιο έντονα.

Αυτό είναι λογικό και επόμενο, αφού στην περίπτωση του λιμανιού του Λαυρίου εκτός από τον απόπλου και κατάπλου του πλοίου κατά τη διεύθυνση Ανατολή - Δύση, το Λαύριο υπήρξε για χρόνια λιμάνι φόρτωσης μεταλλευμάτων και εμπλουτίσματος. Αναμένεται κάποια διασπορά του σημαντικότερου ρύπου της περιοχής, ήτοι του μεταλλεύματος και του εμπλουτίσματος, που περιέχουν κυρίως ψευδάργυρο (που συνοδεύεται από κάδμιο), μόλυβδο, σίδηρο (που συνοδεύεται από μαγγάνιο) και χαλκό. Η διασπορά αυτή θα δίνει καλύτερη προσέγγιση τιμών από τις καμπύλες (άρα και μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης) κατά την κατεύθυνση κατάπλου - απόπλου του πλοίου και κατά την κατεύθυνση του κυματισμού της θάλασσας, με το ίδιο σκεπτικό που αναπτύχθηκε για το λιμάνι της Ραφήνας. Στα μέταλλα αυτά που προαναφέρθηκαν υπάρχει και η μεγαλύτερη διαφορά συσχέτισης, που είναι μεγαλύτερη κατά τον άξονα Δύση - Ανατολή. Οι τάσεις για τα μέταλλα αυτά ακολουθούν παρόμοιες καμπύλες, επιβεβαιώνοντας την κοινή πηγή τους. Στη συσχέτιση των μετάλλων κατά τους δύο άξονες ξεχωρίζει η τιμή των μετάλλων στο νέο λιμενοβραχίονα (δείγμα Λ3).

Τα ανθρακικά, ο οργανικός άνθρακας και το αργίλιο παρουσιάζουν της ίδιας τάξης μεγέθους συντελεστές συσχέτισης στις δύο κατευθύνσεις. Τα υπόλοιπα μέταλλα δεν παρουσιάζουν σταθερή συμπεριφορά. Όλα τα μέταλλα και οργανικός άνθρακας παρουσιάζουν και κατά τις δύο διευθύνσεις αύξηση στην αρχή και το τέλος του

άξονα, σημεία που αντιπροσωπεύουν για την διεύθυνση Νότος – Βορράς το νότιο και το βόρειο όριο του λιμανιού και για τη διεύθυνση Δύση – Ανατολή το βάθος του λιμανιού (εργοστάσιο, φόρτωση) και την έξοδο – νέο λιμενοβραχίονα του λιμανιού (που ήδη έχει σχολιαστεί). Αντίθετα, τα ανθρακικά αυξάνονται στο κέντρο του λιμανιού κατά την διεύθυνση Δύση - Ανατολή και αυξάνονται προς το βόρειο τμήμα του λιμανιού, μακριά από την πορεία των πλοίων. Πιθανόν να οφείλεται στη συγκέντρωση οστράκων στις περιοχές αυτές και ιζηματοποίηση των ασβεστολιθικών κελυφών τους.

12.3.3. Ο κόλπος της Ελευσίνας

Όπως έχει αναλυθεί ο κόλπος της Ελευσίνας πρέπει να αναλυθεί σε δύο τμήματα για μελέτη. Η δυτική έξοδος εξ αιτίας της βυθοκόρησης δεν είναι προβλέψιμη όσον αφορά τις περιεκτικότητες και για το λόγο αυτό ανάλυση έγινε μόνο για το εσωτερικό του κόλπου (δείγματα E1 και E4-E9). Παρά την επιλογή μόνο των δειγμάτων από το εσωτερικό του κόλπου, οι καμπύλες συσχέτισης γραμμικής, υπερβολικής, εκθετικής και λογαριθμικής μορφής δεν δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τα πράγματα βελτιώνονται από πλευράς συσχέτισης με την αύξηση του βαθμού του πολυώνου. Εφόσον υπάρχουν επτά σημεία, θεωρητικά και όπως αποδεδεικνύεται στην πράξη υπάρχει πολυώνυμο 6^ο βαθμού που η εξίσωσή του περνάει από όλα τα σημεία, όμως δεν έχει φυσικό νόημα, αφού η καμπύλη δεν είναι ικανοποιητική. Λόγω του μικρού αριθμού των σημείων και της δυσκολίας προσαρμογής της καμπύλης στα σημεία (Σχήματα 12.35 έως 12.42) επιλέχθηκε το πολυώνυμο 3^ο βαθμού. Οι μεγαλύτερες συσχέτισεις προκύπτουν τόσο για στοιχεία που έχουν εντοπιστεί ως ανθρωπογενούς προέλευσης (χαλκό και ψευδάργυρο, οι τάσεις ακολουθούν παρόμοιες καμπύλες επιβεβαιώνοντας την κοινή πηγή τους) όσο και για στοιχεία που απλά συνδέονται πλήρως (ανθρακικά, κασσίτερο) ή εν μέρει (νικέλιο) με τη γεωλογία της περιοχής. Οι καμπύλες δίνονται στα Σχήματα 12.36, 12.41 και 12.43 έως 12.52.

Σαν συμπέρασμα, μια τόσο μεγάλη περιοχή δεν είναι εύκολο να δώσει την κρυμμένη τάση που παρουσιάζουν οι περιεκτικότητες με τόσο λίγα σημεία. Αν γίνει επικέντρωση σε ένα μικρότερο τμήμα του κόλπου με τα απαραίτητα δείγματα, τότε θα προκύψουν συμπεράσματα, όπως έγινε με τα λιμάνια του Λαυρίου και της Ραφήνας. Σαν πρώτη περιοχή για περαιτέρω έρευνα προτείνεται η περιοχή γύρω από το δείγμα E5, και μάλιστα λήψη πυρήνων ώστε να μελετηθεί το κέντρο και η έκταση του γεγονότος που απεικονίζεται στα 5 πρώτα εκατοστά του πυρήνα (μελέτη δύο μεταβλητών, «περιεκτικότητα και πάχος κοιτάσματος»). Στη συνέχεια προτείνεται για περαιτέρω έρευνα η περιοχή των E6 και E7 για να διαπιστωθεί πόσο εκτεταμένη είναι και σε τι οφείλεται η ύπαρξη μειωμένης περιεκτικότητας σιδήρου στην ανώτερη ζώνη πυρήνων ιζημάτων από βάθη μικρότερα των 20 μέτρων.

12.3.4. Το επιβατικό λιμάνι του Πειραιά

Επειδή όπως ήδη έχει αναλυθεί υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στα δύο τμήματα του λιμανιού κρίθηκε απαραίτητη

η διαδικασία να γίνει και για ολόκληρο το λιμάνι και χωριστά για τα τμήματα. Ο αριθμός των δειγμάτων από το επιβατικό λιμάνι του Πειραιά είναι είκοσι, τα οποία όμως δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένα. Τα δείγματα από τον λιμένα Αλών και το Α τμήμα του Κεντρικού λιμένα είναι 14 και μόνο τα υπόλοιπα έξι προέρχονται από το υπόλοιπο λιμάνι. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σε ακραία σημεία των αξόνων (Β και Α) να υπάρχει μεγαλύτερη πυκνότητα σημείων από τα υπόλοιπα τμήματα των αξόνων. Ο τύπος της ευθείας και ο εκθετικός είναι μόνοι δυνατοί εκτός από τους πολυωνυμικούς τύπους, αλλά απλά δίνουν την τάση μείωσης ή αύξησης χωρίς ικανοποιητικά αποτελέσματα (Σχήματα 12.53 έως 12.59). Η εφαρμογή μιας πολυωνυμικής εξίσωσης στα δεδομένα παρουσιάζει ότι προβλέπεται από τη θεωρία, δηλαδή καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα με την αύξηση του βαθμού του πολυωνύμου. Κατά την ανάλυση για το λιμάνι του Πειραιά αναφέρθηκε ότι πέρα από τις κύριες πηγές ρύπανσης υπάρχουν και πολλές μικρότερες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η κάθε πηγή να συνδυάζει την επενέργειά της με της υπόλοιπες δίνοντας μια πολύπλοκη εικόνα, η οποία φυσικά είναι αδύνατο να φανεί σε κάποιον ισοπερικτικό χάρτη. Με βάση την πολυπλοκότητα του φαινομένου αλλά και τον αριθμό των σημείων επιλέχθηκε ο υψηλότερος δυνατός βαθμός πολυωνύμου (που για το Excel XP σε περιβάλλον Windows XP της Microsoft είναι ο 6^{ος}) σε μια προσπάθεια για την καλύτερη δυνατή προσαρμογή της καμπύλης στα δεδομένα. Οι καμπύλες δίνονται στα Σχήματα 12.55, 12.59 και 12.60 έως 12.70.

Ένας μεγάλος αριθμός των σημείων «υποχρεώνου» την καμπύλη, η οποία υπολογίζεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων όπως έχει αναφερθεί, να έχει παντού φυσικό νόημα, γεγονός που δεν ισχύει όταν τα σημεία δειγματοληψίας είναι λίγα, αφού όσο αυξάνεται ο αριθμός των σημείων η καμπύλη υποχρεώνεται να περάσει σχετικά κοντά από όλα τα σημεία και έτσι αποκλείονται τα «αυθαίρετα» ακρότατα. Όταν τα σημεία δειγματοληψίας είναι λίγα (όπως παρατηρήθηκε στις τρεις προηγούμενες περιπτώσεις) οι καμπύλες παρουσιάζουν ακρότατα και σημεία καμψής που δεν δικαιολογούνται από τα δεδομένα. Στην περίπτωση όμως με πολλά σημεία, όπως είναι η περίπτωση του λιμανιού του Πειραιά, τα ακρότατα και τα σημεία καμψής πάντα ακολουθούν τα δεδομένα και έτσι παρά το γεγονός ότι οι κατανομές των μετάλλων είναι πολύπλοκες, σε αρκετές περιπτώσεις η υποδεικνυόμενη τάση είναι σαφής.

Τα ανθρακικά και το αργίλιο δεν παρουσιάζουν κάποια αξιολογή τάση. Ο οργανικός άνθρακας αντίθετα (7 σημεία, τριώνυμο) παρουσιάζει τάση αύξησης στην ανατολική πλευρά του λιμανιού με πολύ καλή προσαρμογή της καμπύλης, ενώ αυξάνεται και στο βόρειο τμήμα του λιμανιού χωρίς μεγάλη συσχέτιση.

Οι καμπύλες του αργιλίου είναι παρόμοιες με αυτές του νικελίου και του χρωμίου και στους δύο άξονες (καλύτερη συσχέτιση στον άξονα NB), όπως συμβαίνει για τις καμπύλες μολύβδου, ψευδαργύρου, καδμίου, κασσιτέρου και χαλκού (καλύτερη συσχέτιση για όλα τα μέταλλα στον άξονα ΔΑ), όπως και για το σίδηρο και το μαγγάνιο (NB).

Καλύτερη συσχέτιση παρουσιάζουν γενικά μέταλλα που παρουσιάζονται αυξημένα λόγω ανθρώπινης

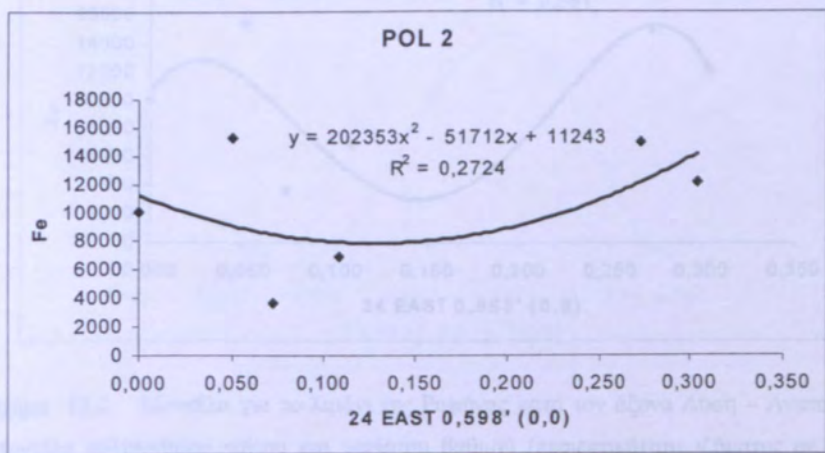
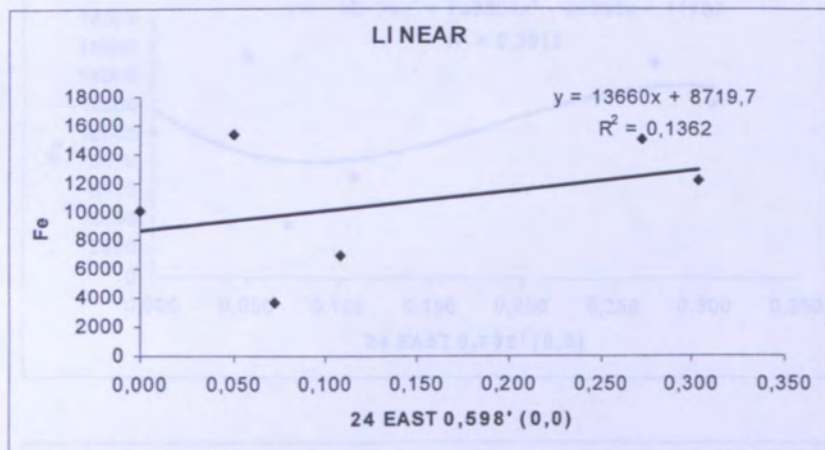
παρέμβασης (σίδηρος, μόλυβδος ΔΑ, χαλκός ΔΑ, ψευδάργυρος ΔΑ) και τα ανθρακικά (ΔΑ). Οι καλύτερες συσχετίσεις στον άξονα ΔΑ πιθανόν είναι αποτέλεσμα της θέσης των δύο κύριων πηγών ρύπανσης (ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες μέσα στο λιμάνι στο νότιο λιμενοβραχίονα και στις δεξαμενές Βασιλειάδη) στη δυτική περιοχή του λιμανιού, ενώ στον άξονα ΒΝ η κατάσταση για τα άλλα μέταλλα πλην του σιδήρου δεν είναι τόσο ξεκάθαρη. Θα μπορούσε να ισχυριστεί κάποιος ότι το ίδιο θα ίσχυε και αν τα μέταλλα παρουσίαζαν χημική συγγένεια. Όπως όμως ήδη έχει αναφερθεί προηγουμένως, αν υπήρχε χημική συγγένεια αυτή θα ήταν εμφανής και στη μαρίνα Ζέας και στο Μικρολίμανο, που περιβάλλονται από τα ίδια ακριβώς πετρώματα. Κατά πάσα πιθανότητα, μάλιστα, τα ίδια πετρώματα αποτελούν και το υπόβαθρο του πυθμένα των τριών λιμανιών. Επειδή αυτό δεν ισχύει, ο ισχυρισμός αυτός πρέπει να απορριφθεί. Τα ανθρακικά σχετίζονται με τις ανατολικότερες (ΒΑ κυρίως) πιο ήσυχες «γωνίες» του λιμανιού. Εκεί ίσως ευνοείται η ανάπτυξη μαλακίων, από τα ασβεστολιθικά όστρακα των οποίων προέρχονται τα ανθρακικά (Κατσίκη κ.α. 1996).

12.3.5. Το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό λιμάνι του Πειραιά

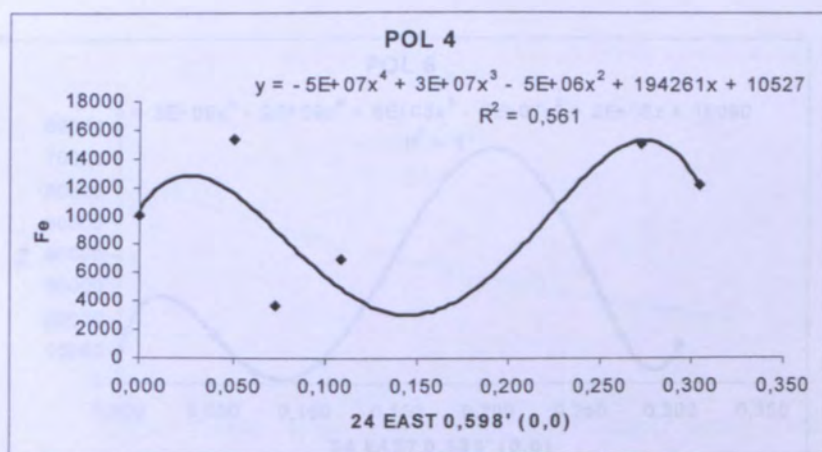
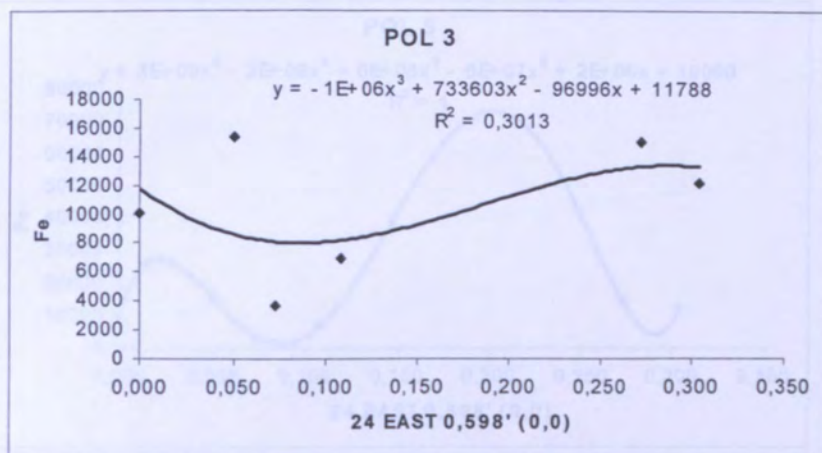
Τα τρία σημεία με τον πολύ αυξημένο σίδηρο (9/13, 9/17 και 9/23) αφαιρέθηκαν κατά την ανάλυση, γιατί η ύπαρξή τους δεν επέτρεπε την κατασκευή καμπύλης. Τα σημεία εξαιρέθηκαν και κατά τη συνολική θεώρηση του λιμανιού.

Οι καμπύλες που δημιουργήθηκαν για τα υπόλοιπα επτά (7) σημεία ήταν μη ικανοποιητικές για το γραμμικό και εκθετικό τύπο, (αδύνατες για λογαριθμικό και υπερβολικό), ενώ όσον αφορά τις πολυωνυμίες, καλύτερα αποτελέσματα δίνει η καμπύλη του 3^{ου} βαθμού (Σχήματα 12.71 έως 12.77). Οι ανώτερου βαθμού καμπύλες δίνουν φυσικά μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης, αλλά δεν έχουν φυσικό νόημα. Οι καμπύλες δίνονται στα Σχήματα 12.72, 12.76 και 12.78 έως 12.88.

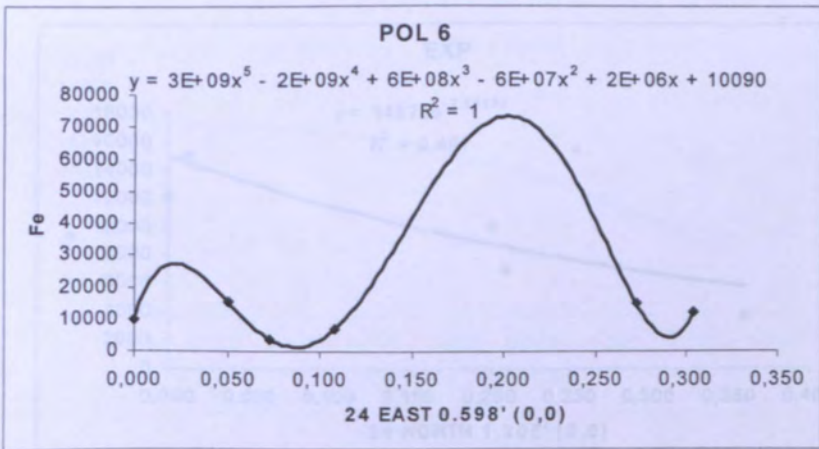
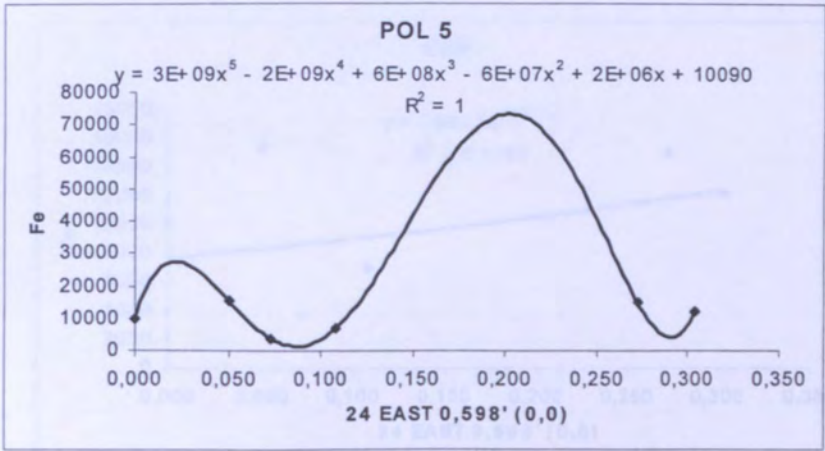
Καλύτερες γενικά είναι οι καμπύλες στον άξονα Νότος – Βορράς, γεγονός επόμενο αφού οι προβολές των θέσεων των δειγμάτων στον άξονα αυτό είναι μικρότερες (πυκνότερος κίνναβος κατά μια έννοια). Καμπύλες που δηλώνουν καλύτερα τις τάσεις είναι κυρίως αυτές που αντιστοιχούν στα ανθρωπογενούς προέλευσης μέταλλα, το μόλυβδο, τον ψευδάργυρο (ακολουθείται από το κάδμιο), το χαλκό και το σίδηρο (ακολουθείται από το μαγγάνιο). Ακολουθεί η καμπύλη για το χρώμιο. Οι τάσεις για τα μέταλλα αυτά ακολουθούν παρόμοιες καμπύλες (πλην του χαλκού), επιβεβαιώνοντας την κοινή πηγή τους. Η υπόθεση της χημικής συγγένειας απορρίπτεται με το ίδιο σκεπτικό που απορρίφθηκε για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού. Ο οργανικός άνθρακας εμφανίζεται αυξημένος στα άκρα της περιοχής δειγματοληψίας, που βρίσκονται πιο κοντά στις ακτές, και στα τέσσερα σημεία του ορίζοντα και μειωμένος στο κέντρο της περιοχής δειγματοληψίας.



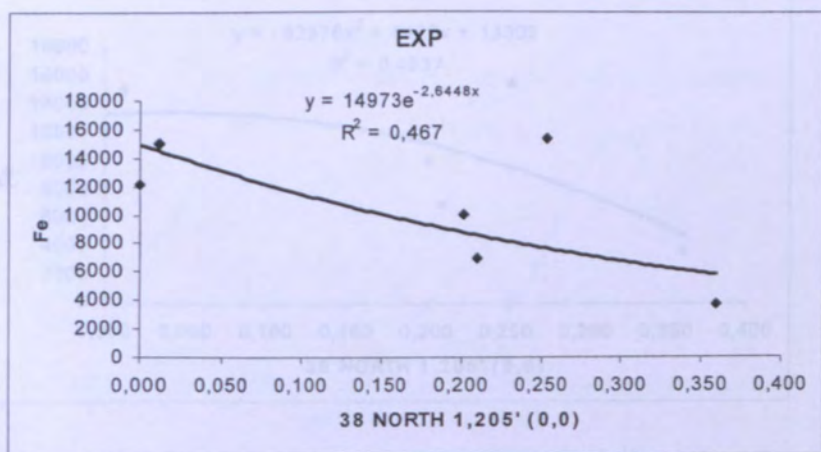
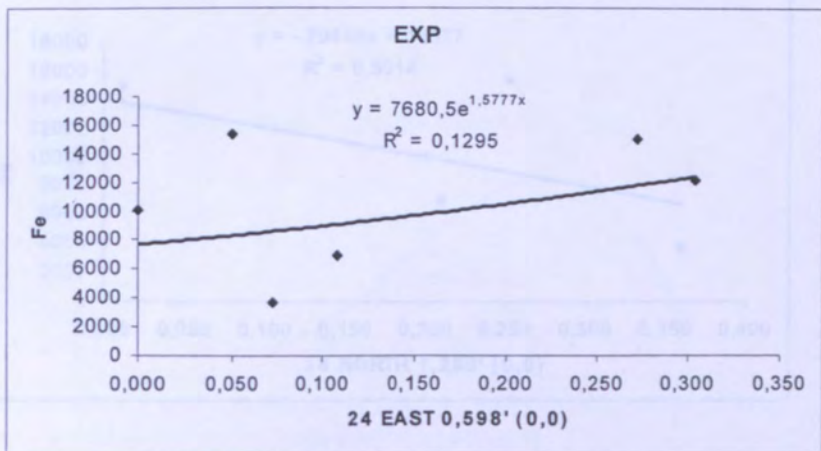
Σχήμα 12.1. Μοντέλα για το λιμάνι της Ραφήνας κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιου πολωνύμου (τριωνύμου) (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



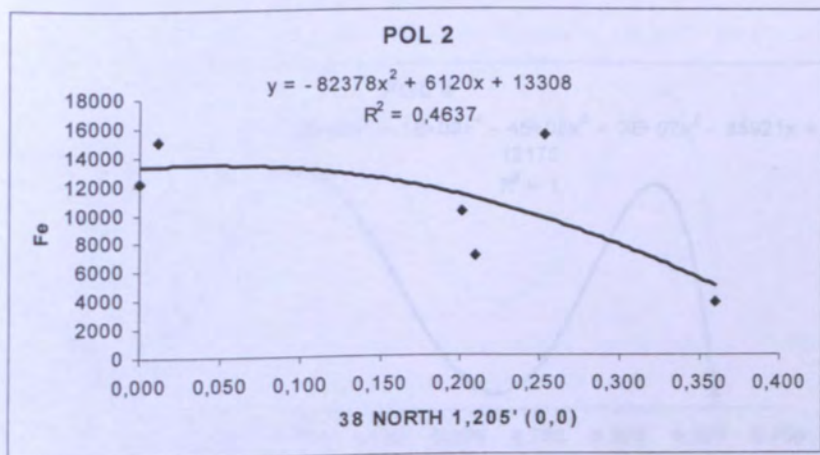
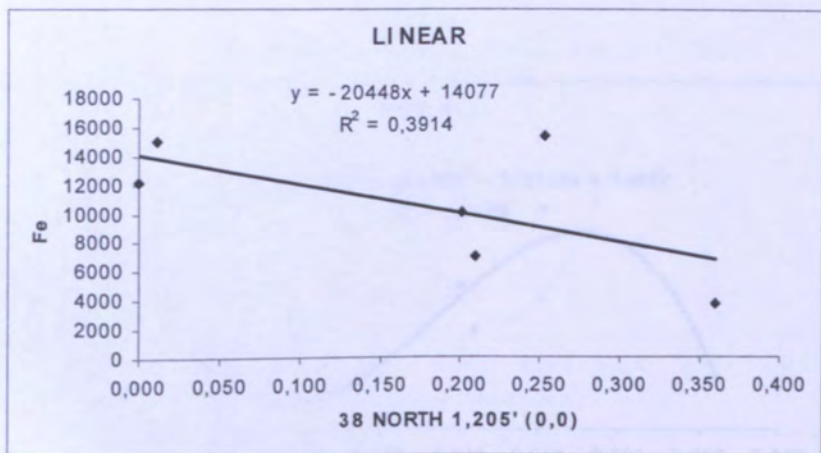
Σχήμα 12.2. Μοντέλα για το λιμάνι της Ραφήνας κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Μοντέλα πολυωνύμου τρίτου και τετάρτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



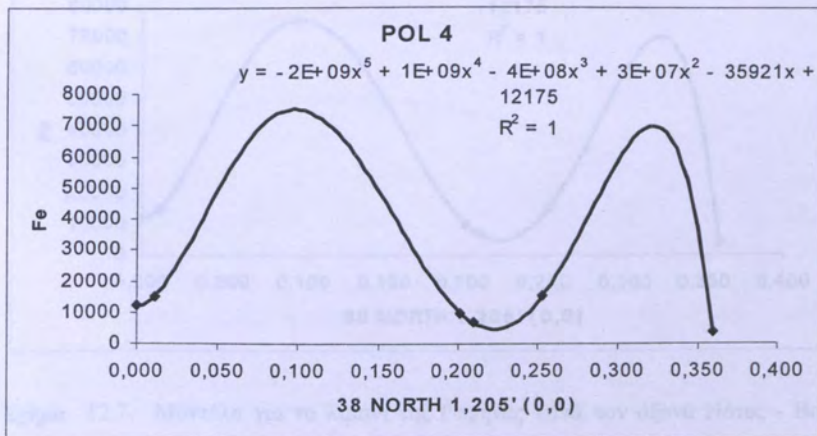
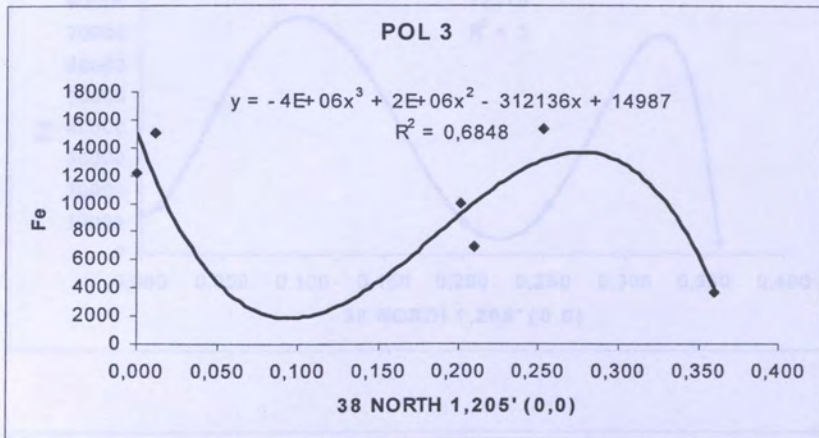
Σχήμα 12.3. Μοντέλα για το λιμάνι της Ραφήνας κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Μοντέλα πολυωνόμου πέμπτου και έκτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



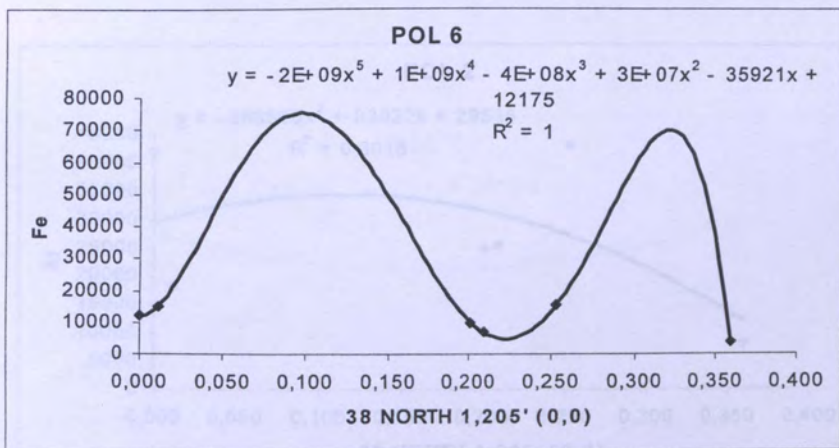
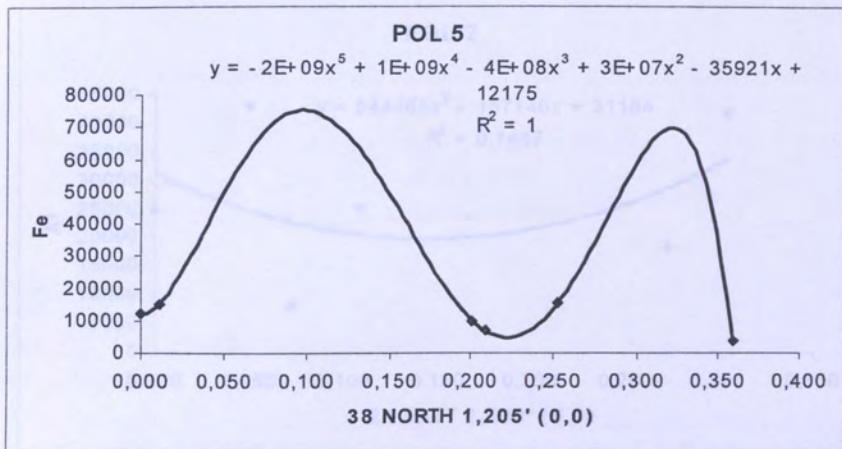
Σχήμα 12.4. Εκθετικά μοντέλα για το λιμάνι της Ραφήνας κατά τους άξονες Δύση – Ανατολή και Νότος – Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



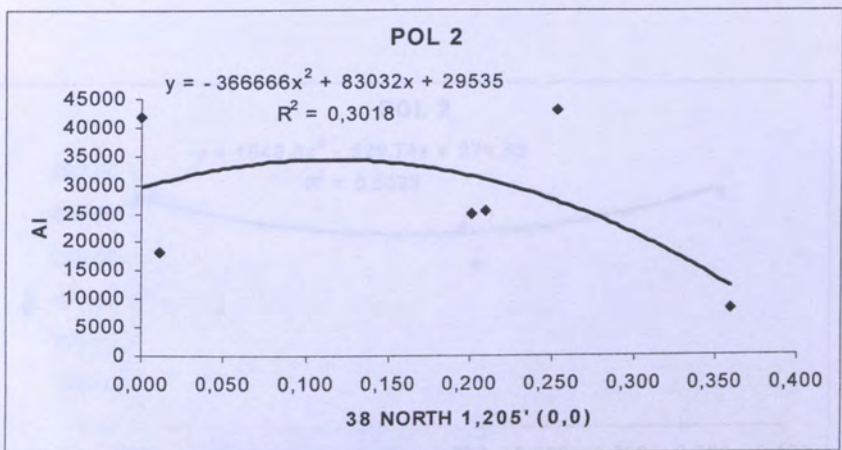
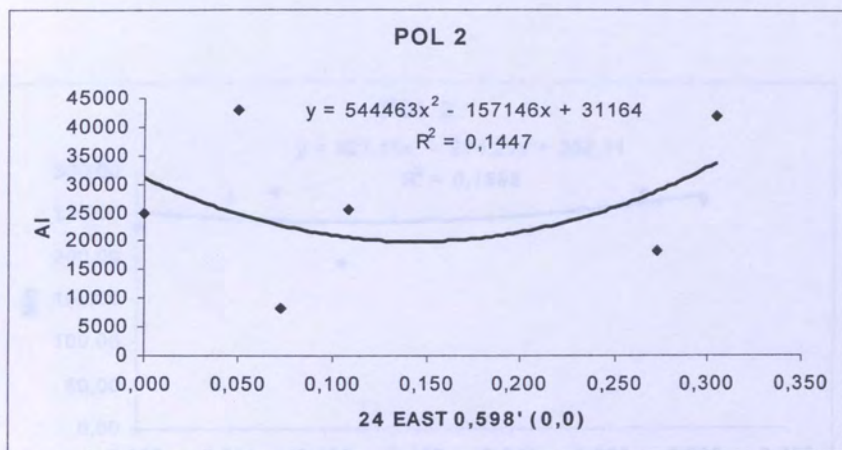
Σχήμα 12.5. Μοντέλα για το λιμάνι της Ραφήνας κατά τον άξονα Νότος - Βορράς. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιου πολυωνόμου (τριωνόμου) (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



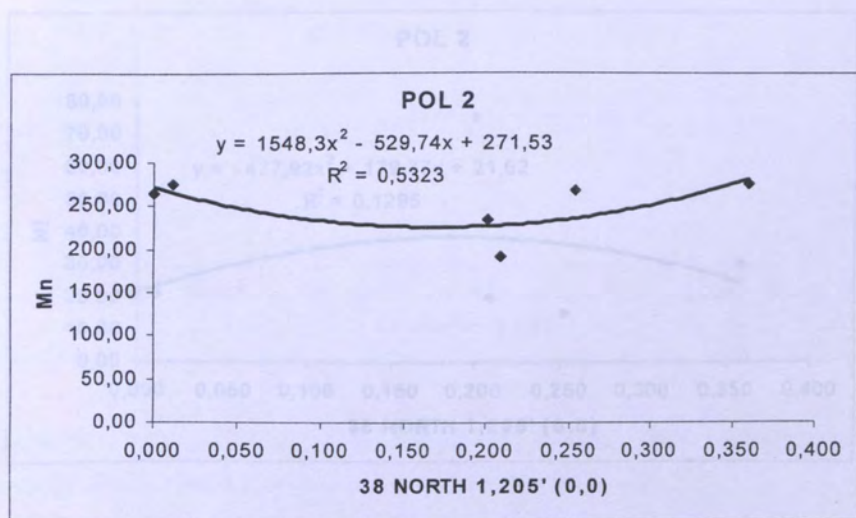
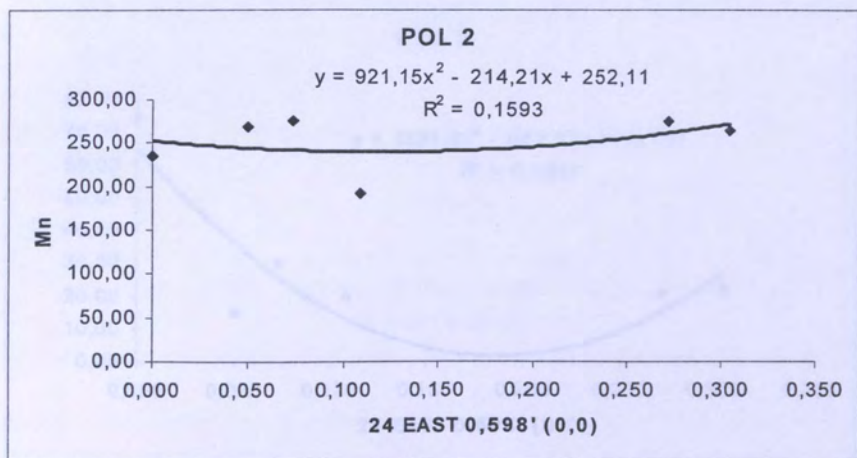
Σχήμα 12.6. Μοντέλα για το λιμάνι της Ραφήνας κατά τον άξονα Νότος - Βορράς. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου και τετάρτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



Σχήμα 12.7. Μοντέλα για το λιμάνι της Ραφήνας κατά τον άξονα Νότος - Βορράς. Μοντέλα πολωνόμου πέμπτου και έκτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).

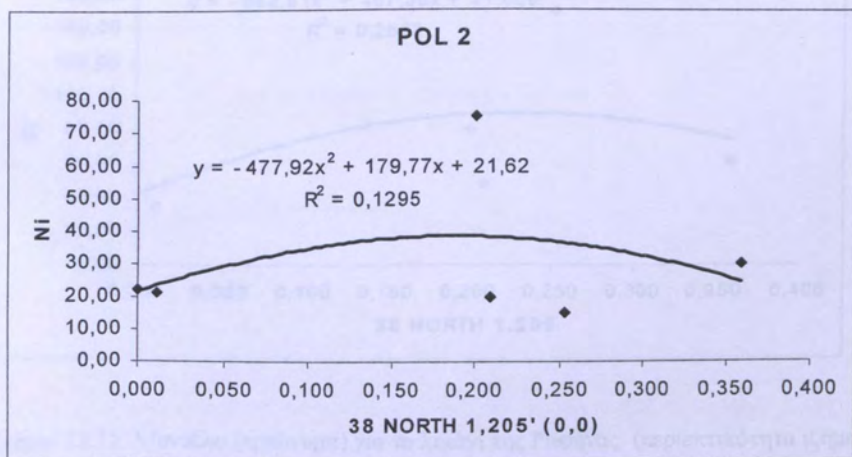
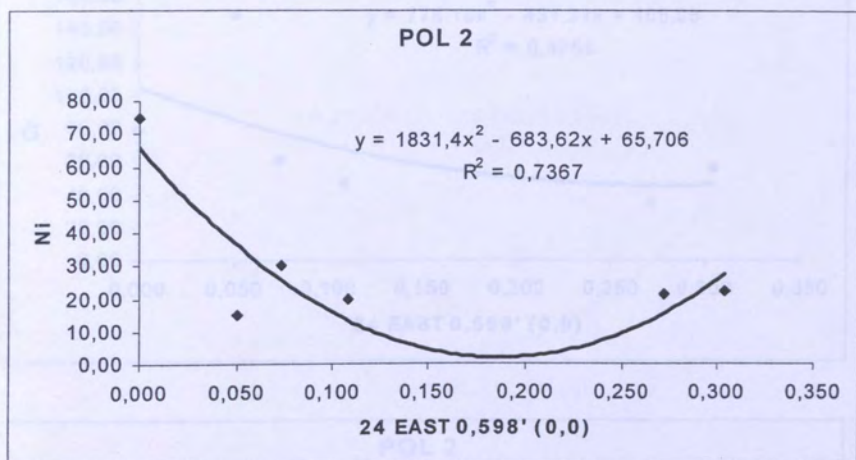


Σχήμα 12.8. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι της Ραφήνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε AI, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.

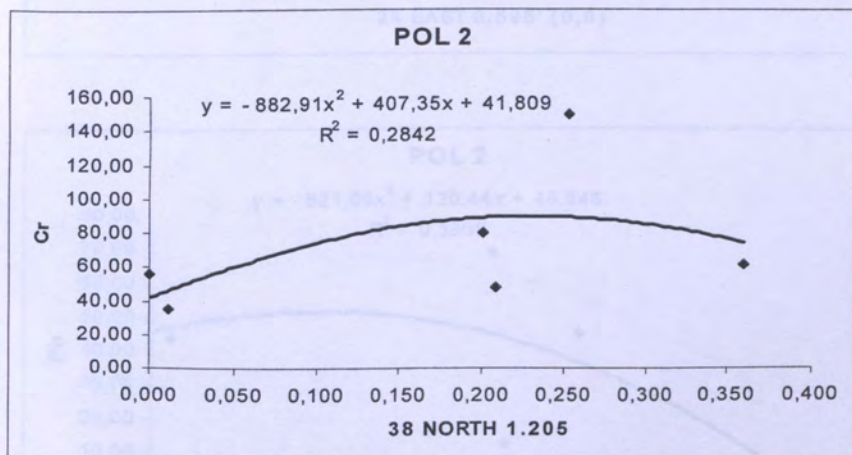
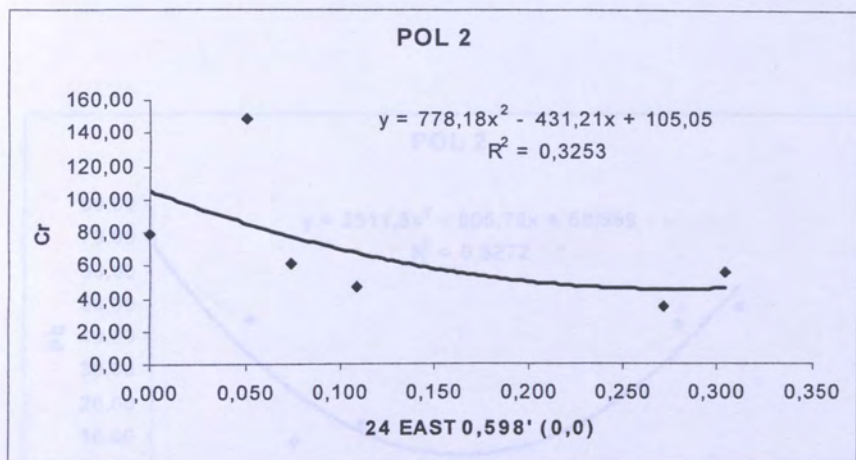


Σχήμα 12.10. Μοντέλο (τριώνυμα) για το λιμάνι της Ραφήνας (καρνεοκίτριμα εθροιστικά Ni, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.

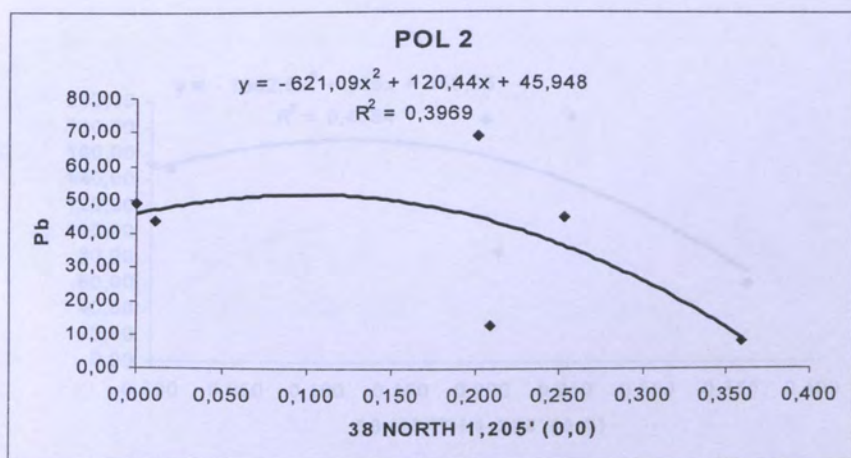
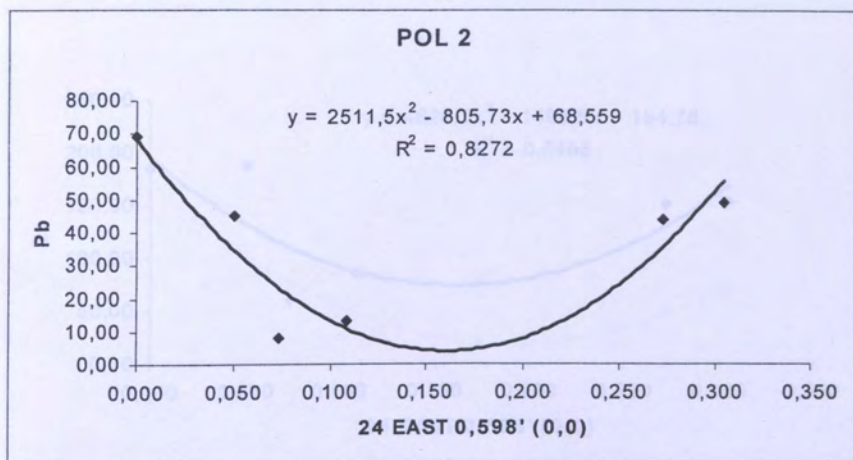
Σχήμα 12.9. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι της Ραφήνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Mn, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



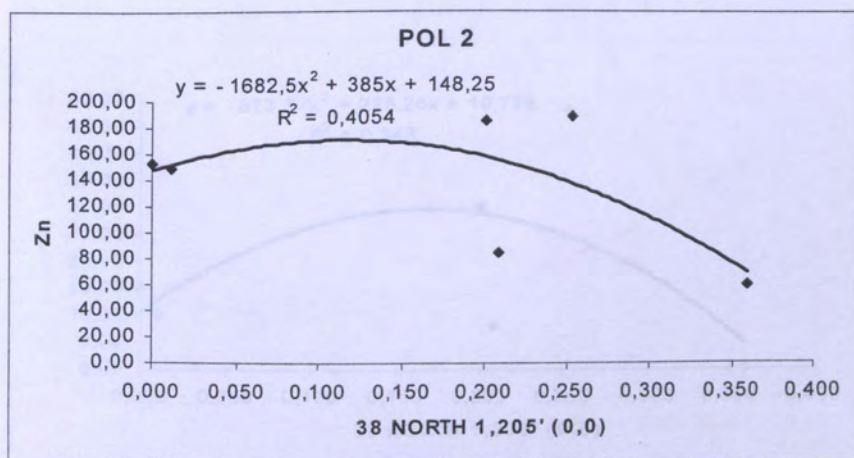
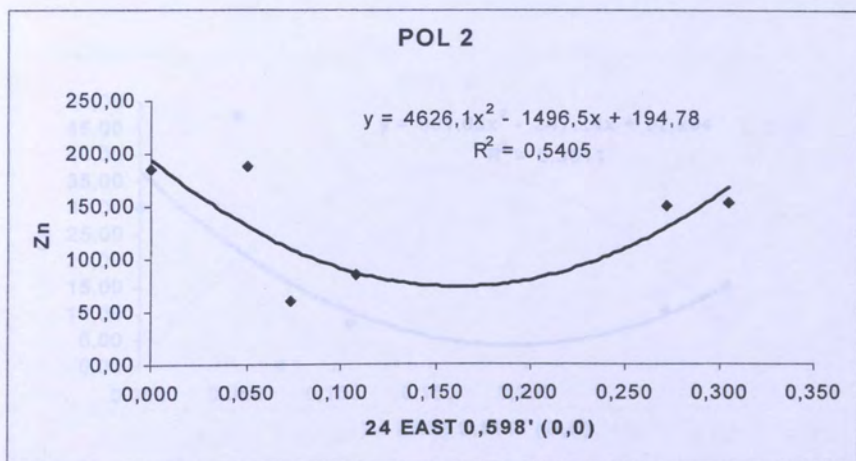
Σχήμα 12.10. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι της Ραφήνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Ni, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



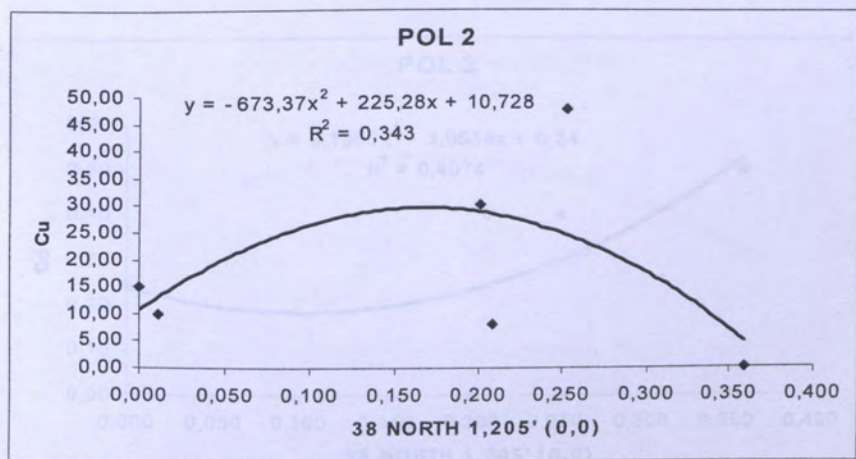
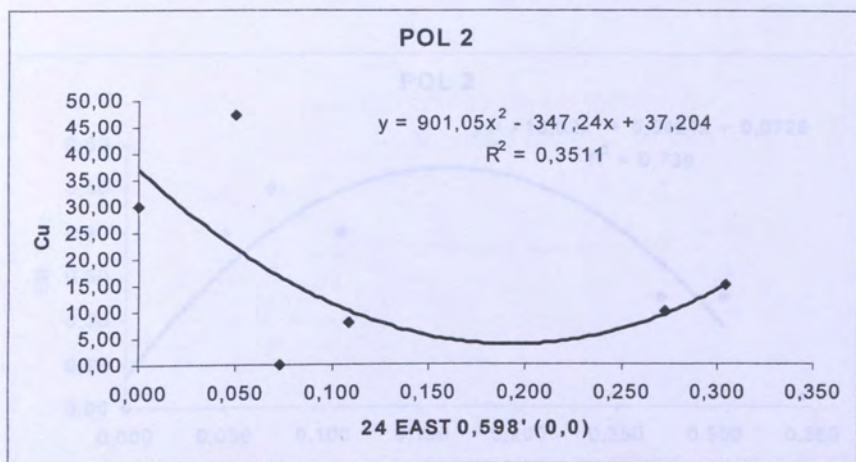
Σχήμα 12.11. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι της Ραφήνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cr, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



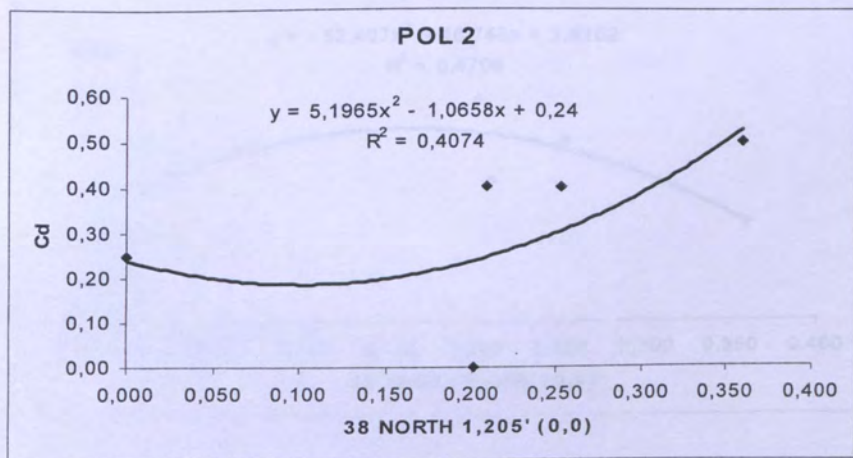
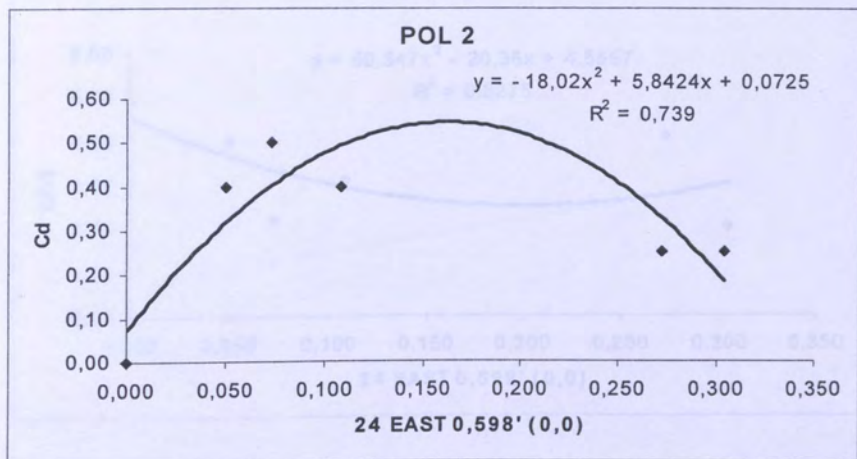
Σχήμα 12.12. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι της Ραφήνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Pb, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



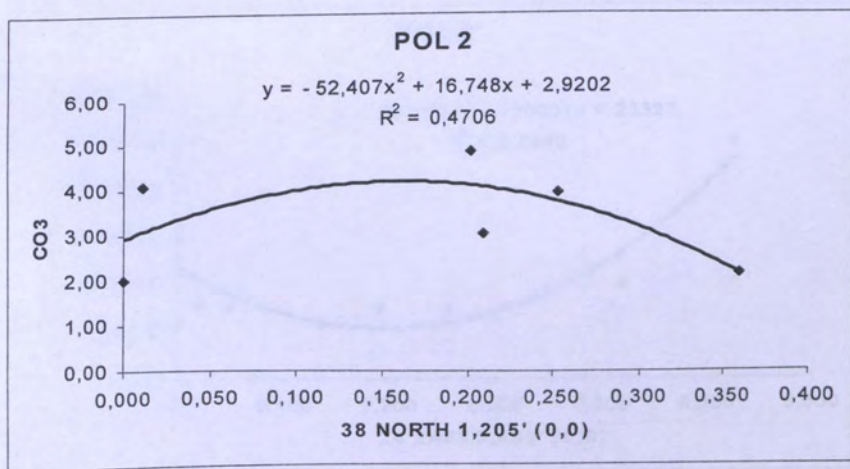
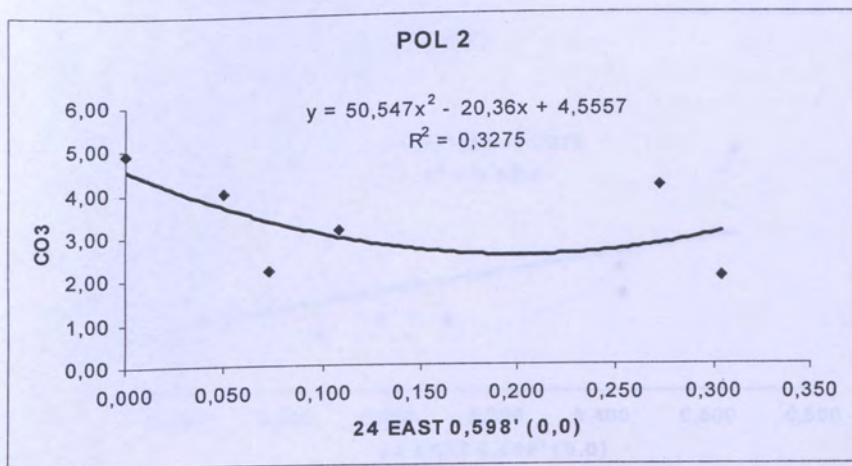
Σχήμα 12.13. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι της Ραφήνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Zn, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



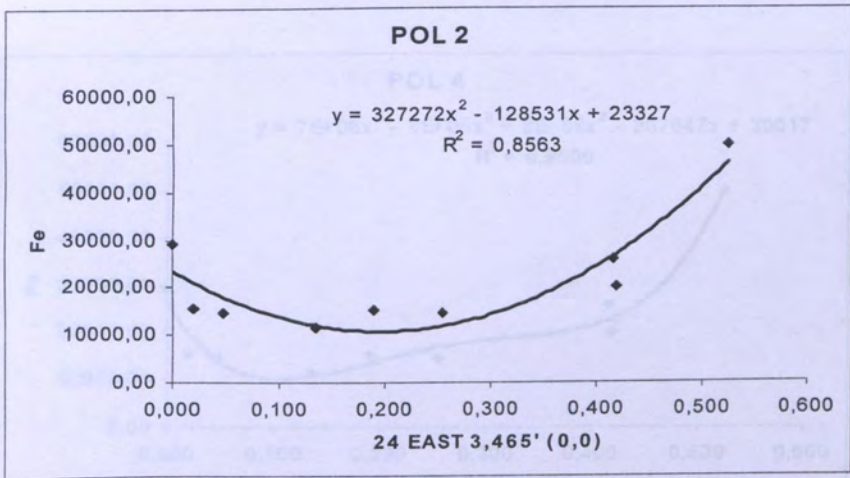
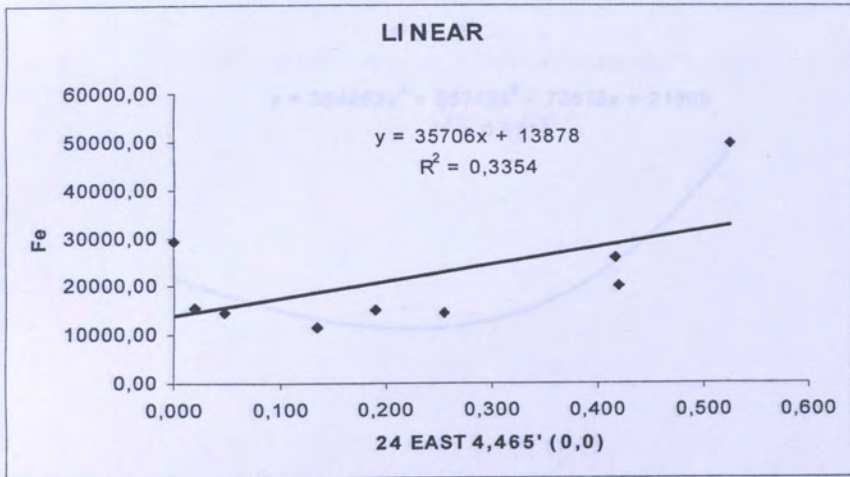
Σχήμα 12.14. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι της Ραφήνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cu, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



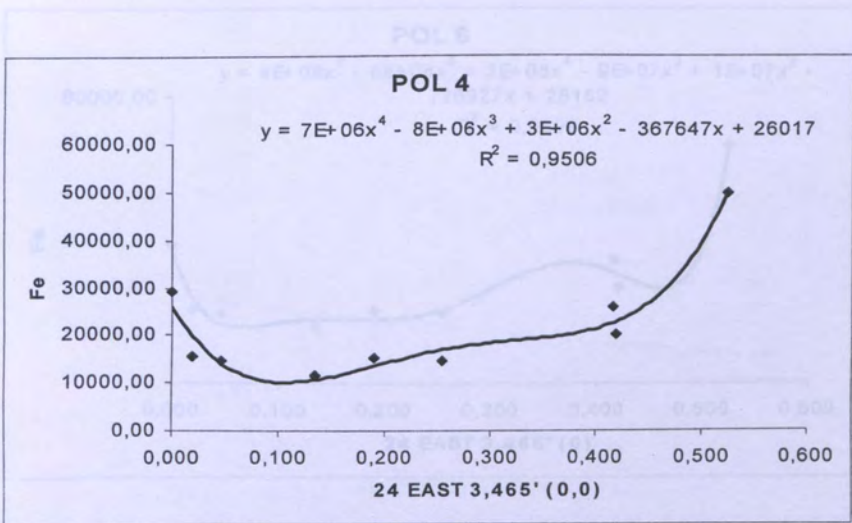
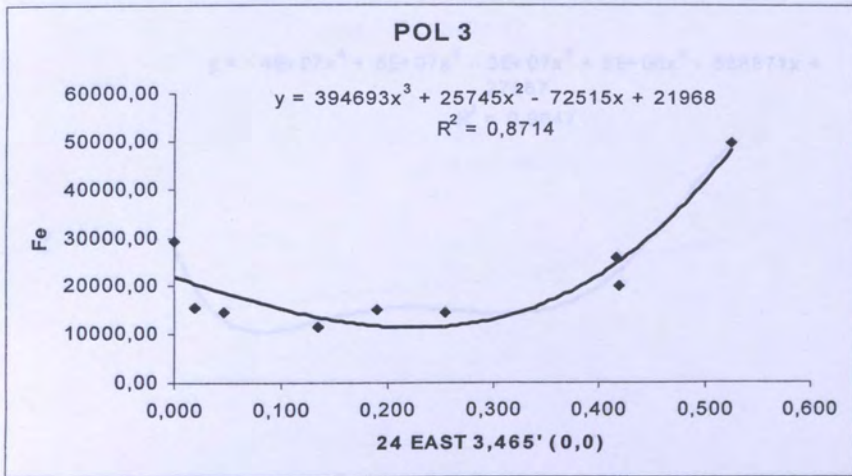
Σχήμα 12.15. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι της Ραφήνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cd, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



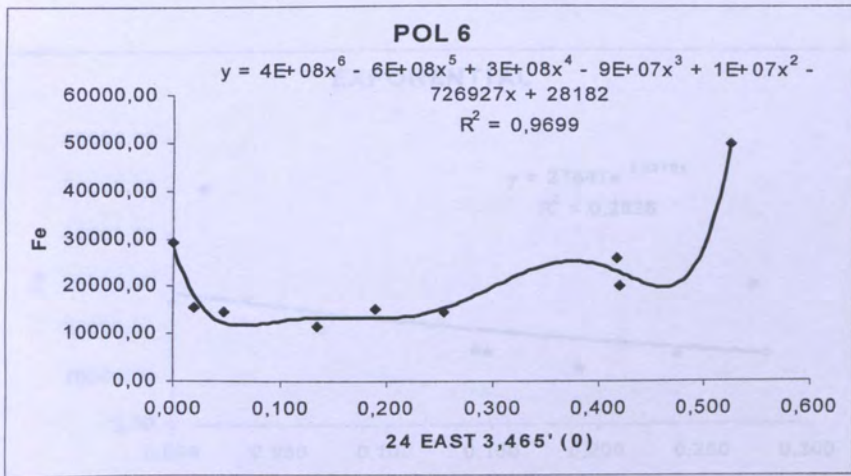
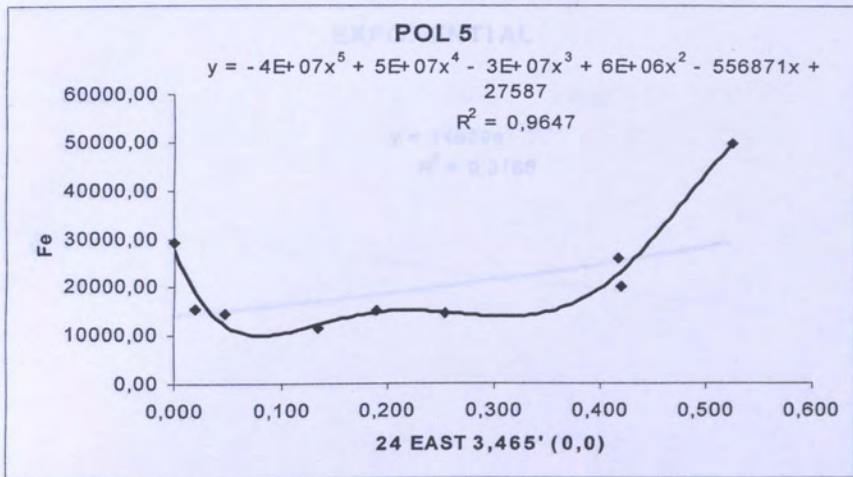
Σχήμα 12.16. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι της Ραφήνας (περιεκτικότητα % ιζήματος σε CO₃) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



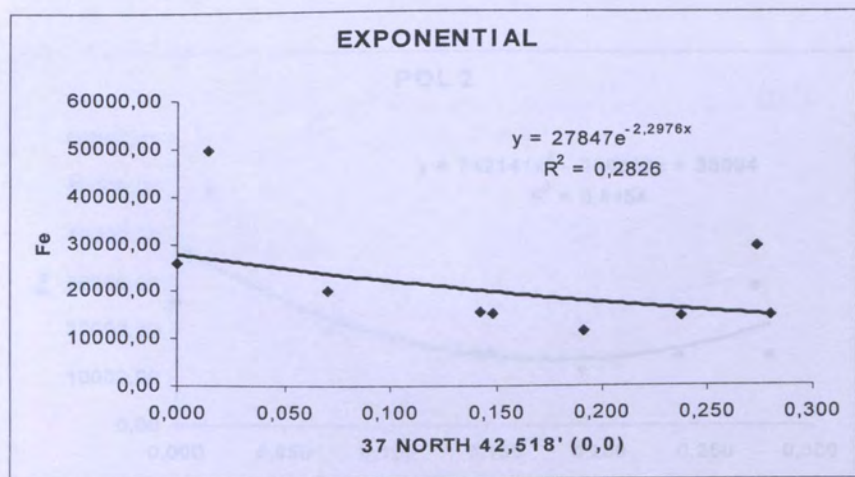
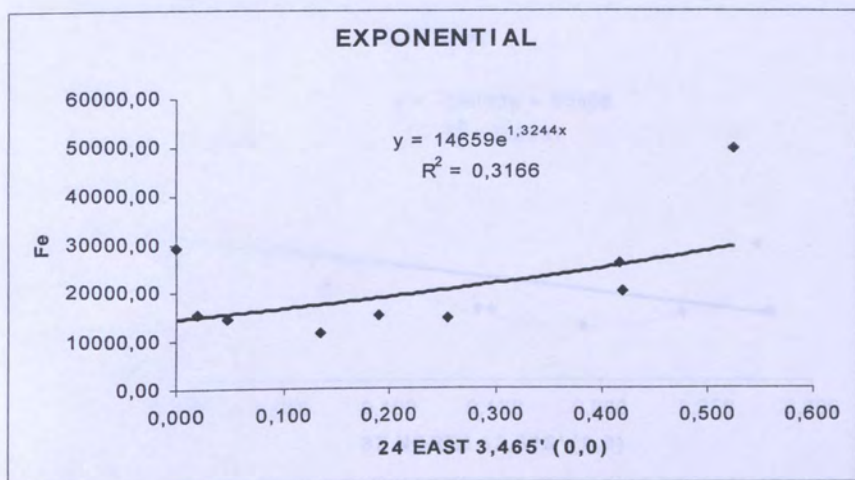
Σχήμα 12.17. Μοντέλα για το λιμάνι του Λαυρίου κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιου πολυωνόμου (τριωνόμου) (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



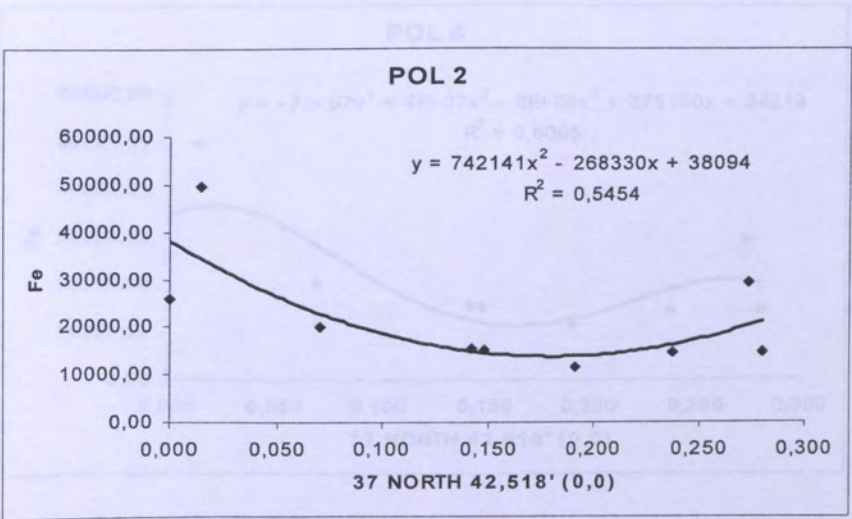
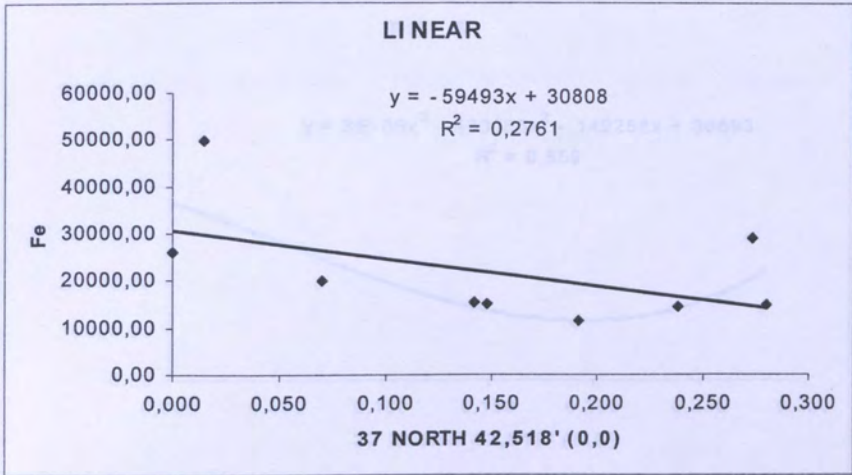
Σχήμα 12.18. Μοντέλα για το λιμάνι του Λαυρίου κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Μοντέλο πολυωνύμου τρίτου και τετάρτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



Σχήμα 12.19. Μοντέλα για το λιμάνι του Λαυρίου κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Μοντέλο πολυωνόμου πέμπτου και έκτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).

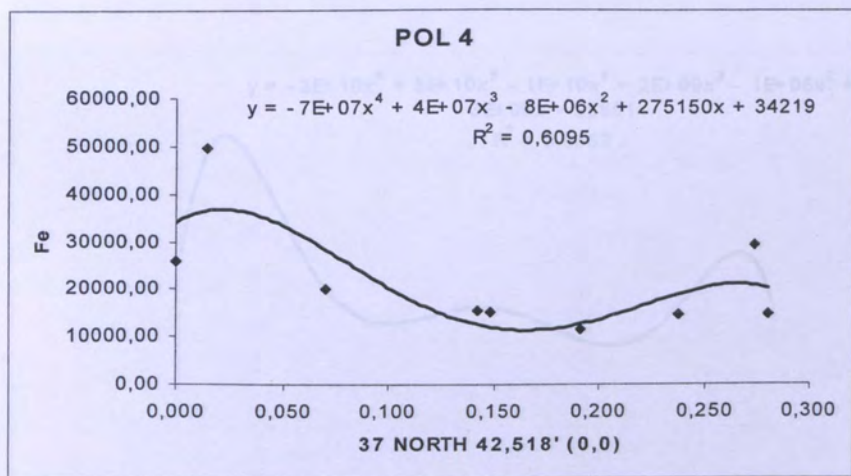
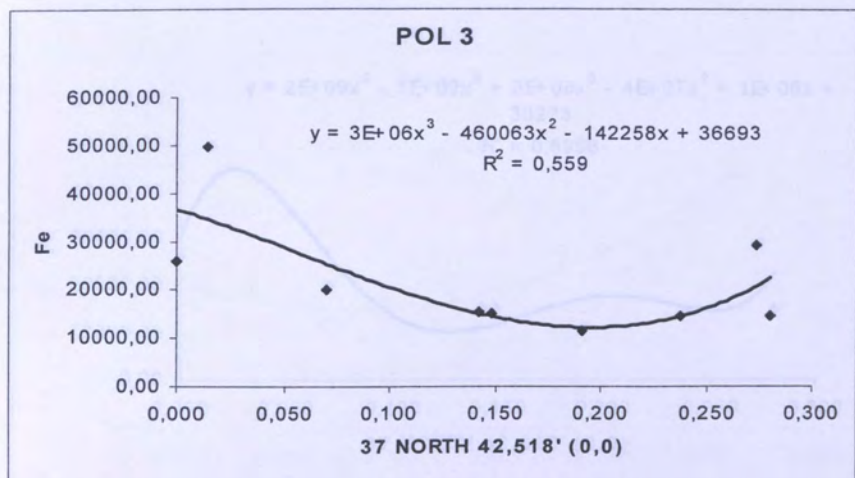


Σχήμα 12.20. Εκθετικά μοντέλα για το λιμάνι του Λαυρίου κατά τους άξονες Δύση – Ανατολή και Νότος – Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).

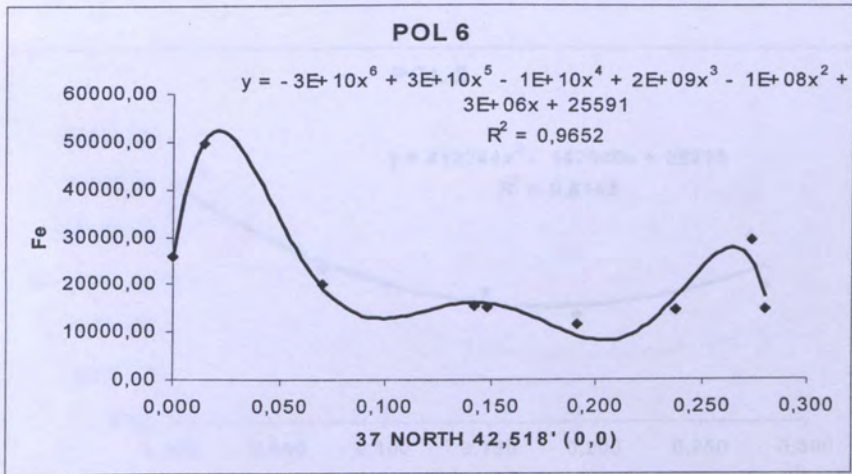
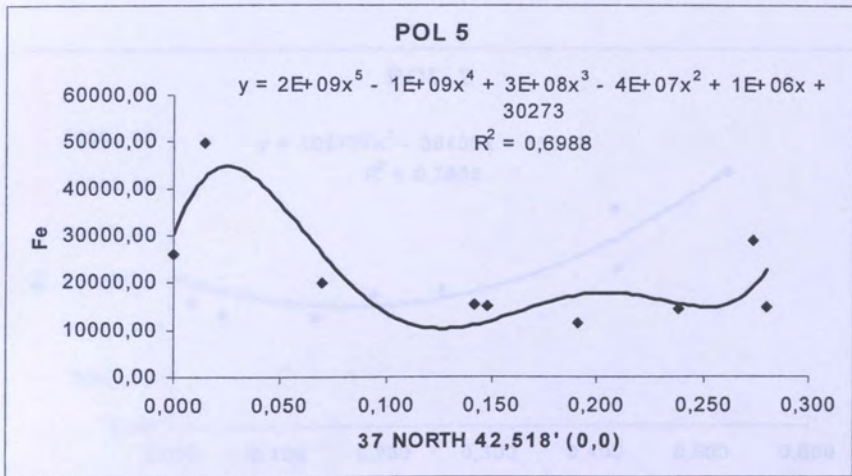


Σχήμα 12.23. Μοντέλα για το λιμάνι του Λαυρίου κατά τον άξονα Νότος - Βορράς.

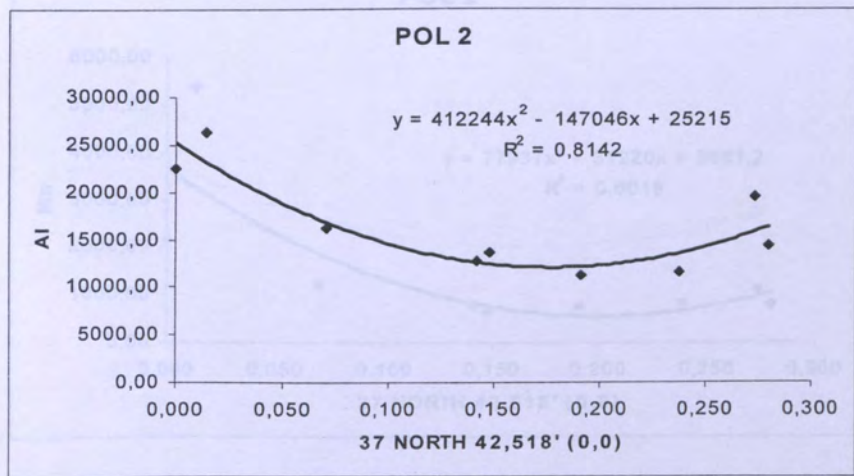
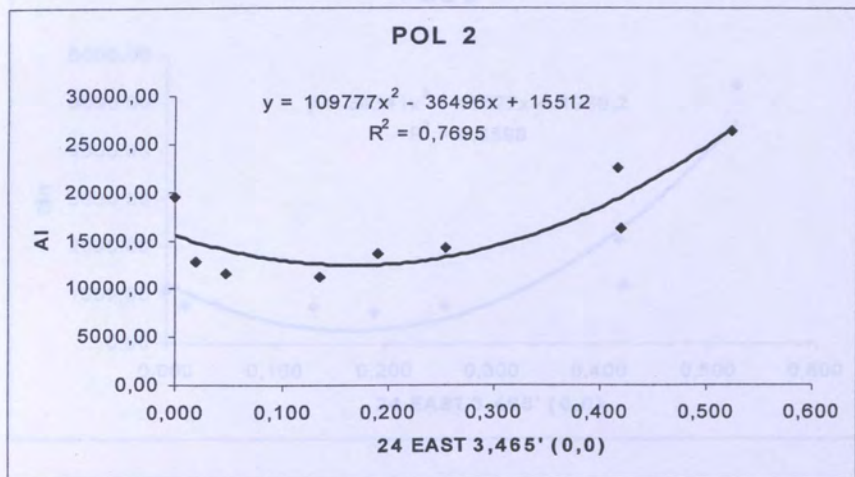
Σχήμα 12.21. Μοντέλα για το λιμάνι του Λαυρίου κατά τον άξονα Νότος - Βορράς. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιου πολυωνύμου (τριωνύμου) (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



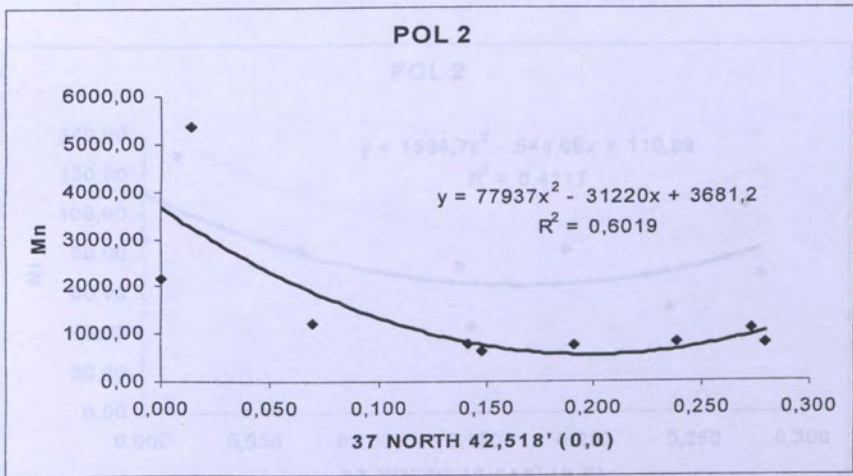
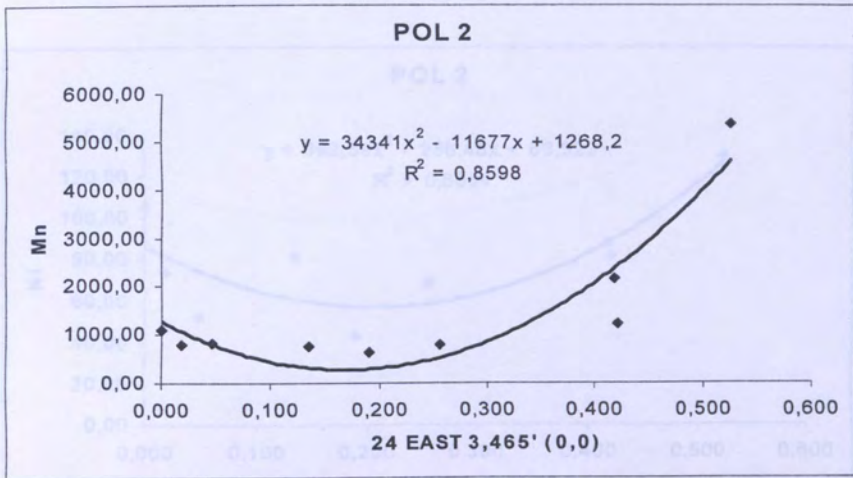
Σχήμα 12.22. Μοντέλα για το λιμάνι του Λαυρίου κατά τον άξονα Νότος - Βορράς. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου και τετάρτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



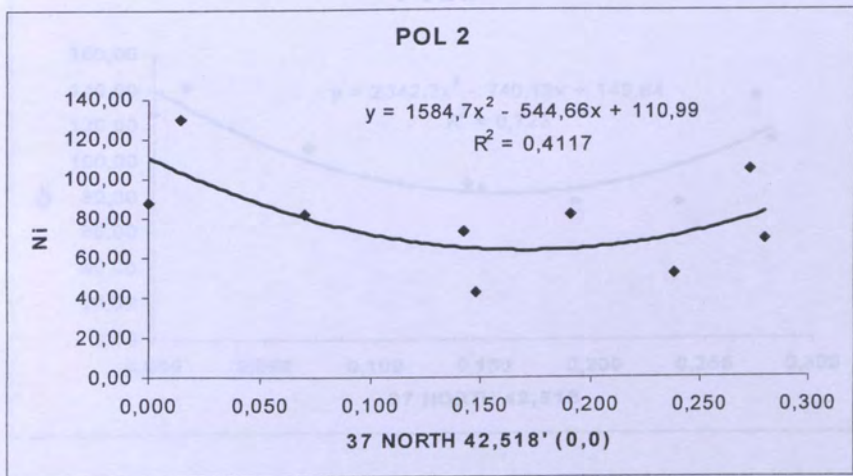
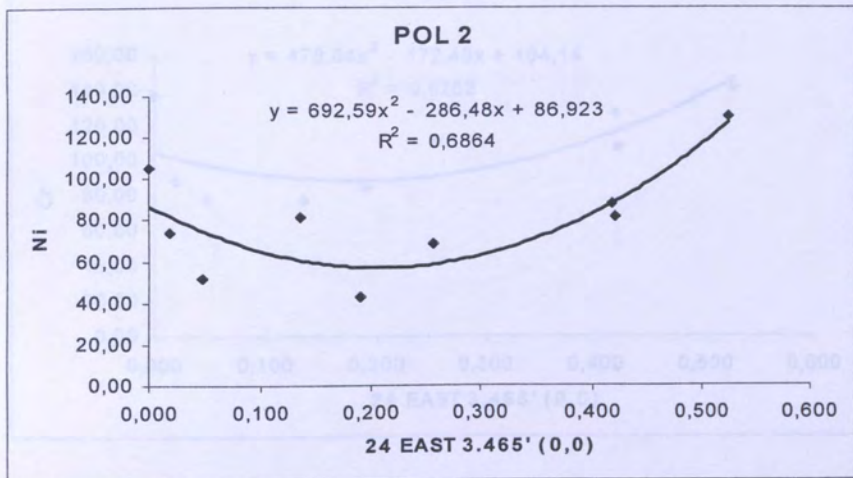
Σχήμα 12.23. Μοντέλα για το λιμάνι του Λαυρίου κατά τον άξονα Νότος - Βορράς. Μοντέλα πολυωνόμου πέμπτου και έκτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



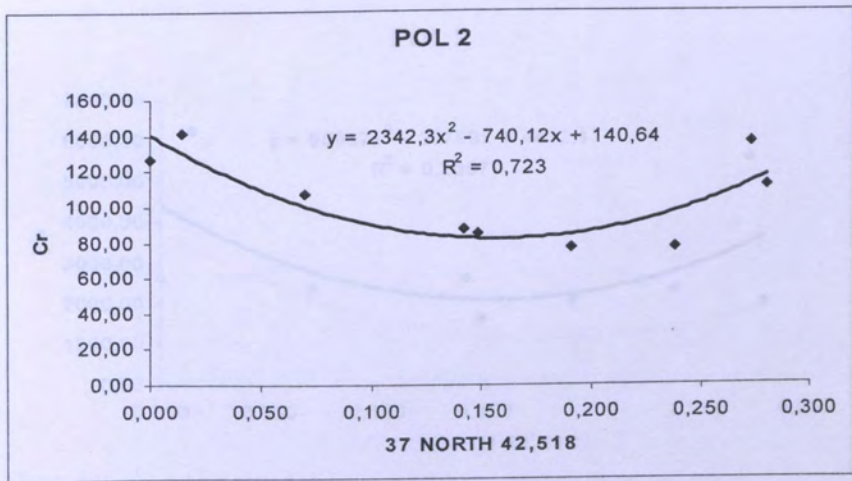
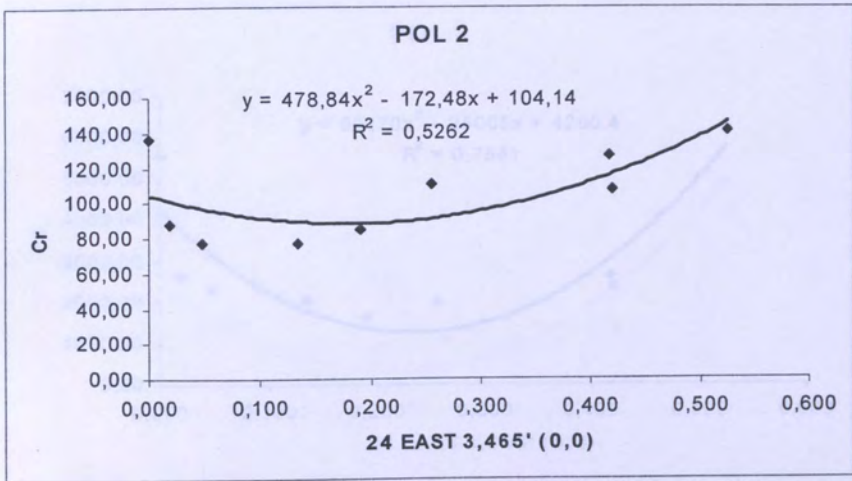
Σχήμα 12.24. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι του Λαυρίου (περιεκτικότητα ιζήματος σε AI, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



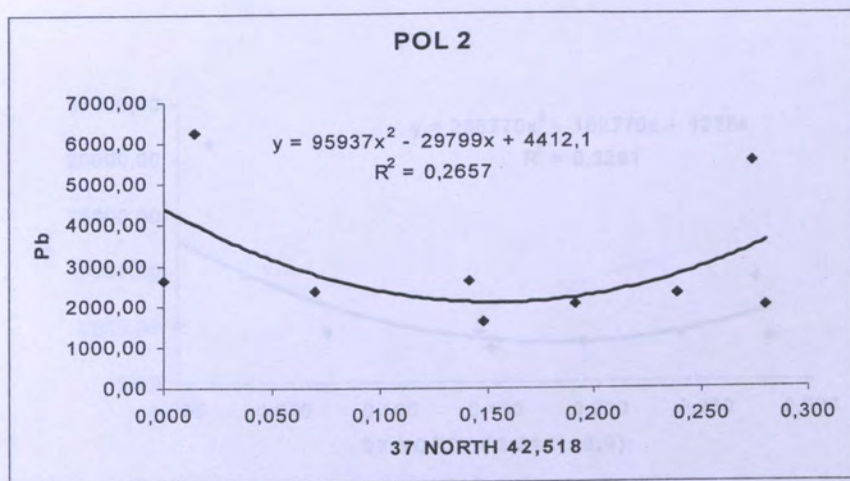
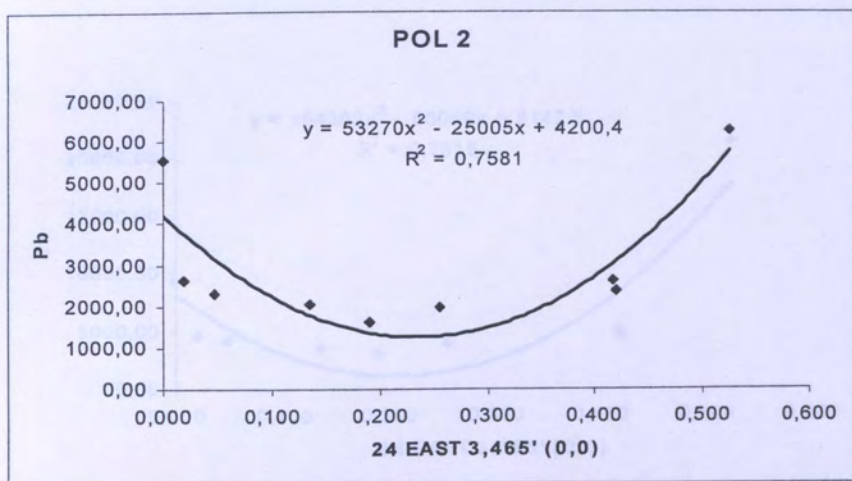
Σχήμα 12.25. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι του Λαυρίου (περιεκτικότητα ιζήματος σε Mn, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



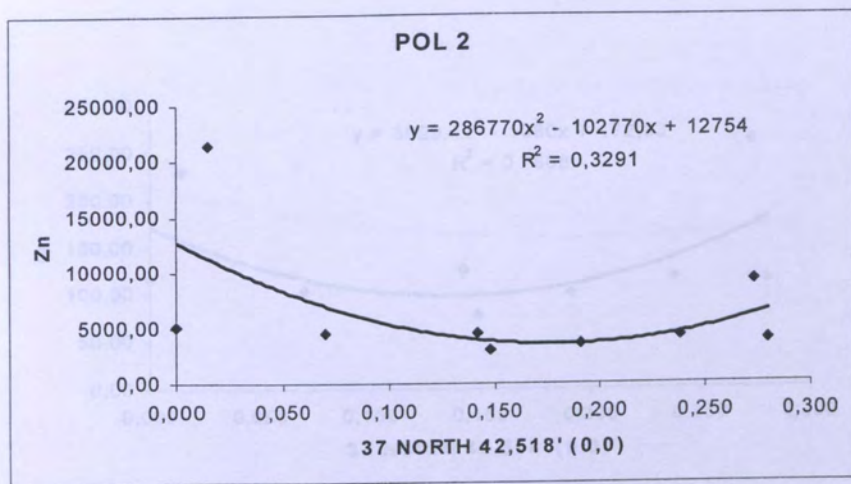
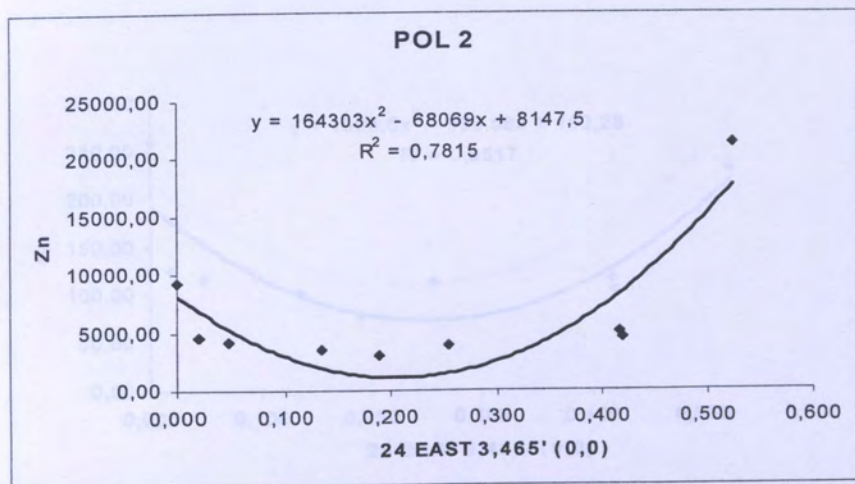
Σχήμα 12.26. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι του Λαυρίου (περιεκτικότητα ιζήματος σε Ni, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



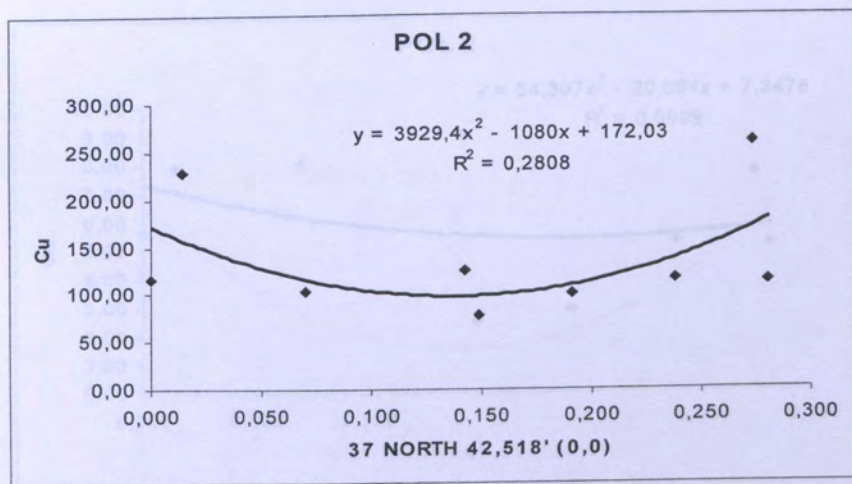
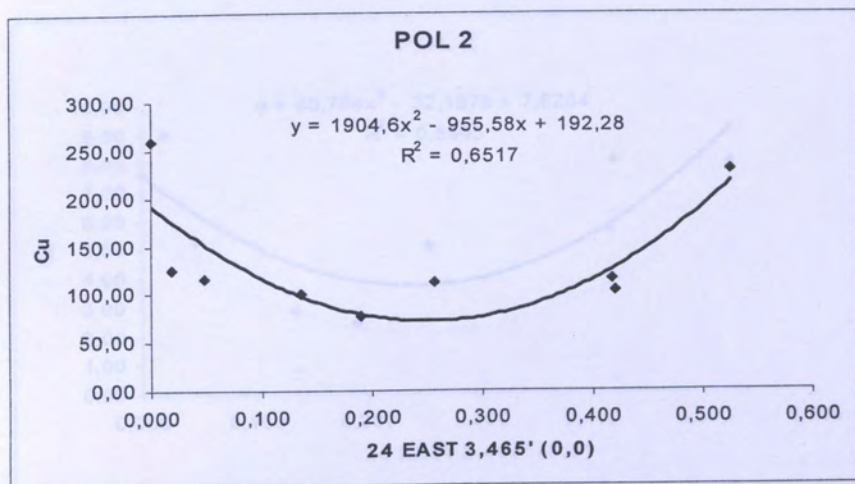
Σχήμα 12.27. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι του Λαυρίου (περιεκτικότητα ιζήματος σε Ct, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



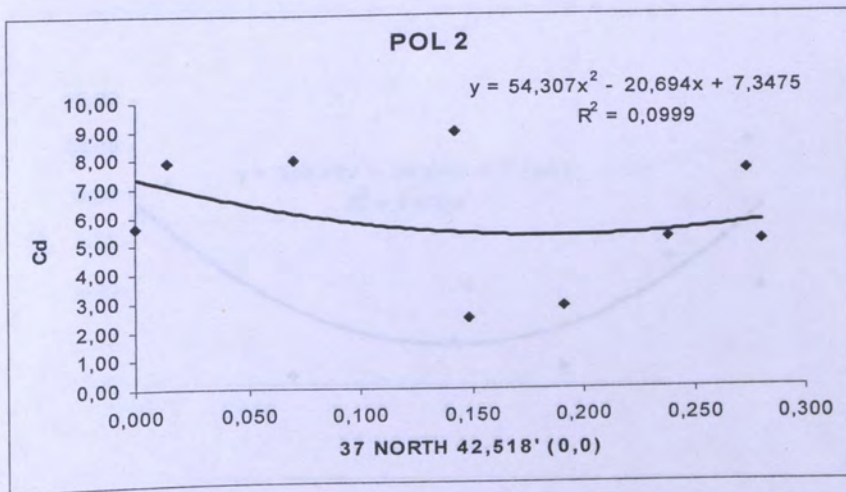
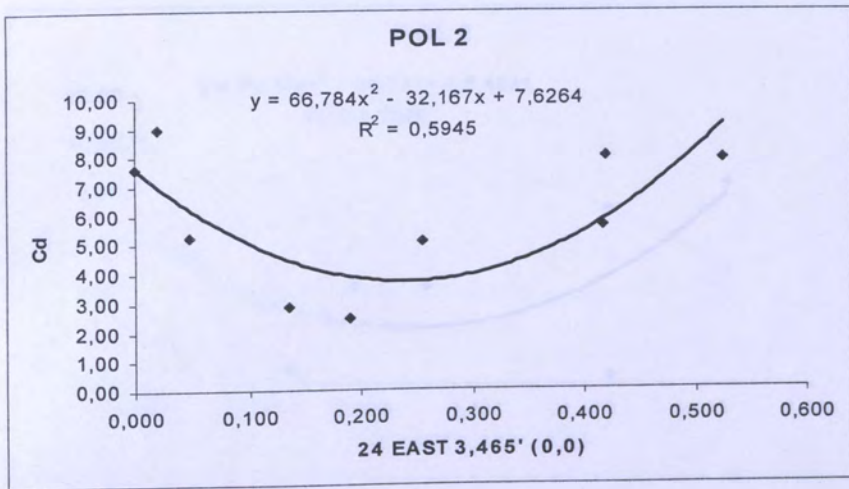
Σχήμα 12.28. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι του Λαυρίου (περιεκτικότητα ιζήματος σε Pb, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



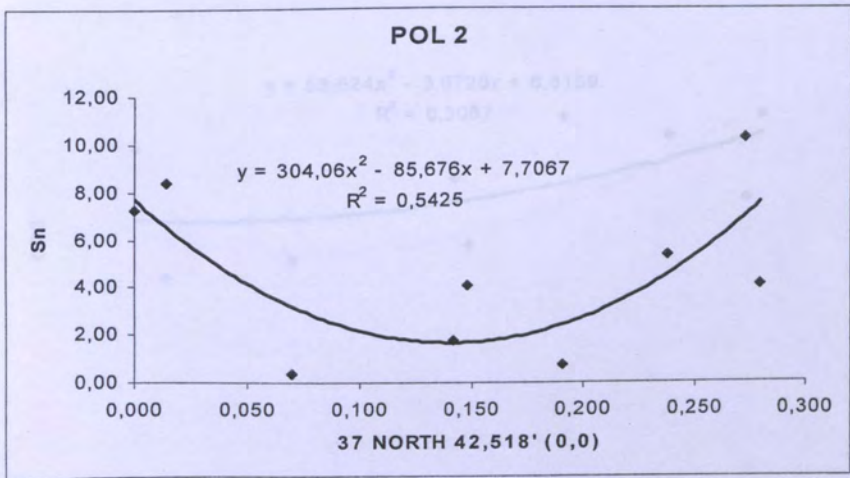
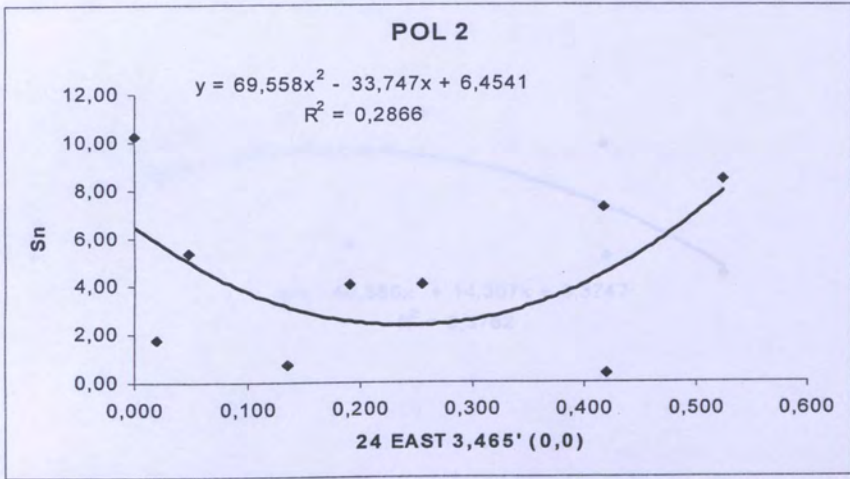
Σχήμα 12.29. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι του Λαυρίου (περιεκτικότητα ιζήματος σε Zn, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



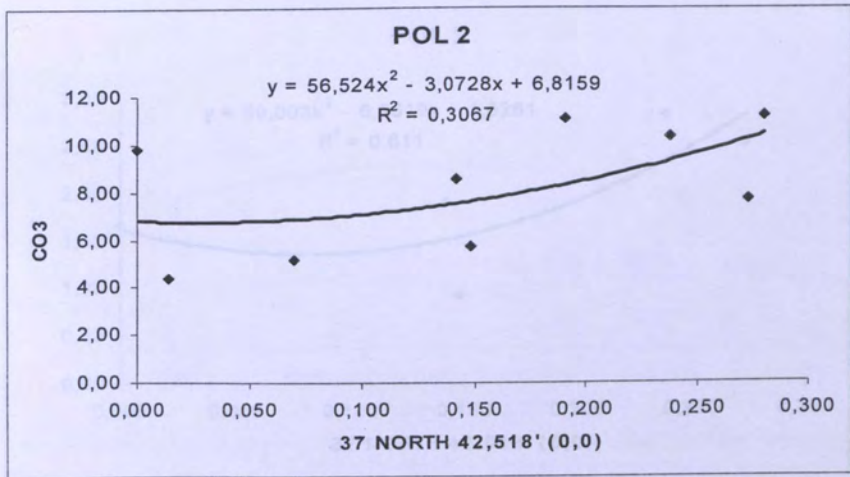
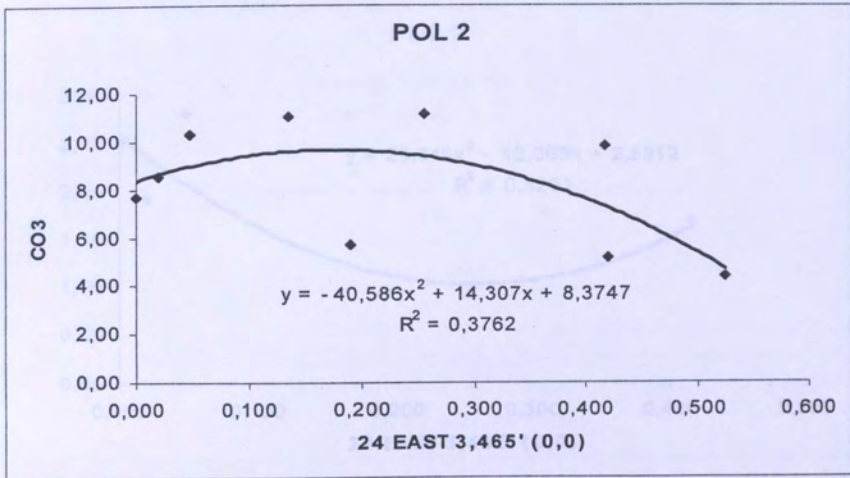
Σχήμα 12.30. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι του Λαυρίου (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cu, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



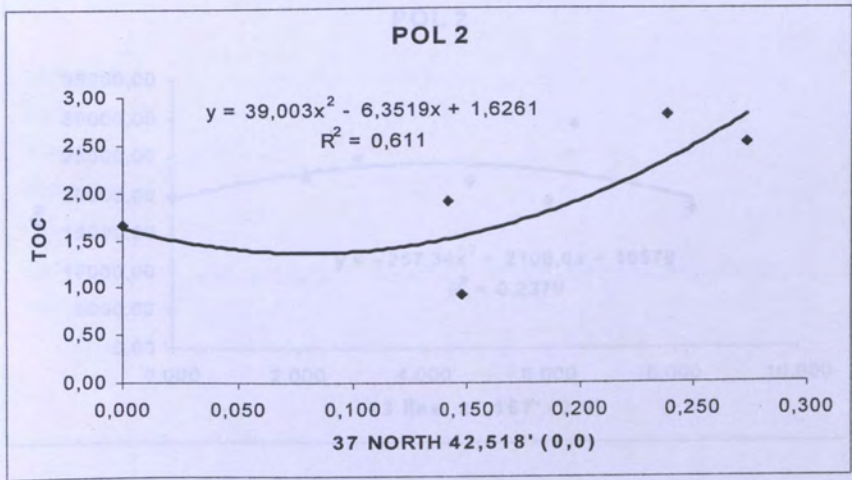
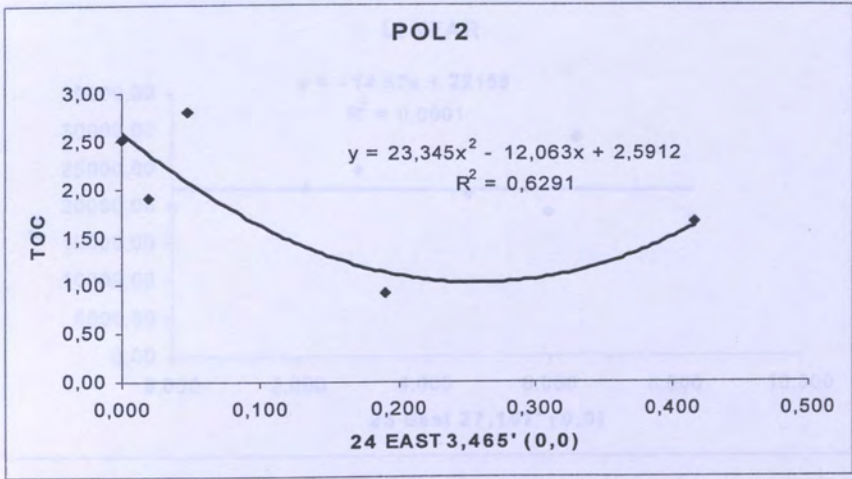
Σχήμα 12.31. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι του Λαυρίου (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cd, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



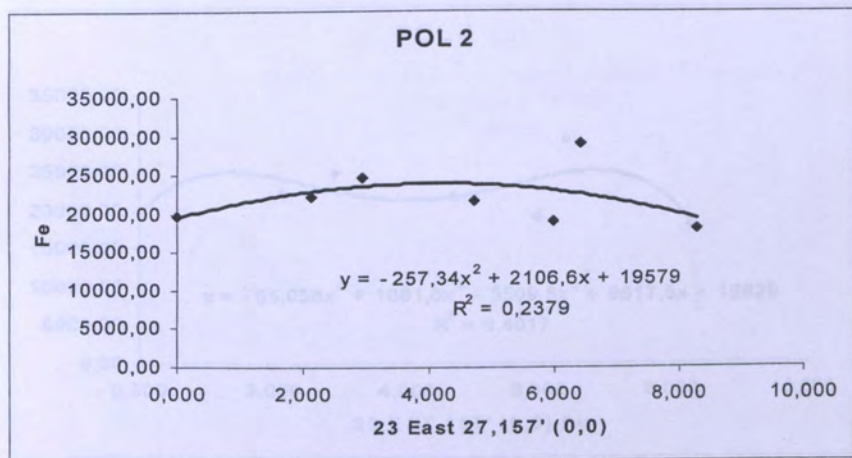
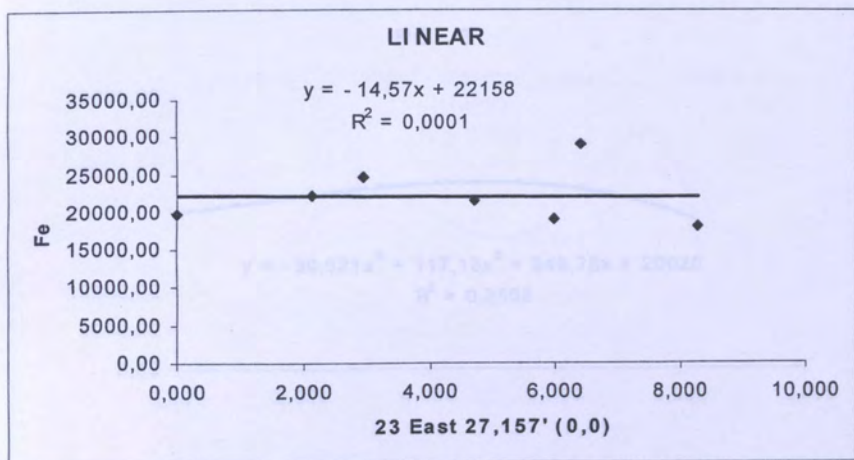
Σχήμα 12.32. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι του Λαυρίου (περιεκτικότητα ιζήματος σε Sn, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



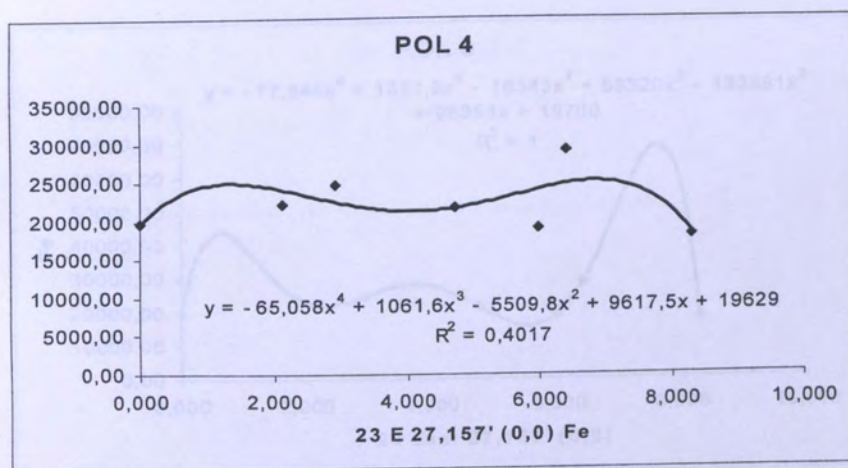
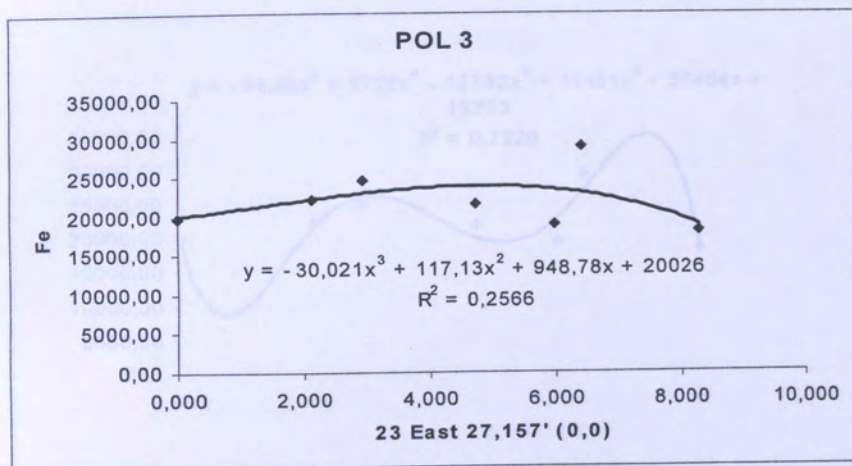
Σχήμα 12.33. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι του Λαυρίου (περιεκτικότητα % ιζημάτων σε CO₃) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



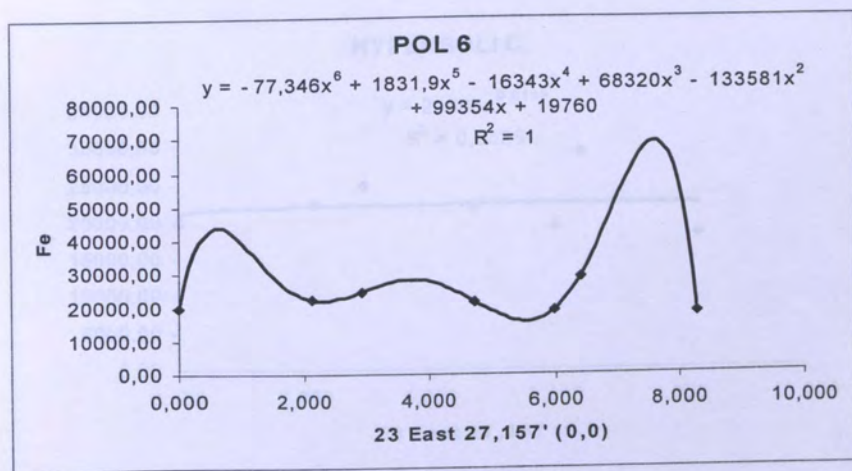
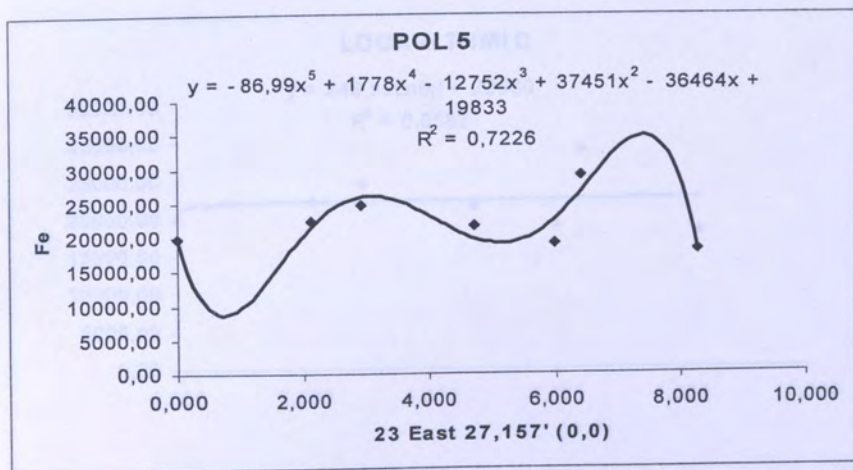
Σχήμα 12.34. Μοντέλα (τριώνυμα) για το λιμάνι του Λαυρίου (περιεκτικότητα % ιζημάτων σε TOC) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



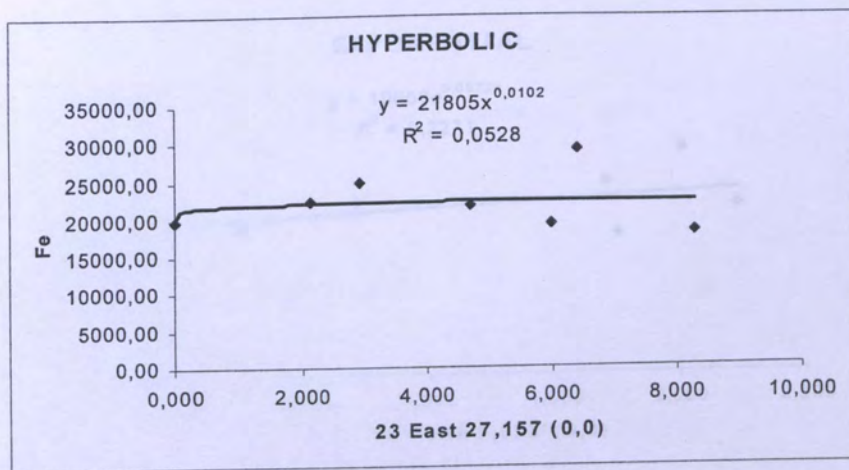
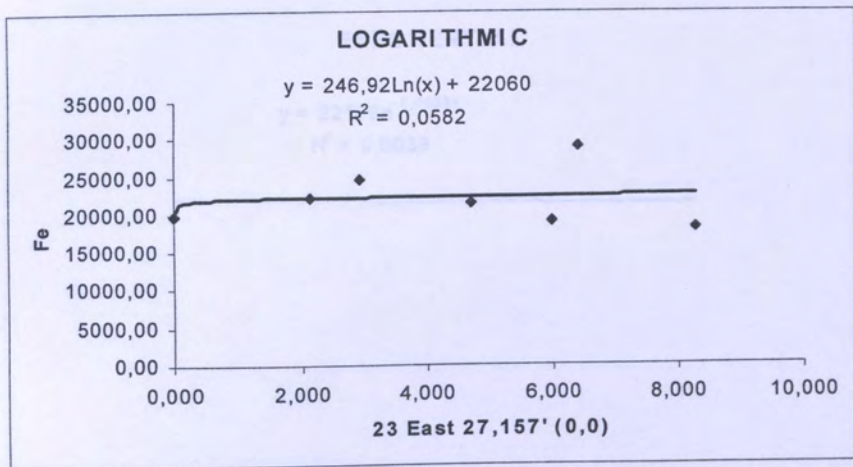
Σχήμα 12.35. Μοντέλα για τον κόλπο της Ελευσίνας κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιου πολυωνόμου (τριωνόμου) (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



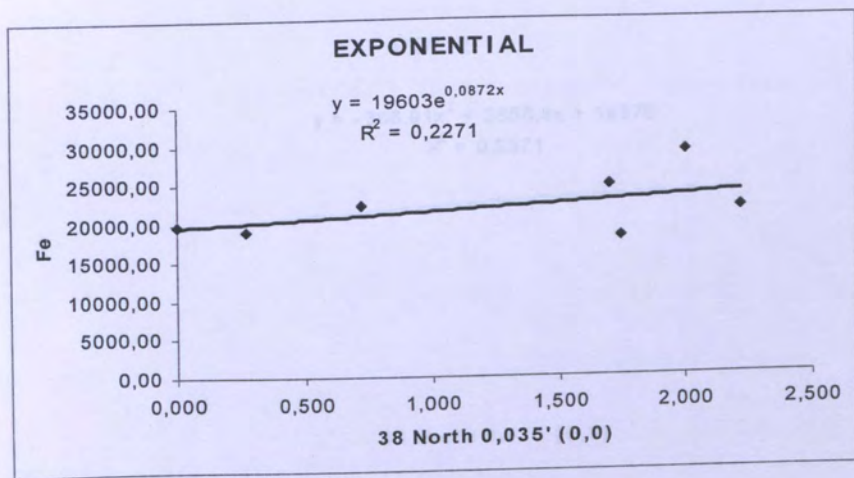
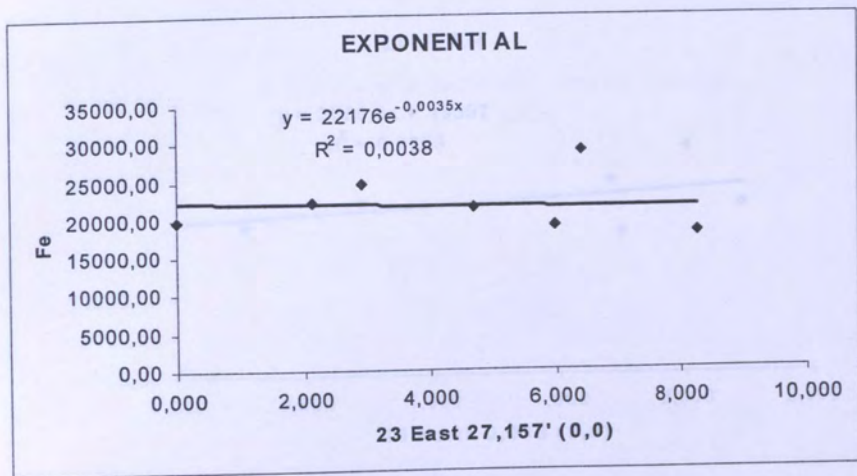
Σχήμα 12.36. Μοντέλα για τον κόλπο της Ελευσίνας κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Μοντέλα πολωνόμου τρίτου και τετάρτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



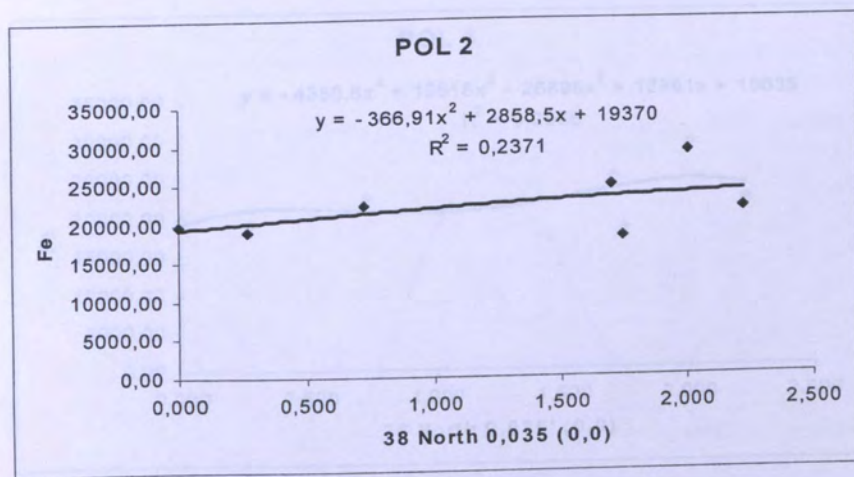
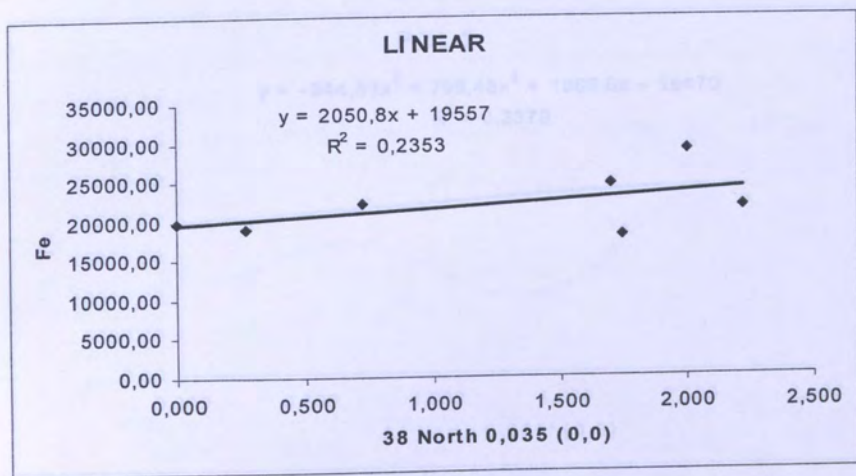
Σχήμα 12.37. Μοντέλα για τον κόλπο της Ελευσίνας κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Μοντέλα πολωνόμου πέμπτου και έκτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



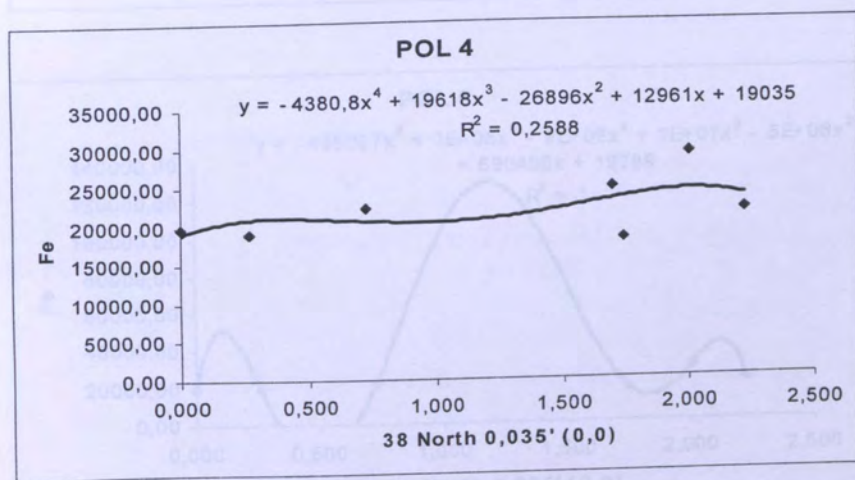
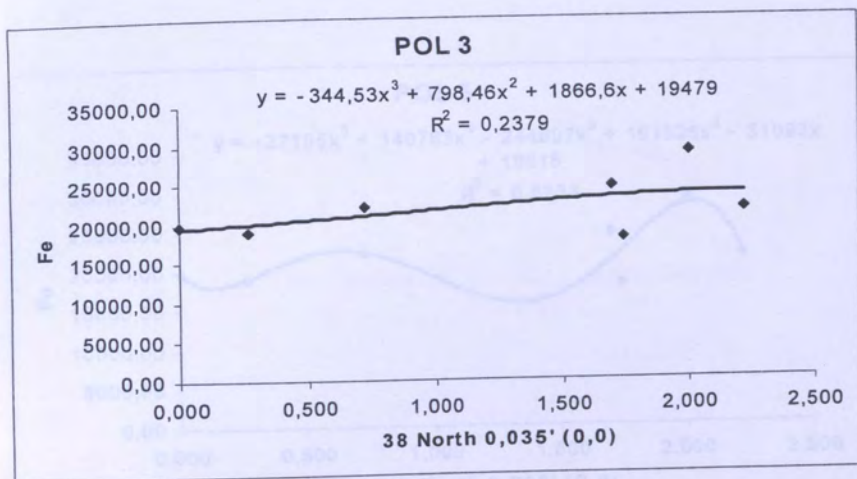
Σχήμα 12.38. Μοντέλα για τον κόλπο της Ελευσίνας κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή.
Λογαριθμικό και υπερβολικό μοντέλο (περικεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



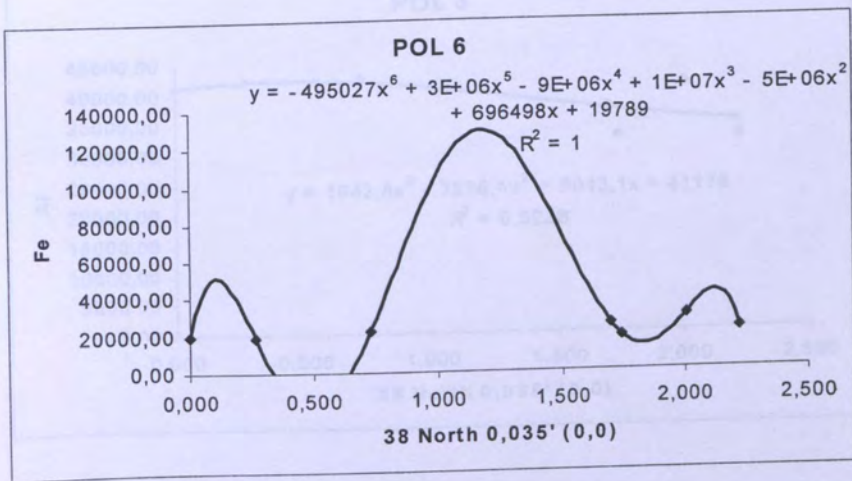
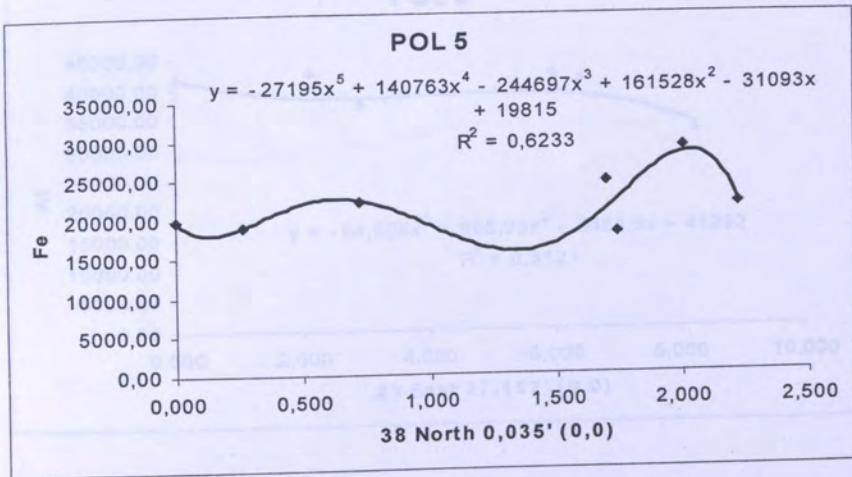
Σχήμα 12.39. Εκθετικά μοντέλα για τον κόλπο της Ελευσίνας κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



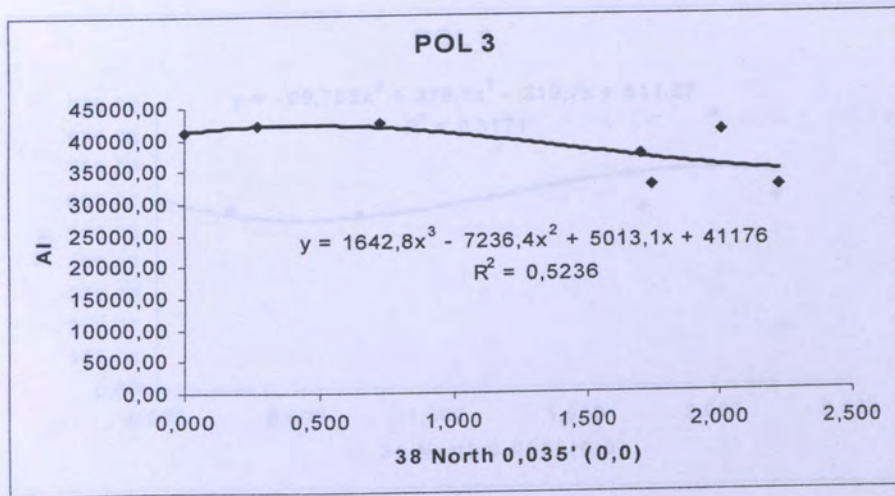
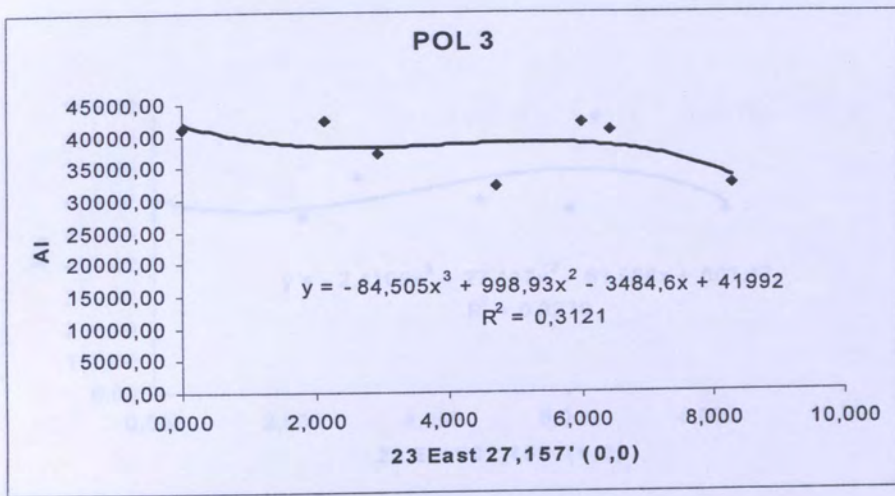
Σχήμα 12.40. Μοντέλα για τον κόλπο της Ελευσίνας κατά τον άξονα Νότος – Βορράς. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιου πολυωνύμου (τριωνύμου) (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



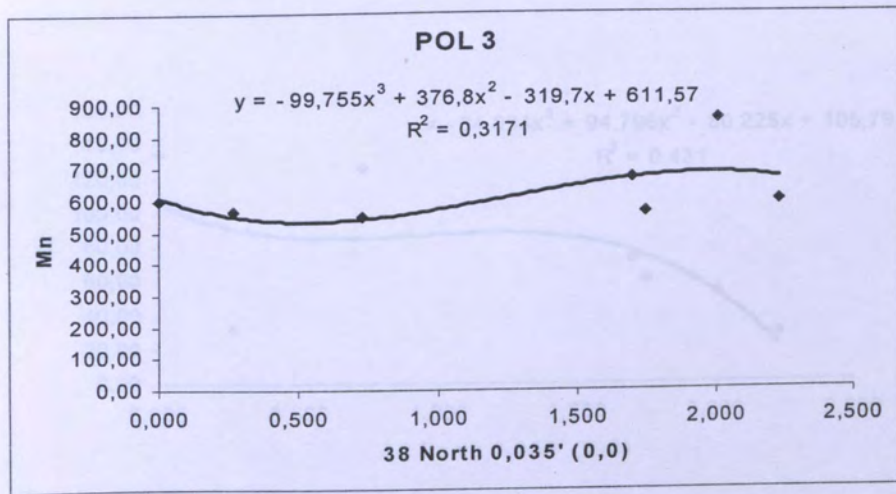
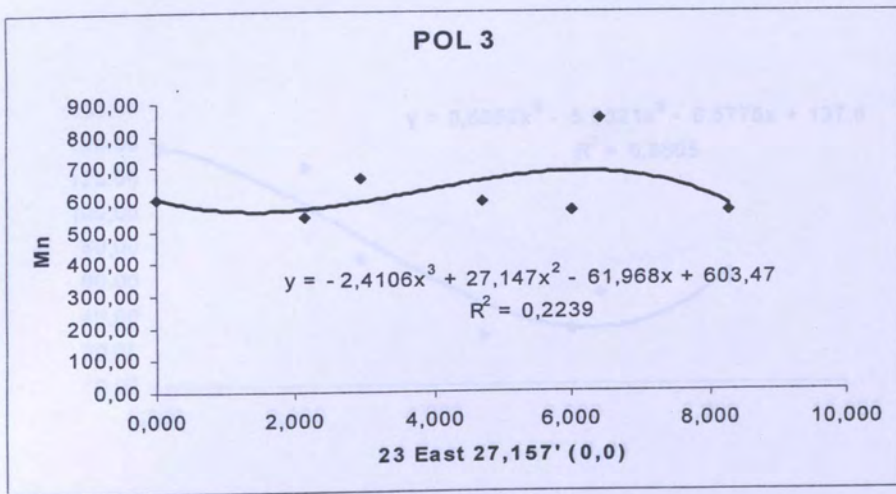
Σχήμα 12.41. Μοντέλα για τον κόλπο της Ελευσίνας κατά τον άξονα Νότος – Βορράς. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου και τετάρτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



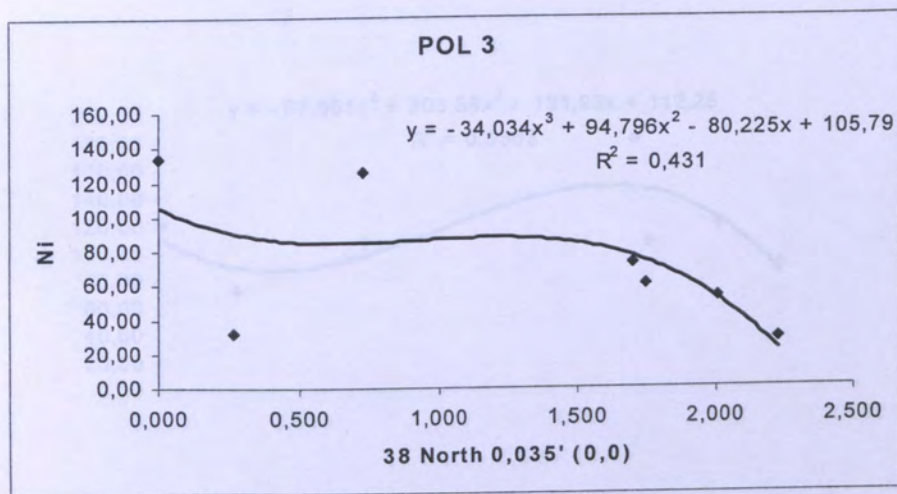
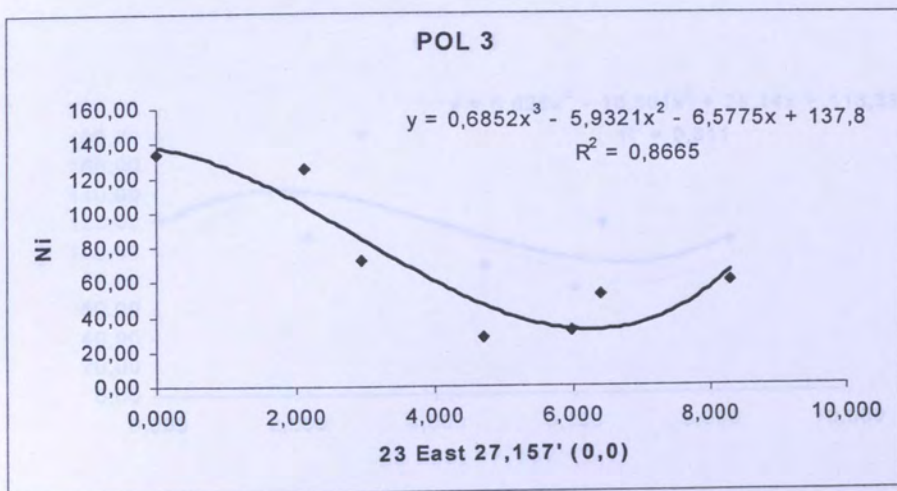
Σχήμα 12.42. Μοντέλα για τον κόλπο της Ελευσίνας κατά τον άξονα Νότος – Βορράς. Μοντέλα πολωνύμου πέμπτου και έκτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



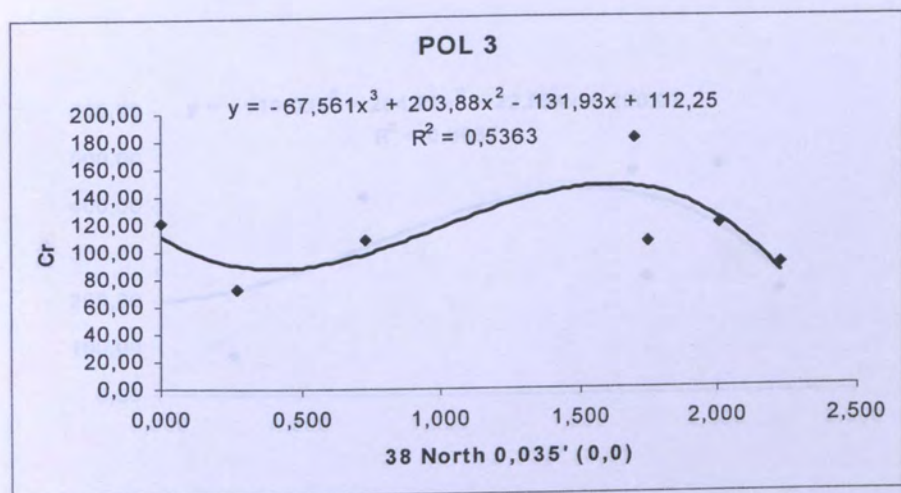
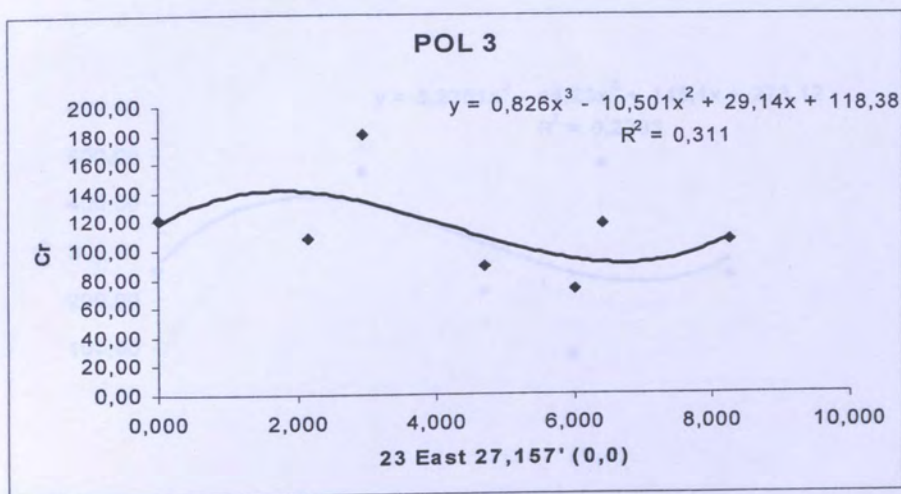
Σχήμα 12.43. Μοντέλα πολωνόμου τρίτου βαθμού για τον κόλπο της Ελευσίνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε AI, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



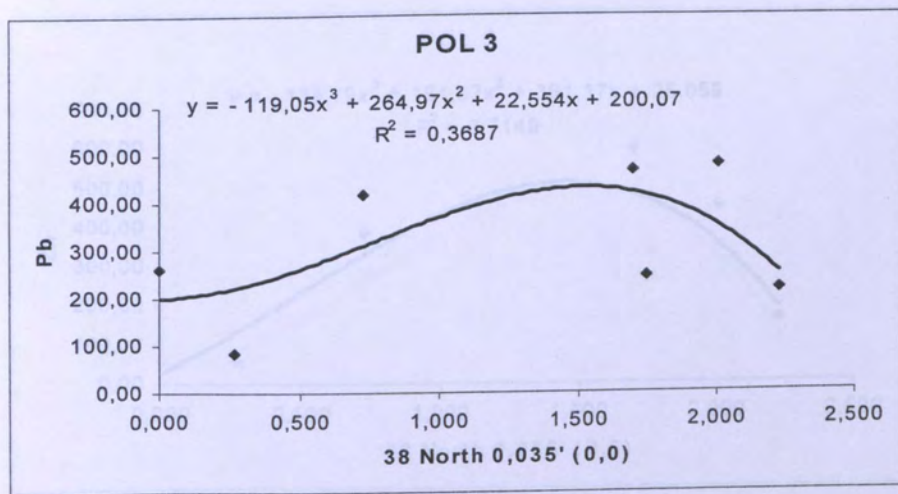
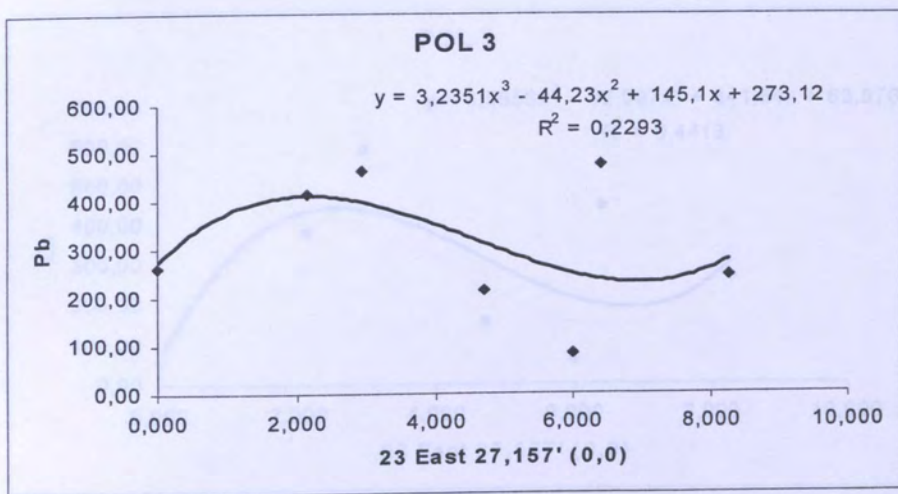
Σχήμα 12.44. Μοντέλα πολυωνύμου τρίτου βαθμού για τον κόλπο της Ελευσίνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Mn, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



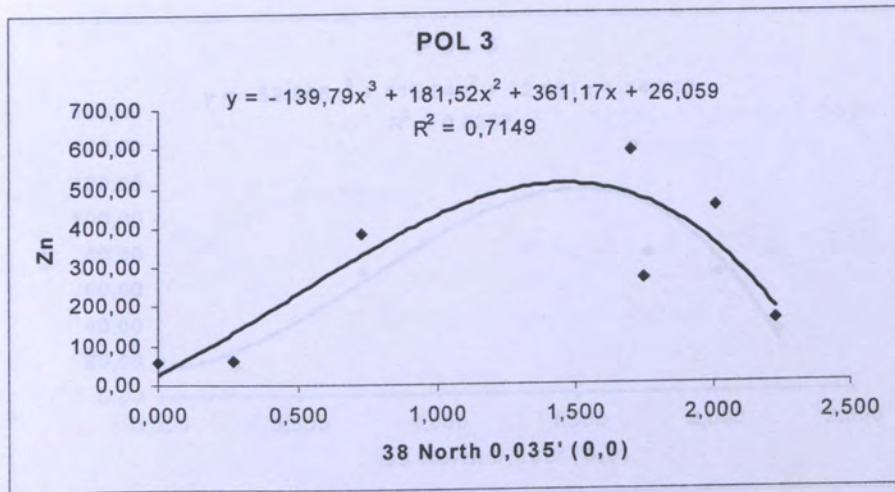
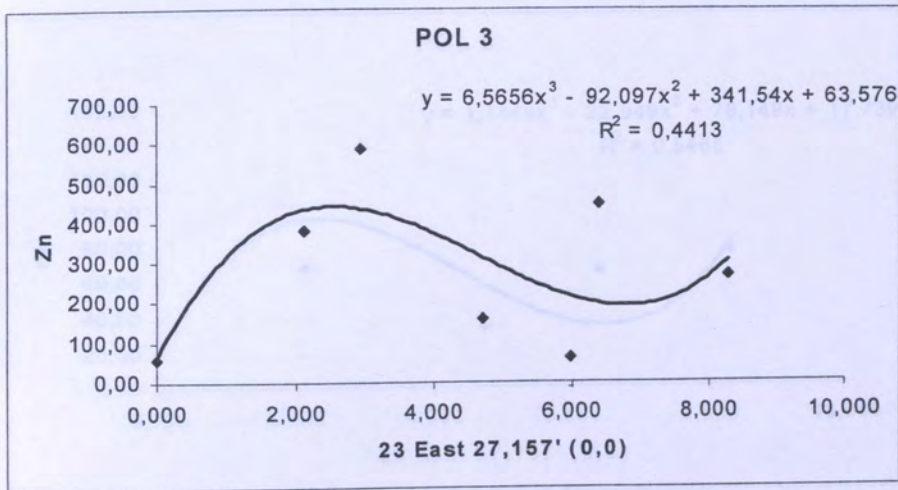
Σχήμα 12.45. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για τον κόλπο της Ελευσίνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Ni, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



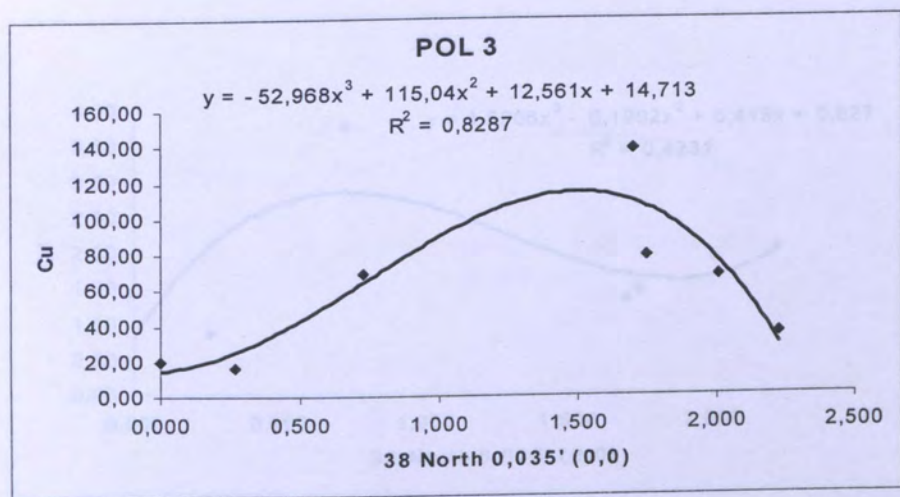
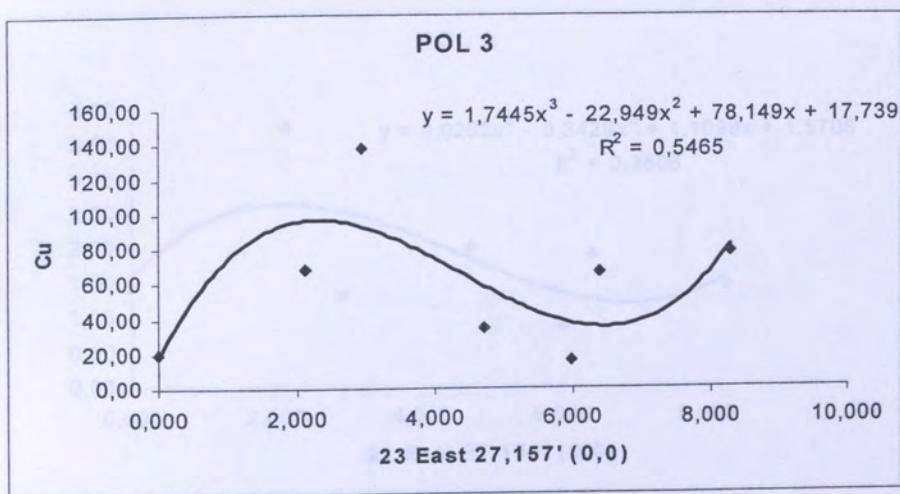
Σχήμα 12.46. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για τον κόλπο της Ελευσίνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cr, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



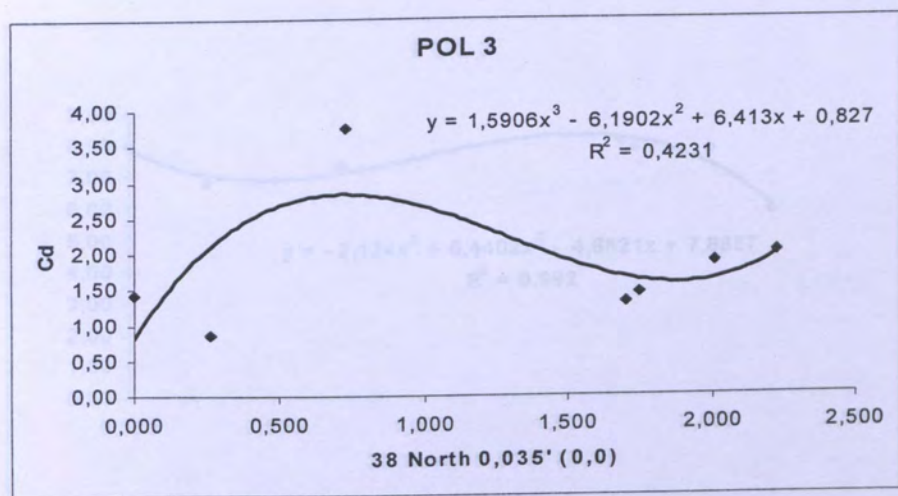
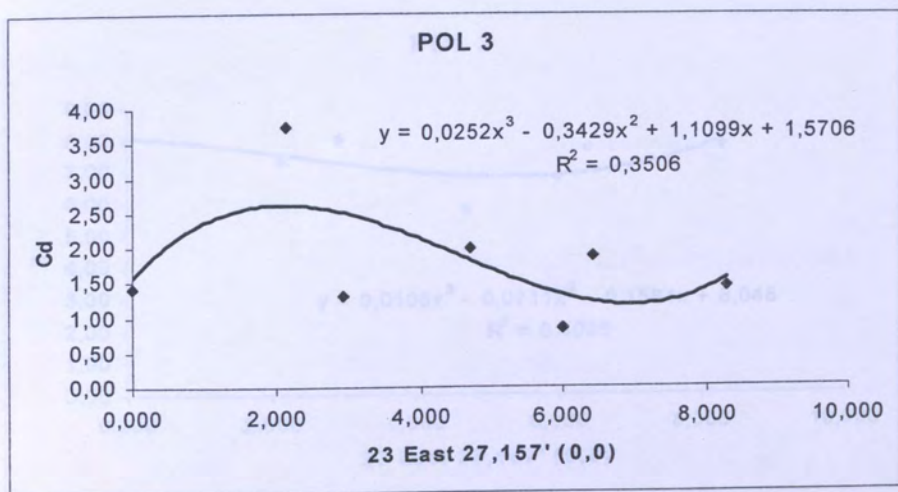
Σχήμα 12.47. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για τον κόλπο της Ελευσίνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Pb, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



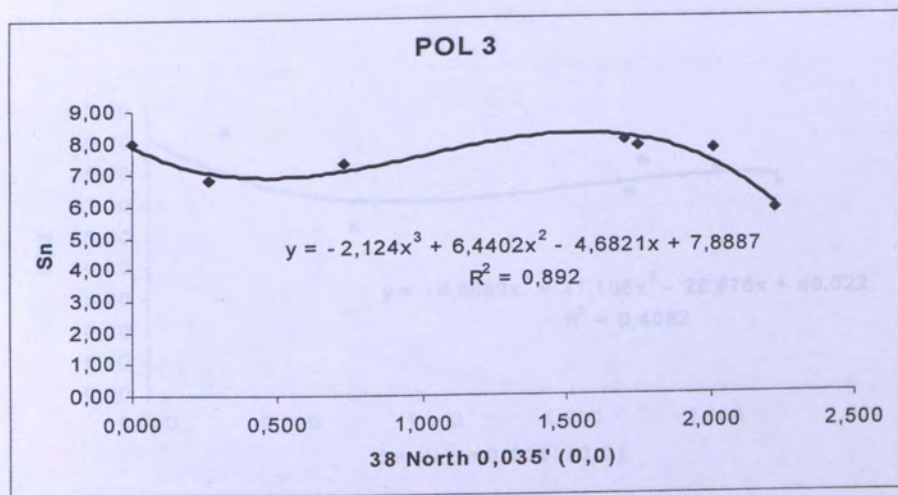
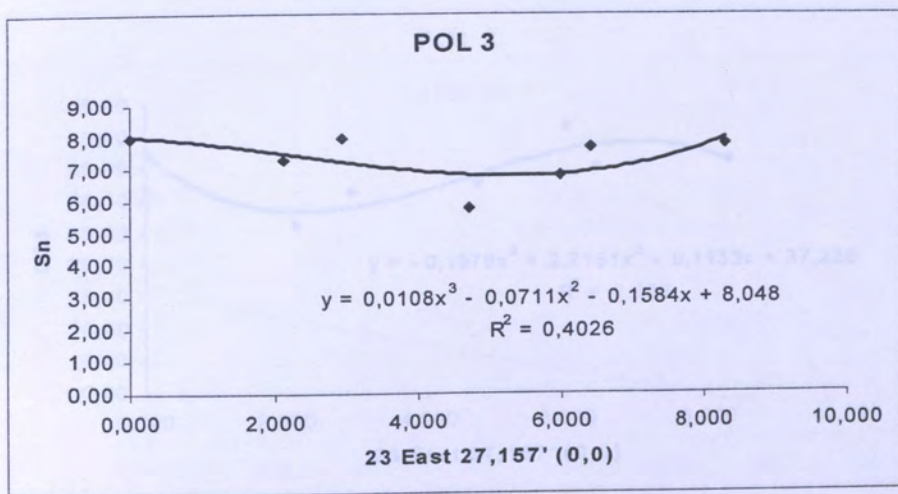
Σχήμα 12.48. Μοντέλα πολυωνύμου τρίτου βαθμού για τον κόλπο της Ελευσίνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Zn, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



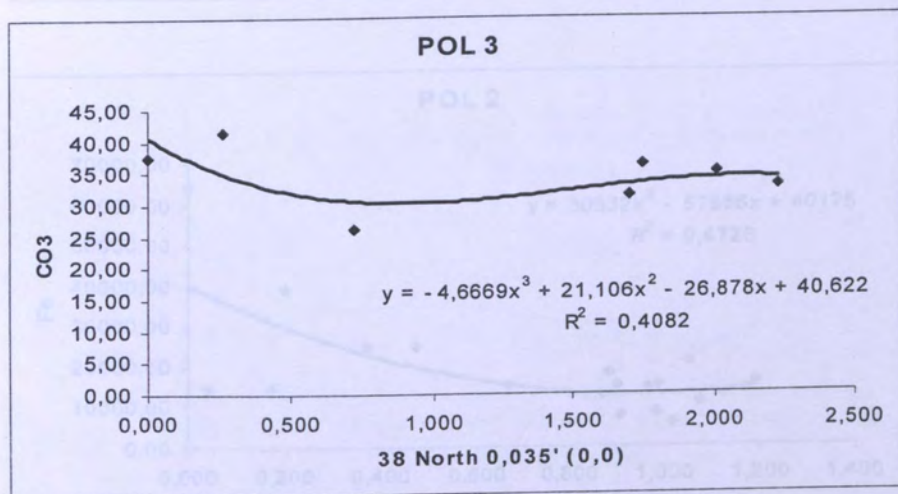
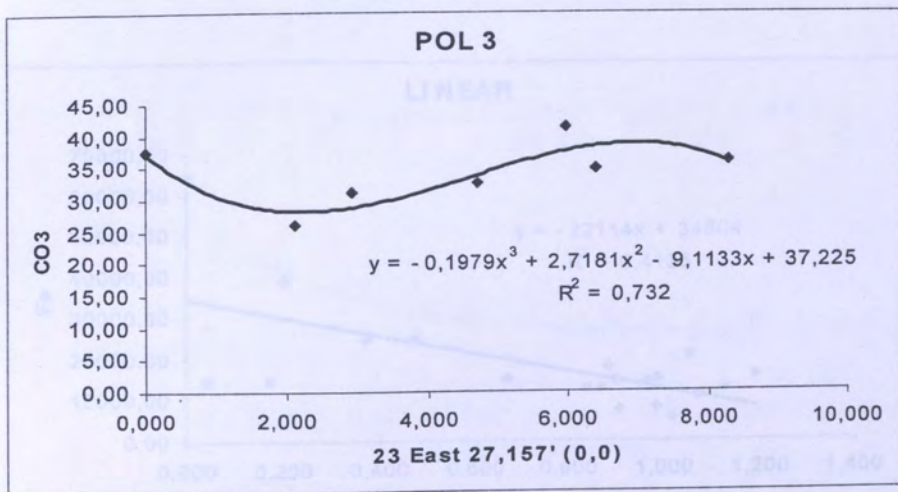
Σχήμα 12.49. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για τον κόλπο της Ελευσίνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cu, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



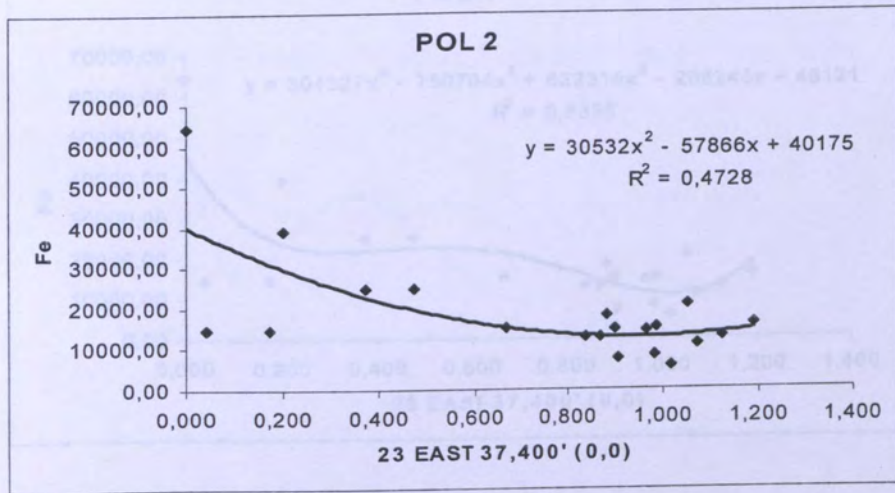
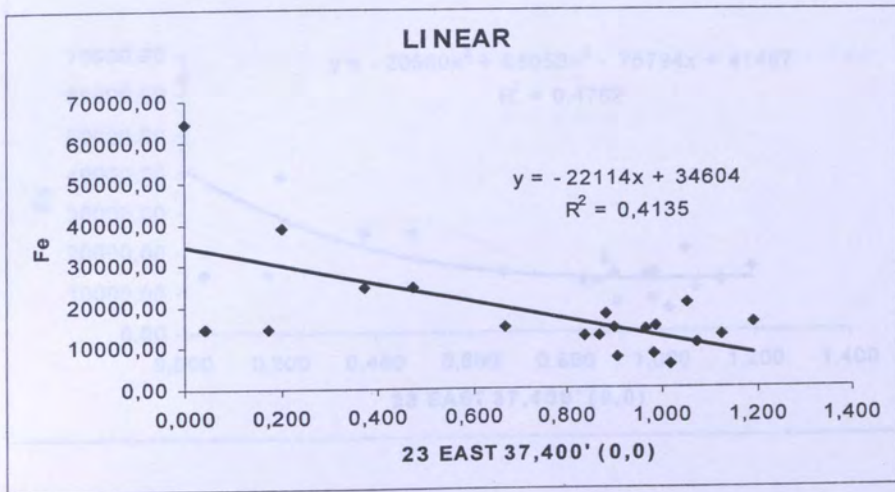
Σχήμα 12.50. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για τον κόλπο της Ελευσίνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cd, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



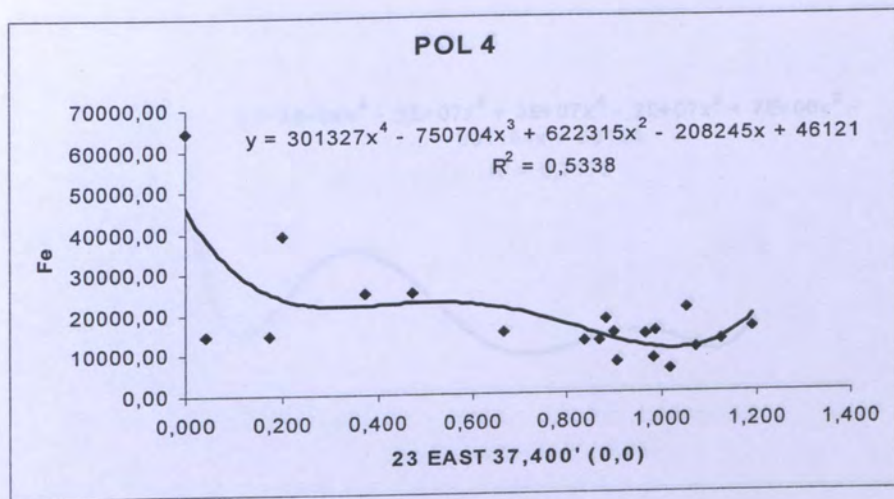
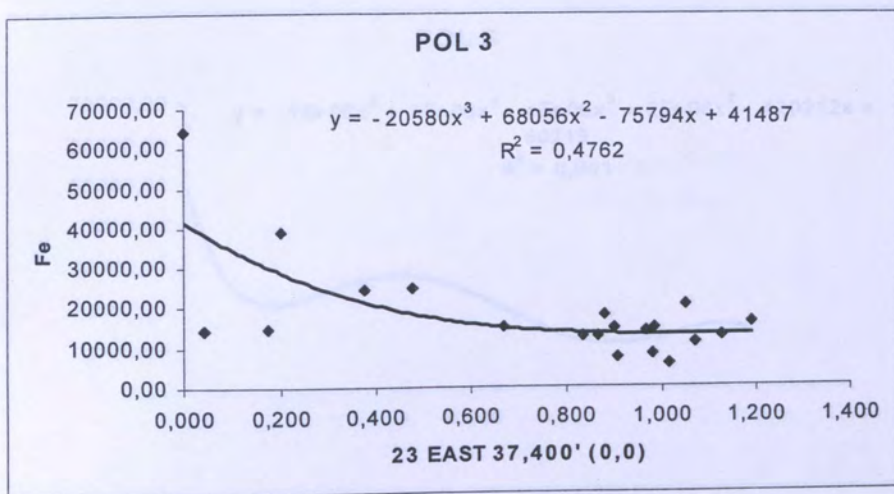
Σχήμα 12.51. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για τον κόλπο της Ελευσίνας (περιεκτικότητα ιζήματος σε Sn, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



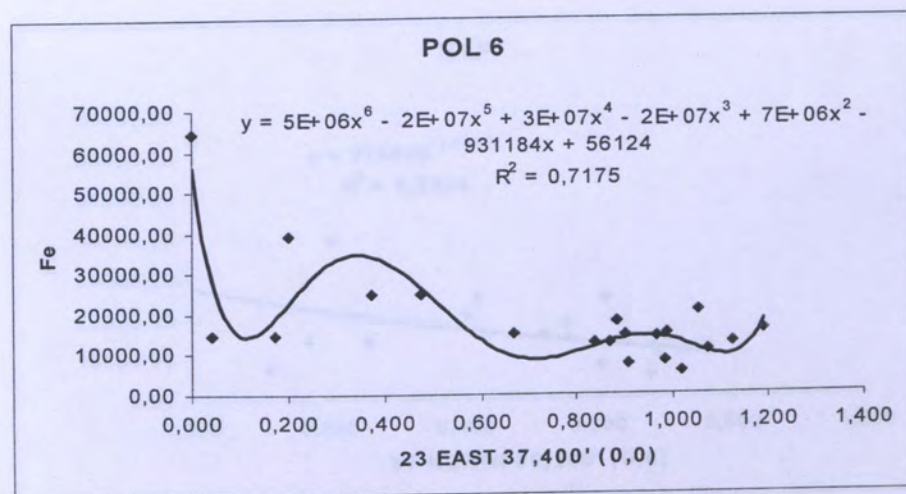
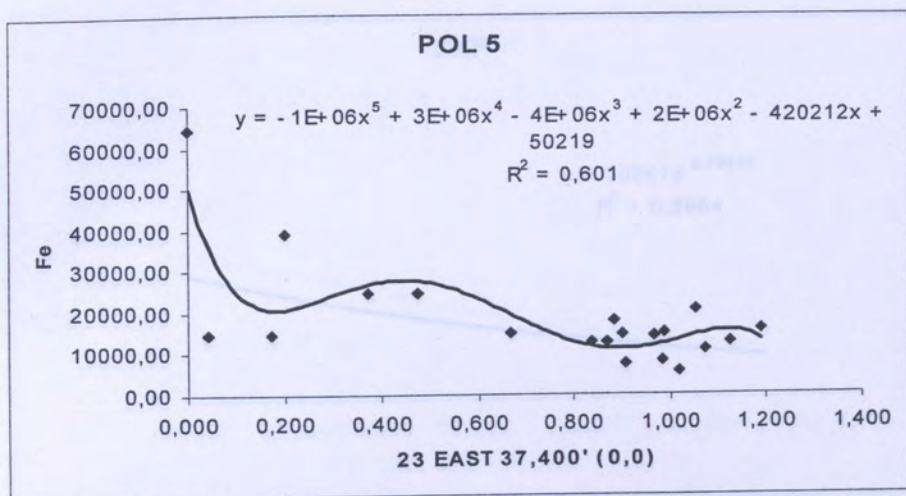
Σχήμα 12.52. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για τον κόλπο της Ελευσίνας (περιεκτικότητα % ιζήματος σε CO₃) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



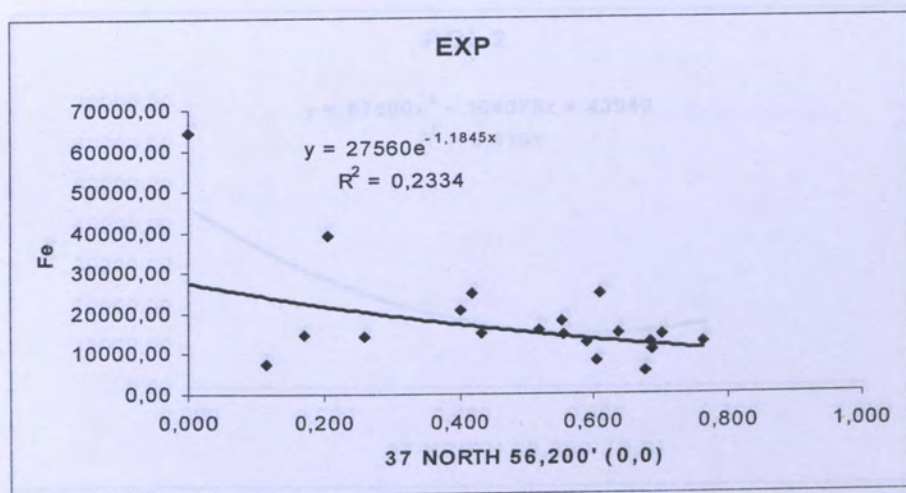
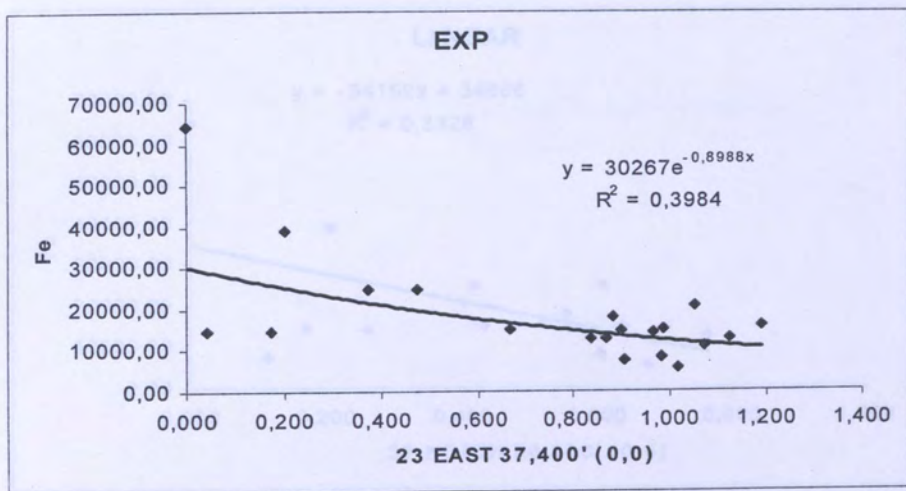
Σχήμα 12.53. Μοντέλα για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά κατά τον άξονα Δύση - Ανατολή. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιου πολυωνόμου (τριωνόμου) (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



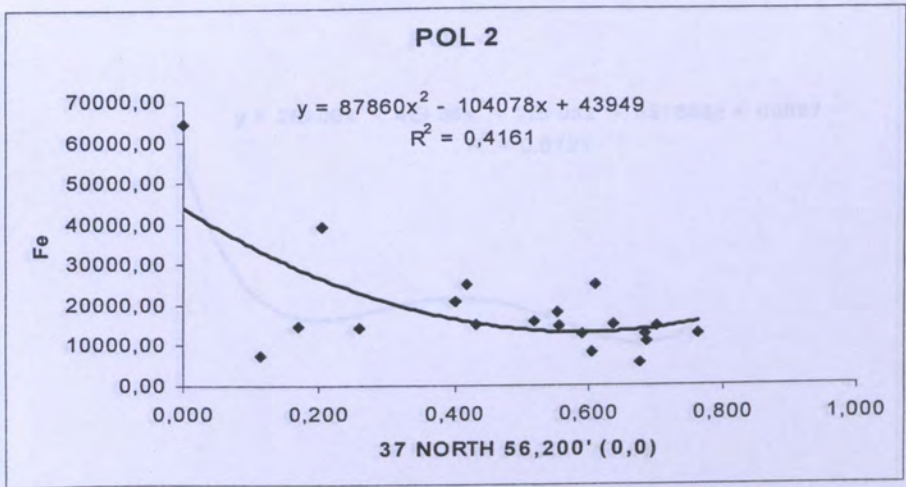
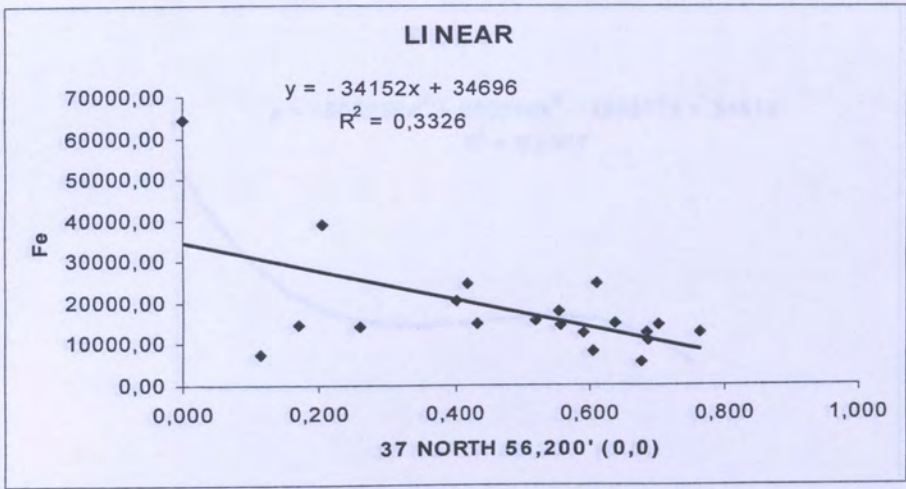
Σχήμα 12.54. Μοντέλα για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά κατά τον άξονα Δύση - Ανατολή. Μοντέλα πολυωνόμου τρίτου και τετάρτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



Σχήμα 12.55. Μοντέλα για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά κατά τον άξονα Δύση - Ανατολή. Μοντέλα πολυωνύμου πέμπτου και έκτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).

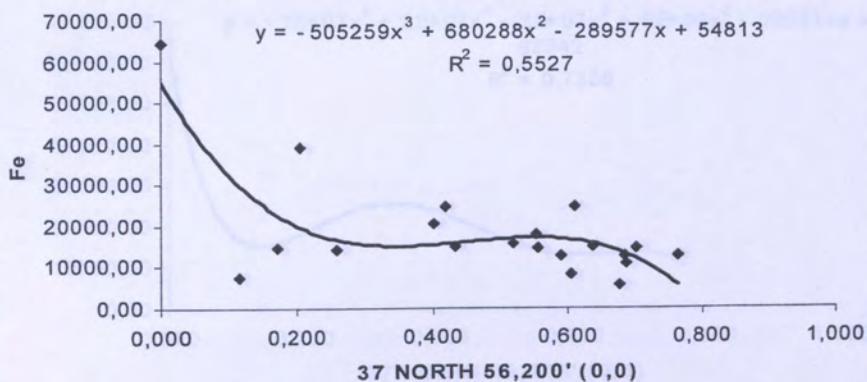


Σχήμα 12.56. Εκθετικά μοντέλα για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).

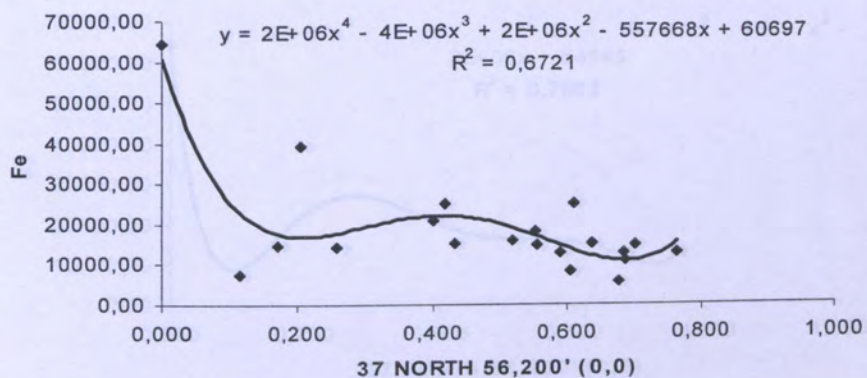


Σχήμα 12.57. Μοντέλα για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά κατά τον άξονα Νότος - Βορράς. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιου πολυωνύμου (τριωνύμου) (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).

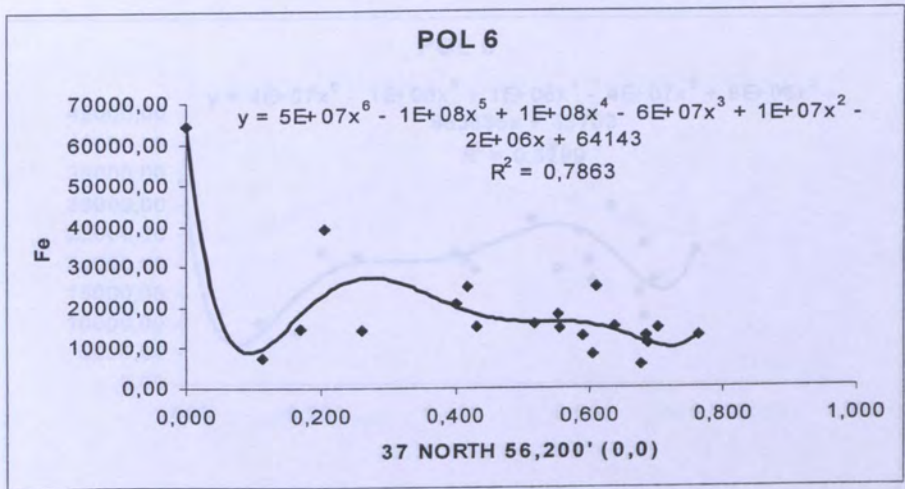
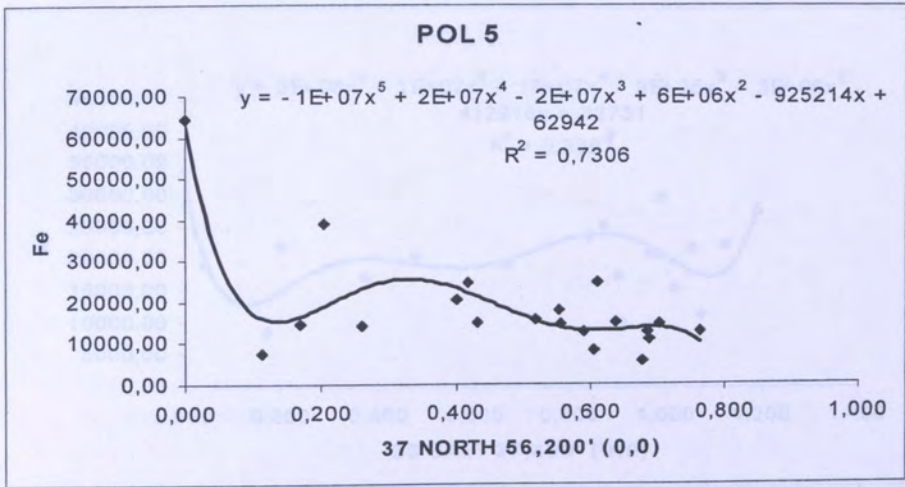
POL 3



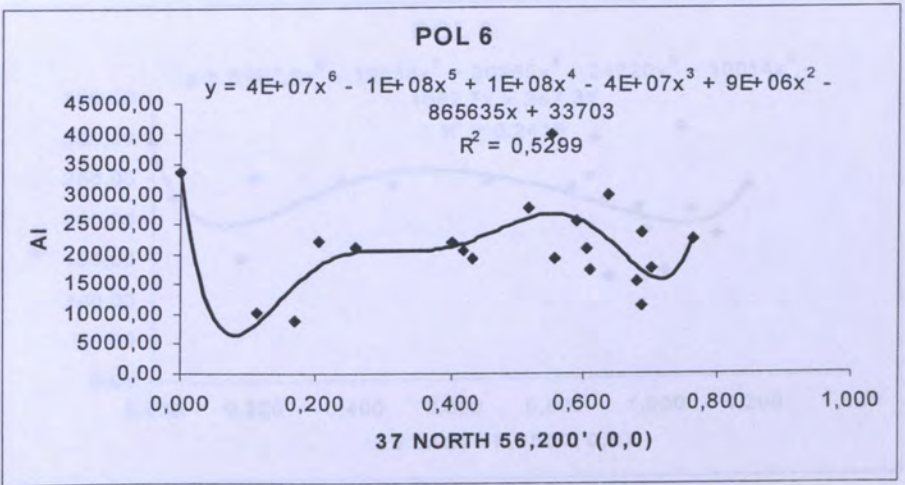
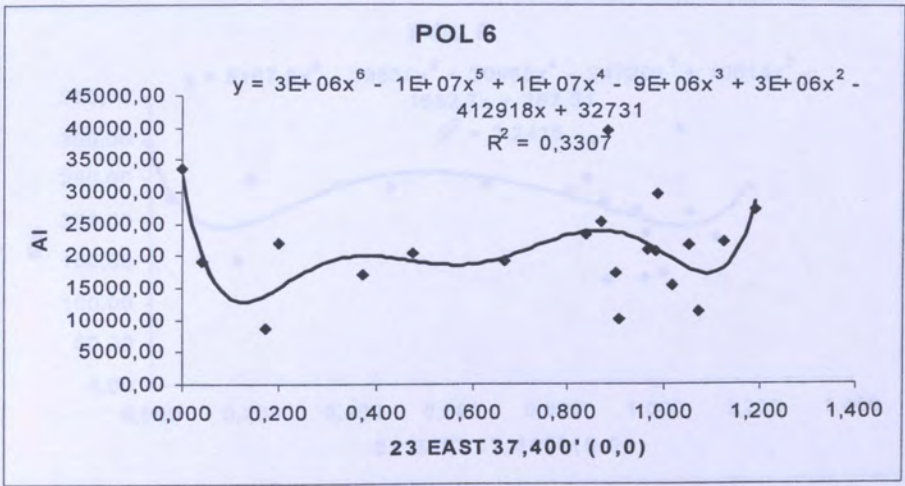
POL 4



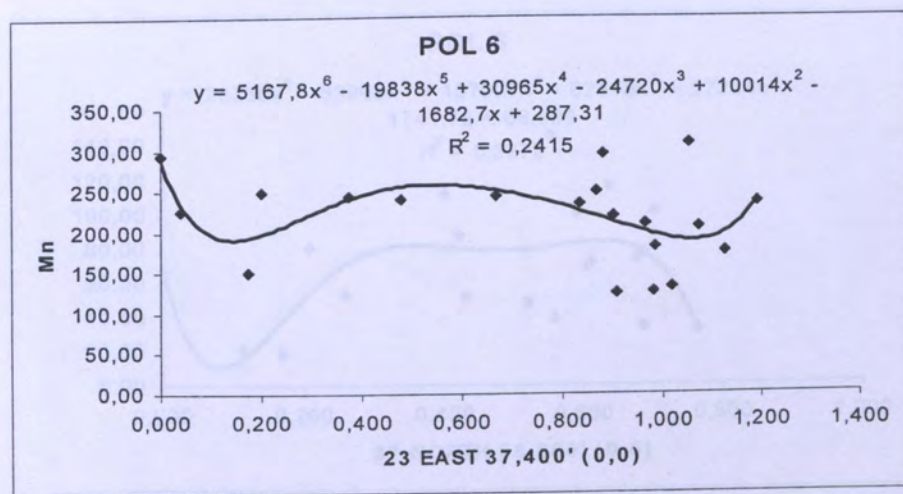
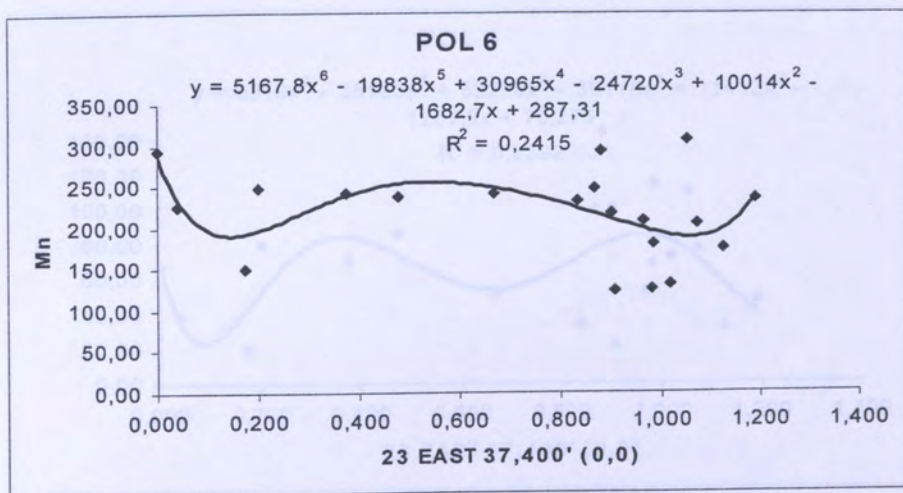
Σχήμα 12.58. Μοντέλα για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά κατά τον άξονα Νότος - Βορράς. Μοντέλα πολυωνόμου τρίτου και τετάρτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



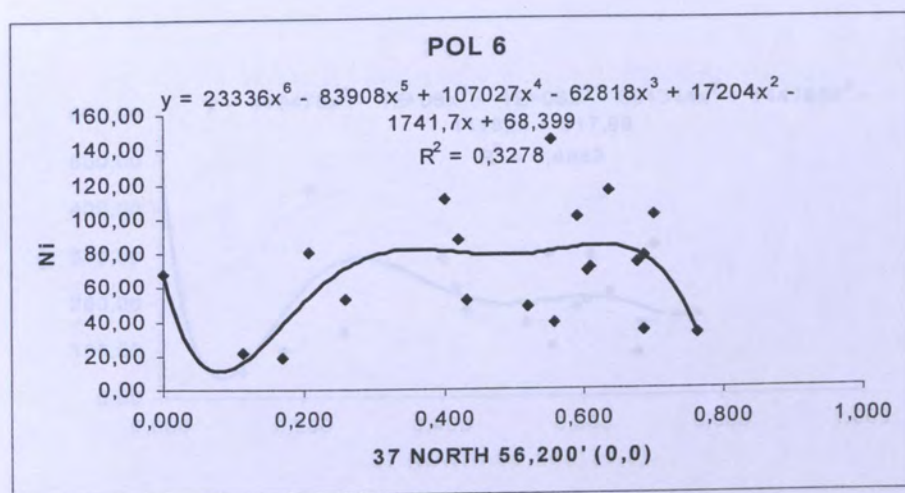
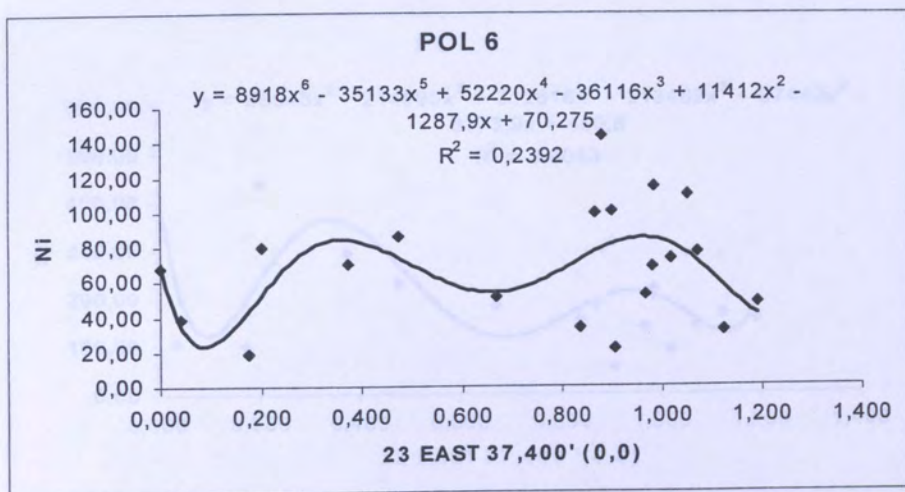
Σχήμα 12.59. Μοντέλα για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά κατά τον άξονα Νότος - Βορράς. Μοντέλα πολωνύμου πέμπτου και έκτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



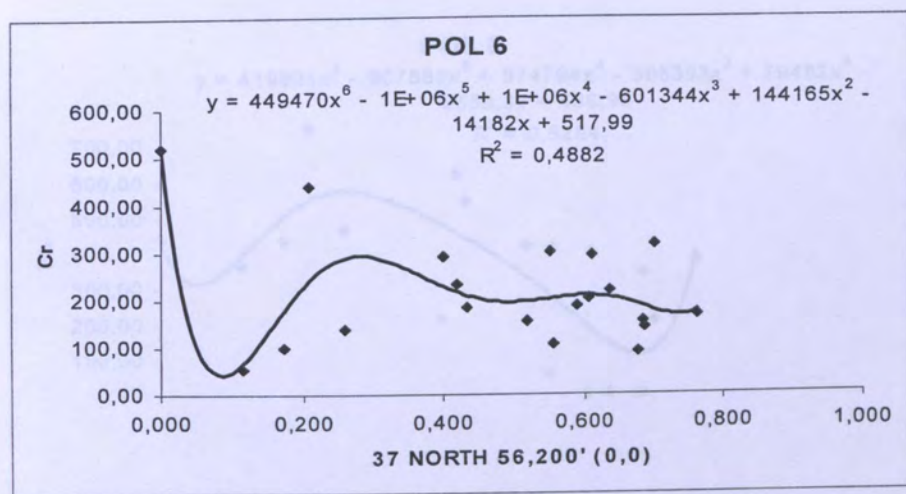
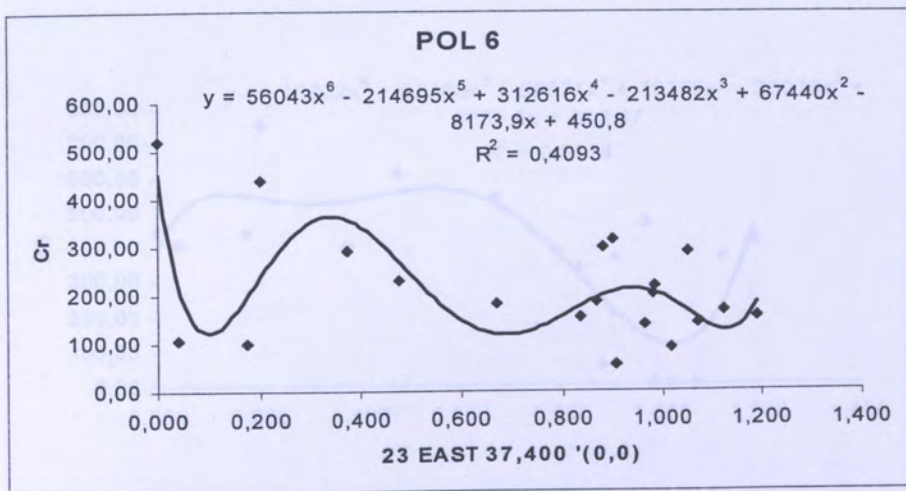
Σχήμα 12.60. Μοντέλα πολυωνόμου έκτου βαθμού για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (περιεκτικότητα ιζήματος σε AI, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



Σχήμα 12.61. Μοντέλα πολωνόμου έκτου βαθμού για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (περιεκτικότητα ιζήματος σε Mn, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.

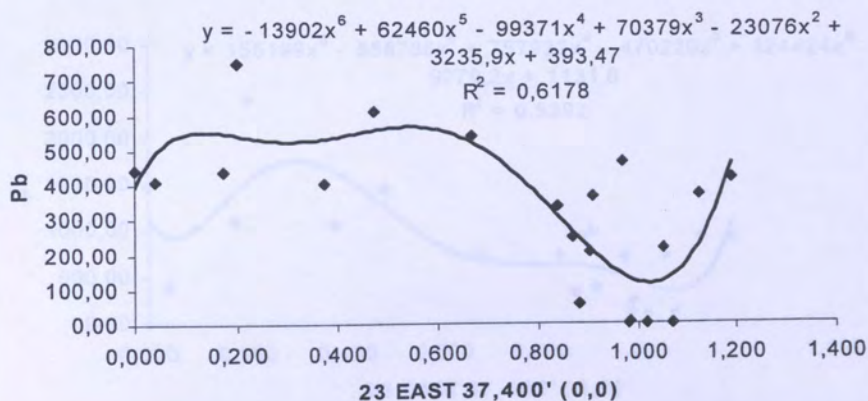


Σχήμα 12.62. Μοντέλα πολωνόμου έκτου βαθμού για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (περιεκτικότητα ιζήματος σε Ni, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.

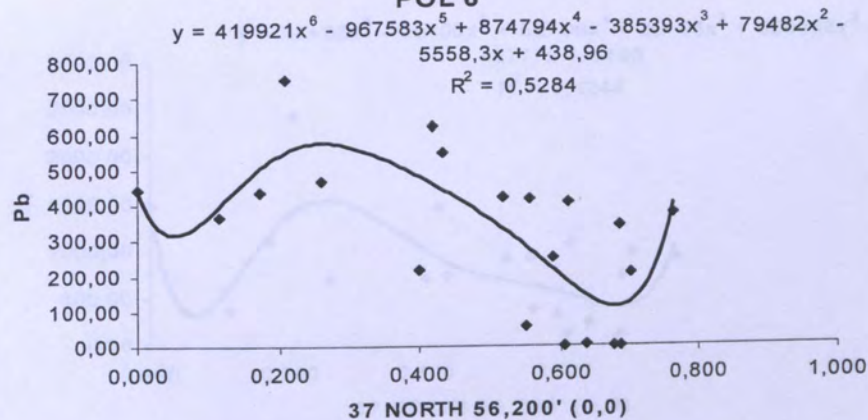


Σχήμα 12.63. Μοντέλα πολωνύμου έκτου βαθμού για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cr, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.

POL 6

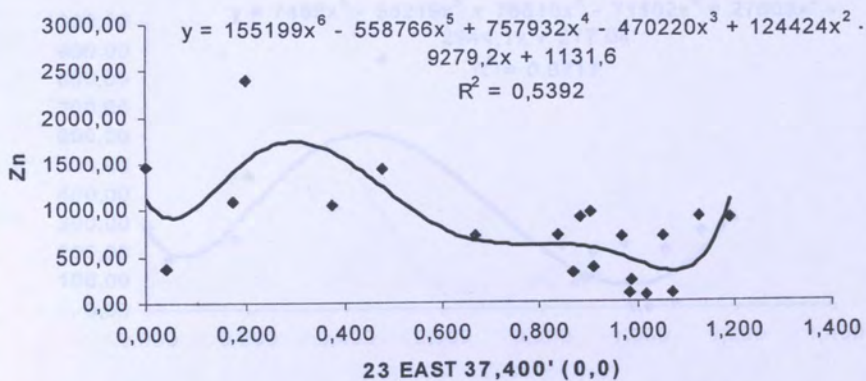


POL 6

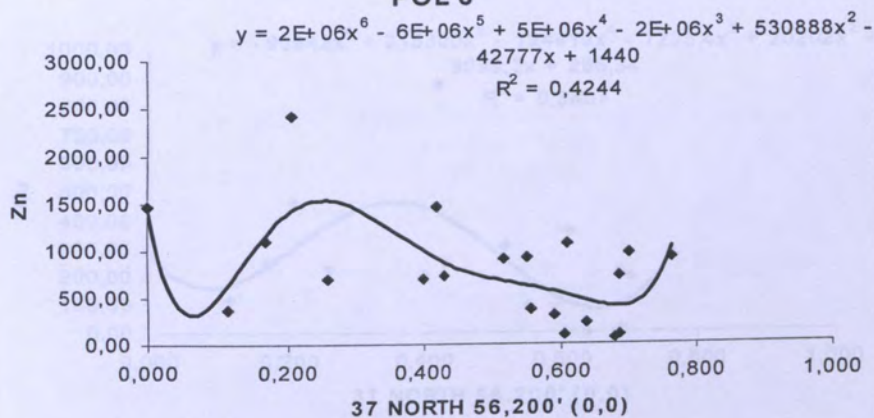


Σχήμα 12.64. Μοντέλα πολωνύμου έκτου βαθμού για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (περιεκτικότητα ιζήματος σε Pb, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.

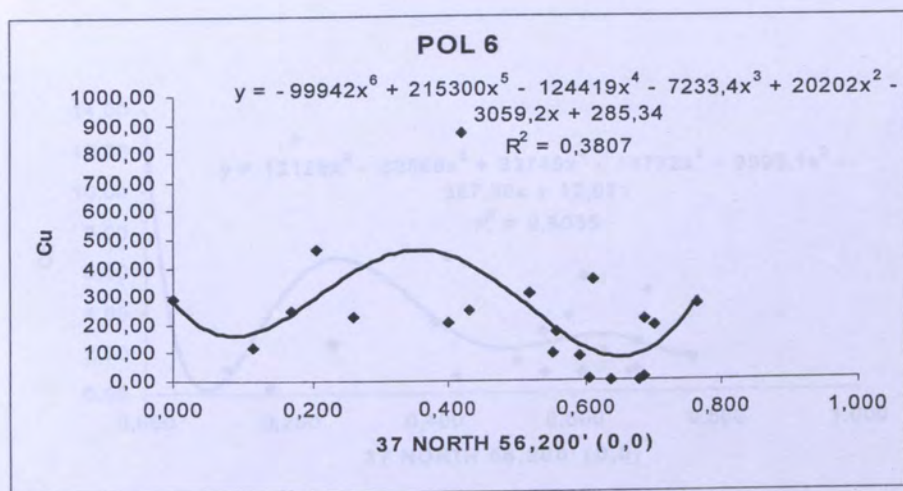
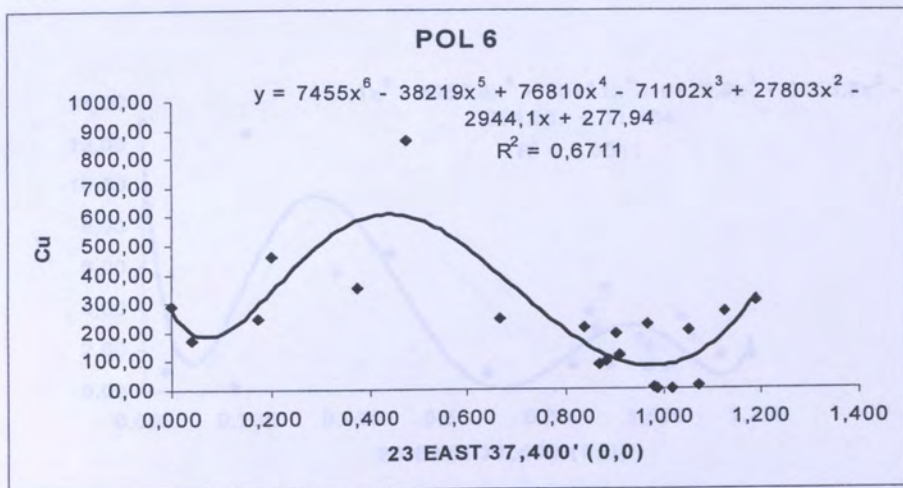
POL 6



POL 6

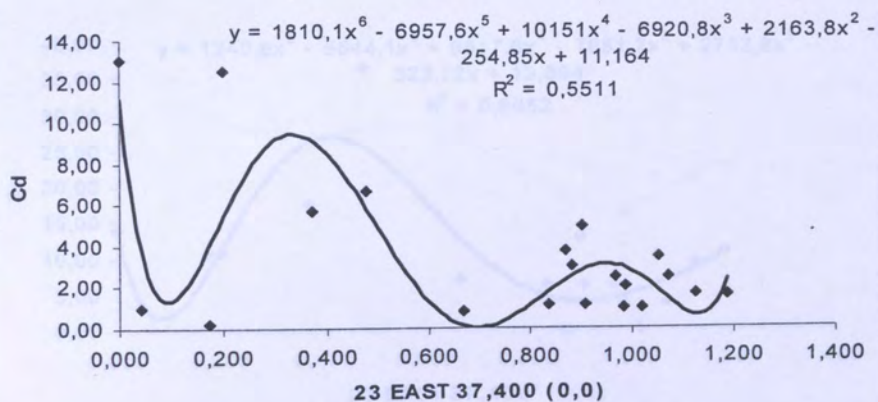


Σχήμα 12.65. Μοντέλα πολωνύμου έκτου βαθμού για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (περιεκτικότητα ιζήματος σε Zn, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.

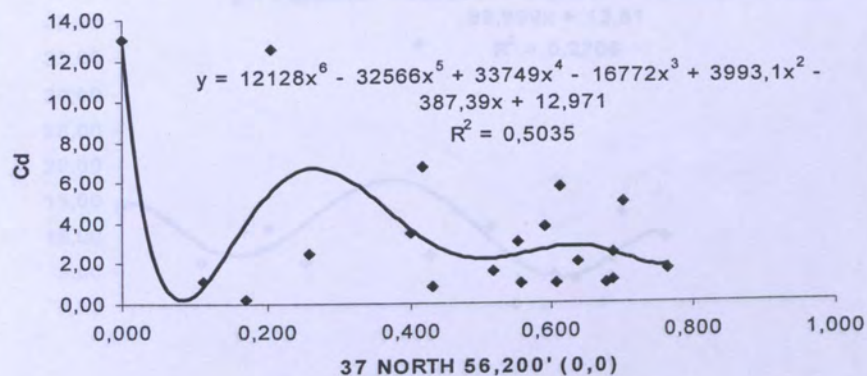


Σχήμα 12.66. Μοντέλα πολυωνύμου έκτου βαθμού για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cu, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.

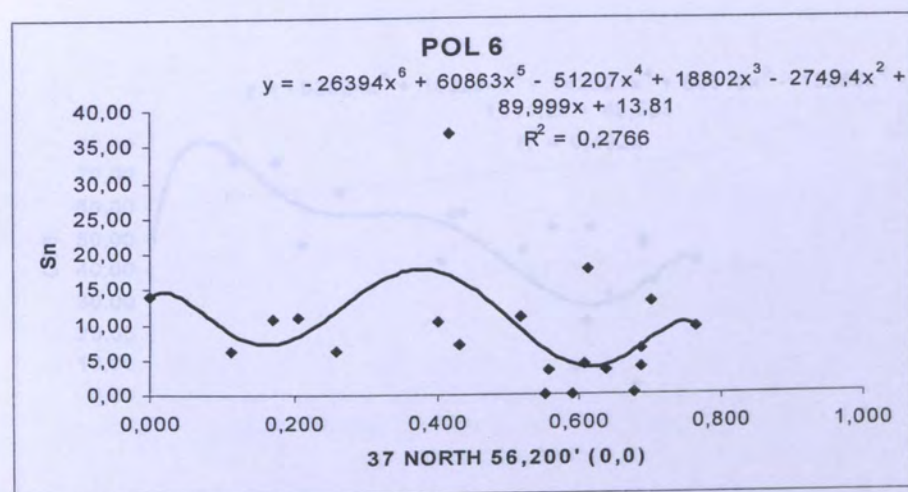
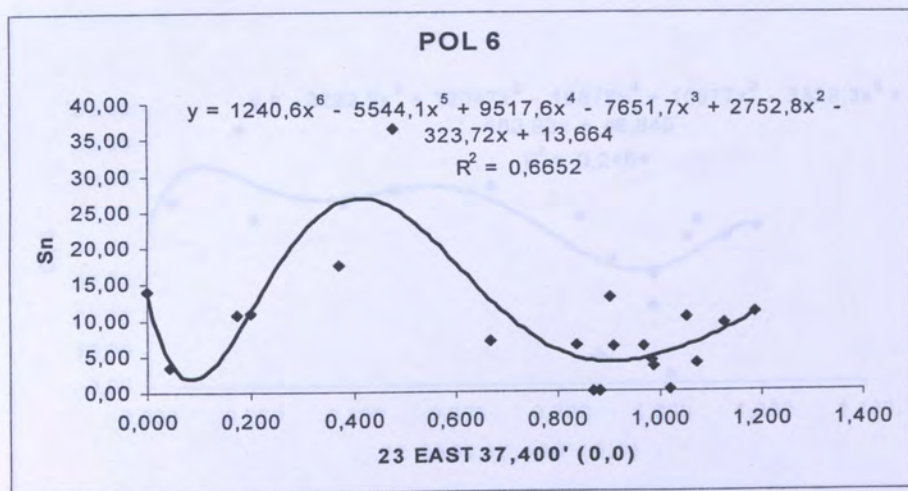
POL 6



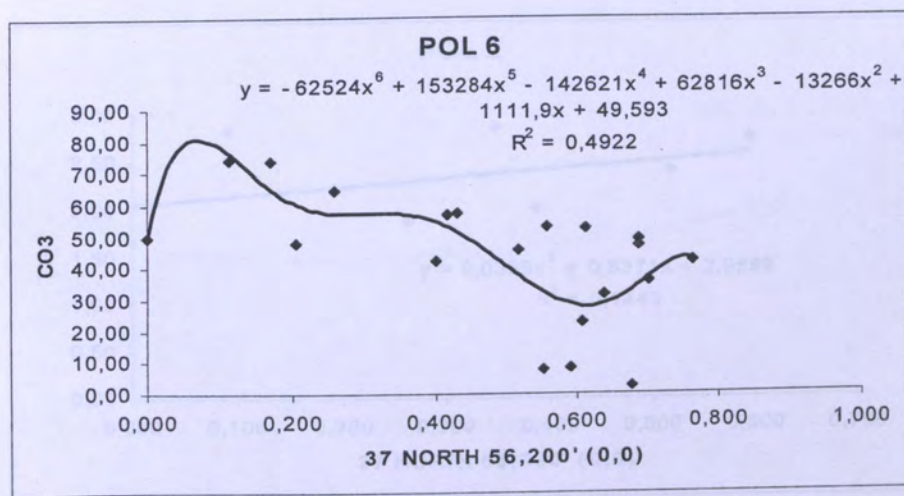
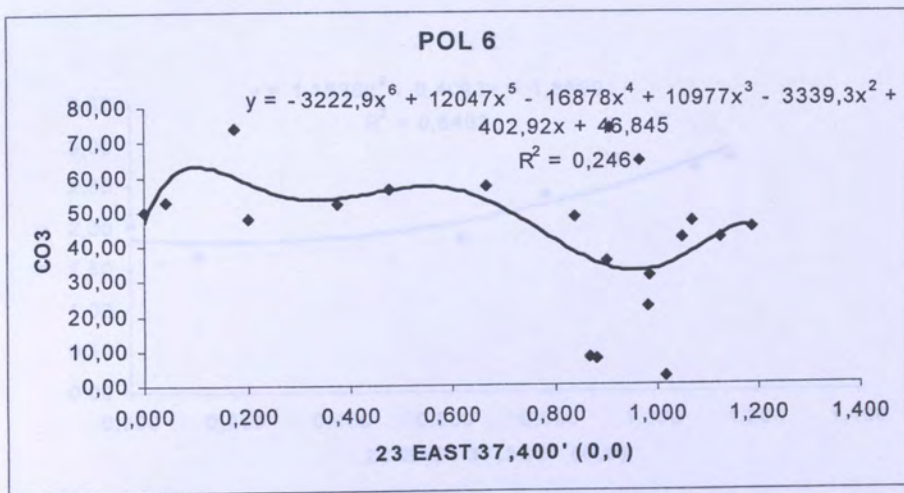
POL 6



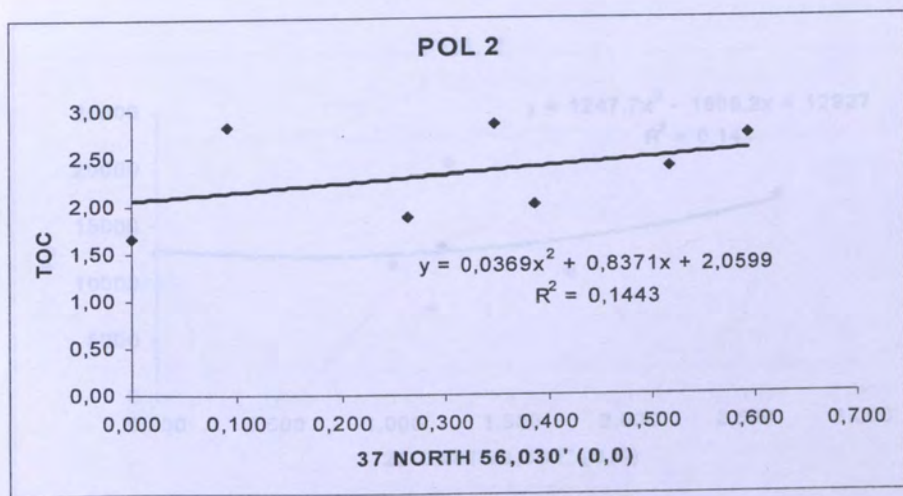
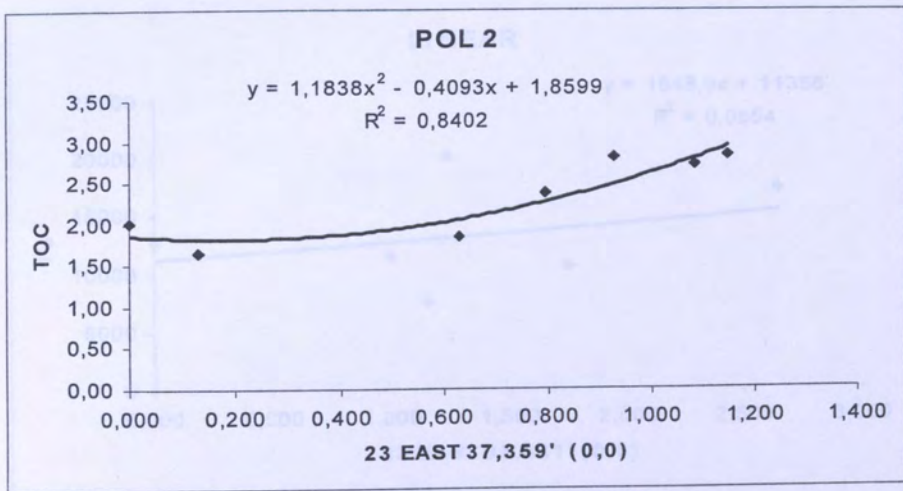
Σχήμα 12.67. Μοντέλα πολωνύμου έκτου βαθμού για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cd, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



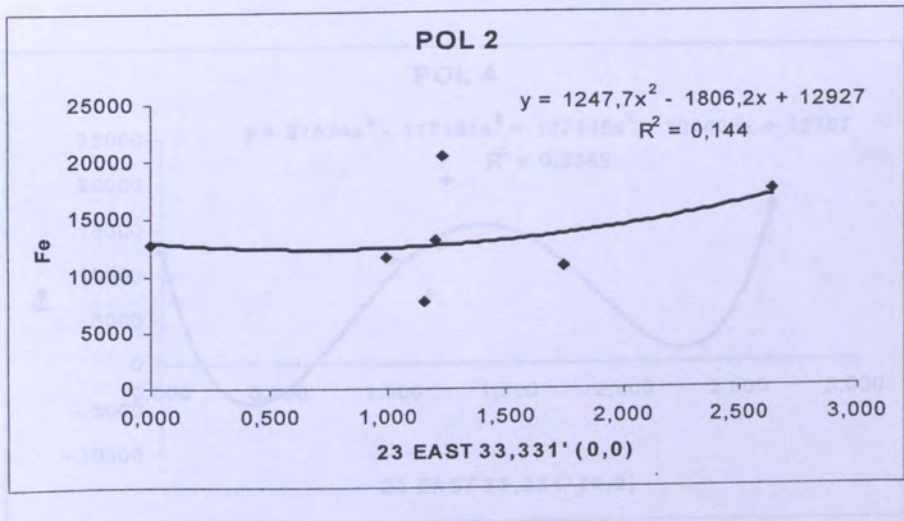
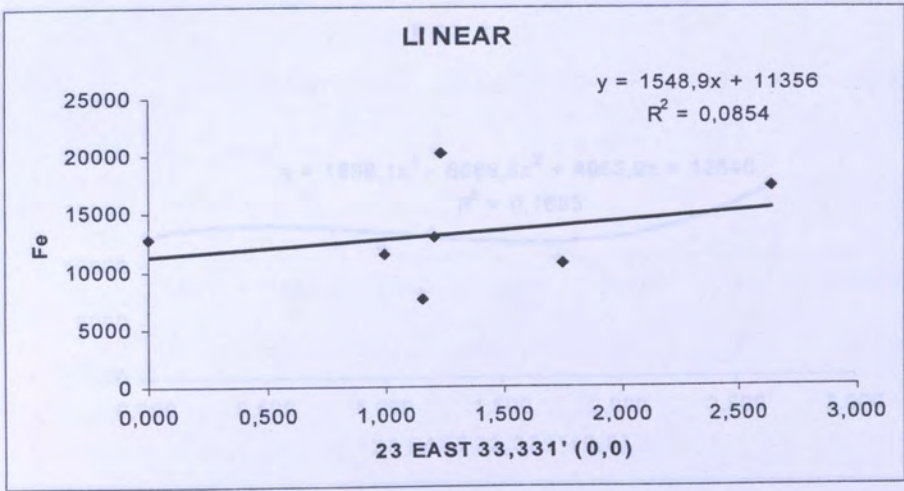
Σχήμα 12.68. Μοντέλα πολωνόμου έκτου βαθμού για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (περιεκτικότητα ιζήματος σε Sn, ppm) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.



Σχήμα 12.69. Μοντέλα πολωνύμου έκτου βαθμού για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (περιεκτικότητα % ιζήματος σε CO₃) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς.

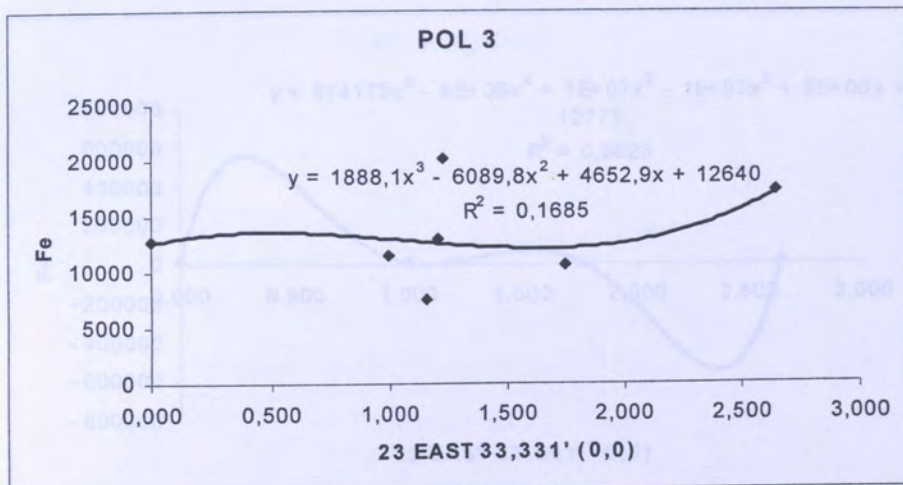


Σχήμα 12.70. Μοντέλα τριωνύμου για το επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (περιεκτικότητα % ιζήματος σε TOC) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιας απλοποίησης (τριωνύμου) (απεικονίζονται ιζήματος σε TOC, ppm).

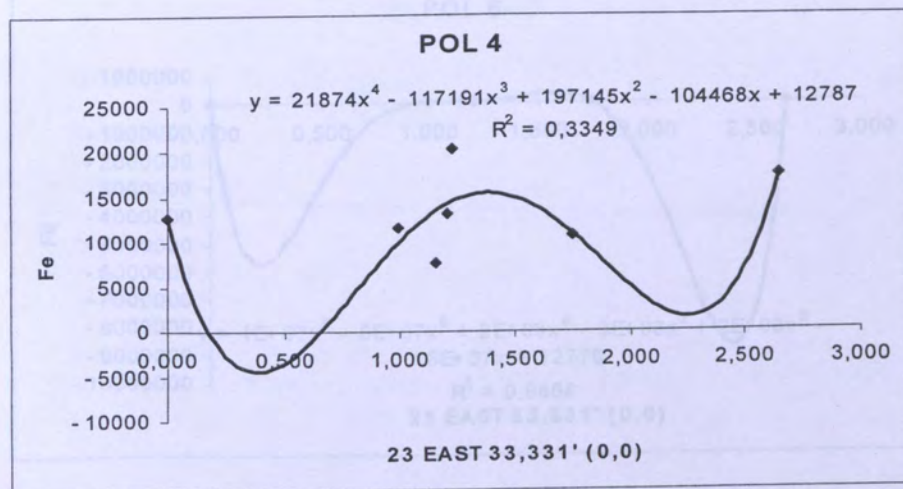


Σχήμα 12.71. Μοντέλα για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιου πολωνύμου (τριωνύμου) (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).

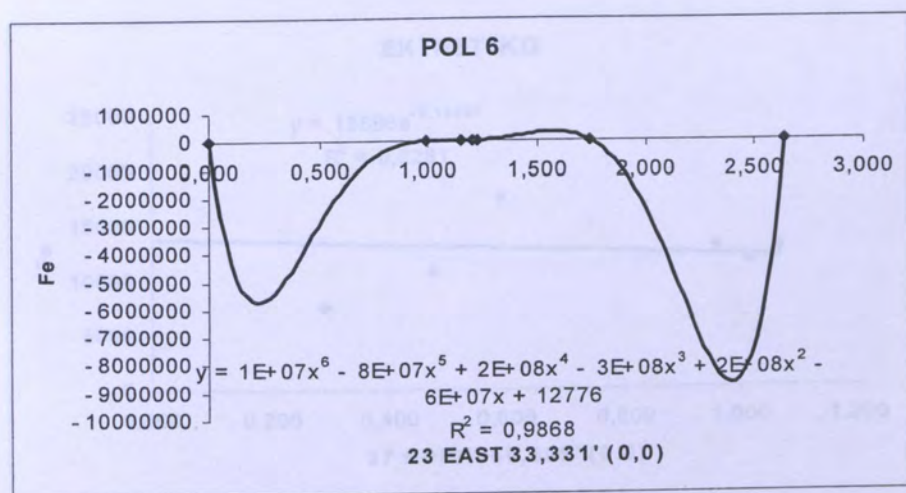
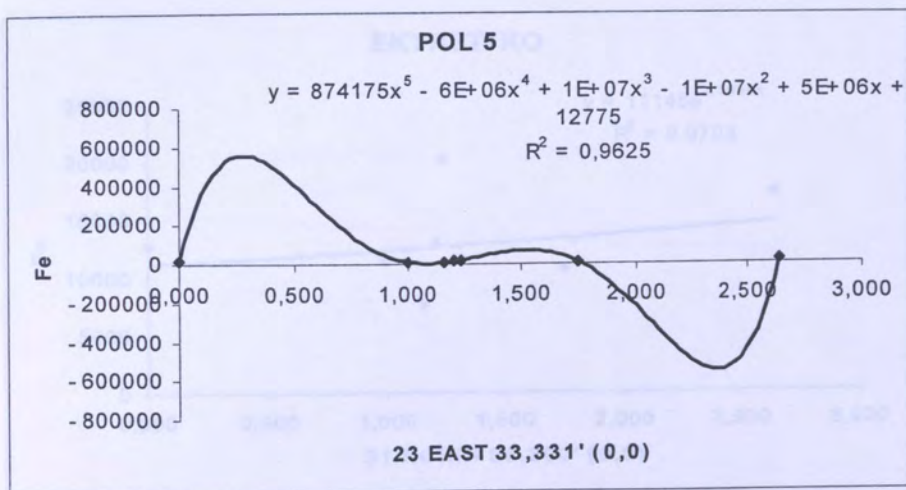
POL 3



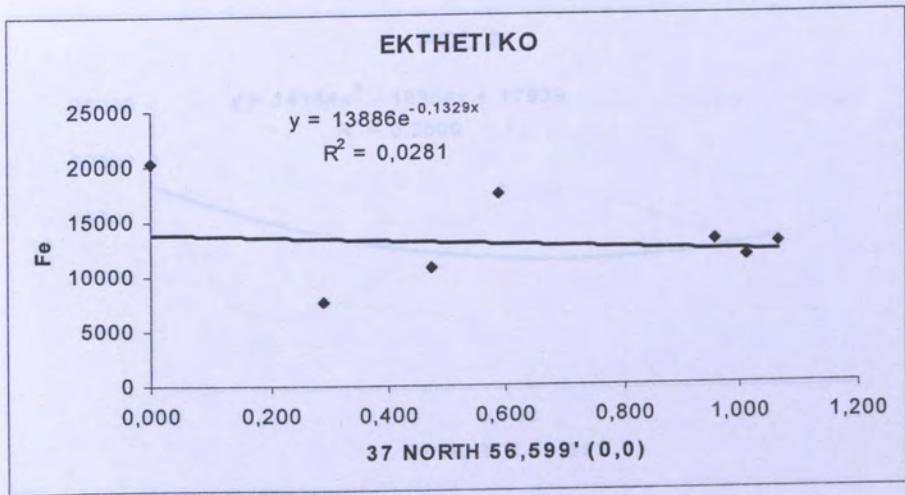
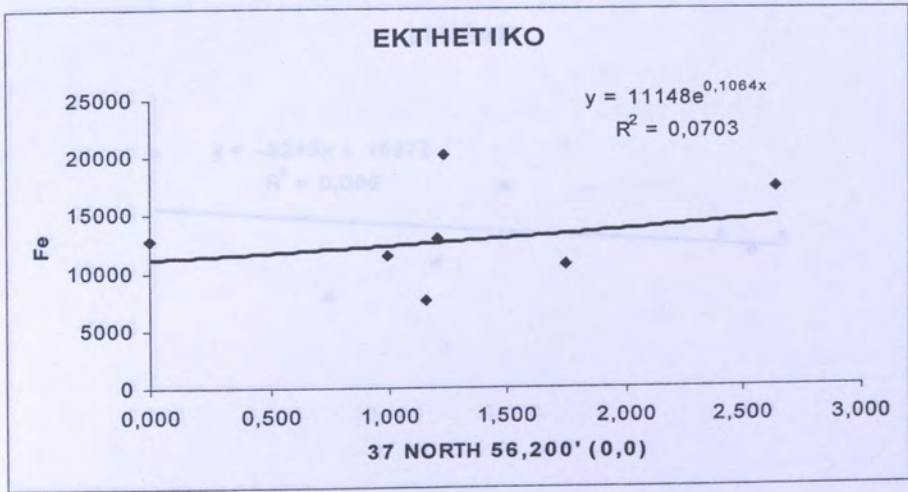
POL 4



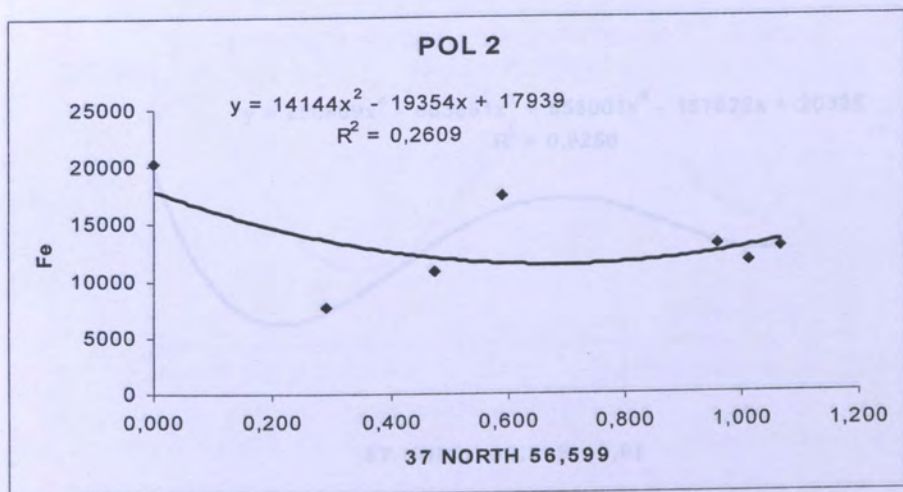
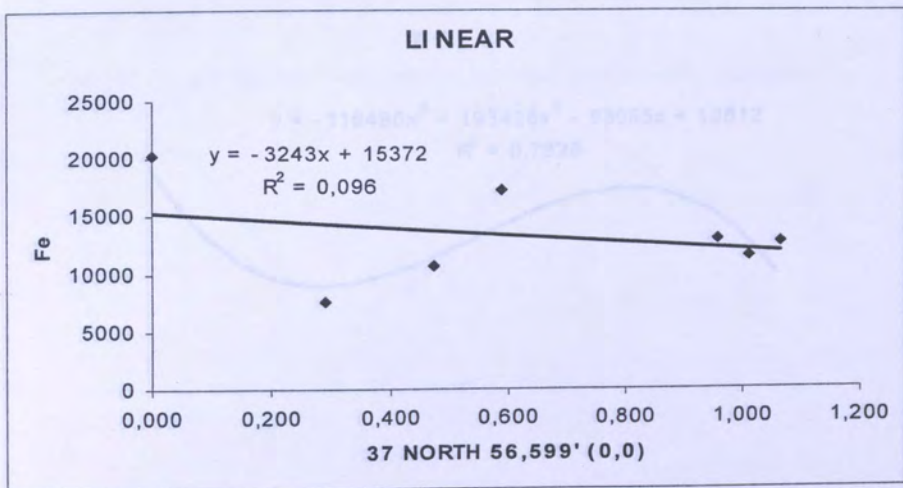
Σχήμα 12.72. Μοντέλα για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Μοντέλα πολωνόμου τρίτου και τετάρτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



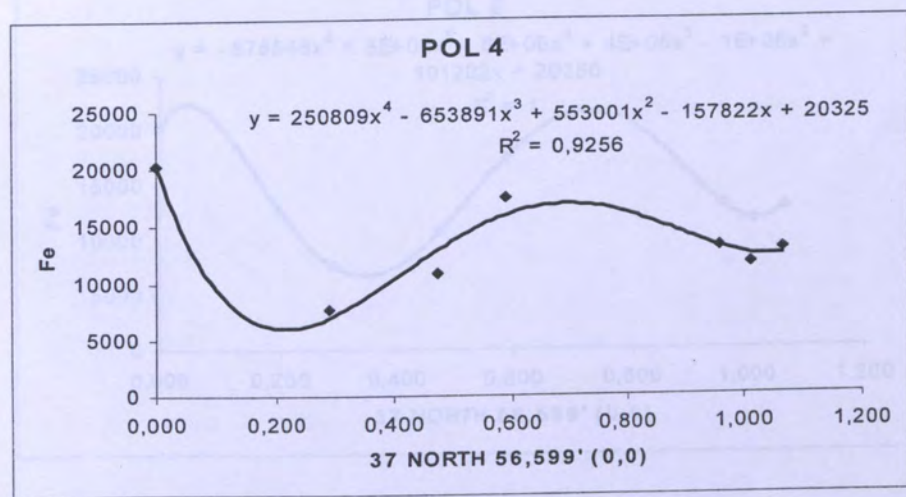
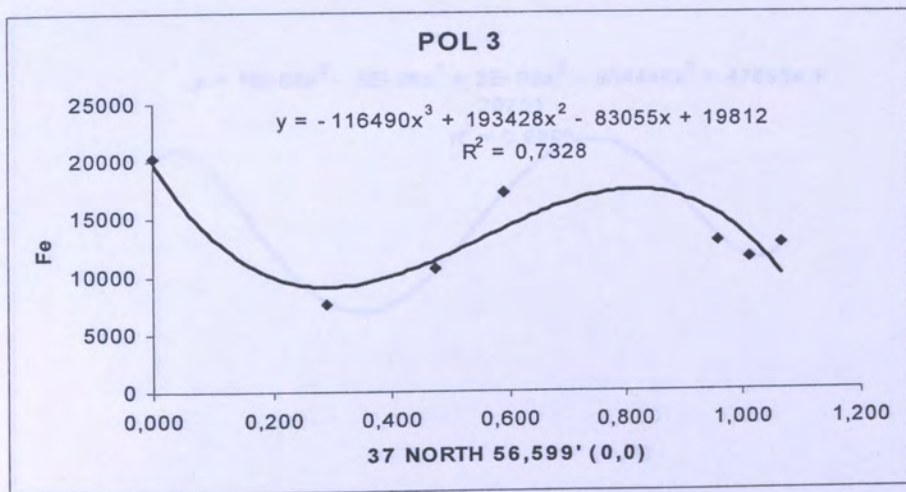
Σχήμα 12.73. Μοντέλα για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Μοντέλα πολυωνόμου πέμπτου και έκτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



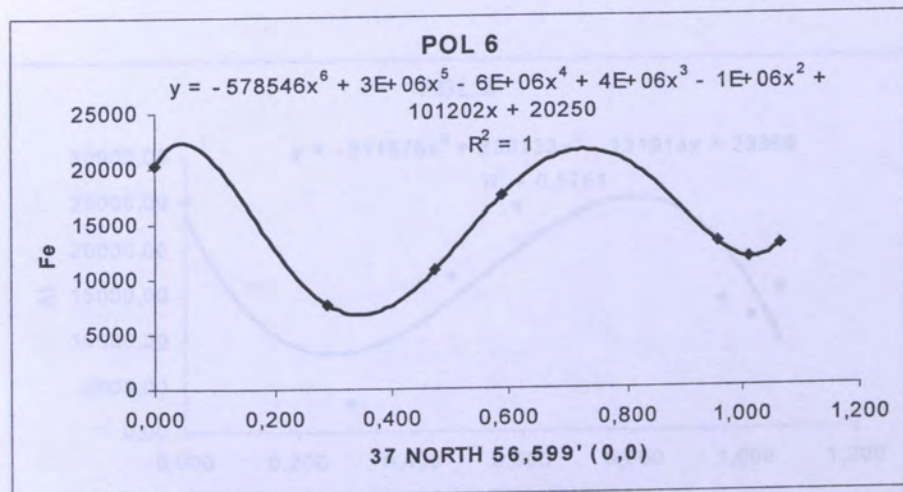
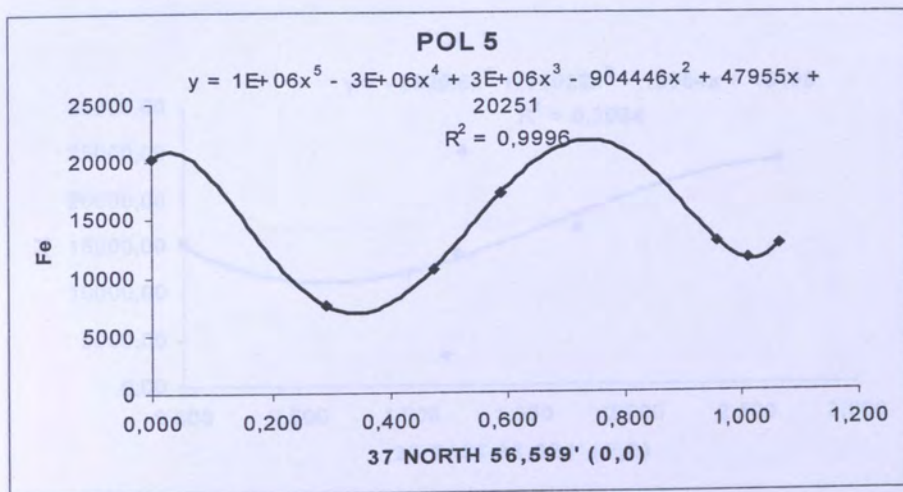
Σχήμα 12.74. Εκθετικά μοντέλα για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση – Ανατολή και Νότος – Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



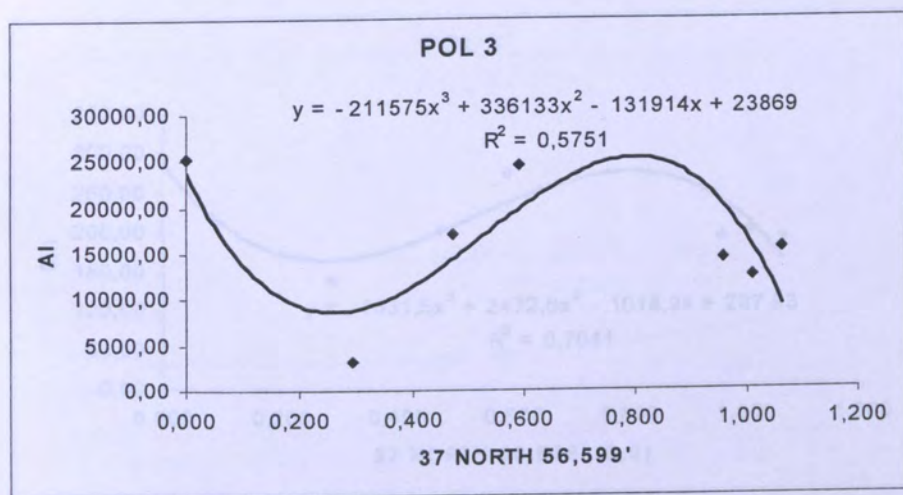
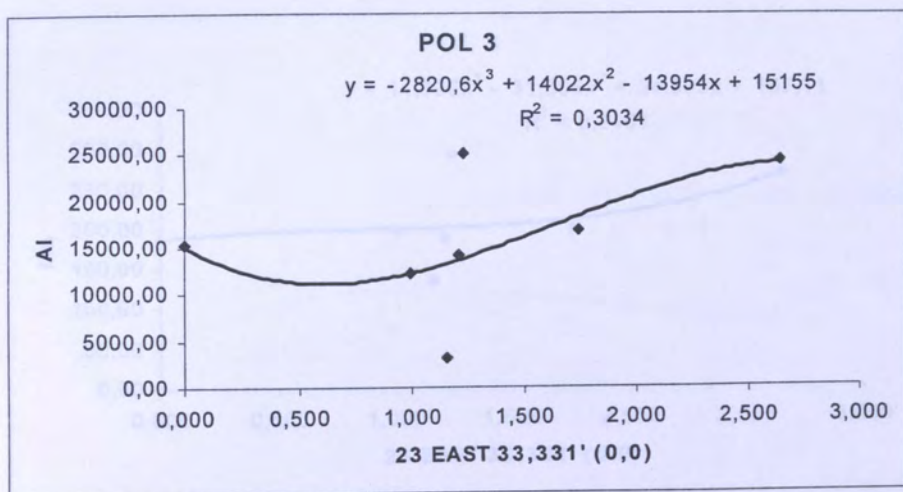
Σχήμα 12.75. Μοντέλα για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τον άξονα Νότος – Βορράς. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιου πολυωνύμου (τριωνύμου) (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



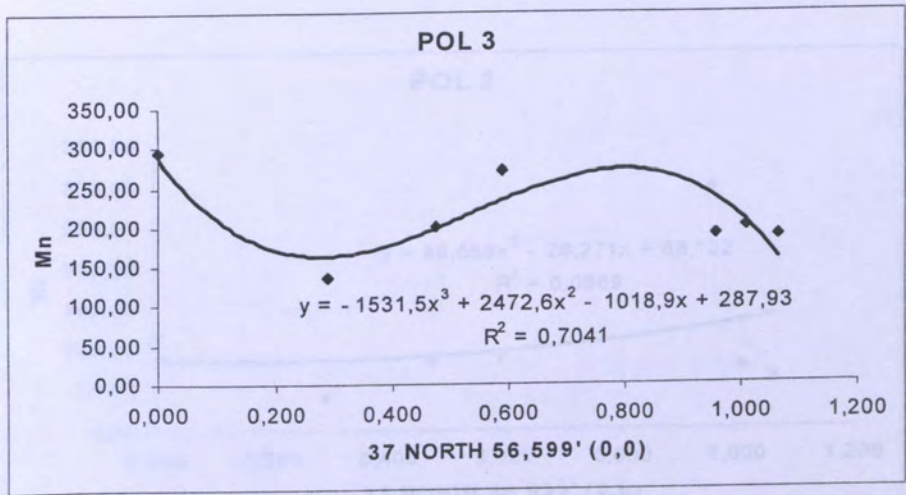
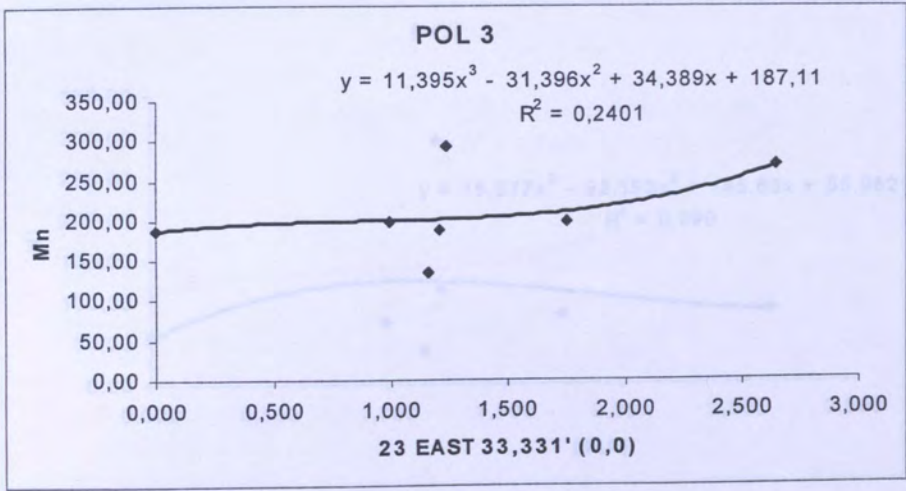
Σχήμα 12.76. Μοντέλα για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τον άξονα Νότος – Βορράς. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου και τετάρτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



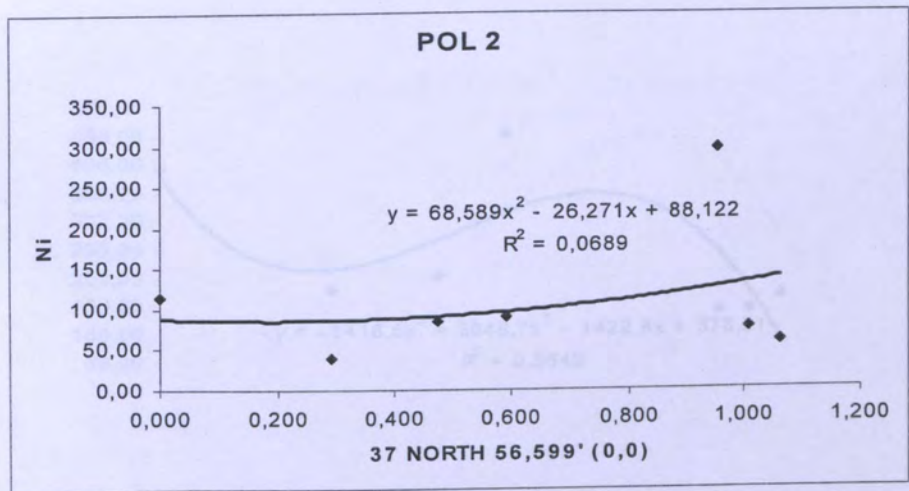
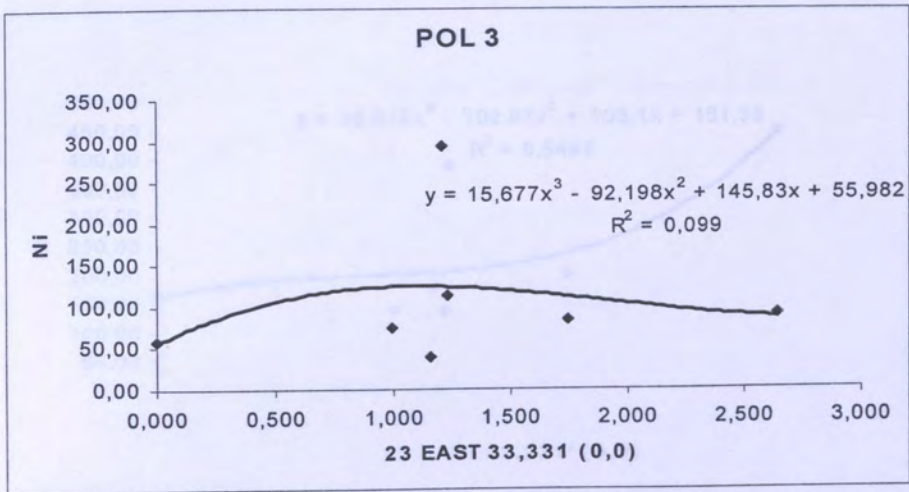
Σχήμα 12.77. Μοντέλα για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τον άξονα Νότος – Βορράς. Μοντέλα πολυωνόμου πέμπτου και έκτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



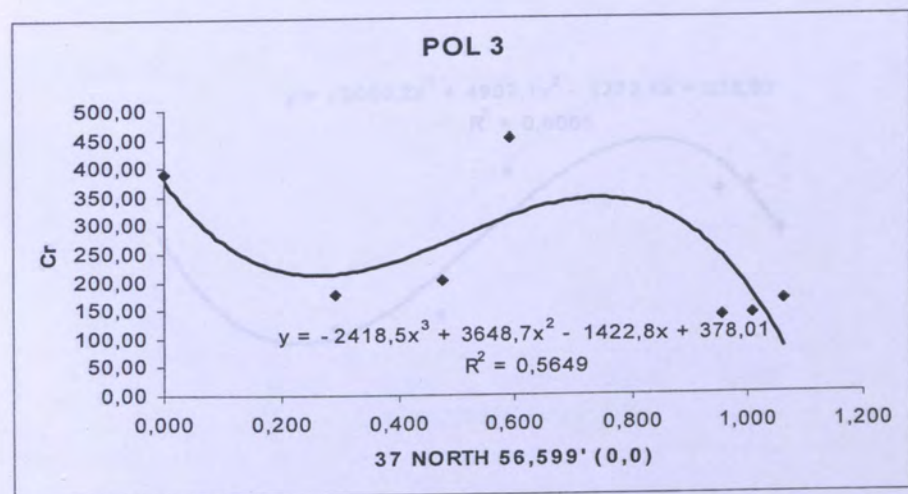
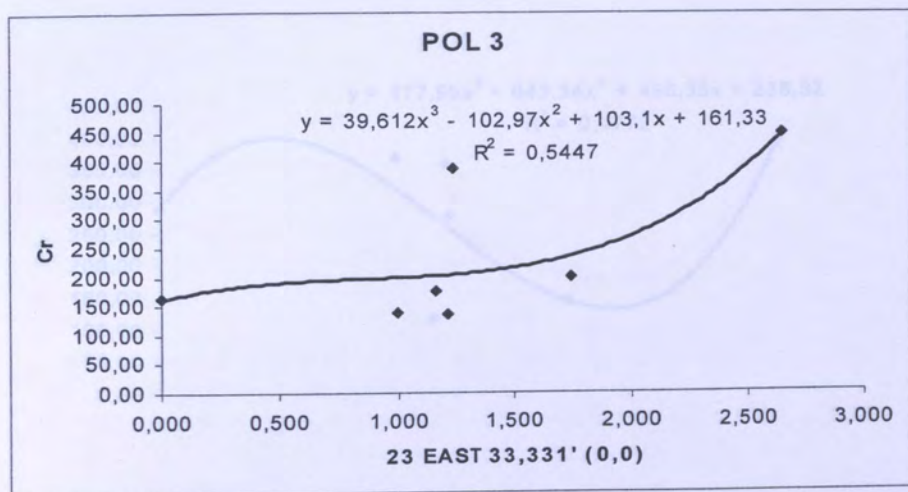
Σχήμα 12.78. Μοντέλα πολωνόμου τρίτου βαθμού για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε AI, ppm).



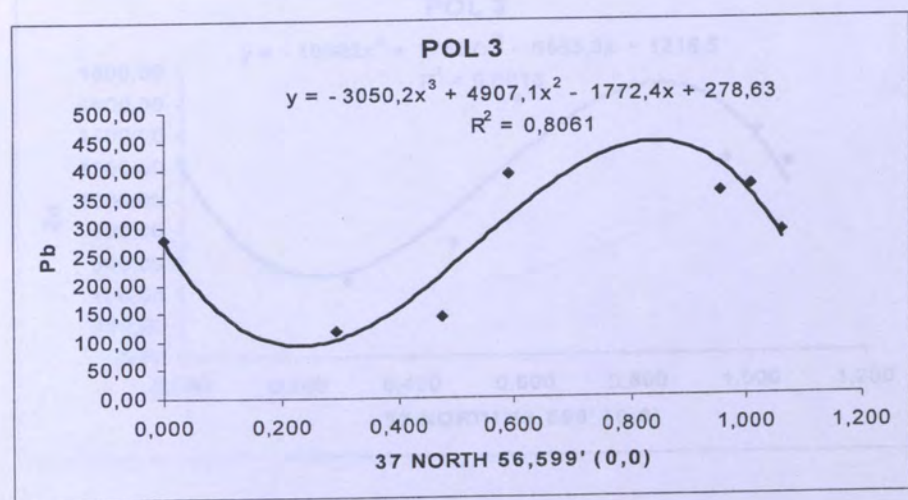
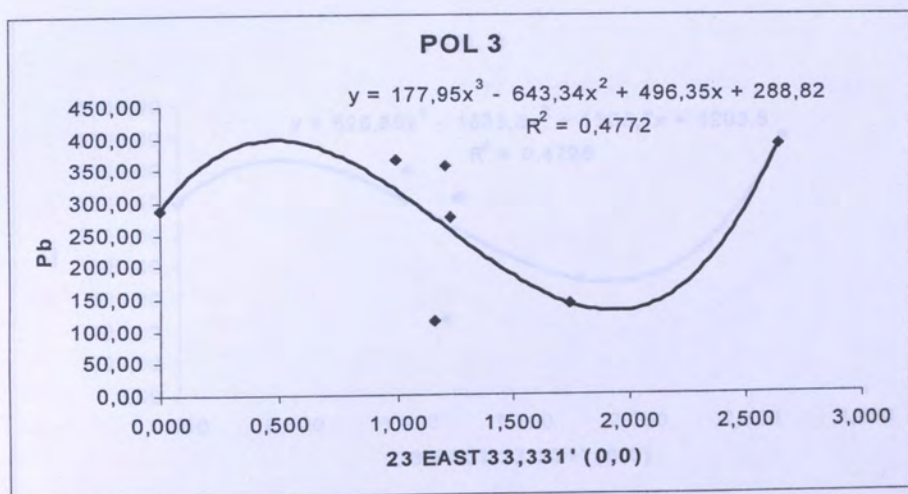
Σχήμα 12.79. Μοντέλα πολωνόμου τρίτου βαθμού για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περικεκτικότητα ιζήματος σε Mn, ppm).



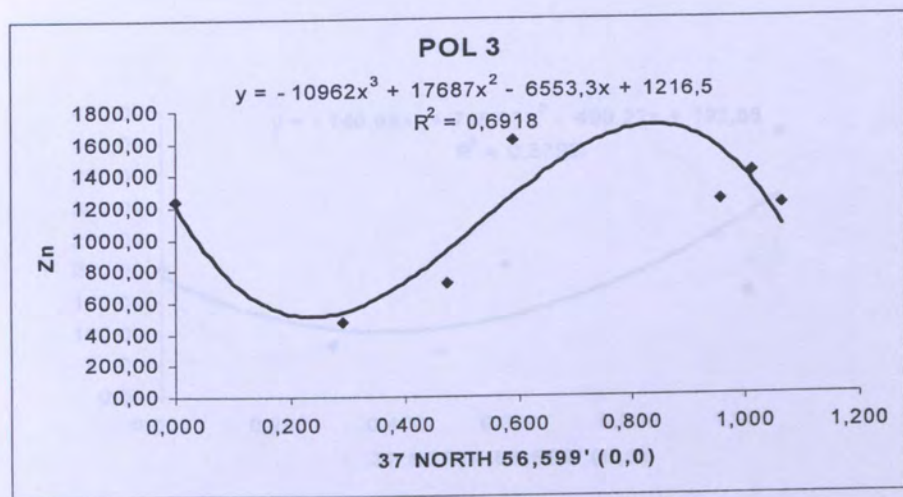
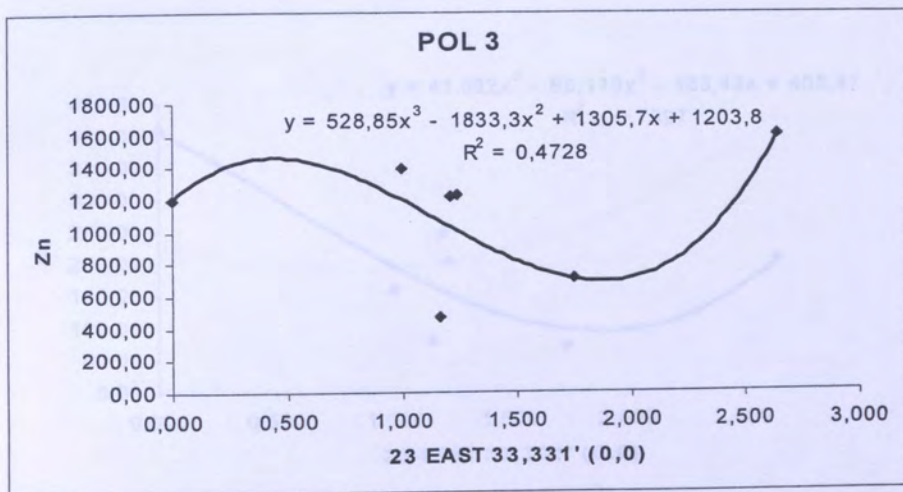
Σχήμα 12.80. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Ni, ppm).



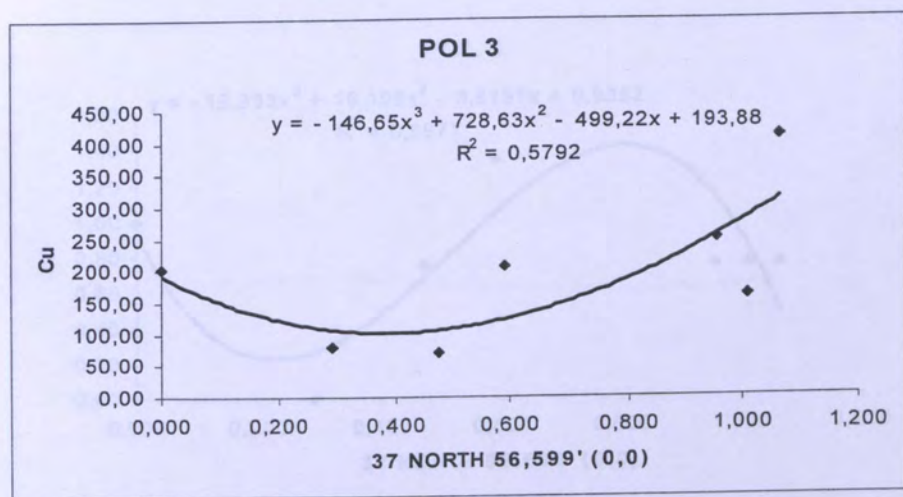
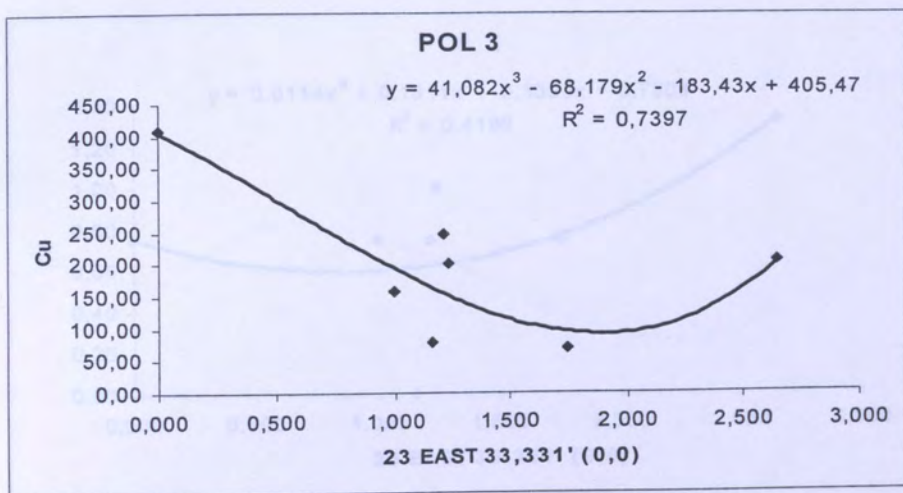
Σχήμα 12.81. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cr, ppm).



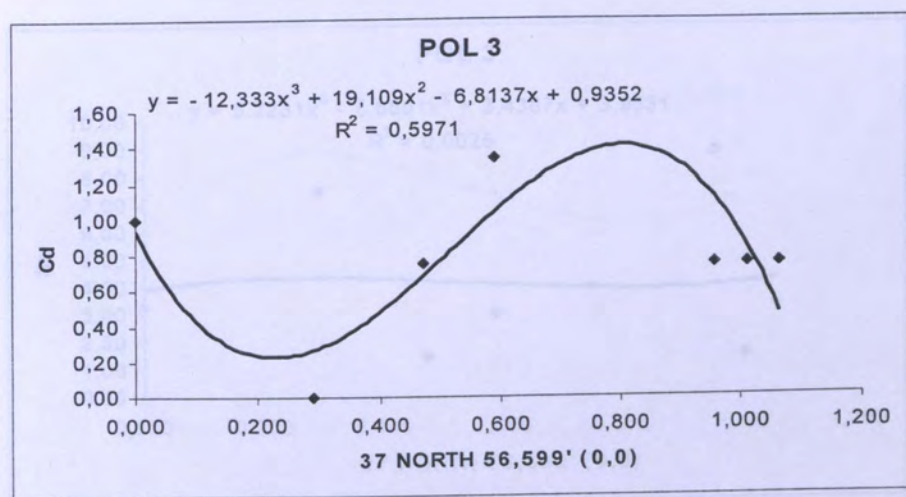
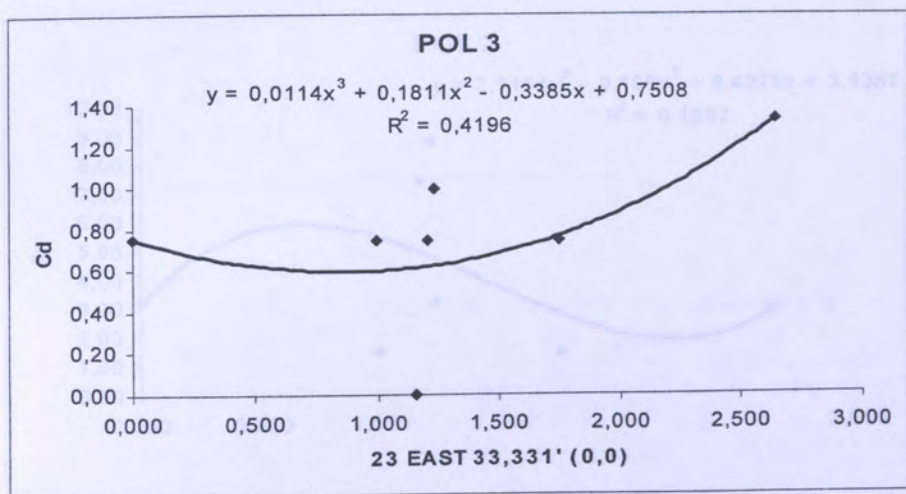
Σχήμα 12.82. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Pb, ppm).



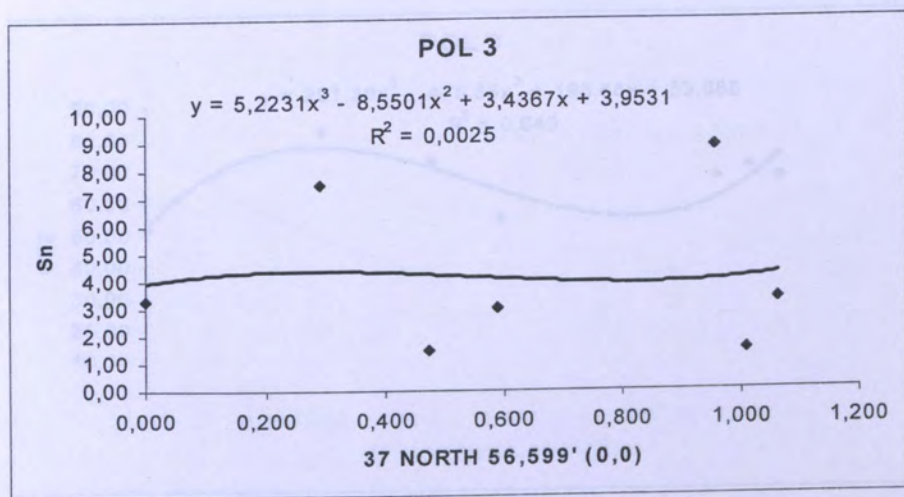
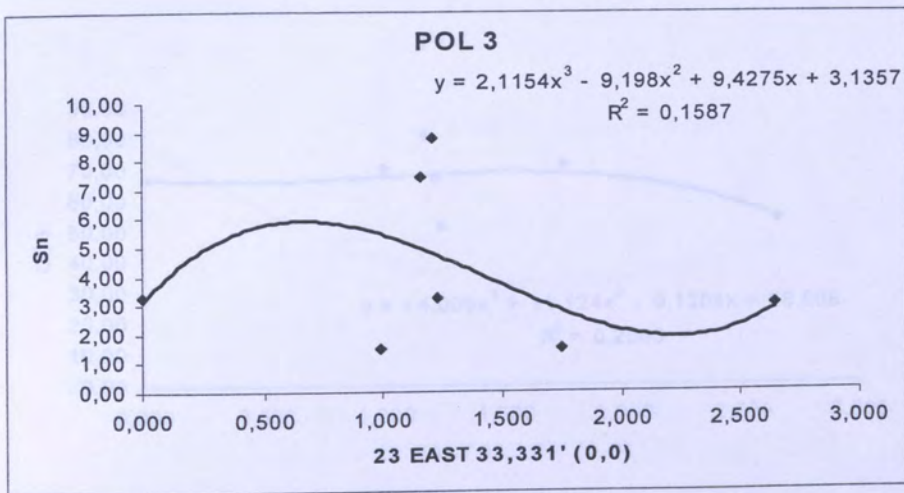
Σχήμα 12.83. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Zn, ppm).



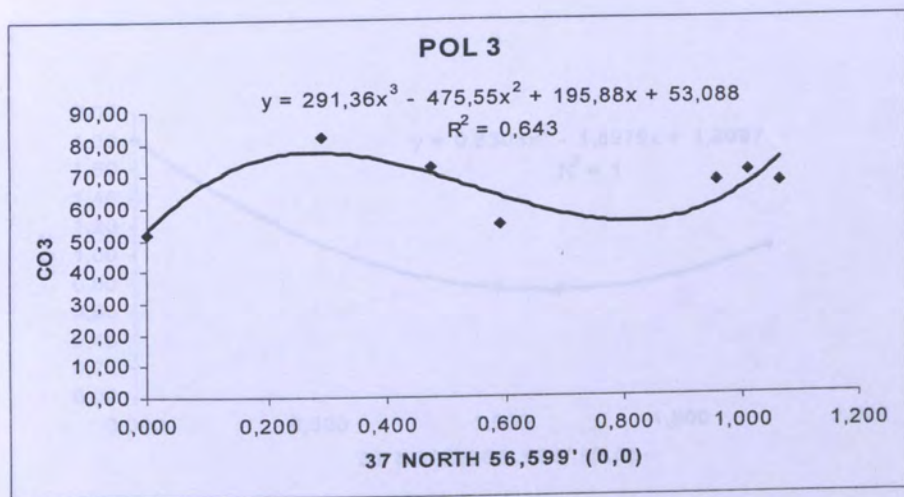
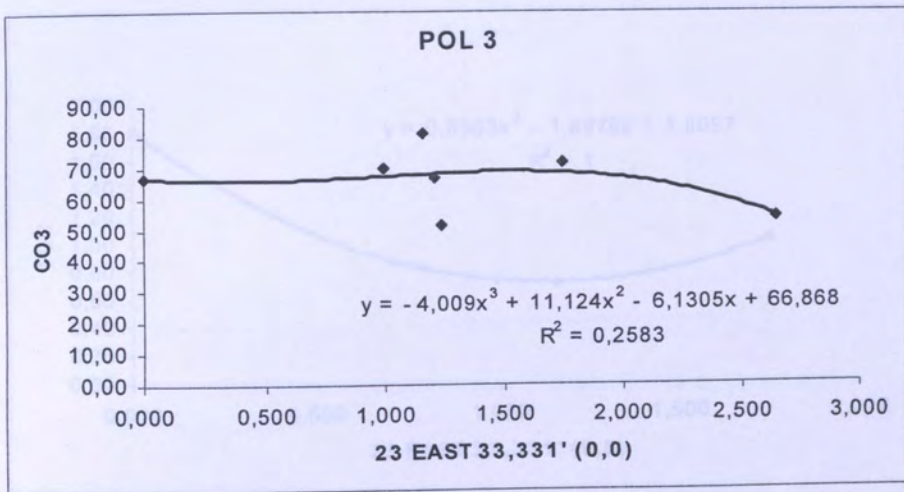
Σχήμα 12.84. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cu, ppm).



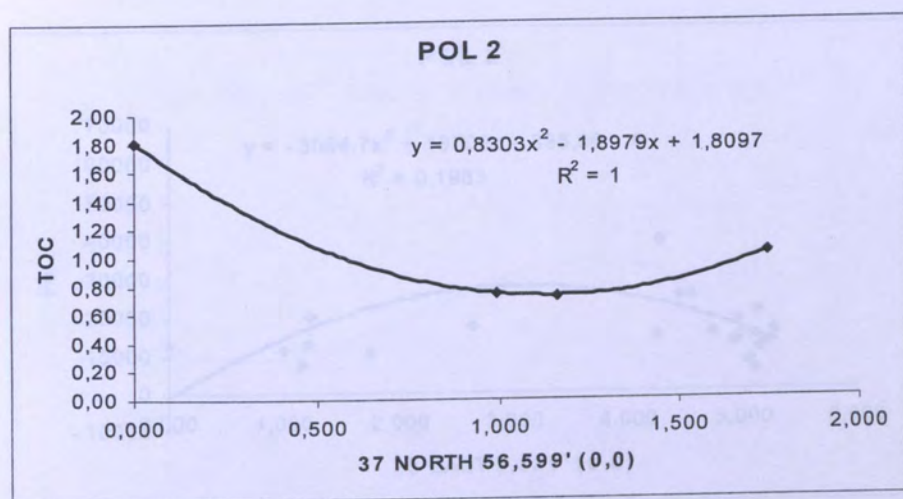
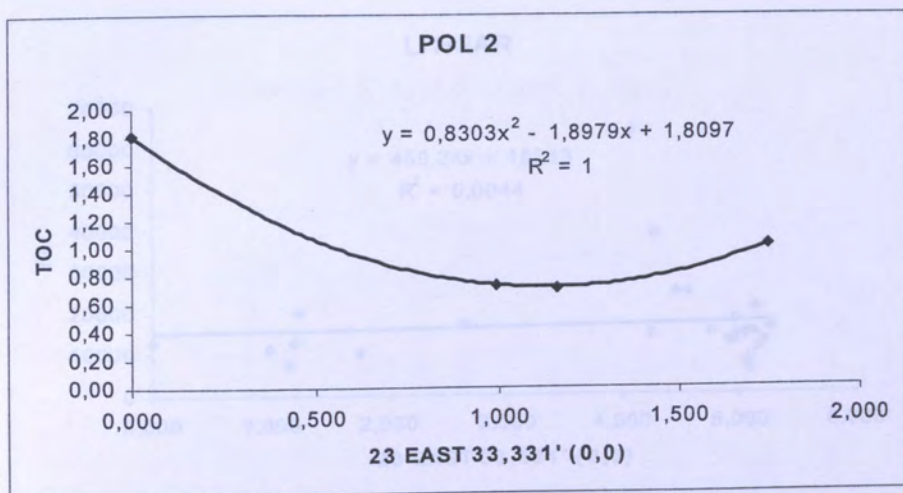
Σχήμα 12.85. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cd, ppm).



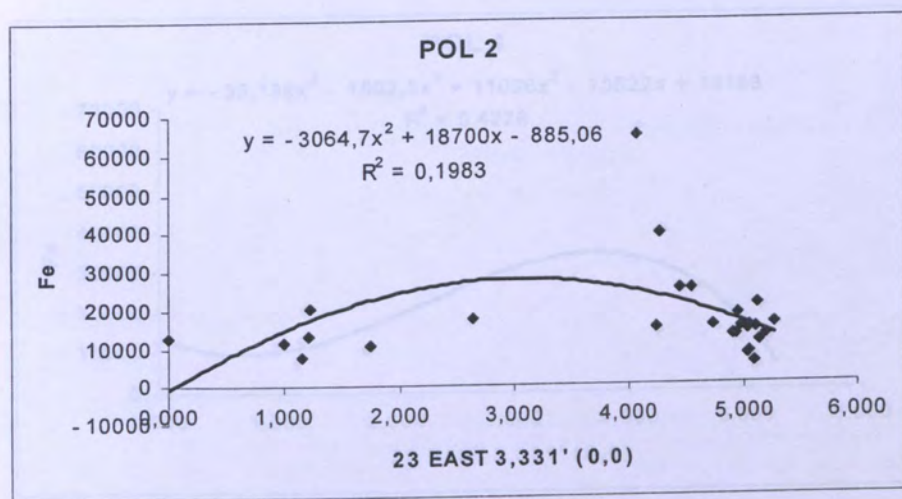
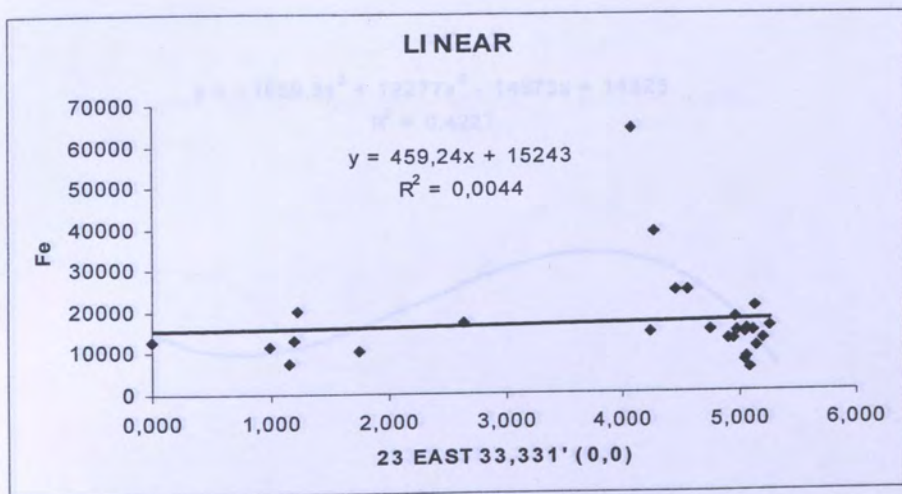
Σχήμα 12.86. Μοντέλα πολωνόμου τρίτου βαθμού για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Sn, ppm).



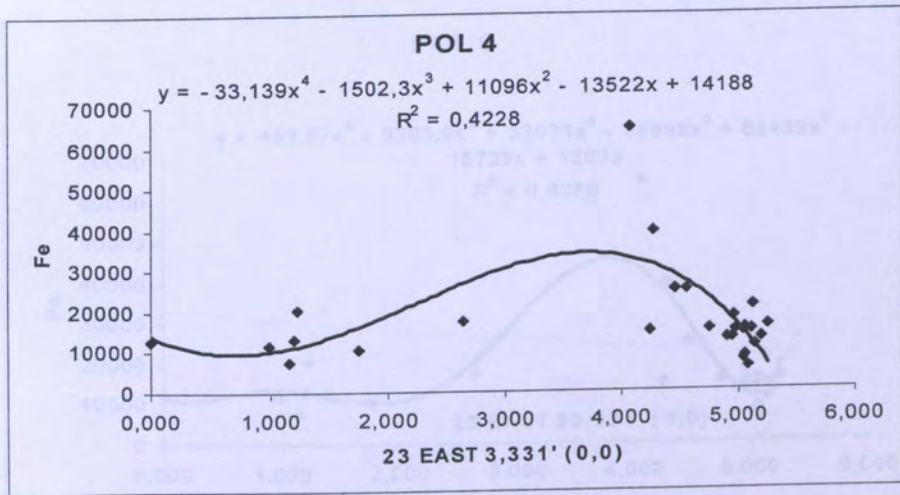
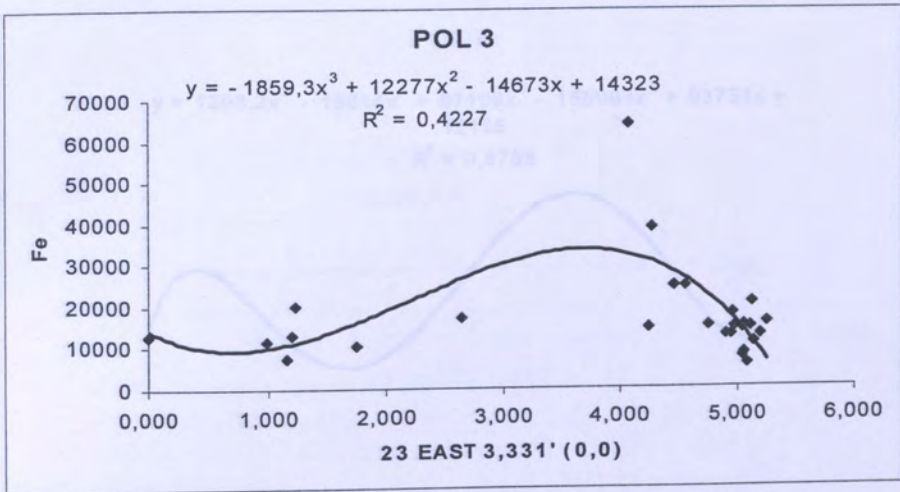
Σχήμα 12.87. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου βαθμού για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα % ιζήματος σε CO₃).



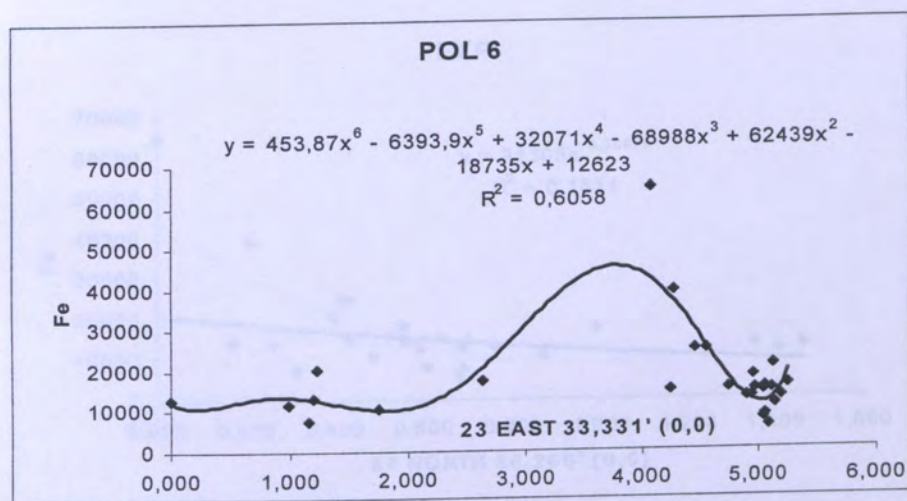
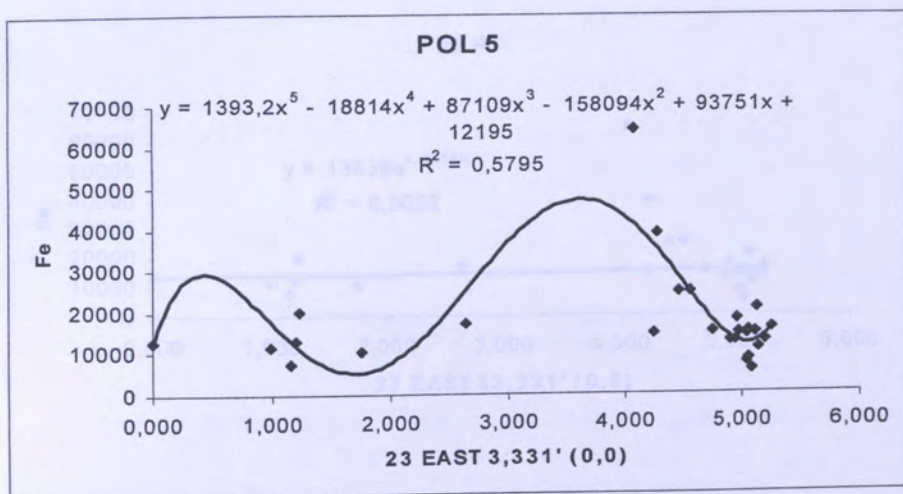
Σχήμα 12.88. Μοντέλα (τριώνυμα) για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα % ιζήματος σε TOC).



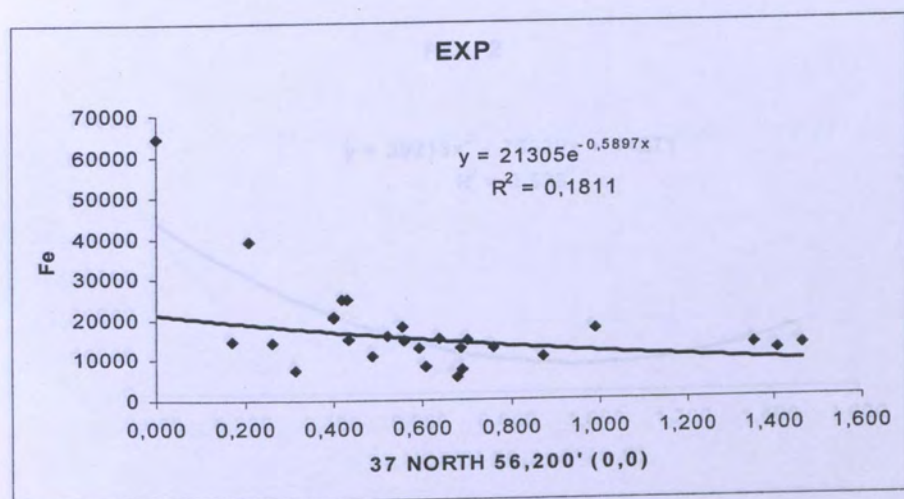
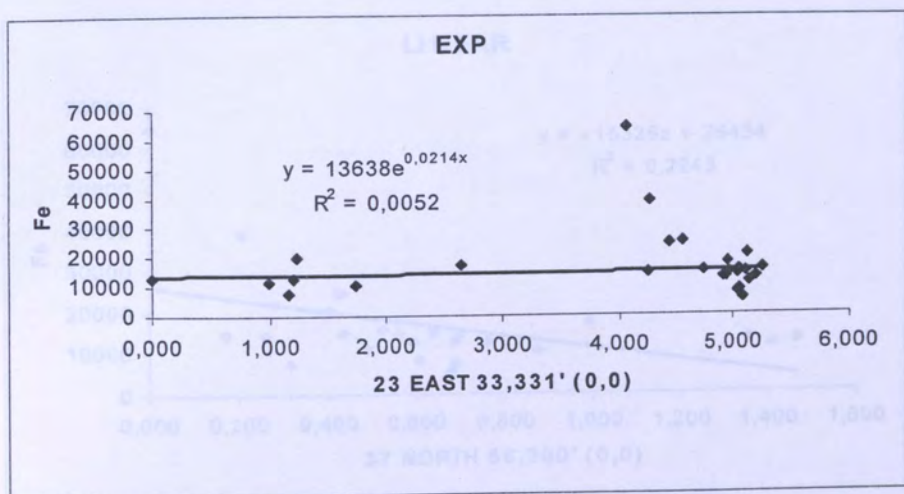
Σχήμα 12.89. Μοντέλα για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιου πολυωνύμου (τριωνύμου) (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



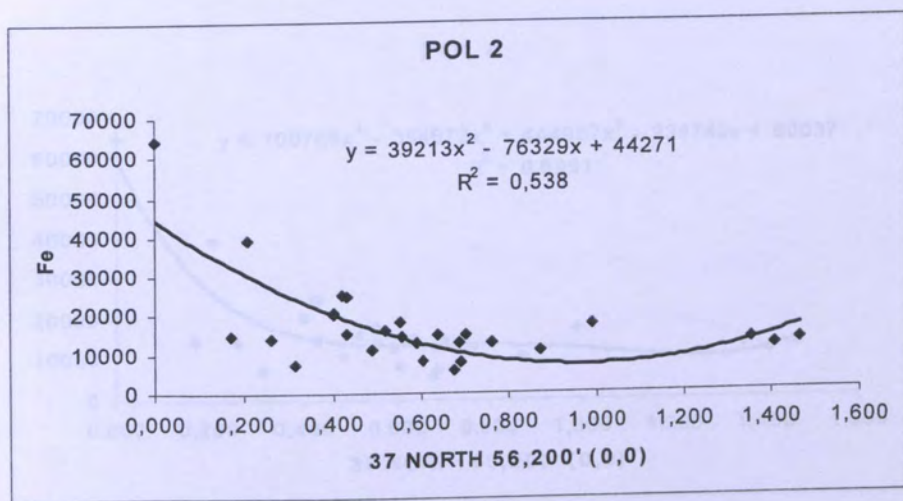
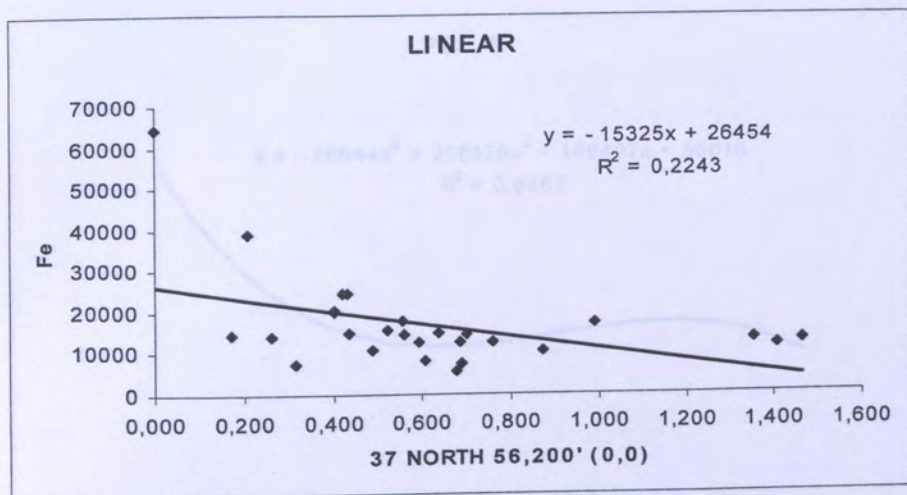
Σχήμα 12.90. Μοντέλα για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Μοντέλα πολωνύμου τρίτου και τετάρτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



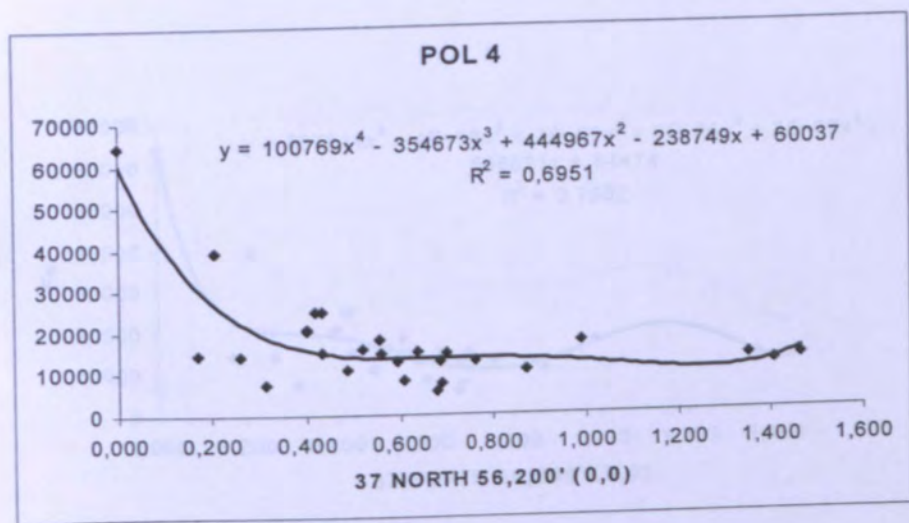
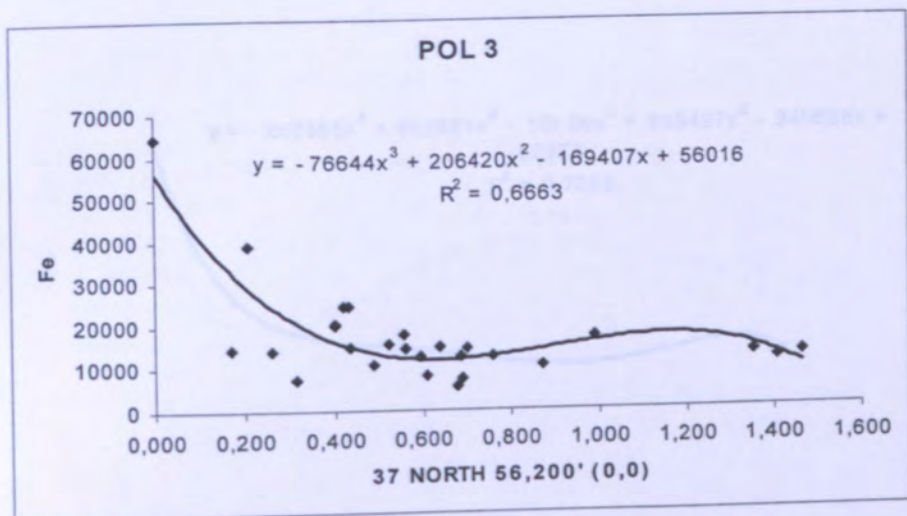
Σχήμα 12.91. Μοντέλα για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τον άξονα Δύση – Ανατολή. Μοντέλα πολυωνύμου πέμπτου και έκτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



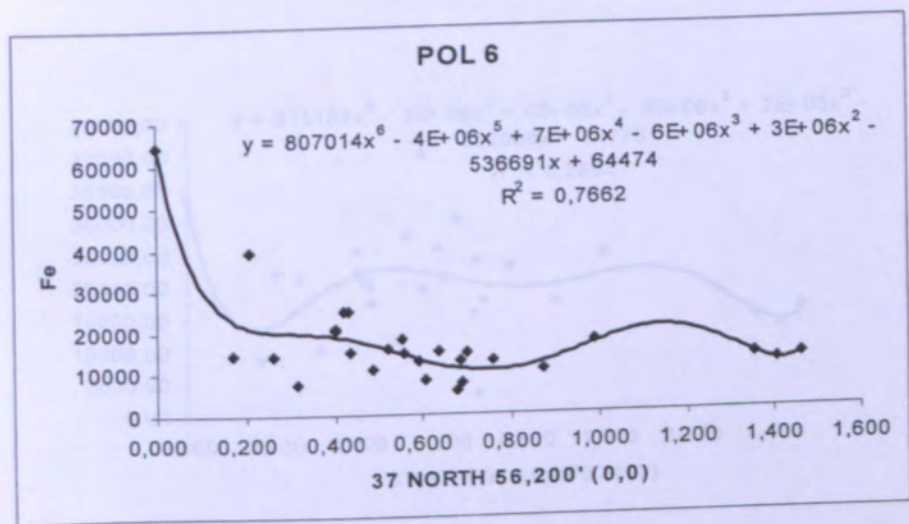
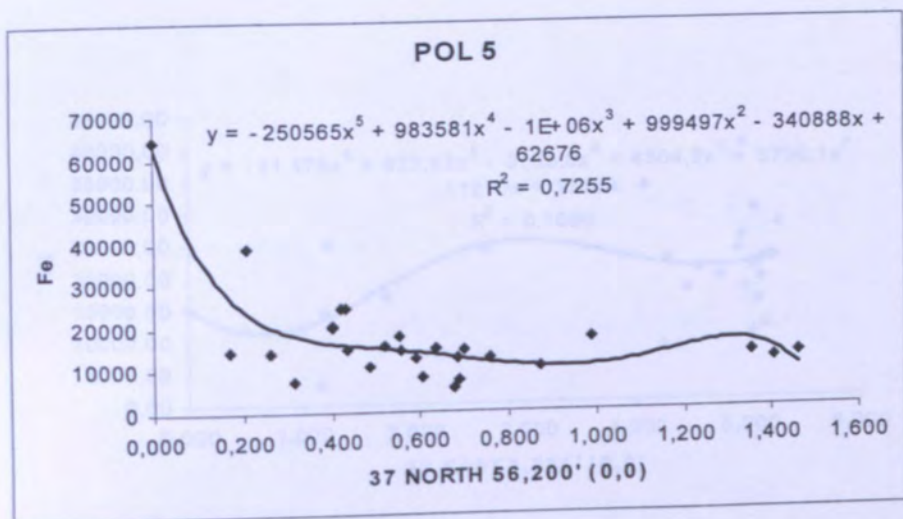
Σχήμα 12.92. Εκθετικά μοντέλα για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση – Ανατολή και Νότος – Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



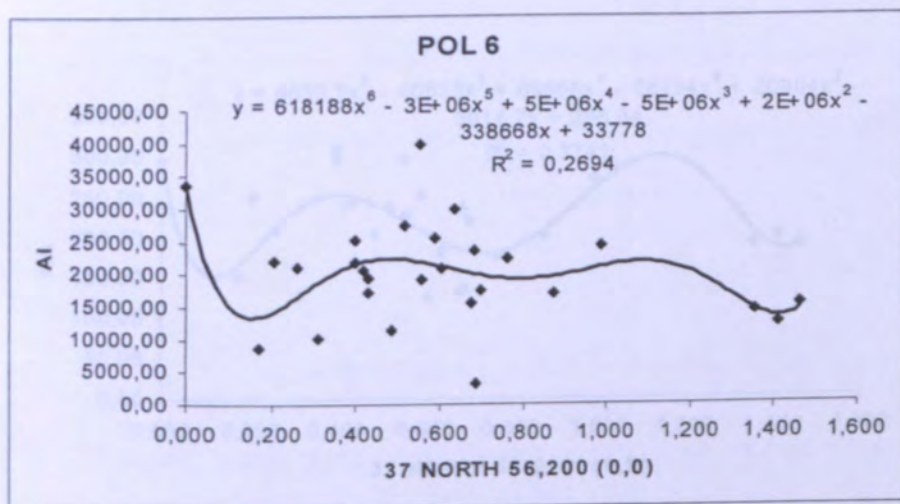
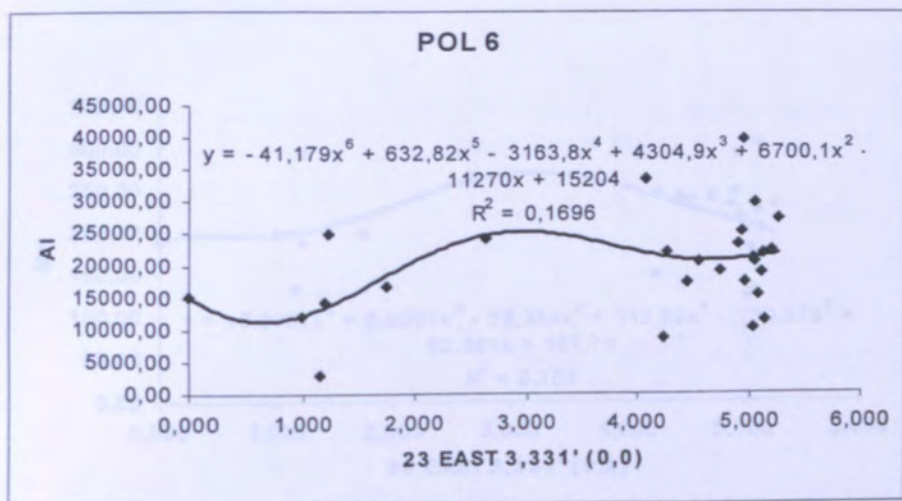
Σχήμα 12.93. Μοντέλα για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τον άξονα Νότος – Βορράς. Γραμμικό μοντέλο και μοντέλο δευτεροβάθμιου πολυωνύμου (τριωνύμου) (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



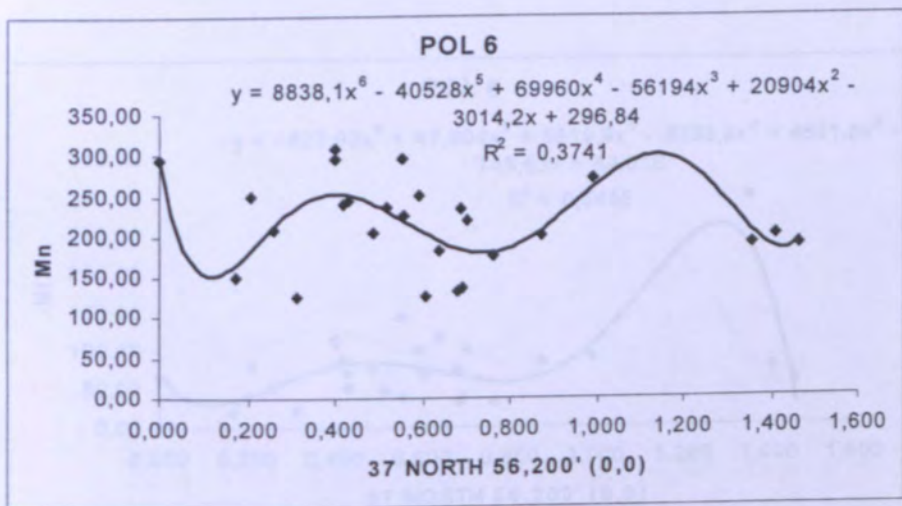
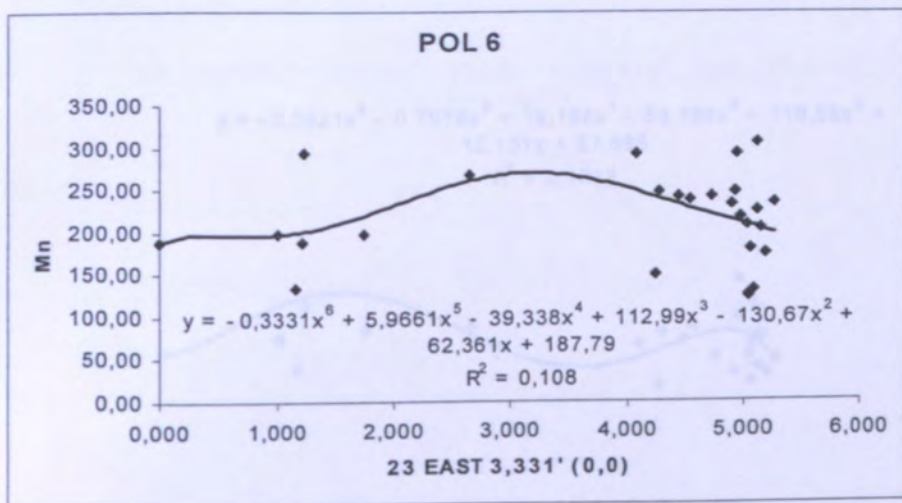
Σχήμα 12.94. Μοντέλα για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τον άξονα Νότος – Βορράς. Μοντέλα πολυωνόμου τρίτου και τετάρτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).



Σχήμα 12.95. Μοντέλα για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τον άξονα Νότος – Βορράς. Μοντέλα πολυωνόμου πέμπτου και έκτου βαθμού (περιεκτικότητα ιζήματος σε Fe, ppm).

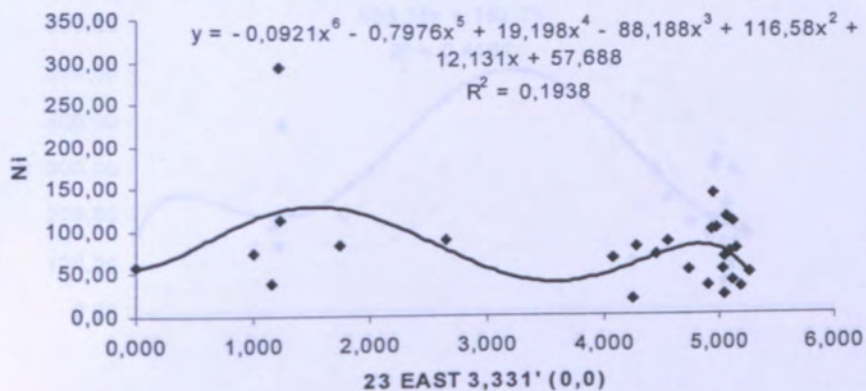


Σχήμα 12.96. Μοντέλα πολυωνόμου έκτου βαθμού για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε AI, ppm).

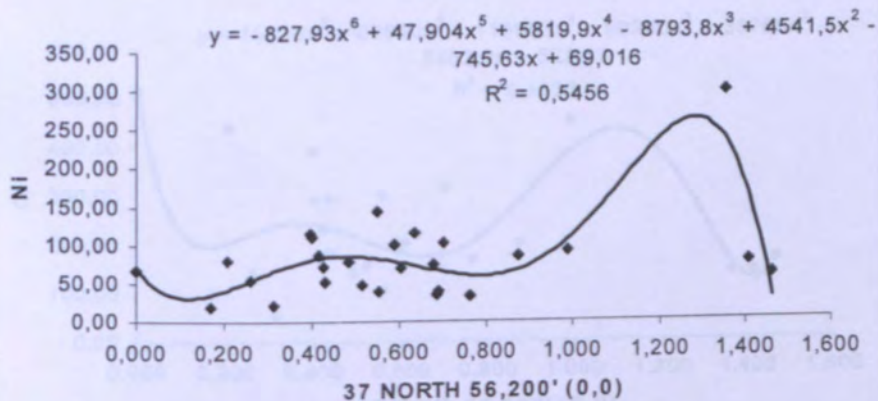


Σχήμα 12.97. Μοντέλα πολωνύμου έκτου βαθμού για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Mn, ppm).

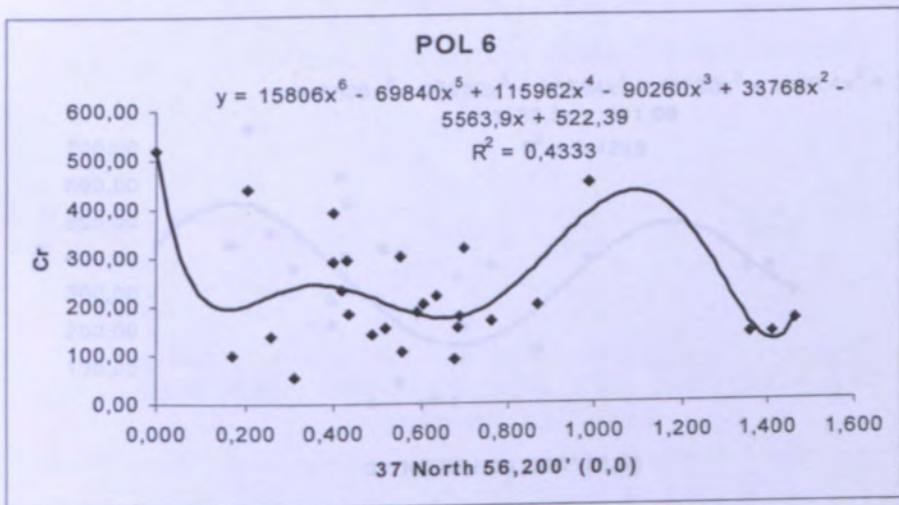
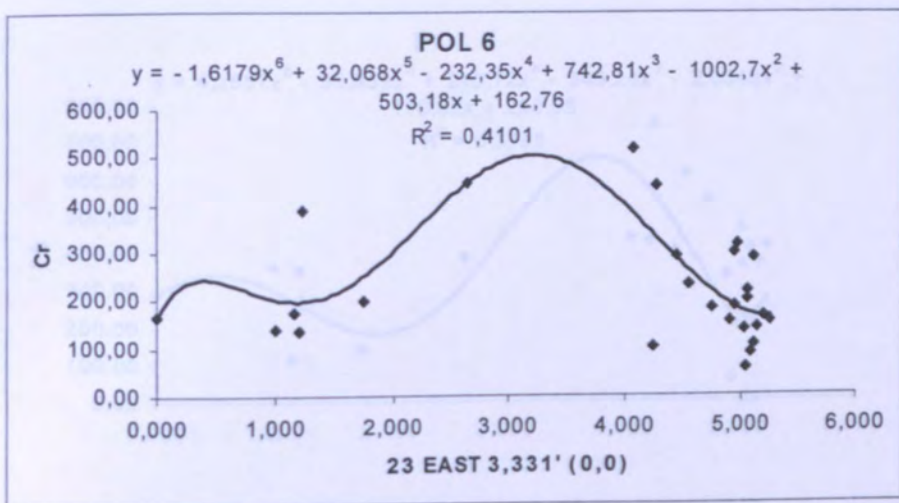
POL 6



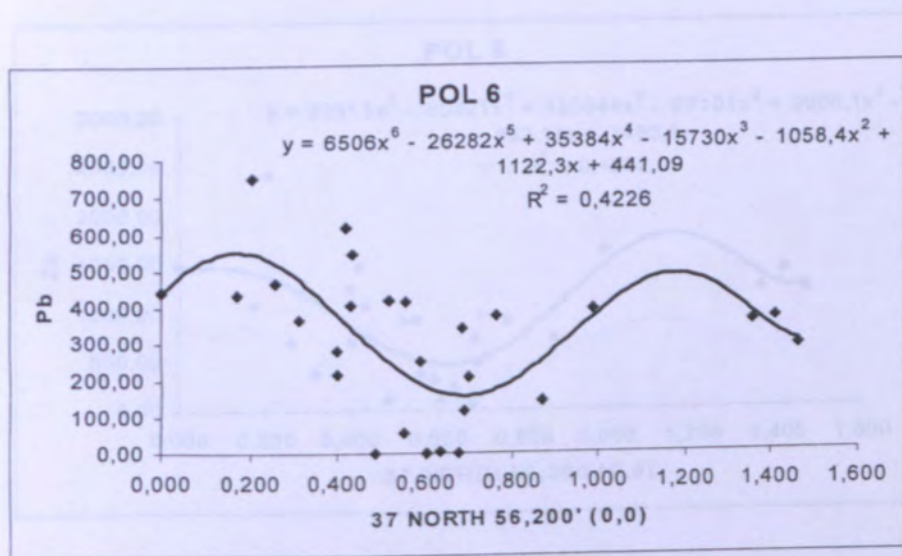
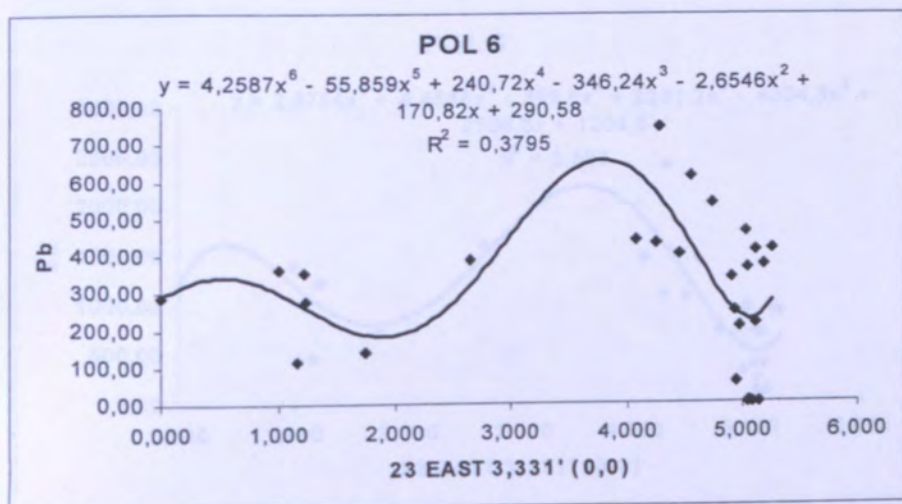
POL 6



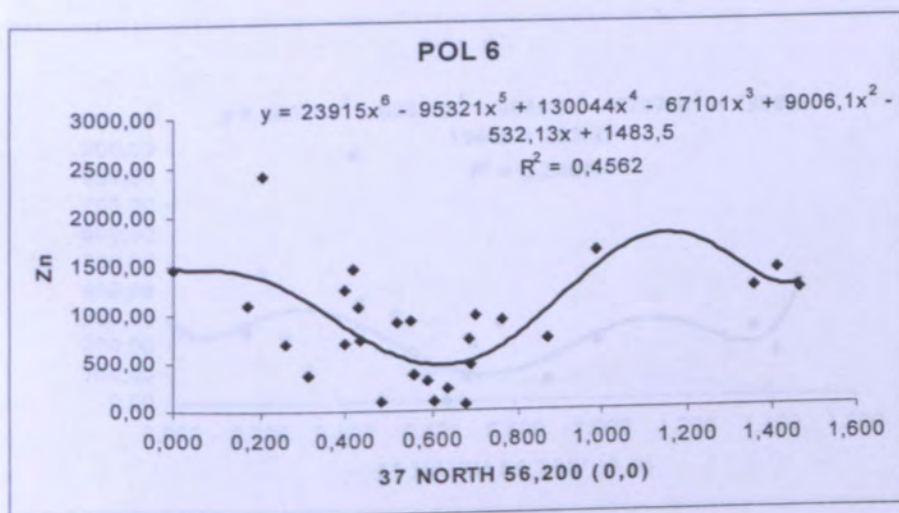
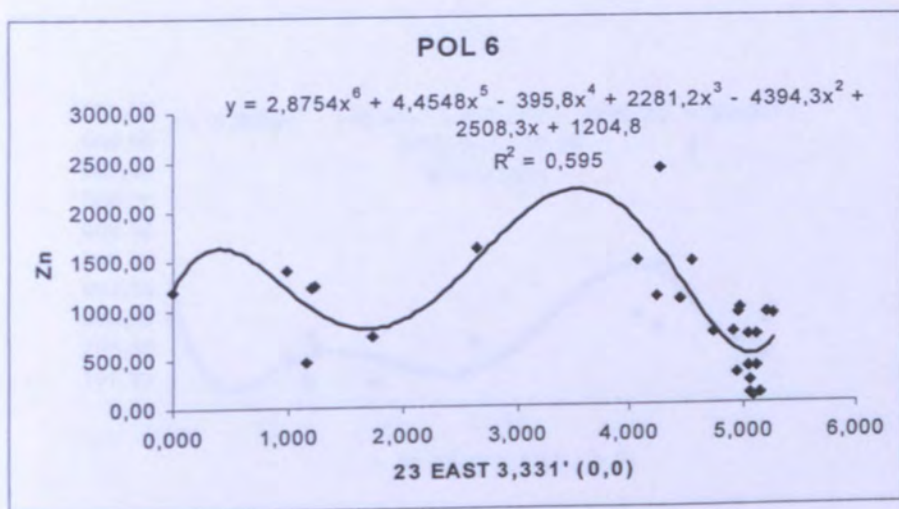
Σχήμα 12.98. Μοντέλα πολυωνύμου έκτου βαθμού για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Ni, ppm).



Σχήμα 12.99. Μοντέλα πολωνύμου έκτου βαθμού για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cr, ppm).

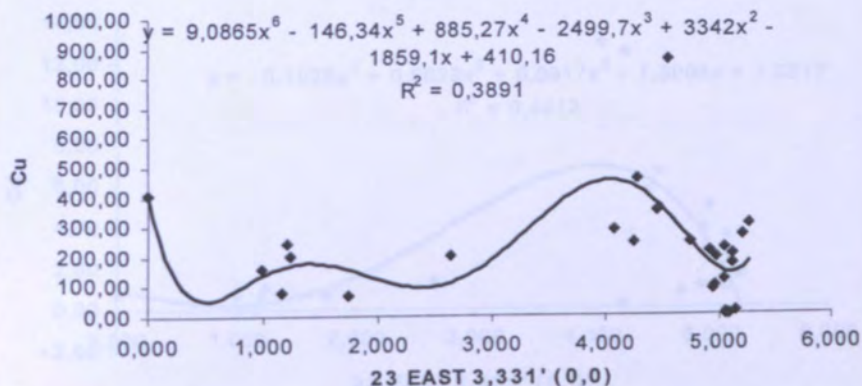


Σχήμα 12.100. Μοντέλα πολυωνόμου έκτου βαθμού για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Pb, ppm).

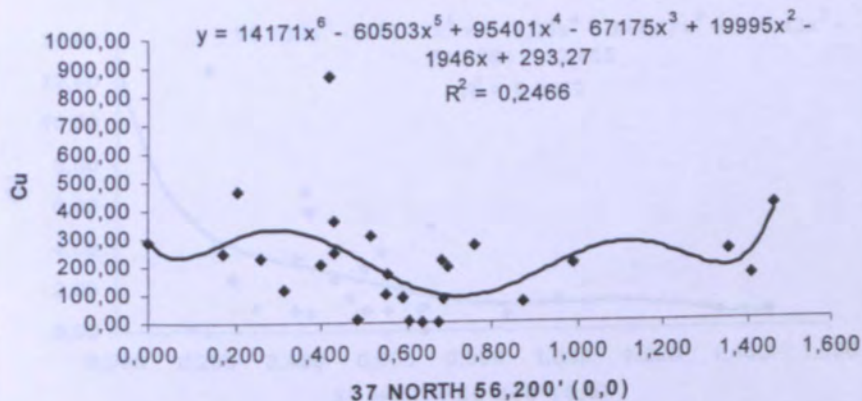


Σχήμα 12.101. Μοντέλα πολυωνύμου έκτου βαθμού για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Zn, ppm).

POL 6

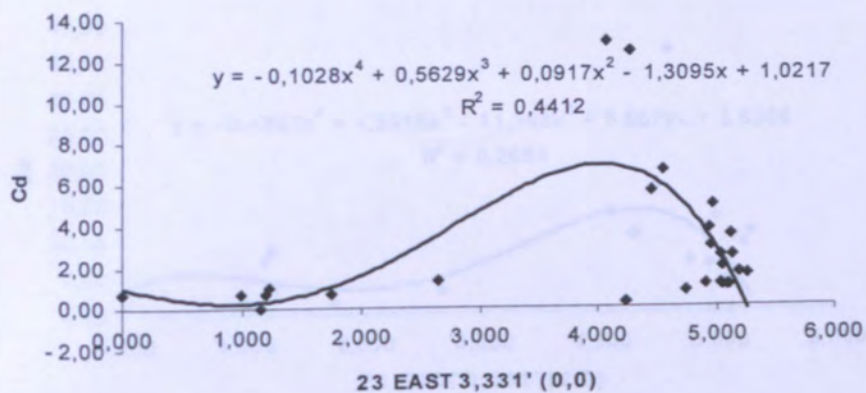


POL 6

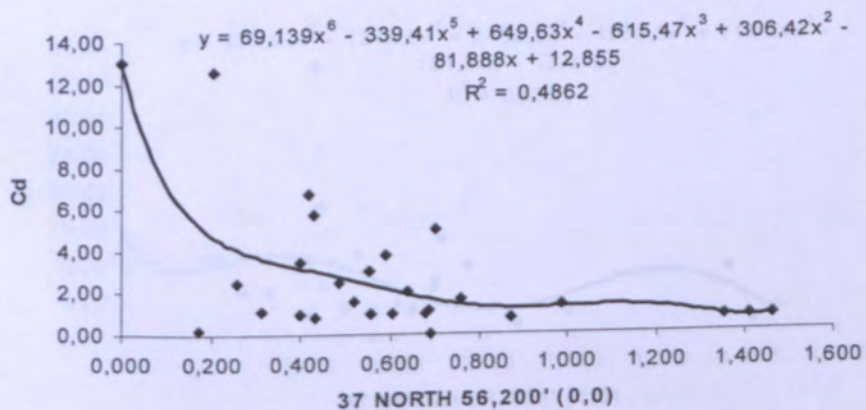


Σχήμα 12.102. Μοντέλα πολωνύμου έκτου βαθμού για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cu, ppm).

POL 4

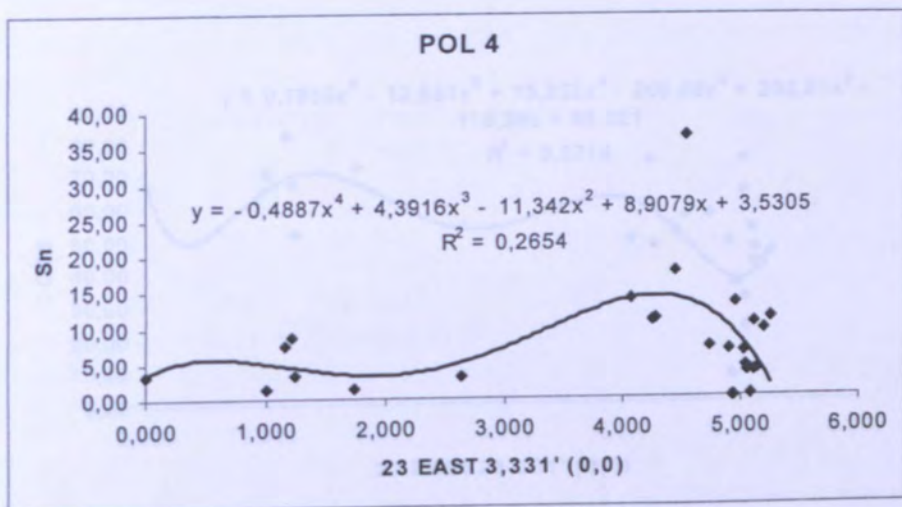


POL 6

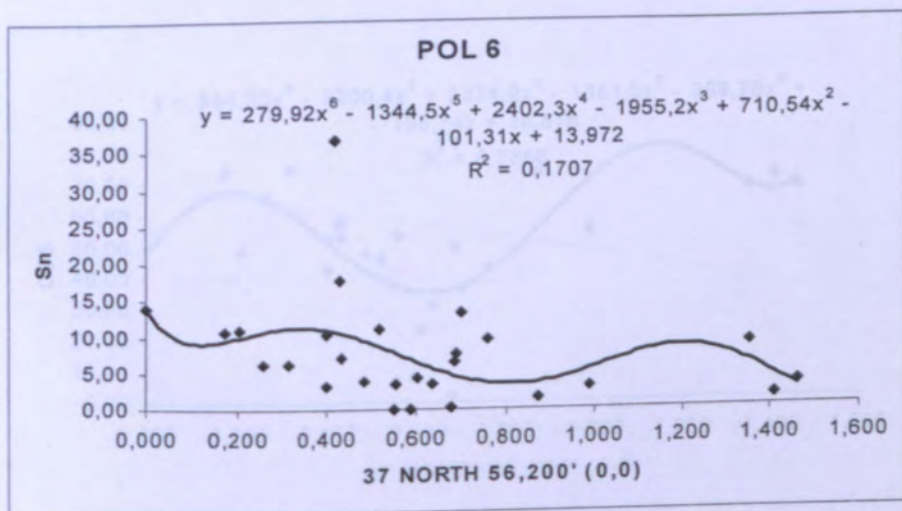


Σχήμα 12.103. Μοντέλα πολυωνόμου τέταρτου και έκτου βαθμού για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς αντίστοιχα (περιεκτικότητα ιζήματος σε Cd, ppm).

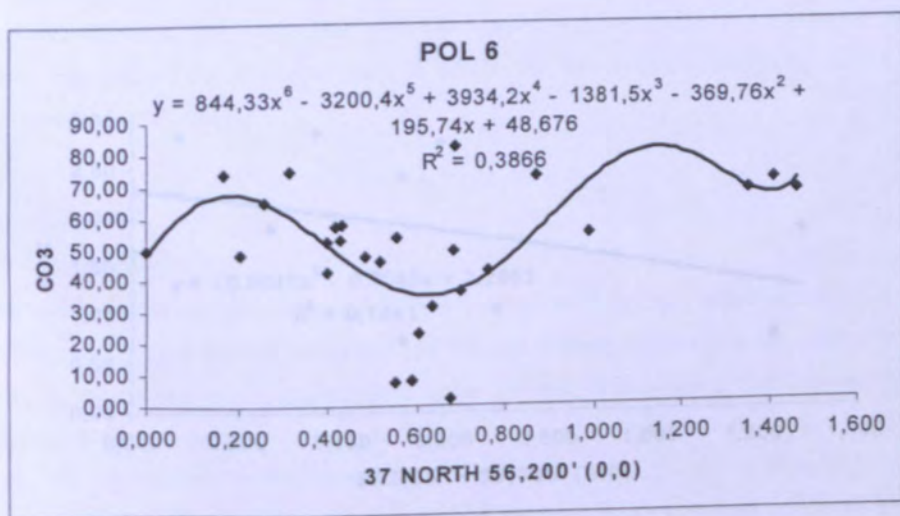
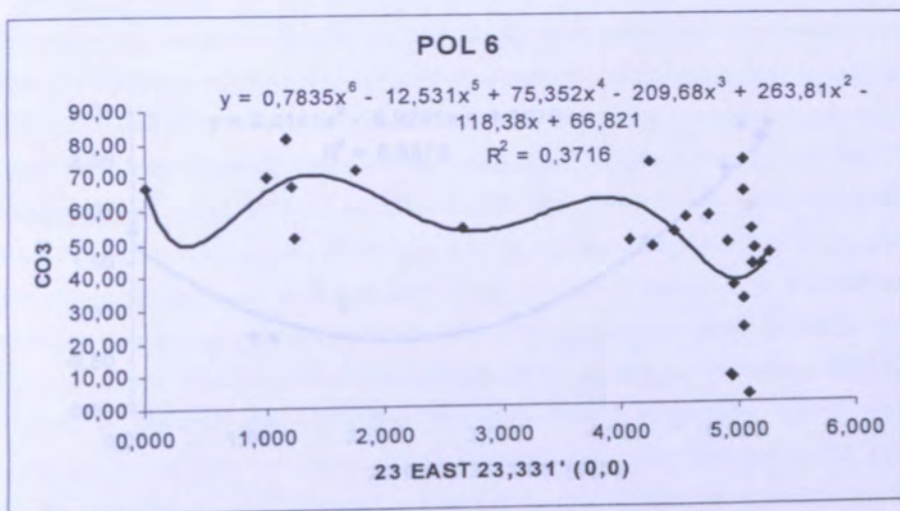
POL 4



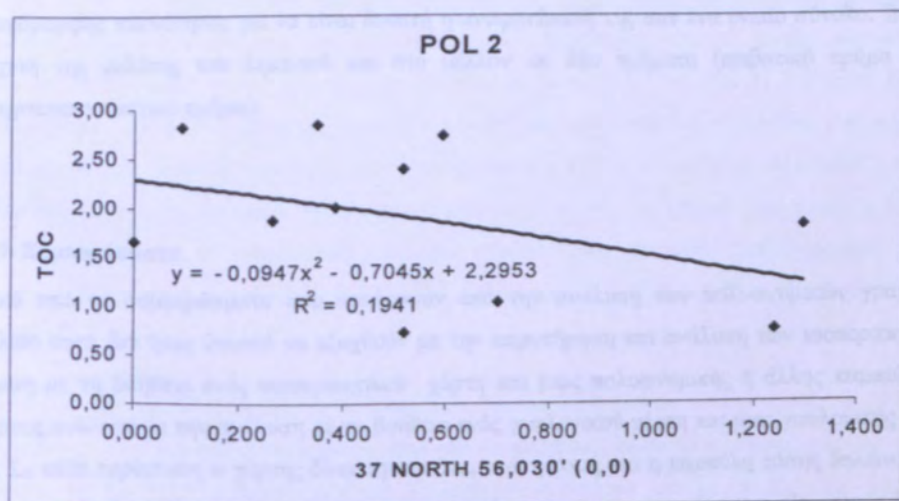
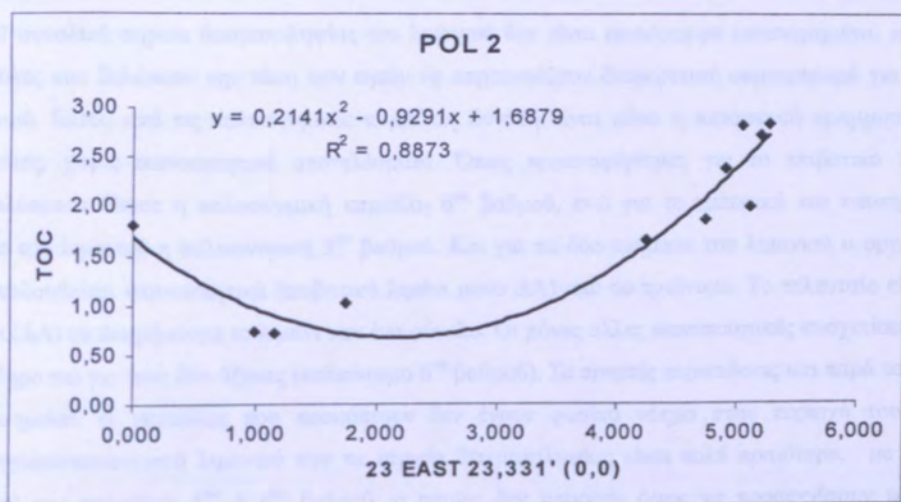
POL 6



Σχήμα 12.104. Μοντέλα πολωνόμου τέταρτου και έκτου βαθμού για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς αντίστοιχα (περιεκτικότητα ιζήματος σε Sn, ppm).



Σχήμα 12.105. Μοντέλα πολωνύμου έκτου βαθμού για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα % ιζήματος σε CO_3).



Σχήμα 12.106. Μοντέλα (τριώνυμα) για το σύνολο του λιμανιού του Πειραιά (εξαιρούνται τα δείγματα 9/13, 9/17 και 9/23) κατά τους άξονες Δύση - Ανατολή και Νότος - Βορράς (περιεκτικότητα % ιζήματος σε TOC).

12.3.6. Το λιμάνι του Πειραιά: Συνολική θεώρηση

Τα 27 συνολικά σημεία δειγματοληψίας του λιμανιού δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα, με αποτέλεσμα οι καμπύλες που δηλώνουν την τάση των τιμών να παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά για κάθε τμήμα του λιμανιού. Εκτός από τις πολυωνυμικές καμπύλες δυνατή είναι μόνο η κατασκευή γραμμικής και εκθετικής καμπύλες, χωρίς ικανοποιητικά αποτελέσματα. Όπως προαναφέρθηκε, για το επιβατικό λιμάνι καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η πολυωνυμική καμπύλη 6^{ου} βαθμού, ενώ για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού η πολυωνυμική 3^{ου} βαθμού. Και για τα δύο τμήματα του λιμανιού ο οργανικός άνθρακας παρακολουθείται ικανοποιητικά (επιβατικό λιμάνι μόνο ΔΑ) από το τριώνυμο. Το τελευταίο είναι το μόνο που ισχύει (ΔΑ) αν θεωρήσουμε το λιμάνι σαν ένα σύνολο. Οι μόνες άλλες ικανοποιητικές συσχετίσεις είναι αυτές για το σίδηρο και για τους δύο άξονες (πολύωνυμο 6^{ου} βαθμού). Σε αρκετές περιπτώσεις και παρά τον μεγάλο αριθμό των σημείων οι καμπύλες που προκύπτουν δεν έχουν φυσικό νόημα στην περιοχή του εμπορικού και ναυπηγοεπισκευαστικού λιμανιού που τα σημεία δειγματοληψίας είναι πολύ αραιότερα, με αποτέλεσμα την επιλογή της καμπύλης 5^{ου} ή 4^{ου} βαθμού, η οποίες δεν μπορούν όμως να προσεγγίσουν ικανοποιητικά τις μετρηθείσες τιμές στο επιβατικό τμήμα του λιμανιού. Η περιοχή είναι πολύ μεγάλη και η δειγματοληψία πολύ ανομοιόμορφης πυκνότητας για να είναι δυνατή η αντιμετώπισή της σαν ένα ενιαίο σύνολο. Έτσι προτείνεται η συνέχιση της μελέτης του λιμανιού και στο μέλλον σε δύο τμήματα (επιβατικό τμήμα και εμπορικό – ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα).

12.3.7. Συμπεράσματα

Μερικά από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των πολυωνυμικών γραμμών τάσης στο κεφάλαιο αυτό δεν ήταν δυνατό να εξαχθούν με την παρατήρηση και ανάλυση των ισοπερικτικών χαρτών. Η ανάλυση με τη βοήθεια ενός ισοπερικτικού χάρτη και μιας πολυωνυμικής ή άλλης καμπύλης τάσης είναι απολύτως ανάλογη με την ανάλυση με τη βοήθεια ενός γεωλογικού χάρτη και μιας γεωλογικής τομής στο χάρτη αυτό. Σε κάθε περίπτωση ο χάρτης δίνει την εικόνα, ενώ η τομή και η καμπύλη τάσης δηλώνουν το τι υπάρχει πίσω από αυτή. Και βέβαια όσα περισσότερα στοιχεία έχουμε για το χάρτη (στην ουσία σημεία δειγματοληψίας ή παρατήρησης), τόσο καλύτερη είναι η τομή και η καμπύλη τάσης.

Στις περιπτώσεις μικρών αποστάσεων μεταξύ των σημείων λήψης των δειγμάτων και μεμονωμένων κύριων πηγών ρύπανσης η εικόνα από τις γραμμές τάσεις είναι καθαρή (Ραφήνα, Λαύριο). Η εικόνα δεν είναι τόσο θολή αν τα δείγματα είναι σχετικά πυκνά, έστω και αν οι πηγές ρύπανσης είναι πολλές, καθότι μπορούν να διακριθούν οι κύριες πηγές ρύπανσης, αφού τείνουν να είναι κοντά στα άνω ακρότατα των καμπυλών (επιβατικό λιμάνι Πειραιά). Αν έστω οι μορφές ρύπανσης είναι παρόμοιες και η περιοχή δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη, κάποια

συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν, έστω και από μη πυκνή δειγματοληψία (εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό λιμάνι του Πειραιά). Αν όμως η περιοχή είναι πολύ μεγάλη, τα συμπεράσματα είναι δύσκολα και το μόνο που μπορεί να γίνει είναι η λήψη απόφασης για νέα δειγματοληψία από επιλεγμένα σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος (κόλπος Ελευσίνιας). Πρόβλημα προκύπτει και αν το αντικείμενο μελέτης είναι εκτεταμένο, με διαφορετικές χρήσεις στα τμήματά του και ανομοιομορφη κατανομή των σημείων δειγματοληψίας (το λιμάνι του Πειραιά σαν σύνολο). Στην τελευταία περίπτωση προτιμότερη είναι η τμηματική μελέτη του συστήματος πριν γίνει πύκνωση του καννάβου δειγματοληψίας.

Σε κάθε περίπτωση μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο τρόπο προσέγγισης στο οποιοδήποτε περιβαλλοντικό θέμα, αυτόνομα ή συμπληρωματικά με άλλες μορφές ανάλυσης των δεδομένων.

12.4. Συνδυασμός εξισώσεων

Μετά την ανάλυση των δεδομένων σε άξονες (π.χ. Νότος – Βορράς και Δύση – Ανατολή), προκύπτει το ερώτημα αν μπορεί να γίνει υπολογισμός ή (καλύτερα) μια πρώτη εκτίμηση της τιμής ενός ή περισσότερων μετάλλων σε ένα σημείο εντός της περιοχής που καλύπτει ένα μοντέλο. Τα εμπορικά προγράμματα με την παραγωγή των ισοπερικτικών χαρτών στην ουσία αυτό κάνουν, αφού αν πυκνωθούν οι γραμμές τα όρια ορισμού της τιμής ενός σημείου δίνονται σαφώς στους χάρτες, για παράδειγμα μεταξύ 11.500 και 11.750 ppm Fe. Ένα εγγενές μειονέκτημα των εμπορικών προγραμμάτων είναι ότι δεν αποκαλύπτουν τον αλγόριθμο που χρησιμοποιούν για τον υπολογισμό των περιεκτικοτήτων σε κάθε σημείο, δίνοντας απλώς τον τύπο του αλγορίθμου, όπως αναλύθηκε στο ίδιο κεφάλαιο. Στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια για τη δημιουργία και πρόταση ενός αλγορίθμου υπολογισμού της τιμής της περιεκτικότητας ενός σημείου μιας περιοχής δειγματοληψίας χωρίς τη λήψη δείγματος. Στόχος είναι ο υπολογισμός να είναι απλός και να λαμβάνει υπ' όψη του όλες τις υπάρχουσες πληροφορίες.

Αν έχουμε δύο άξονες κάθετους μεταξύ τους με όποιο προσανατολισμό και αν έχουν επιλεγεί, είναι προφανές ότι για το κάθε σημείο A του χώρου που καλύπτεται από τις εξισώσεις δίνονται δύο τιμές, μία από την εξίσωση για κάθε άξονα, τις X_A (που προκύπτει από την εξίσωση για τον άξονα των X) και Y_A (που προκύπτει από την εξίσωση για τον άξονα των Y). Οι τιμές αυτές κατά κανόνα δεν είναι ίσες και μένει βέβαια να βρεθεί μια μοναδική τιμή για το σημείο A , συνδυάζοντας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις τιμές που προκύπτουν από την τάση που υπάρχει σε κάθε κατεύθυνση. Το να ληφθεί ο μέσος όρος των δύο τιμών είναι η πιο απλή λύση, όχι όμως απαραίτητα και η καλύτερη, αφού δίνει πάντα την ίδια βαρύτητα στις δύο προβλέψεις. Όπως έχει φανεί καθαρά μέχρι στιγμής, οι προβλέψεις των δύο αξόνων μόνο από σύμπτωση θα έχουν τον ίδιο συντελεστή συσχέτισης, ήτοι θα πλησιάζουν στον ίδιο βαθμό τα δεδομένα (θα είναι το ίδιο αξιόπιστες). Με βάση αυτό το σκεπτικό δεν πρέπει να έχουν οι δύο προβλέψεις την ίδια βαρύτητα στον καθορισμό της μοναδικής τιμής.

Η χρησιμοποίηση σταθμικών συντελεστών (συντελεστών βαρύτητας) στη Μεταλλευτική είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη, όπως έχει γίνει φανερό στο προηγούμενο κεφάλαιο. Συντελεστές βαρύτητας χρησιμοποιούνται τόσο για την αξιολόγηση μιας επένδυσης όσο και για τη λήψη απόφασης για ένα επενδυτικό σχέδιο (Μπούμης 1979, Stottar 1981, Gentry and O'Neil 1984, Vogely et al 1985, Rudge 1998). Θεωρώ ότι η περίπτωση που εξετάζεται εδώ αφορά λήψη απόφασης κάτω από καθεστώς αβεβαιότητας, αφού έχουμε να επιλέξουμε ανάμεσα σε δύο τιμές, που δίνονται από τα δύο μοντέλα κατά τους δύο άξονες, χωρίς να γνωρίζουμε την πιθανότητα που έχει κάθε το μοντέλο να δώσει την καλύτερη εκτίμηση. Πιο αναλυτικά, σε περίπτωση αβεβαιότητας για κάθε εναλλακτική απόφαση γνωρίζουμε μόνο τα πιθανά αποτελέσματα χωρίς να γνωρίζουμε ή να μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα του κάθε αποτελέσματος, ενώ στην περίπτωση κινδύνου γνωρίζουμε τα πιθανά αποτελέσματα και την πιθανότητα εμφάνισης του καθενός και σε περίπτωση βεβαιότητας το αποτέλεσμα είναι προκαθορισμένο (Μπούμης 1979). Αρκετοί ερευνητές δεν κάνουν διαχωρισμό ανάμεσα σε περίπτωση αβεβαιότητας και περίπτωση κινδύνου (Κεβόρκ 1985). Η μέθοδος που επιλέγεται για την επίλυση ενός προβλήματος σε περίπτωση αβεβαιότητας είναι καθαρά υποκειμενική και επιλογή διαφορετικής μεθόδου οδηγεί σε διαφορετικό αποτέλεσμα (Μπούμης 1979).

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου και τη λήψη απόφασης για σε καθεστώς αβεβαιότητας εξαρτώνται εκτός των άλλων από τη φύση του επιχειρηματικού περιβάλλοντος. Το περιβάλλον μπορεί να είναι ανταγωνιστικό ως προς το επιχειρηματικό σχέδιο ή ουδέτερο (Μπούμης 1979). Θεωρώ ότι το ουδέτερο περιβάλλον μπορεί να αποδώσει καλύτερα την κατάσταση για την εξεταζόμενη περίπτωση και έτσι συνεχίζω με τα προτεινόμενα κριτήρια λήψης απόφασης σε περίπτωση βεβαιότητας και σε ουδέτερο περιβάλλον. Ο Μπούμης (1979) προτείνει τρία κριτήρια, για τα οποία πολύ περιληπτικά ισχύουν:

1. Κριτήριο του Savage: σαν κριτήριο χρησιμοποιείται η χαμένη ευκαιρία από λάθος απόφαση. Ο κανόνας για τη λήψη της απόφασης, είναι η εκλογή της αποφάσεως που ελαχιστοποιεί το μέγιστο κόστος σφάλματος. Σε κάθε κατάσταση λαμβάνεται το μέγιστο κέρδος και από αυτό αφαιρούνται τα κέρδη που αντιστοιχούν στις άλλες αποφάσεις, χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψη η πιθανότητα εμφάνισης της κάθε περίπτωσης.
2. Κριτήριο του Laplace: σε όλες τις καταστάσεις δίνεται η ίδια δυνατότητα να συμβούν και εκλέγεται η απόφαση που αντιστοιχεί στο μέγιστο αναμενόμενο κέρδος.
3. Κριτήριο του Hurwicz: θεωρείται ένας δείκτης a ($0 \leq a \leq 1$) «υποκειμενικής διαθέσεως του λαμβάνοντος την απόφαση». Για κάθε απόφαση που πρέπει να ληφθεί D_i θεωρείται η σχέση $F_i = aM_i + (1-a)E_i$, όπου F_i η υπολογιζόμενη κάθε φορά τιμή, M_i το μέγιστο κέρδος και E_i το ελάχιστο κέρδος. Από τα υπολογιζόμενα F_i λαμβάνεται το μέγιστο, το οποίο προσδιορίζει την απόφαση D_i που πρέπει να εκλεγεί. Ο δείκτης είναι υποκειμενικός και ορίζεται από τον λαμβάνοντα την απόφαση με συνεκτίμηση της εμπειρίας και όλων των πληροφοριών που είναι ή κρίνεται ότι είναι δυνατόν και σκόπιμο να καταστούν διαθέσιμες. Εννοείται ότι η υποκειμενικότητα δεν μπορεί να αγνοεί την πραγματικότητα.

Θεωρώ ότι για την περίπτωση της εργασίας αυτής οι δύο πρώτες μέθοδοι παρουσιάζουν μη επιθυμητά χαρακτηριστικά. Σε κάθε περίπτωση έχουμε μόνο μία απόφαση, άρα $i=1$. Η πρώτη μέθοδος οδηγεί στην αποδοχή του μοντέλου που θα δώσει τα μεγαλύτερα «κέρδη» (αν θεωρήσουμε σαν κέρδος τη καλύτερη δυνατή επιλογή ανάμεσα σε δύο τιμές και σαν ζημία τη χειρότερη δυνατή επιλογή), ήτοι αυτού που παρουσιάζει το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης, χωρίς να λαμβάνει υπ' όψη το μοντέλο που προκύπτει από την ανάλυση κατά τον δεύτερο άξονα. Δεν εξετάζει επίσης αν υπάρχει και ποία διαφορά στην πιθανότητα εμφάνισης της κάθε τιμής. Η δεύτερη μέθοδος οδηγεί στο ίδιο αποτέλεσμα με το ίδιο σκεπτικό, θεωρώντας μάλιστα ότι όλα τα γεγονότα έχουν την ίδια πιθανότητα εμφάνισης. Αυτό είναι αντίθετο με την πραγματικότητα και δεν αξιοποιεί όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες. Αντίθετα όμως με το κριτήριο του Hurwicz έχουμε πολύ μεγαλύτερη ευελιξία. Επιλέγοντας το κριτήριο του Hurwicz μπορούμε να λάβουμε υπ' όψη μας τις εκτιμήσεις και από τα δύο μοντέλα, αφού η χρήση του δείκτη a μας δίνει τη δυνατότητα αυτή. Είναι προφανές ότι αν επιθυμούμε εξ αρχής να δώσουμε την ίδια βαρύτητα στα δύο μοντέλα (κατά τους δύο άξονες), τότε το ίδιο αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ο μέσος όρος των τιμών που προκύπτουν από τα δύο μοντέλα. Αυτό γίνεται εμφανές αν θέσουμε $a=0,5$ στο κριτήριο του Hurwicz.

Θέτοντας στη θέση του μέγιστου κέρδους και του ελάχιστου κέρδους τις δύο τιμές που δίνονται από την τιμή των δύο πολυωνυμικών (ή άλλων) εξισώσεων, X_A και Y_A (μέγιστη και ελάχιστη προσέγγιση της πραγματικής τιμής) μένει ο υπολογισμός του δείκτη a . Εννοείται, όπως προαναφέρθηκε ότι η υποκειμενικότητα δεν μπορεί να αγνοεί την πραγματικότητα. Όπως αναλύθηκε στο πέμπτο κεφάλαιο, η καλύτερη συμβατική προσέγγιση στους υπολογισμούς της περιεκτικότητας γίνεται με τη μέθοδο των αντίστροφων αποστάσεων (inverse distance to power), με πιο συνηθισμένο το αντίστροφο τετράγωνο. Ο συντελεστής συσχέτισης είναι μέτρο του πόσο πιστή ή όχι είναι η καμπύλη στις μετρήσεις και μάλιστα με συμπεριφορά αντιστρόφως ανάλογη από την απόσταση (ενώ όσο με την αύξηση της απόστασης μειώνεται η αξιοπιστία του σημείου μέτρησης άρα και του βάρους του στην εκτίμηση της τιμής, όσο με την αύξηση του συντελεστή συσχέτισης αυξάνεται η αξιοπιστία της καμπύλης και επομένως το βάρος που πρέπει να έχει στην εκτίμηση της τιμής). Για το λόγο αυτό, κατ' αναλογία με τη χρήση των αντίστροφων τετραγώνων σαν συντελεστών στάθμισης προτείνω τη χρήση των τετραγώνων των συντελεστών συσχέτισης σαν συντελεστών στάθμισης. Έτσι αν οι συντελεστές συσχέτισης κατά τους δύο άξονες είναι R_x και R_y , ο δείκτης a μετονομαστεί σε a_x και θεθεί $a_y = 1 - a = 1 - a_x$, τότε η εκτίμηση της τιμής F_A στο σημείο A με συνυπολογισμό των τιμών X_A και Y_A που δίνονται από τα δύο μοντέλα προκύπτει ως εξής:

$$a_x = a = R_x^2 / (R_x^2 + R_y^2)$$

$$a_y = 1 - a = R_y^2 / (R_x^2 + R_y^2)$$

και τελικά η τιμή που προκύπτει είναι:

$$F_A = \{ R_x^2 / (R_x^2 + R_y^2) \} X_A + \{ R_y^2 / (R_x^2 + R_y^2) \} Y_A$$

ή πιο απλά :

$$F_A = a_x X_A + a_y Y_A$$

Αυτός είναι ο προτεινόμενος τρόπος υπολογισμού. Προφανώς αν $R_x^2 = R_y^2$, αλλά λαμβάνεται ο μέσος όρος. Έτσι μπορούμε να έχουμε την τιμή σε οποιοδήποτε σημείο. Αυτονόητο είναι ότι η ακρίβεια των υπολογισμών εξαρτάται άμεσα από τις τιμές των συντελεστών R_x και R_y . Είναι στην επιλογή του μελετητή το πώς θα χρησιμοποιήσει τις διαθέσιμες πληροφορίες, είτε ορίζοντας εξ αρχής τον δείκτη a , είτε υπολογίζοντάς τον με τον εδώ προτεινόμενο ή κάποιον άλλο τρόπο. Θεωρώ αυτή την ευελιξία που παρέχει το συγκεκριμένο κριτήριο πολύ σημαντικό πλεονέκτημα.

12.5. Εφαρμογή και έλεγχος

Στη συνέχεια έγινε έλεγχος των δυνατοτήτων του προτεινόμενου μοντέλου για κάθε μία από τις περιοχές μελέτης με τον εξής τρόπο:

1. Αφαίρεση ενός σημείου και επιλογή του πολυωνύμου που περιγράφει καλύτερα την διακύμανση των τιμών χωρίς το σημείο αυτό για κάθε άξονα
2. Υπολογισμός της τιμής που προκύπτει με βάση τον τρόπο αυτό και σύγκρισή της με την τιμή που έχει μετρηθεί. Ο δείκτης a σε όλες τις περιπτώσεις υπολογίστηκε με τον τρόπο που αναλύθηκε ανωτέρω.
3. Επανάληψη της διαδικασίας για άλλα σημεία.

Τα αποτελέσματα από αυτή τη διαδικασία είναι τα εξής:

1. Οι τιμές που υπολογίστηκαν πάντα ακολουθούν την τάση που υπάρχει (αύξηση μείωση και με ρυθμό παρόμοιο με αυτόν που υπάρχει στην περιοχή).
2. Οι περιοχές που περιγράφονται καλύτερα από τα μοντέλα (Λαύριο και Ραφήνα) έδωσαν τις καλύτερες προσεγγίσεις. Και στις δύο περιπτώσεις το τριώνυμο περιγράφει ικανοποιητικά την κατάσταση στην περιοχή.
3. Το επιβατικό λιμάνι του Πειραιά δίνει ικανοποιητικότερες προσεγγίσεις εκεί που η δειγματοληψία είναι πυκνότερη και οι μεταβολές τιμών πιο ομαλές.
4. Το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά δίνει σαφώς την τάση και καλές προσεγγίσεις (το λιμάνι σαν σύνολο δεν εξετάστηκε, αφού είναι πιο ανομοιογενές από κάθε επί μέρους τμήμα του).
5. Ο κόλπος της Ελευσίνας δίνει λιγότερο ακριβή αποτελέσματα.
6. Αν αφαιρεθεί το πρώτο ή τελευταίο σημείο του άξονα, όπως είναι επόμενο δεν μπορούν να γίνουν υπολογισμοί πέρα από το νέο ακραίο σημείο. (Αν αφαιρεθεί το πρώτο σημείο πρέπει να γίνει διόρθωση των τιμών των συντεταγμένων, θέτοντας τη συντεταγμένη του πρώτου σημείου ίση με το μηδέν).

7. Αν αφαιρεθούν περισσότερα του ενός σημεία σε περιοχή πυκνής δειγματοληψίας, το αποτέλεσμα παραμένει το ίδιο.
8. Αν αφαιρεθούν σημεία «καμπής» (ακρότατα ή σημεία καμπυλότητας της καμπύλης) τα αποτελέσματα δεν είναι της ίδια ποιότητας. Η αδυναμία αντιμετώπισης του φαινομένου του κόκκου είναι πιο έντονη όταν η δειγματοληψία γίνεται πιο αραιή.
9. Ο τρόπος υπολογισμού κρίνεται ικανοποιητικός, αφού οι υπολογισθείσες τιμές στην περίπτωση του Λαυρίου και της Ραφήνας δεν απομακρύνθηκαν περισσότερο από 10 % από τις τιμές που μετρήθηκαν, ενώ για το επιβατικό λιμάνι του Πειραιά το εύρος των μετρήσεων σε γειτονικά σημεία δεν εμποδίζει το μοντέλο να δώσει σαφή τάση μείωσης ή αύξησης.

Με βάση τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής μπορούμε να παρατηρήσουμε τα ακόλουθα:

1. Όπως αναλύθηκε προηγουμένως, πυκνώνοντας τη δειγματοληψία επιτυγχάνεται καλύτερο αποτέλεσμα, αλλά αυξάνεται το κόστος και ο απαιτούμενος χρόνος ανάλυσης και επεξεργασίας των αποτελεσμάτων. Σε περιπτώσεις όμως που οι καμπύλες δεν δίνουν ικανοποιητικές συσχετίσεις αυτό κρίνεται απαραίτητο.
2. Όταν η πηγή ρύπανσης είναι μία (Ραφήνα) δίνονται ικανοποιητικά αποτελέσματα από τη χρήση των καμπυλών και περαιτέρω δειγματοληψία για την εξέταση της κατάστασης του λιμανιού δεν κρίνεται απαραίτητη. Με την απομάκρυνση από την πηγή (βάθος λιμανιού) οι τιμές των μετάλλων μειώνονται και τείνουν στις τιμές υποβάθρου (background). Σαν τέτοιες θεωρώ τις τιμές που μετρήθηκαν στα δείγματα που λήφθηκαν έξω από το λιμάνι και μακριά από τις εκβολές του ρέματος και συγκεκριμένα τα P1 και P4.
3. Ανάλογο συμπέρασμα εξάγεται και για την περίπτωση του Λαυρίου, όπου ενώ θεωρητικά αναμενόταν μία πηγή προκύπτουν δύο, με τη δεύτερη στη βάση του νέου λιμενοβραχίονα. Εδώ προκύπτει ανάγκη περαιτέρω έρευνας του υλικού που αποτελεί τη βάση του, έτσι ώστε να ισχυροποιηθεί ή απορριφθεί η υπόθεση ότι το υλικό αυτό προέρχεται από παλαιότερες εκμεταλλεύσεις. Έτσι ενώ παρατηρείται μείωση των τιμών και αυτές τείνουν στις τιμές υποβάθρου όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή (βάθος λιμανιού, προβλήτα μεταλλευμάτων), παρατηρείται απότομη αύξηση στο μεγάλο λιμενοβραχίονα, σαν να υπάρχει εκεί μια δεύτερη πηγή ρύπανσης. Τιμές υποβάθρου θεωρώ τις τιμές που μετρήθηκαν στα δείγματα που λήφθηκαν έξω από το λιμάνι και συγκεκριμένα στα σημεία Λ4, Λ5 για όλα τα μέταλλα και Λ6 για όλα τα μέταλλα πλην του νικελίου λόγω της παρουσίας του εργοστασίου πλαστικών (όπως έχει τονισθεί κατά την εξέταση του λιμανιού του Λαυρίου, το νικέλιο είναι από τους συνηθέστερους καταλύτες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή πολυμερών).
4. Στην περίπτωση του κόλπου της Ελευσίνας οι πηγές ρύπανσης είναι πολλές, όπως έχουν σημειωθεί στο όγδοο κεφάλαιο και ο χώρος που καλύπτουν τα δείγματα είναι μεγάλος. Ο αραιός κάρναβος δεν δίνει τη δυνατότητα λεπτομερούς κάλυψης της κατάστασης, απλά γίνεται ένας πρώτος εντοπισμός των πηγών ρύπανσης. Για καλύτερη ανάλυση απαιτείται πυκνότερη δειγματοληψία στην περιοχή κάθε πηγής ρύπανσης, οπότε η επίδραση των άλλων πηγών καθίσταται ήσσονος σημασίας και το μοντέλο γίνεται πιο

απλό. Σαν τιμές υποβάθρου θεωρώ τις τιμές του κατώτατου σημείου του κάθε πυρήνα.

5. Ανάλογη κατάσταση επικρατεί και στο εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά. Οι δύο μεγαλύτερες πηγές φαίνονται να είναι η εκβολή του κεντρικού αποχετευτικού αγωγού στο Κερατσίνι και το εργοστάσιο λιπασμάτων στη Δραπετσώνα, αλλά λόγω της φύσης των εργασιών που τελούνται μπορεί να βρεθεί πηγή οπουδήποτε εκτελούνται ή έχουν εκτελεστεί εργασίες αμμοβολής ή άλλες ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες. Αυτά τα σημεία (όπως είναι το σημείο του δείγματος 9/23) είναι αδύνατο να προβλεφθούν από οποιοδήποτε μοντέλο και αποτελούν κλασική περίπτωση του φαινομένου κόκκου που αναλύθηκε στο πέμπτο κεφάλαιο. Με τον τρόπο αυτό, νέα δεδομένα από ανάλυση πρόσθετων δειγμάτων είναι δυνατό να απαιτήσουν αναθεώρηση του μοντέλου, ώστε να ληφθούν υπ' όψη και οι νέες τιμές. Μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της περιοχής επίδρασης της κάθε πηγής χωριστά, όπως αναφέρθηκε και για την περίπτωση του κόλπου της Ελευσίνας, και ίσως έχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον η εξέταση της περιοχής επίδρασης των δύο κύριων πηγών που προαναφέρθηκαν, αλλά το ίδιο μπορεί να γίνει και για οποιαδήποτε άλλη πηγή (π.χ. σημείο δείγματος 9/23). Σαν τιμές υποβάθρου θεωρώ τις τιμές του κατώτατου τμήματος του πυρήνα που ελήφθη έξω από τη μαρίνα Ζέας (σημείο 8/4).
6. Ο κίνναβος δειγματοληψίας στο επιβατικό τμήμα του λιμανιού του Πειραιά είναι πυκνότερος από αυτούς στα άλλα λιμάνια, ιδιαίτερα στο βόρειο τμήμα του λιμανιού. Στο τμήμα αυτού του λιμανιού έχουν ήδη εντοπιστεί οι δύο κύριες πηγές ρύπανσης, που είναι τα σημεία εκτέλεσης ναυπηγοεπισκευαστικών εργασιών στις δεξαμενές Βασιλειάδη και στο νότιο λιμενοβραχίονα. Έχει ήδη τονισθεί ότι το κάθε πλοίο αποτελεί πηγή ρύπανσης, αλλά όχι της ίδιας τάξης μεγέθους με τις δύο κύριες πηγές. Με τον τρόπο αυτό δικαιολογείται η μορφή της καμπύλης των μοντέλων, που σημειώνουν ακρότατα (τοπικά μέγιστα) στα σημεία που αντιστοιχούν στις πηγές αυτές. Η δειγματοληψία είναι επαρκής για το σύνολο σχεδόν του λιμανιού. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της περιοχής επίδρασης των δύο κύριων πηγών με την πραγματοποίηση πρόσθετων δειγματοληψιών στην περιοχή τους. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως για το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού, σαν τιμές υποβάθρου θεωρώ τις τιμές του κατώτατου τμήματος του πυρήνα που ελήφθη έξω από τη μαρίνα Ζέας (σημείο 8/4).

13. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής οδήγησε στην εξαγωγή συμπερασμάτων που απαντούν στα αρχικά ερωτήματα που ετέθησαν κατά το σχεδιασμό της. Τα συμπεράσματα αυτά συνοψίζονται στη συνέχεια, ομαδοποιημένα κατάλληλα:

13.1. Λιμάνι του Πειραιά

1. Το λιμάνι του Πειραιά στο σύνολό του αποτελεί χώρο συγκέντρωσης ρύπων και είναι ιδιαίτερα επιβαρημένο σε βαρέα μέταλλα, κυρίως σίδηρο, μόλυβδο, ψευδάργυρο και χαλκό. Οι κύριες πηγές ρύπανσης εν λειτουργία είναι τα πλοία που κυκλοφορούν και αγκυροβολούν στην περιοχή, η λειτουργία του ευρύτερου λιμανιού (επιβατικού και εμπορικού τμήματος), αλλά κατά πρώτο λόγο οι ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες που εκτελούνται στο χώρο του λιμανιού. Κατά το παρελθόν, σημαντικές πηγές ρύπανσης ήταν το εργοστάσιο λιπασμάτων στη Δραπετσώνα και ο ΚΑΑΚ (Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός Κερατσίνιου). Οι δύο αυτές πηγές ρύπανσης δεν λειτουργούν πλέον, αλλά το ρυπαντικό φορτίο που προήλθε από αυτές εξακολουθεί να βαρύνει την περιοχή του λιμανιού, υποβαθμίζοντας το περιβάλλον της περιοχής, αλλά και ολόκληρου του Σαρωνικού και του Λεκανοπεδίου. Το ρυπαντικό φορτίο που είναι συσσωρευμένο και εξακολουθεί να συσσωρεύεται στην περιοχή του λιμανιού, αποτελεί και πιθανό κίνδυνο ρύπανσης του Σαρωνικού κόλπου. Για το λόγο αυτό επιβεβλημένη κρίνεται μια μελέτη ελάττωσης του ρυπαντικού φορτίου της περιοχής, με απομάκρυνση και καθαρισμό των επιβαρημένων ιζημάτων.
2. Οι υψηλές τιμές των βαρέων μετάλλων σε ορισμένες περιοχές του εμπορικού τμήματος του λιμανιού, φαίνονται να σχετίζονται με τις ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες που εκτελούνται σε δύο σημεία στο τμήμα αυτό του λιμανιού. Επειδή το επιβατικό τμήμα του λιμανιού αποτελεί τη λιγότερο επιβαρημένη με ρυπαντικό φορτίο περιοχή του λιμανιού, αν αυτές οι εργασίες σταματήσουν να εκτελούνται εκεί, η ποιότητα του περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη περιοχή θα αναβημιστεί.
3. Το εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό τμήμα του λιμανιού παρουσιάζει πολύ υψηλότερες τιμές μετάλλων από το επιβατικό τμήμα του λιμανιού. Η έλλειψη ρυπογόνων βιομηχανιών στην περιοχή, καθιστούν τις ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες τον πρώτο παράγοντα ρύπανσης. Για το λόγο αυτό πρέπει να καταβληθεί προσπάθεια για τον έλεγχο των εργασιών που τελούνται στο χώρο του λιμανιού, ώστε να προκαλούν τη μικρότερη δυνατή ρύπανση.
4. Επειδή το λιμάνι του Πειραιά βρίσκεται σε σημείο που επηρεάζει ουσιαστικά την κατάσταση ολόκληρου του Σαρωνικού κόλπου, υπάρχει ουσιαστική ανάγκη συνεχούς παρακολούθησης του επιπέδου των ρύπων με περιοδικές δειγματοληψίες. Αυτό το μέτρο είναι ένα μόνο από αυτά που πρέπει να εφαρμοστούν, έτσι ώστε η κατάσταση του περιβάλλοντος στην περιοχή να ελέγχεται. Χρειάζεται μελέτη όλων των παραμέτρων που αφορούν την αλληλεπίδραση του λιμανιού με τη γύρω περιοχή και βαθιά μελέτη της διεθνούς εμπειρίας, έτσι

ώστε να αποφασιστεί ένα μοντέλο διαχείρισης για το λιμάνι του Πειραιά στα πλαίσια της ανάπτυξης τόσο της οικονομίας, όσο και της ποιότητας ζωής και περιβάλλοντος όχι μόνο της περιοχής, αλλά, λόγω της σημασίας του λιμανιού για την Ελλάδα, όλης της χώρας.

13.2. Μαρίνα Ζέας και Μικρολίμανο

1. Το ρυπαντικό φορτίο στη μαρίνα Ζέας και το Μικρολίμανο φαίνεται να οφείλεται στη λειτουργία τους και στα υλικά που εισρέουν στην περιοχή από τα ποτάμια συστήματα του Κηφισού και του Ιλισού, ενώ δεν πρέπει να αποκλειστεί και κάποια επίδραση από το λιμάνι του Πειραιά.
2. Τόσο το Μικρολίμανο, όσο και η μαρίνα Ζέας βρίσκονται σε άμεση επαφή με κατοικημένη περιοχή και χώρους αναψυχής και περιπάτου, για το λόγο αυτό οι ανοχές στα επίπεδα ρύπανσης πρέπει να είναι πολύ μικρότερες. Η περιοδική δειγματοληψία είναι ο ενδεδειγμένος τρόπος ελέγχου της κατάστασης, σε συνδυασμό με απομάκρυνση και καθαρισμό του ιζήματος όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο.
3. Με αφετηρία την σημαντική αρχαιολογική ανακάλυψη των νεώσοικων στη μαρίνα Ζέας το καλοκαίρι του 2004, η κατάσταση σε αυτήν πρέπει να αντιμετωπιστεί με αυξημένη ευαισθησία, κάτω και από το πρίσμα της προστασίας της πολιτιστικής μας κληρονομιάς.

13.3. Μαρίνες του Σαρωνικού

1. Οι τιμές των μετάλλων στα δείγματα που ελήφθησαν από τις μαρίνες του Σαρωνικού βρίσκονται κοντά σε αυτές του ανοικτού Σαρωνικού κόλπου, ένδειξη μικρής ανθρωπογενούς επιβάρυνσης. Αυτό είναι αναμενόμενο, λόγω της απουσίας βιομηχανιών από τις περιοχές τους.
2. Οι μαρίνες στην ουσία αποτελούν τμήμα των παραλιών λουομένων, για το λόγο αυτό απαιτείται αυξημένη προσοχή ώστε άνοδος στο επίπεδο των ρύπων να εντοπιστεί (με περιοδική δειγματοληψία) και να αντιμετωπιστεί έγκαιρα.
3. Η περιοδική δειγματοληψία είναι και ένας τρόπος ελέγχου του επιπέδου ρύπανσης στις μαρίνες του Σαρωνικού που εξετάστηκαν, όπου τα ρυπαντικά φορτία δεν είναι ιδιαίτερα υψηλά. Όταν κριθεί απαραίτητο μπορεί να γίνει καθαρισμός σε επιλεγμένα σημεία. Κάθε φορά που γίνονται εργασίες εκβάθυνσης, επέκτασης ή συντήρησης, είναι ευκαιρία απομάκρυνσης ιζήματος και η επανατοποθέτησή του σε άλλη θέση στην ίδια περιοχή πρέπει να αποφεύγεται.

13.4. Ραφήνα

1. Το λιμάνι της Ραφήνας δεν είναι επιβαρημένο από πλευράς βαρέων μετάλλων. Μόνο στο βοηθητικό λιμάνι υπάρχει μια συσσώρευση ρύπων λόγω της κλειστής μορφής του. Επειδή όμως σχεδιάζεται η αναβάθμιση της χρήσης του λιμανιού, έτσι ώστε να μειωθεί το επιβατικό φορτίο στο λιμάνι του Πειραιά, καλό είναι να υπάρχει μία παρακολούθηση των ρύπων στο λιμάνι αυτό. Ο λόγος παρακολούθησης των ρύπων ενισχύεται

από το γεγονός ότι το λιμάνι γειτνιάζει με παραλίες λουομένων.

2. Η περιοδική δειγματοληψία είναι και ένας τρόπος ελέγχου του επιπέδου ρύπανσης στο λιμάνι της Ραφήνας, όπου τα ρυπαντικά φορτία δεν είναι ιδιαίτερα υψηλά. Όταν κριθεί απαραίτητο μπορεί να γίνει καθαρισμός σε επιλεγμένα σημεία. Κάθε φορά που γίνονται εργασίες εκβάθυνσης, επέκτασης ή συντήρησης, είναι ευκαιρία απομάκρυνσης ιζήματος και η επανατοποθέτησή του σε άλλη θέση του λιμανιού ή της ευρύτερης περιοχής πρέπει να αποφεύγεται

13.5. Λαύριο

1. Το λιμάνι του Λαυρίου είναι πολύ φυσικό να αποτελεί χώρο υψηλών ρυπαντικών φορτίων, λόγω της γεωλογίας της περιοχής και της λειτουργίας στην περιοχή μεταλλείων, εργοστασίου εμπλουτισμού και μεταλλουργίας για πολλά χρόνια, για τα οποία η κύρια πύλη επικοινωνίας με τον υπόλοιπο κόσμο ήταν το λιμάνι. Οι πηγές ρύπανσης δεν βρίσκονται σε λειτουργία, αλλά το συσσωρευμένο φορτίο στον πυθμένα της περιοχής του λιμανιού είναι σημαντικό. Αυτή η συγκέντρωση υψηλών τιμών μετάλλων σε συνδυασμό με την ύπαρξη στην περιοχή εγκαταλειμμένων μεταλλείων, καθιστούν την περιοχή αυτή πιθανή δευτερογενή πηγή ρύπανσης για την ευρύτερη περιοχή. Με βάση το σχεδιασμό του ΥΕΝ το Λαύριο θα «σηκώσει» μελλοντικά μεγαλύτερο φορτίο κίνησης επιβατών, με παράλληλη ελάττωση του φορτίου του λιμανιού του Πειραιά. Αυτή η αυξημένη δραστηριότητα πρέπει να συνδυαστεί με αναβάθμιση της ποιότητας ζωής της περιοχής του Λαυρίου, στα πλαίσια της οποίας πιθανότατα χρειάζεται απομάκρυνση και καθαρισμός των επιβαρημένων ιζημάτων του θαλάσσιου πυθμένα.
2. Το λιμάνι του Λαυρίου πρέπει να αντιμετωπιστεί όπως το λιμάνι του Πειραιά, δηλαδή σαν περιοχή υψηλής ρύπανσης με δυνατότητα επιβάρυνσης της γύρω περιοχής. Στο Λαύριο οι κύριες πηγές ρύπανσης (μεταλλεία εξόρυξης και εργοστάσια επεξεργασίας μικτών θειούχων μεταλλευμάτων) δεν λειτουργούν, έτσι με απομάκρυνση των επιβαρημένων τμημάτων του θαλάσσιου ιζήματος και απομάκρυνση των καταλοίπων που εξακολουθούν να υπάρχουν στην ξηρά, και πιθανόν ρυπαίνουν το θαλάσσιο σύστημα με επιφανειακή απορροή, η κατάσταση αναμένεται να βελτιωθεί σημαντικά. Περιοδική δειγματοληψία θα μπορεί να δείξει την αποτελεσματικότητα των μέτρων που θα ληφθούν.
3. Στο λιμάνι του Λαυρίου, η κατασκευή του νέου μεγάλου λιμενοβραχίονα έχει αποτελέσει μια κακή παρέμβαση στο περιβάλλον, με τη χρήση, κατά πάσα πιθανότητα, καταλοίπων του εργοστασίου εμπλουτισμού στο ρόλο των στείων στήριξης της βάσης του λιμενοβραχίονα μέσα στη θάλασσα. Η περιοχή αυτή, αν και απέχει από την (αναμενόμενα ιδιαίτερα επιβαρημένη σε ρυπαντικό φορτίο) περιοχή φόρτωσης του λιμανιού, παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές. Έχουμε στην περίπτωση αυτή επιβάρυνση του περιβάλλοντος από πρόχειρες ανθρώπινες ενέργειες, πράγμα απαράδεκτο, αφού για μικρό σχετικά χρηματικό όφελος (η μεταφορά και απόθεση αδρανών δεν επιβαρύνεται με ιδιαίτερο κόστος) επιβαρύνεται το ήδη αυξημένο ρυπαντικό φορτίο της περιοχής, με αυτονόητη υποβάθμιση του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής της περιοχής.

13.6. Κόλπος της Ελευσίνας

1. Ο κόλπος της Ελευσίνας αποτελεί χώρο μεγάλου φορτίου σε μέταλλα, κυρίως μόλυβδο, ψευδάργυρο, χαλκό, χρώμιο και σίδηρο. Με δεδομένη την πρακτική αδυναμία απομάκρυνσης των βιομηχανιών από τις ακτές του κόλπου, μπαίνει επιτακτικά το θέμα του ελέγχου της εύρυθμης λειτουργίας τους με σεβασμό στο περιβάλλον. Η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων ρύπανσης, που γίνεται με συστηματικές δειγματοληψίες, αποτελεί ενδεδειγμένο μέτρο. Η παρακολούθηση του επιπέδου των ρύπων είναι πράγματι συνεχής (Karavoltsos et al 1999, www.thriasiopedio.gr).
2. Μερικά τμήματα του κόλπου αποτελούν διαδοχικά παγίδες και πηγές μετάλλων προς το περιβάλλον, γεγονός που έχει διαπιστωθεί και σε προηγούμενες έρευνες (αναδιάλυση των μετάλλων από τα ιζήματα κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες). Σε συνδυασμό με τις σύγχρονες αντιλήψεις για την ποιότητα περιβάλλοντος, κρίνεται επιβεβλημένη η απομάκρυνση και ο καθαρισμός του ιζήματος κάποιων περιοχών του κόλπου που είναι ιδιαίτερα επιβαρημένες. Η απομάκρυνση των επιβαρημένων τμημάτων του ιζήματος σίγουρα θα αναβαθμίσει το περιβάλλον ολόκληρου του Θριάσιου πεδίου και κατ' επέκταση του Σαρανικού και της Αττικής.
3. Το περιοδικό φαινόμενο της δημιουργίας ανοξικών συνθηκών και της αναδιάλυσης των μετάλλων από τα ιζήματα είχε μέχρι τώρα εντοπιστεί στον κόλπο της Ελευσίνας σε βάθη μεγαλύτερα από τριάντα μέτρα. Με βάση τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής, η άποψη αυτή χρειάζεται πιθανώς αναθεώρηση ως προς το βάθος, έτσι ώστε να εξηγηθούν μειωμένες συγκεντρώσεις στα ανώτερα τμήματα πυρήνων, που προέρχονται από ιζήματα που ελήφθησαν από μικρότερα βάθη.

13.7. Μεταλλευτική και μελέτες ρύπανσης

1. Αποδείχθηκε ότι ένα οποιοδήποτε ιζήμα, το οποίο εξετάζεται από πλευράς ποιότητας περιβάλλοντος, μπορεί να θεωρηθεί για τις ανάγκες της μελέτης σαν μια εμφάνιση ενός μεταλλεύματος που εξετάζεται από πλευράς εκμεταλλευσιμότητας.
2. Με τη θεώρηση του ιζήματος σαν να ήταν κοίτασμα, είναι δυνατή η χρήση των μεθόδων και ολόκληρου του «οπλοστασίου» της Μεταλλευτικής. Ο κλάδος αυτός έχει μακροχρόνια ιστορία στην έρευνα και υψηλή χρηματοδότηση για την εξέλιξη της έρευνας, γεγονότα που μπορεί και πρέπει να εκμεταλλευτεί ο τομέας της μελέτης του θαλάσσιου (και όχι μόνο) περιβάλλοντος. Το πρόβλημα της μελέτης της ρύπανσης του περιβάλλοντος μέσω ιζημάτων δεν είχε αντιμετωπιστεί μέχρι τώρα από αυτή την οπτική γωνία.

13.8. Χρήση χαρτών και μοντέλων

1. Η χρήση των ισοπεριεκτικών χαρτών είναι απαραίτητη για μια συνολική εικόνα της περιοχής. Πριν οποιαδήποτε προσπάθεια απεικόνισης των αποτελεσμάτων σε ισοχημικούς χάρτες, πρέπει να γίνουν κατανοητοί οι δυνατοί τρόποι απεικόνισης και να γίνει σωστή επιλογή του κατάλληλου χάρτη, καθώς και των

- επιμέρους επιλογών του χάρτη για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Σαν πρώτη επιλογή για την κατασκευή χάρτη προτείνεται η μέθοδος kriging, που βασίζεται στη γεωστατιστική. Ο τρόπος επεξεργασίας των αποτελεσμάτων για τη λήψη χάρτη περιεκτικότητας πρέπει να αναφέρεται, για καλύτερη τεκμηρίωση της μελέτης και δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων διαφόρων εργασιών (που παρουσιάζονται με τη χρήση χαρτών) μεταξύ τους.
2. Η εφαρμογή του τρόπου ανάλυσης με τις καμπύλες τάσης σε δύο κάθετους άξονες βοηθά στην ισχυροποίηση των συμπερασμάτων και στη διαλεύκανση φαινομένων που είναι δύσκολο να ερμηνευτούν με άλλο τρόπο. Αποτελεί έναν άλλο τρόπο προσέγγισης της εικόνας που υπάρχει και σε συνδυασμό με την εξέταση των χαρτών και των αριθμητικών αποτελεσμάτων βοηθά στην καλύτερη κατανόηση της επικρατούσας κατάστασης, δείχνοντας τις επικρατούσες τάσεις μεταβολής των τιμών των ρύπων στην υπό εξέταση περιοχή.
 3. Είναι δυνατός ο συνδυασμός των καμπυλών με τη χρησιμοποίηση σταθμικών συντελεστών, ώστε να αξιοποιηθούν και συναξιολογηθούν οι πληροφορίες που παρέχονται από την ανάλυση κατά τους επί μέρους άξονες. Η λύση της χρήσης δύο καθέτων αξόνων καθέτων μεταξύ τους (προτείνονται οι άξονες Βορράς-Νότος και Ανατολή -Δύση σαν πρώτη επιλογή) οδηγεί σε ένα πλέγμα τιμών που καλύπτει όλη την περιοχή μελέτης.
 4. Η πρόβλεψη που δίνει το προτεινόμενο μοντέλο πρέπει να αντιμετωπίζεται χωρίς επιφύλαξη σε ομοιογενείς χώρους, με πυκνό κάρναβο δειγματοληψίας. Σε ετερογενείς μπορεί να δείξει τα αδύναμα σημεία του, που δηλαδή χρειάζεται νέο δείγμα για να επιβεβαιωθεί η ισχύς της, υποδεικνύοντας τα πιο κατάλληλα σημεία για δειγματοληψία. Αυτό γίνεται παρατηρώντας τα σημεία καμψής και τα ακρότατα που παρουσιάζουν οι καμπύλες.

13.9. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Με βάση τα συμπεράσματα που εκτέθηκαν προτείνονται σαν θέματα για περαιτέρω έρευνα τα ακόλουθα. Οι προτάσεις γίνονται με κριτήρια την ανάγκη επίλυσης πρακτικών προβλημάτων, την απάντηση σε ερωτήσεις που προκύπτουν από την εξέταση των αποτελεσμάτων της μελέτης αυτής και την προώθηση ενός μοντέλου διαχείρισης του λιμανιού του Πειραιά κατά κύριο λόγο, αλλά και των άλλων λιμανιών και περιοχών που εξετάστηκαν. Είναι κοινά αποδεκτό ότι η έρευνα σπάνια αρχίζει από το μηδέν και ποτέ δεν μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι έχει ολοκληρωθεί. Με αυτό το σκεπτικό, φιλοδοξία της εργασίας αυτής είναι να αποτελέσει αφετηρία για περαιτέρω έρευνα στα ζητήματα που εξετάζει. Οι προτάσεις έχουν ομαδοποιηθεί κατά θέμα.

13.9.1. Πειραιάς

1. Δειγματοληψία, αν είναι δυνατόν λήψη πυρήνων, στην περιοχή του εργοστασίου λιπασμάτων και την περιοχή που έχει επιβαρυνθεί από τη μακροχρόνια λειτουργία του Κεντρικού Αποχετευτικού αγωγού Κερατσινίου, για

- διαπίστωση της έκτασης της ρύπανσης και την πραγματοποίηση μιας πληρέστερης μελέτης για την (κατ' απόλυτη προτεραιότητα λόγω της ιδιαίτερης επιβάρυνσης) απομάκρυνση και τον καθαρισμό ή την αδρανοποίηση του ιζήματος των περιοχών αυτών του λιμανιού. Στο ίδιο πλαίσιο σκέψης εντάσσεται και η μελέτη των ρευμάτων στην περιοχή του λιμανιού. Στόχος είναι ο καθαρισμός και η σωστή διαχείριση του λιμανιού και αυτές οι ενέργειες πρέπει να αποτελέσουν το πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση αυτή
2. Πύκνωση των δειγματοληψιών στο εμπορικό και ναυπηγοεπισκευαστικό λιμάνι, καθώς και στον προλιμένα, για τη διαπίστωση της ακριβούς έκτασης της ρύπανσης και της σε δεύτερο χρόνο απομάκρυνσης ή αδρανοποίησης του ιζήματος που επιβαρύνει με ρύπους την περιοχή.
 3. Υπολογισμός του ρυθμού ιζηματογένεσης στην περιοχή του λιμανιού, στα πλαίσια της ολοκληρωμένης μελέτης της περιοχής με στόχο τη δυνατότητα σχεδιασμού ενός αποτελεσματικού μοντέλου διαχείρισης του λιμανιού. Είναι αυτονόητο, ότι με πληρέστερη πληροφόρηση η αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού είναι μεγαλύτερη και ο αριθμός και η έκταση των (αναπόφευκτων σε βάθος χρόνου) αναθεωρήσεων του αρχικού σχεδιασμού μικρότερος.
 4. Μελέτη σε εργαστηριακή αρχικά και στη συνέχεια σε ημιβιομηχανική και βιομηχανική κλίμακα (κλιμάκωση μεγέθους, scale up) των δυνατών τρόπων καθαρισμού του ιζήματος του λιμανιού ή αδρανοποίησης των ρύπων (π.χ. με τη δημιουργία τούβλων από το ίζημα) στο πλαίσιο πάντα της πορείας για μια αποτελεσματική διαχείριση του λιμανιού.
 5. Μοντελοποίηση της κυκλοφορίας των νερών και των ιζημάτων του λιμανιού, σε συνδυασμό με την κατασκευή και μελέτη μοντέλου-μακέτας του λιμανιού σε δεξαμενή, για την πληρέστερη γνώση της αλληλεπίδρασης της λειτουργίας του με το ευρύτερο περιβάλλον. Πιθανότητα μια τέτοιου τύπου μελέτη, με χρήση προγραμμάτων και μηχανισμών προσομοίωσης, θα έπρεπε να προηγηθεί οποιασδήποτε επέμβασης στο λιμάνι, ώστε να προβλεφθούν κατά το δυνατόν επιδράσεις που μπορεί να φανούν μόνο σε βάθος χρόνου. Στόχος παραμένει η δημιουργία ενός ασφαλούς λιμανιού, για τους ανθρώπους, τα μέσα, τα υλικά και το περιβάλλον, ενός λιμανιού που θα αναβαθμίζει κατά το δυνατόν την ποιότητα ζωής της ευρύτερης περιοχής.
 6. Από πλευράς επιστημονικού ενδιαφέροντος, πυρήνες από το βοηθητικό λιμάνι είναι πιθανόν να έχουν καταγραφμένη την ιστορία του λιμανιού, γιατί εκεί τα νερά είναι σχετικά στάσιμα και το ίζημα που συσσωρεύεται δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την κίνηση των πλοίων, αφού τα μοναδικά πλοία που εισέρχονται σ' αυτό είναι πλοία του λιμενικού, της πυροσβεστικής και άλλα μικρά βοηθητικά πλοία, τα οποία κινούνται μέσα σ' αυτό με ελάχιστη ταχύτητα.

13.9.2. Μαρίνα Ζέας και Μικρολίμανο

1. Τόσο η μαρίνα Ζέας, όσο και το Μικρολίμανο, βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του λιμανιού του Πειραιά. Από το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη γειτνίασή τους με κατοικημένη περιοχή, χώρους αναψυχής και περιπάτου, καθώς και με την ιδιαίτερη πολιτιστική αξία που φαίνεται να έχουν για τους Πειραιώτες, καθιστά απαραίτητο το να περιληφθούν σε όλες τις μελέτες που προτάθηκαν προηγουμένως για το λιμάνι του Πειραιά.

2. Η ανακάλυψη αρχαίων (νεώσοικων) στη μαρίνα Ζέας το καλοκαίρι του 2004, καθιστά επιτακτική την παρακολούθηση της κατάστασης των ρύπων και την απομάκρυνση του ιζήματος, μετά από μελέτη σε συντονισμό με την αρχαιολογική υπηρεσία (εφορία εναλίων αρχαιοτήτων) και σε συγχρηματοδότηση με το Ταμείο Αρχαιολογικών Πόρων (ΤΑΠ). Αν και τα ιζήματα δεν βρίσκονται σε μεγάλο βάθος, η ύπαρξη μοναδικών αρχαιοτήτων στο χώρο της μαρίνας Ζέας καθιστά την διαδικασία απομάκρυνσης των ιζημάτων και καθαρισμού της περιοχής ελλιμενισμού σκαφών μια πολύ λεπτή και επίπονη εργασία.
3. Η μαρίνα Ζέας, στο εσωτερικό του μεγάλου λιμενοβραχίονα και πριν φτάσουμε στο εσωτερικό της τμήμα, παρουσιάζει, όπως αναφέρθηκε κυματισμό εξ ανακλάσεως όταν επικρατούν νότιοι άνεμοι. Η μαρίνα θα γίνει πιο ασφαλής και ως εκ τούτου θα αναβαθμιστεί ποιοτικά αν λυθεί (μετά από μελέτη και προσομοίωση με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και συστήματος μακέτας-δεξαμενής) το πρόβλημα αυτό. Τα βάθη δεν είναι μεγάλα και τα ελλιμενιζόμενα σκάφη μικρά και ευέλικτα. Επομένως, δεν απαιτείται ευθύγραμμη πρόσβαση της μαρίνας στο Σαρωνικό (όπως είναι αυτονόητο για το λιμάνι του Πειραιά). Έτσι, ένας εξωτερικός ανεξάρτητος λιμενοβραχίονας ανάσχεσης των κυμάτων (αποσπασμένος κυματοθραύστης) κατάλληλα τοποθετημένος κοντά στην ακτή, παρόμοιος με αυτόν που υπάρχει στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης, στο λιμάνι της Πάτρας, στο λιμάνι του Βόλου και έχει σχεδιαστεί για το λιμάνι της Ραφήνας (www.yen.gr), πιθανόν αποτελεί την πρώτη περίπτωση για εξέταση και μελέτη / αξιολόγηση.

13.9.3. Μαρίνες του Σαρωνικού

1. Οι μαρίνες του Σαρωνικού δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα ρύπανσης. Στα πλαίσια όμως της αύξησης του μεγέθους τους, και σε συνδυασμό με την επιδιωκόμενη αναβάθμιση των παρεχομένων υπηρεσιών, η καλύτερη γνώση των τοπικών υδατικών συστημάτων (π.χ. επίδραση ρεμάτων, κυματισμού κλπ.) αποτελεί απαραίτητα το πρώτο βήμα για ανάληψη αποτελεσματικής δράσης με ταυτόχρονη αναβάθμιση και ανάδειξη του περιβάλλοντος.
2. Στο πνεύμα της αναβάθμισης των υπηρεσιών, χρήσιμη είναι η μελέτη και προσομοίωση με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και συστήματος μακέτας-δεξαμενής, έτσι ώστε να μειωθεί ο κυματισμός που παρατηρείται σε κάποιες μαρίνες, ιδιαίτερα όταν επικρατούν νότιοι, νοτιοδυτικοί ή δυτικοί άνεμοι. Τα πρόσθετα έργα πρέπει να γίνουν μετά από μελέτη του ευρύτερου συστήματος και σε συνδυασμό με την αναβάθμιση της ευρύτερης περιοχής.
3. Η περιβαλλοντική αναβάθμιση που μπορεί να επιτευχθεί στην περιοχή κάθε μαρίνας, σίγουρα μπορεί να αποτελέσει το έναυσμα για αναβάθμιση ολόκληρης της περιοχής. Η καθαρή θάλασσα πάντα αποτελεί ισχυρό μαγνήτη για επισκέπτες. Με κατάλληλη στρατηγική και διαχείριση, είναι δυνατόν τα εμπορικά οφέλη από τη λειτουργία καταστημάτων στην περιοχή, σε συνδυασμό με τα τέλη ελλιμενισμού, να μπορούν να χρηματοδοτήσουν και να συντηρήσουν τις απαραίτητες βελτιώσεις σε κάθε μαρίνα. Με τον τρόπο αυτό, μία πιθανή πηγή ρύπων μπορεί να μετατραπεί σε πόλο έλξης επισκεπτών και παράγοντα αναβάθμισης της περιοχής χωρίς επιβάρυνση του κοινωνικού συνόλου.

13.9.4. Λαύριο

1. Στην περίπτωση του λιμανιού του Λαυρίου, η προσέγγιση πρέπει να είναι παρόμοια με αυτή που προτείνεται για το λιμάνι του Πειραιά, με το ίδιο σκεπτικό για αναβάθμιση της περιοχής. Απαραίτητη κρίνεται η ολοκληρωμένη μελέτη του ευρύτερου συστήματος, ιδιαίτερα των ρευμάτων της περιοχής, καθώς και οι δοκιμές καθαρισμού του ιζήματος της περιοχής του λιμανιού. Ο όγκος του ιζήματος και το βάθος είναι μικρά, ενώ με πυρηνοληψίες μπορεί να υπολογισθεί και το πάχος του ιζήματος κατά περιοχή που πρέπει να απομακρυνθεί και στη συνέχεια να καθαριστεί ή να αδρανοποιηθεί. Για την αδρανοποίηση ή τον καθαρισμό του ιζήματος χρειάζεται ειδική μελέτη, η οποία πρέπει να περιλαμβάνει δοκιμές. Η όλη μελέτη πρέπει να έχει σαν τελικό στόχο την αναβάθμιση του περιβάλλοντος της περιοχής, αλλά και τη σωστή διαχείριση του λιμανιού αυτού, η σημασία του οποίου είναι αυξημένη στο νέο σχεδιασμό του YEN.
2. Το λιμάνι είναι ευπρόσβλητο στους νοτιοανατολικούς και ανατολικούς ανέμους. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος χρήσιμη είναι η μελέτη και προσομοίωση με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και συστήματος μακέτας-δεξαμενής, έτσι ώστε να το λιμάνι να γίνει πιο προστατευμένο και να αυξηθεί το επίπεδο των παρεχομένων υπηρεσιών. Η επέκταση του λιμανιού, μετά από κατάλληλη μελέτη σκοπιμότητας, μπορεί πιθανόν να συνδυαστεί και με τη δημιουργία μαρίνας, η οποία θα αποτελέσει μια καλή εναλλακτική λύση αντί της παρεχόμενης από τις μαρίνες του Σαρωνικού. Η μαρίνα μπορεί να εκμεταλλευτεί τη διάνοξη της Αττικής οδού, την μικρότερη απόσταση του Λαυρίου από τις Ανατολικές Κυκλάδες σε σχέση με τον Πειραιά, τα μεγάλα τέλη ελλιμενισμού του Σαρωνικού και την προϋπάρχουσα κατάσταση στην περιοχή, αφού νότια του λιμανιού του Λαυρίου (στη Γαϊδουρομάντρα) λειτουργεί ιδιωτική μαρίνα (Heikell 2001). Η λειτουργία της μαρίνας θα μπορέσει να καλύψει τμήμα των λειτουργικών εξόδων του λιμανιού, που θα είναι αυξημένα μετά την επέκτασή του.
3. Όπως εξηγήθηκε, η βάση του νέου μεγάλου λιμενοβραχίονα έχει, κατά πάσα πιθανότητα δημιουργηθεί με την «αξιοποίηση» των καταλοίπων του εργοστασίου που κατεργάστηκε κατά το παρελθόν τα μεταλλεύματα της Λαυρεωτικής. Αυτό πρέπει να επιβεβαιωθεί με εκτεταμένη σειρά δειγματοληψιών. Η περίπτωση του νέου μεγάλου λιμενοβραχίονα πρέπει να εξεταστεί από την πλευρά της δυνατότητας κάλυψης του ιζήματος που αποτελεί τη βάση του με αδιαπέραστο υλικό, σαν ένα πρώτο μέτρο αποφυγής της «εξαγωγής» ρύπανσης από το χώρο του λιμανιού προς την ευρύτερη περιοχή. Η απομάκρυνσή ολής της κατασκευής και η ανακατασκευή της με ευαισθησία προς το περιβάλλον είναι ίσως επιβεβλημένη από οικολογικής άποψης, αλλά βέβαιο είναι πως θα συναντήσει ισχυρότατες αντιρρήσεις λόγω κόστους και μελλοντικά χαμένων κερδών, αφού η επέκταση του λιμανιού θα καθυστερήσει.

13.9.5. Ραφήνα

1. Το λιμάνι της Ραφήνας πρόκειται να δεχθεί μεγαλύτερο φορτίο στο μέλλον, σύμφωνα με τα σχέδια του YEN.

Απαραίτητη κρίνεται η ολοκληρωμένη μελέτη του ευρύτερου συστήματος, ιδιαίτερα των ρευμάτων της περιοχής. Η περιοχή δεν είναι ιδιαίτερα επιβαρημένη με βαρέα μέταλλα, έτσι η μελέτη καθαρισμού του ιζήματος δεν είναι άμεσης προτεραιότητας. Το λιμάνι είναι ευπρόσβλητο στους νότιους ανέμους. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος χρήσιμη είναι η μελέτη και προσομοίωση με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και συστήματος μακέτας-δεξαμενής, έτσι ώστε να το λιμάνι να γίνει πιο προστατευμένο και να αυξηθεί το επίπεδο των παρεχομένων υπηρεσιών. Η όλη μελέτη πρέπει να έχει σαν τελικό στόχο την αναβάθμιση του περιβάλλοντος της περιοχής, αλλά και τη σωστή διαχείριση του λιμανιού αυτού, η σημασία του οποίου είναι αυξημένη στο νέο σχεδιασμό του ΥΕΝ.

2. Η επέκταση του λιμανιού, μετά από κατάλληλη μελέτη σκοπιμότητας, μπορεί πιθανόν να συνδυαστεί και με τη δημιουργία μαρίνας, η οποία θα αποτελέσει μια καλή εναλλακτική λύση αντί της παρεχόμενης από τις μαρίνες του Σαρωνικού. Η μαρίνα μπορεί να εκμεταλλευτεί τη διάνοιξη της Αττικής οδού, την μικρότερη απόσταση της Ραφήνας από τις Ανατολικές Κυκλάδες σε σχέση με τον Πειραιά, τα μεγάλα τέλη ελλειμνισμού του Σαρωνικού και την προϋπάρχουσα κατάσταση στην περιοχή, αφού βόρεια του λιμανιού της Ραφήνας, περίπου 1200 μέτρα, λειτουργεί μαρίνα με μικρό βάθος πυθμένα (2 μέτρα), ενώ σε απόσταση περίπου τεσσάρων χιλιομέτρων υπάρχει ο μόλος του Αγίου Αντρέα και σε απόσταση έξι περίπου χιλιομέτρων βρίσκεται ο μόλος της Νέας Μάκρης με μικρό βάθος πυθμένα (2 μέτρα) (Heikell 2001). Η λειτουργία της μαρίνας θα μπορέσει να καλύψει τμήμα των λειτουργικών εξόδων του λιμανιού, που θα είναι αυξημένα μετά την επέκτασή του.
3. Από πλευράς επιστημονικού ενδιαφέροντος, πυρήνες από το βοηθητικό λιμάνι είναι πιθανόν να έχουν καταγραφμένη την ιστορία του λιμανιού, γιατί εκεί τα νερά είναι σχετικά στάσιμα και το ιζήμα που συσσωρεύεται δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την κίνηση των πλοίων, αφού τα αλευτικά πλοιάρια που το χρησιμοποιούν, κινούνται μέσα σ' αυτό με ελάχιστη ταχύτητα.

13.9.6. Ελευσίνα

1. Με βάση το συμπέρασμα ότι κρίνεται απαραίτητη η απομάκρυνση μέρους τουλάχιστον των ιδιαίτερα επιβαρημένων τμημάτων του ιζήματος του κόλπου, πρέπει να γίνουν πυρηνοληψίες για τον προσδιορισμό του όγκου του ιζήματος που πρέπει να απομακρυνθεί. Η απόφαση που θα ληφθεί πρέπει να βασίζεται στην πληρέστερη δυνατή πληροφόρηση για την περιεκτικότητα του θαλάσσιου πυθμένα του κόλπου σε βαρέα μέταλλα, αλλά και άλλους ρύπους. Όπως αναφέρθηκε και για το λιμάνι του Πειραιά και για το λιμάνι του Λαυρίου, πρέπει να γίνουν δοκιμές καθαρισμού ή να αδρανοποιηθεί το ιζήματος. Η όλη μελέτη πρέπει να έχει σαν τελικό στόχο την αναβάθμιση του περιβάλλοντος της περιοχής. Με βάση τις μετρήσεις και την ανάλυση αποτελεσμάτων της μελέτης αυτής, σαν πρώτη περιοχή μελέτης κάτω από αυτό το πρίσμα προτείνεται η περιοχή του πυρήνα ΠΕ5.
2. Το πιθανό φαινόμενο της δημιουργίας ανοξικών συνθηκών και της αναδιάλυσης των μετάλλων από τα ιζήματα σε βάθη μικρότερα από αυτά στα είχε μέχρι τώρα εντοπιστεί στον κόλπο της Ελευσίνας (άνω των 30

μέτρων), χρειάζεται περαιτέρω μελέτη. Το ερώτημα που τίθεται είναι αυτό της πιθανής αναθεώρησης του φαινομένου που παρατηρείται στον κόλπο της Ελευσίνας ως προς το βάθος κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες σε ορισμένες περιοχές του κόλπου (πυρήνες ΠΕ6 και ΠΕ7).

13.9.7. Χρήση χαρτών και κατασκευή μοντέλων

1. Με βάση προσωπική εμπειρία από την ανάπτυξη, εφαρμογή και έλεγχο εφαρμογών και προγραμμάτων, δεν είναι δυνατή η δημιουργία μιας εφαρμογής ή ενός προγράμματος, που καλύπτει κάθε περίπτωση και δεν παρουσιάζει ατέλειες. Βελτίωση κάθε νέας εφαρμογής ή νέου προγράμματος και συστήματος μπορεί να γίνει μόνο με συνεχή χρήση και έλεγχο, ώστε να αντιμετωπιστούν τυχόν αδυναμίες ή σημεία που χρειάζονται βελτίωση. Με τον τρόπο αυτό οι προτεινόμενες μέθοδοι εργασίας θα μπορέσουν να κριθούν σε βάθος χρόνου και αυτό είναι το ζητούμενο. Δείγματα που έχουν συλλεχθεί για κάποια άλλη έρευνα θα μπορούσαν, στα πλαίσια ελέγχου των προτεινόμενων μεθόδων ανάλυσης των αποτελεσμάτων να μετρηθούν για μέταλλα με μια εύκολη και οικονομική μέθοδο, όπως είναι η από προηγούμενες μελέτες προτεινόμενη μαγνητική (Scoullos and Oldfield 1984, Chan et al 1998, Chan et al 2001). Με τον τρόπο αυτό εξοικονομείται χρόνος και χρήμα, ενώ αλλιώς θα ανέβαινε ιδιαίτερα το κόστος αξιολόγησης των μεθόδων.
2. Χρειάζεται να γίνει προσπάθεια για τη δημιουργία προγραμμάτων με ακόμα πιο απλή εφαρμογή, όπου οι ενέργειες του χρήστη θα ελαχιστοποιούνται και η εφαρμογή δεν θα απαιτεί συγκεκριμένο τύπο υπολογιστή και λειτουργικού συστήματος. Πάντα πρέπει να παρακολουθείται η πρόοδος στον αντίστοιχο τομέα της Μεταλλευτικής, για την εκμετάλλευση της προόδου στον κλάδο αυτό και την προσαρμογή των μεθόδων στις ανάγκες των μελετών που ασχολούνται με τη ρύπανση περιβάλλοντος, ιδιαίτερα στη μελέτη της ρύπανσης σε ιζήματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Αγγελίδης, Μ. και Oregioni, Β., Χαλκός και μόλυβδος στα ιζήματα του βόρειου Σαρωνικού κόλπου, Πρακτικά του 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Χημείας, σελ 14-21, Ιωάννινα 1982.
- Αγγελίδης, Μ. και Αλούπη, Μ., Κατανομή μετάλλων σε πυρήνες ιζημάτων από την παράκτια θαλάσσια περιοχή Μυτιλήνης, Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, τόμος Ι, σελ. 101-103, 1997.
- Αγγελίδης, Μ. και Αλούπη, Μ., Κατανομή μετάλλων στα παράκτια θαλάσσια ιζήματα των εκβολών του Ασωπού ποταμού, 5ο Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Μόλυβος Λέσβου, σελ. 403-412, 1997.
- Αλεξανδροπούλου, Σ. Π., Γεωχημεία Παρακτίων Ιζημάτων (Περιοχές Ιθάκης-Κεφαλληνίας-Αστακού), Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 1991.
- Αλούπη Μ., Μελέτη της Επίδρασης των Αστικών Απορροών στη Γεωχημεία των Βαρέων Μετάλλων στην Παράκτια Θαλάσσια Περιοχή της Μυτιλήνης, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη 1999.
- Αναγνώστου, Χ., Καψιμάλης, Β., Καραγεώργης, Α. και Χρόνης, Γ., Ιζηματολογικές αναλύσεις στα ιζήματα του θαλάσσιου υποστρώματος στον όρμο και στον κόλπο της Θεσσαλονίκης, Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, τόμος Ι, σελ. 75-78, 1997.
- Αναγνώστου, Χ., Σιούλας, Α. και Καραγεώργης, Α., Ο «δείκτης γεωσυσσώρευσης» στα επιφανειακά ιζήματα του Παγασητικού κόλπου, Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, τόμος Ι, σελ. 97-100, 1997.
- Αποστολίδης, Ν. Χ., Μεταλλευτική Εκτιμητική (σημειώσεις), ΕΜΠ, Αθήνα 1986.
- Ασσημακόπουλος, Δ. και Αμπατζόγλου, Γ., Χρονική και χωρική κατανομή ρυπαντικού φορτίου στον κόλπο της Ελευσίνας, Συνέδριο Περιβαλλοντικής επιστήμης και Τεχνολογίας, σελ 355-370, Μυτιλήνη, Σεπτέμβριος 1988.
- Αυγουστήδης Σ. Σ., Εισαγωγή εις τας σπουδαιότερας ομάδας των πετρογενετικών ορυκτών (σημειώσεις), ΕΜΠ, Αθήνα 1976.
- Αυγουστήδης Σ. Σ. και Βέλλος Κ. Θ., Γεωχημική – Ορυκτολογική και Οικονομοτεχνική Σπουδαιότητας Σπανίων και Πολυτίμων Στοιχείων Εντός Διαφόρων Παραγενέσεων, ΕΜΠ, Αθήνα 1971.
- Βλάχος, Γ. Π., Η Θαλάσσια Διακίνηση των Αγαθών και η Ρύπανση του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος, εκδόσεις Α. Σταμούλη (αναθεωρημένη επανέκδοση), Πειραιάς 1995.
- Βλάχος, Γ. Π., Εμπορική Ναυτιλία και Θαλάσσιο Περιβάλλον, Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 1999.
- Βλάχος, Γ. Π., Ναυπηγική Οικονομική και Στρατηγική, J & J Hellas, Πειραιάς 2002.
- Βλάχος, Γ. Π. και Αλεξόπουλος Α. Β., Τεχνικοοικονομικές Απόψεις της Θαλάσσιας Διακίνησης των

Αγαθών και της Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος, εκδόσεις Α. Σταμούλη, Πειραιάς 1995.

- Βουρλάκος, Ν., Τα Ορυκτά της Λαυρεωτικής και τα Ορυκτά Συστατικά των Πετρωμάτων της, Βιβλιοθήκη της Εταιρείας Μελετών Λαυρεωτικής αριθμ. 5, Λαύρειο 1992.
- Βουτσίνου – Ταλιαδούρη, Φ., Γεωργακοπούλου, Ε. και Φραγκουδάκη, Σ., Ρύπανση από μέταλλα σε επιφανειακά ιζήματα του κόλπου της Ελευσίνας, Β' Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Ε.Ι.Ε., Αθήνα 11-15 Μαΐου 1987,σελ. 99-109, ΕΚΘΕ 1987.
- Γαϊτανάκης Π., Γεωλογικός χάρτης Αθήνα Πειραιάς, Ι.Γ.Μ.Ε., 1976 – 1977.
- Γαϊτανάκης Π., Γεωλογικός χάρτης Μεγάρων, Ι.Γ.Μ.Ε., 1976 – 1978.
- Γκρίτζαλης, Κ., Μπερταχάς, Η., Κουσουρή, Θ., Διαπούλης, Α. και Μπόγδανος, Κ., Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά ιζήματα της λίμνης του Κουμουνδούρου, 4ο Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Μόλυβος λέσβου, 4-7 Σεπτ. 1995, σελ.39-48, 1995.
- Γρημάνης, Α.Π., Ζαφειρόπουλος, Δ., Παπαδοπούλου, Α., Αγγελίδης, Μ. και Βασιλάκη – Γρημάνη, Μ., Ρύπανση του Σαρωνικού κόλπου από τοξικά ιχθυοστοιχεία, Πρακτικά του 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Χημείας, σελ 103-111, Ιωάννινα 1982.
- Δασενάκης, Μ. και Σκούλλος, Μ, Διαλυτό και σωματιδιακό μαγγάνιο στο θαλάσσιο περιβάλλον, Πρακτικά του 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Χημείας, σελ. 112-123, Ιωάννινα 1982.
- Δερμάτης, Γ.Ν., Λαύρειο το Μαύρο Φως – η Μεταλλευτική και Μεταλλουργική Βιομηχανία στο Λαύρειο 1860-1917 Ελληνική και Ευρωπαϊκή Διάσταση, Τεχνικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρείου (ΕΜΠ), 2003.
- Δίκτυο Εργαστηρίων Παρακολούθησης Ποιότητας Περιβάλλοντος Ελληνικών Θαλασσών (ΔΕΠΕΘ), Ενδιάμεση Έκθεση Αποτελεσμάτων Προγράμματος Παρακολούθησης Ποιότητας Περιβάλλοντος Ελληνικών Θαλασσών, Αθήνα, Δεκέμβριος 2004.
- Δούνας Θ., Γεωλογικός χάρτης Ελευσίνας, ΙΓΜΕ, 1969- 1980.
- Δούνας Θ., Γεωλογικός χάρτης Ερυθράν, ΙΓΜΕ, 1965, 1967,1969.
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Ιστορικός Βιομηχανικός Εξοπλισμός στην Ελλάδα, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ - εκδόσεις Οδυσσεάς, Αθήνα 1998.
- Ζαφειρόπουλος, Δ, Αγγελίδης, Μ. και Γρημάνης, Α.Π., Φυσικοχημικές μορφές του ψευδαργύρου στα νερά και ιζήματα του Σαρωνικού κόλπου, σελ.283-289, Αθήνα 1984.
- Ζαφειρόπουλος, Δ. και Ηυνη-Νγος, L., Μελέτη των συγκεντρώσεων χαλκού, καδμίου, μολύβδου και ψευδαργύρου σε επιφανειακά νερά του βόρειου Σαρωνικού με τη μέθοδο της αντίστροφης βολταμετρίας, Πρακτικά του 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Χημείας, σελ.124-131, Ιωάννινα 1982.
- Ηλιάδης, Ν. και Βούτσινος, Γ., Τεχνολογία για Μαθητές Α' Ενιαίου Λυκείου, ΟΕΔΒ, Αθήνα 2004 (Ζ' έκδοση).
- Κακαβογιάννης, Ε. Χ., Το ορυκτολογικό μουσείο του Λαυρείου (αναδημοσίευση από τα Πρακτικά της Γ' Επιστημονικής Συνάντησης ΝΑ Αττικής, Καλύβια 1988, σελ. 345-374), Λαύρειο 1989.
- Κάκουλλος, Θ., Ν., Στατιστική Θεωρία Εφαρμογών, Αθήνα 1972 (ανατ. 1978).

- Καλογερόπουλος Ν., Γρημάνης Α. Π., Βασιλάκη Γριμάνη Μ., Βύρας Λ. και Ashrafi R., Κοβάλτιο αντιμόνιο και ψευδάργυρος στο Σαρωνικό κόλπο και στην ατμόσφαιρα της Αθήνας, Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Σεπ. 1989 Μυτιλήνη, σ. 315-324.
- Καμπέρη, Ε., Αναγνώστου, Χ. και Καραγεώργης, Α., Τάσεις στην κατανομή των βαρέων μετάλλων στα σύγχρονα ιζήματα του όρμου και του κόλπου της Θεσσαλονίκης, Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, τόμος Ι, σελ. 79-82, 1997.
- Καμπούρης, Μ., Επεξεργασία Πολυμερών, ΕΜΠ, 1980.
- Καμπούρης, Μ., Τεχνολογία Πολυμερών, Τόμος ΙΙ, ΕΜΠ, 1983.
- Καραγεώργης, Α., Αναγνώστου, Χ., Σιούλας, Α. και Ελευθεριάδης, Γ., Γεωχημικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών ιζημάτων στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Αττικής – Ευβοίας – Β. Κυκλάδων, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τομ. XXX/3, Πρακτικά 7ου Επιστημονικού Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη, Μάιος 1994, σελ. 361-368, 1994.
- Καραγιάννης, Μ. Ι., Επεξεργασία Αξιολόγηση και Παρουσίαση Αναλυτικών Δεδομένων, Ιωάννινα 1999.
- Καραμπάς, Θ. Β., Αγγελίδης, Κ. και Κουτίτας, Χ., Επέκταση των μοντέλων διάχυσης – διασποράς ρύπων στην παράκτια ζώνη, 4ο Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, σελ. 198-205, Μόλυβος Λέσβου Σεπ. 1995.
- Κατσικάτσος Γ., Γεωλογικός χάρτης Ραφήνας ΙΓΜΕ, 1977.
- Κατσικάτσος Γ., Γεωλογικός χάρτης Κηφισιάς, ΙΓΜΕ 1994 –1997.
- Κατσίκη, Β. Α., Αναγνώστου, Χ., Γεωργακοπούλου, Ε., Ζενέτου, Α., Καμπέρη, Ε., Καραγεώργης, Α., Λαδοπούλου, Μ., Ρεΐζοπούλου, Σ., Σαμαρά, Ν., Σύμπουρα, Ν., Χατζηανέστης, Ι., Στρογγυλούδη, Ε. και Ταξιάρχη, Μ., Η ποιότητα των υλικών εκβάθισης περιοχής του κεντρικού λιμένα Πειραιώς (τεχνική έκθεση για λογαριασμό του Οργανισμού Λιμένος Πειραιώς), Εθνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών, Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας, Αγ. Κοσμάς – Ελληνικό, Μάιος 1996.
- Κεβόρκ, Κ. Η., Στατιστικές Μέθοδοι, Τόμος 2, Ελληνική Λιθογραφία, Αθήνα 1985.
- Κονοφάγος, Κ. Η., Τα Αρχαία Λαύριο και η Ελληνική Τεχνική Παραγωγής του Αργύρου, Αθήνα 1980.
- Κορδέλλας, Α. Το Λαύριον, Βιβλιοθήκη της Εταιρείας Μελετών Λαυρεωτικής- αριθ. 6, Λαύριο 1993.
- Κορνήλιος, Σ., Βλαχώνης, Γ., Ντούνας, Κ. και Κουτσούμπας, Δ., Κατανομή υδρογονανθράκων και βαρέων μετάλλων στη λιμνοθάλασσα της Γιάλοβας και στον κόλπο του Ναυαρίνου, Ιόνιο πέλαγος, Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, τόμος Ι, σελ. 475-476, 1997.
- Μαράτος, Γ.Ν., Γεωλογία της Ελλάδος, Γεωτεχνικών Γραφείων ΓΕ.ΜΕΛ.ΕΠ., Αθήνα 1972.
- Μαρίνος Γ., - Petrascheck W., «ΛΑΥΡΙΟΝ» - Ι.Γ.Ε.Υ. Γεωλογικά και γεωφυσικά μελέται, τόμ. ΙV, αρ. 1, 1956.
- Μαρουλάκου, Μ., Lascourteges, J., Sprunar, J., Σακελλαριάδου, Φ., Donard, O. και Τσελέντης, Β., Θαλάσσιο περιβάλλον και ναυτία: Εκτίμηση της ρύπανσης από οργανοκασιτεριικές ενώσεις, Πρακτικά Ιου Συνεδρίου «Ελληνικές ακτές και θάλασσες το 2000», σελ. 181-194, Πειραιάς, 1996.

- Μαρουλάκου, Μ., Σακελλαριάδου, Φ. και Τσελέντης, Β., Προκαταρκτικά αποτελέσματα της συγκέντρωσης οργανοκασσιτερικών ενώσεων σε επιφανειακά ιζήματα από μαρίνες του Σαρωνικού κόλπου, Πρακτικά 5ου Πανελληνίου συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, σελ. 35-38, Καβάλα, Απρίλιος 1997.
- Μαυράκης, Α., Θεοχαράτος, Γ., Ασημακόπουλος, Δ. και Χρηστίδης Α., Η ρύπανση από βαριά μέταλλα και λάδια στα ιζήματα του κόλπου της Ελευσίνας, 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Χίος 23-26 Μαΐου 2000, Πρακτικά, τόμος Ι, σελ 183-188, 2000.
- Μεταλλευτικό Μουσείο Μήλου, Χημικοί τύποι ορυκτών, 2001.
- Μούσουλος, Λ., Μεταλλουργία του Νικελίου, ΕΜΠ, Αθήνα 1973.
- Μούσουλος, Λ., Μεταλλουργία Μολύβδου - Ψευδαργύρου - Καδμίου, ΕΜΠ, Αθήνα 1983.
- Μπορνόβας, Ι. Μ., Τα Φυσικά Μνημεία της Ελλάδας, Εκδόσεις Κάκτος, Αθήνα 1999.
- Μπούμης, Θ.Π., Μέθοδοι Αξιολογήσεως Επενδυτικών Σχεδίων (Θεωρία και Πράξη), Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα 1979.
- ΟΛΠ ΑΕ, Στατιστικό Δελτίο 1999-2000, Μάρτιος 2000.
- Παναγόπουλος, Κ. Ι., Εισαγωγή στη γεωστατιστική (σημειώσεις), ΕΜΠ, Αθήνα 1980.
- Παπαγεωργάκης, Ι. Ε., Εισαγωγή εις την τεκτονικήν και εις την ανάγνωσιν γεωλογικών χαρτών (θεωρία και ασκήσεις προς χρίσιν των σπουδαστών του ΕΜΠ, Αθήναι 1969.
- Παπαγεωργάκης, Ι. Ε., Γενική Κοιτασματολογία, ΕΜΠ, Αθήναι 1978.
- Παπαδέας, Δ.Γ., Γεωλογικός χάρτης της Αττικής, ΙΓΜΕ, 2003α.
- Παπαδέας, Δ.Γ., Επεξηγηματική μελέτη του γεωλογικού χάρτη της Αττικής, ΙΓΜΕ, 2003β.
- Πάρης, Ε., Ντάκος, Κ. και Μπεργελές, Γ., Αριθμητική μελέτη διασποράς ρυπαντών στον κόλπο της Ελευσίνας, 2ο Συνέδριο Περιβαλλοντικής επιστήμης και Τεχνολογίας, σελ.443-452, Μόλυβος Μυτιλήνης Σεπ. 1991,.
- Ρόζη, Ε., Βαρέα Μέταλλα και Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες σε Θαλάσσια Ιζήματα - η Περίπτωση του Σαρωνικού Κόλπου (Διατριβή Ειδικεύσεως, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Ωκεανογραφίας Πανεπιστήμιου Αθηνών), Αθήνα 2001.
- Σαμανίδου, Β. Φ., Μελέτη Κατανομής Και Επαναδιάλυσης Βαρέων Μετάλλων σε Νερά και Ιζήματα Ποταμών της Βόρειας Ελλάδας, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημείας, Σχολή Θετικών Επιστημών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 1990.
- Σιμιτζής, Γ. Χ., Βασικές Αρχές Χημείας Πολυμερών (Διεργασίες Πολυμερισμού), ΕΜΠ, 1985.
- Σκληβάγκου, Ε., Κανιάς, Γ. και Βαρνάβας, Σ., Σπάνιες Γαίες σε ιζήματα του Σαρωνικού κόλπου, Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, τόμος Ι, σελ. 471-473, 1997.
- Σιούλα, Α., Αναγνώστου, Χ. και Kersten, Μ, Τα βαρέα μέταλλα στα σύγχρονα ιζήματα του κόλπου της Ελευσίνας ως δείκτης της ανθρωπογενούς επιβάρυνσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος της περιοχής, 2ο Συνέδριο Χημείας Ελλάδος και Κύπρου, Αθήνα 28 Σεπτ.-2 Οκτ. 1990, τόμος Α' (Χημεία και

Περιβάλλον, σελ. 280-285, 1990.

- Σκούλλος, Μ., και Δασενάκης, Μ., Ο χαλκός στο θαλάσσιο περιβάλλον, Πρακτικά του 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Χημείας, σελ. 222-333, Ιωάννινα 1982.
- Σκούλλος, Μ., Καμπανί, Σ., Σακελλαριάδου, Φ. και Δασενάκης, Μ., Προκαταρκτικά αποτελέσματα για την εξέλιξη των συγκεντρώσεων μετάλλων στον κόλπο της Ελευσίνας, Α' Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας, σελ. 339-344, Αθήνα 1984.
- Spieger, M. R., (μτφ. Περσιδης, Σ. Κ.) Πιθανότητες και Στατιστική (Schaum's Outline Series), McGraw-Hill, New York 1975, ΕΣΠ, Αθήνα 1977.
- Τζιαφέτας, Γ. Ν., Τυπολόγιον Θεωρίας Πιθανοτήτων και Στατιστικής, ΕΜΠ, Αθήνα 1978.
- Τσελέντης, Β. Σ., Περιγράμμα σημειώσεων για το μάθημα «Θαλάσσιο Περιβάλλον», Πειραιάς 2001.
- Τσόφλιας, Π., Γεωλογία της Ελλάδας (σημειώσεις), ΕΜΠ, 1976.
- Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού (ΥΥΠΝ), Λιμνή Λαυρίου (1:2.000), Νοέμβριος 1975.
- Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, Λιμνή Ραφήνας (1:2.000), Ιανουάριος 1977.
- Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, Σαρωνικός Κόλπος (1:100.000), Μάιος 1986.
- Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, Κόλπος Ελευσίνας (1:20.000), Σεπτέμβριος 1993.
- Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, Λιμένας Πειραιά και Βοηθητικοί Λιμένες του (1:5.000), Ιούνιος 1968, Νέα Έκδοση: Φεβρουάριος 1998.
- Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, Λιμενίσκος Ζέας μέχρι Α. Αιξωνή (1:15.000), Φεβρουάριος 2002, Νέα Έκδοση: Ιούνιος 2004 .
- Φούφα, Ε., Εξέλιξη των συγκεντρώσεων ιχνημετάλλων και μαγνητικών ιδιοτήτων σε ιζήματα του Σαρωνικού Κόλπου (Διατριβή Ειδίκευσης, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Ωκεανογραφίας Πανεπιστήμιου Αθηνών), Αθήνα 1993.
- Φραγκίσκος, Α., Η μελέτη του Εμπλουτισμού των Μεταλλευμάτων και Βιομηχανικών Ορυκτών, ΕΜΠ 1990.
- Φραγκίσκος, Α., Μελέτη και Κατασκευή Εργοστασίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων και Βιομηχανικών Ορυκτών, ΕΜΠ 2001.
- Φριλίγκος, Ν., Δαγρέ, Π., Ψυλλίδου, Ρ., Μπαρμπετσέας, Σ., Σουβερμέζογλου, Α. και Χατζηγεωργίου, Ε., Φυσικοχημικές παρατηρήσεις στο κόλπο της Ελευσίνας (1985), Β' Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Ε.Ι.Ε., Αθήνα 11-15 Μαΐου 1987, σελ. 110-121, ΕΚΘΕ 1987.
- Χαραλαμπίδης, Λ. και Σακελλαριάδου, Φ., Γεωχημικές μελέτες στον κόλπο της Ελευσίνας, 7ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, 6-9 Μαΐου 2003, Κρήτη, Α056, σελ. 314.

B. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Abood, K. A., Metzger, S. G. and Distant, D. F., Minimizing dredging disposal via sediment

- management in New York Harbor, *Estuaries*, volume 22, Issue 3B, pp. 763-769, 1999.
- Abramowitz, M., and Stegun, I., *Handbook of Mathematical Functions*, Dover Publications, New York, 1972.
 - Anagnostou, C., Kaberi, H. and Karageorgis, A., Environmental impact on the surface sediments of the bay and the gulf of Thessaloniki (Greece) according to the Geoaccumulation Index classification, in *Water Pollution IV, Modelling, Measuring and Prediction*, Rajar, R. and Brebbia, C. A. (eds.), pp. 269-275, 1998.
 - Angelidis, M. O. and Aloupi, M., Metals in Sediments of Rhodes Harbour, Greece, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 31, Nos 4-12, pp. 273-276, 1995.
 - Arnoux, A., Blanc, A., Jorajuria, X., Monod, J.L. and Tatossian, J., Etat actuel de la pollution sur les fonds du secteur de Cortiou (Marseille), p.459 *Proceedings of 5th Workshop in Marine Pollution.*, CIESM/PNUE, Lucerne, 11-13 October 1984, pp. p.459.
 - Aston, S. R. and Thornton, I., Regional geochemical data in relation to seasonal variation in water quality, *Sci. Total Environ.*, 7, pp. 247-260, 1977.
 - Åström, Mats, Partitioning of transition metals in oxidized and reduced zones of sulphide-bearing fine-grained sediments, *Applied Geochemistry*, Vol. 13, No. 5, pp. 607-617, 1998.
 - Banahan, K., Reclaiming Boston Harbor – the history, solution and initial outcome of the Boston Harbor Cleanup, *Journal of New England Water Environment Association*, Volume 34, Issue 2, pp. 190-199, November 2000.
 - Batki, H., Kucuksezgin, F. and Uslu, O., Trace metal distribution in different chemical fractions of marine sediments along the eastern Aegean shelf, *Toxicological and Environmental Chemistry*, Volume 70, Issue 1-2, pp. 243-258, May 1999.
 - Baudo, R. and Muntau, H., Lesser known in-place pollutants and diffuse source problems, Chap 1 in *Sediments: Chemistry and Toxicity of In-place Pollutants*, Baudo, R., Giesy, J. and Muntau, H. (eds.), Lewis Publishers, Michigan 1990.
 - Birch, G. and Taylor, S., Source metals in sediments of the Port Jackson estuary, Australia, *The Science of the Total Environment*, 227, pp. 123-138, 1999.
 - Birch, G. F., Robertson, E., Taylor, S. E. and McConchie, D. M., Use of sediments to detect human impact on the fluvial system, *Environmental geology*, 39 (9), pp. 1015-1028, July 2000.
 - Brannon, J. M., Rose, J. R., Engler, R. M. and Smit, J., The distribution of heavy metals in sediment fractions from Mobil Bay, Alabama, in *Chemistry of Marine Sediments*, Yen, T. F. (ed.), An Arbor Science, London 1977.
 - Breslin, V. T., and Sanudo – Wilhelmy, S. A., High spatial resolution sampling of metals in the sediment and water column in Port Jefferson Harbor, New York, *Estuaries*, volume 22, Issue 3A, pp. 669-680, 1999.

- Brewer, P. G., Minor Elements in Sea-water, Chap. 7 in Chemical Oceanography, Vol. 1, 2nd ed., Riley, J. P. and Skirrow, G. (eds.), Academic Press, New York 1975.
- Brezonik, P. L., King, S. O. and Mach, C. E., The influence of Water chemistry on trace metal bioavailability and toxicity to aquatic organisms, Chap 1 in Metal Ecotoxicology: Concepts & Applications, Newman, M. C. and McIntosh A. W. (eds.), Lewis Publishers, Michigan 1991.
- Briggs, I. C., Machine Contouring Using Minimum Curvature, Geophysics, v. 39, n. 1, p. 39-48, 1974.
- Britannica CD97, © by Encyclopaedia Britannica 1997.
- Brooke, J. P., Game theory applied to mineral exploration, Mining Congress Journal, Vol. 54, No. 12, pp. 27-33, pp.1968.
- Bruland, K., Bertine, K., Koide, M. and Goldberg, E., History of metal pollution in the Southern California coastal zone, Environ. Sci. Technol., 8, pp. 425-532, 1974.
- Bruland, K., Trace elements in sea-water, Chap 45 in Chemical Oceanography, Vol. 8, 2nd ed., Riley, J. P. and Chester, R. (eds.), Academic Press, New York 1983.
- Bryan, G. W., Heavy metal contamination in sea, in: Marine Pollution, Johnston, R. (ed.), Academic Press, pp. 185-302, London 1976.
- Burgess, M. R. and Scott, K. J., The significance of in-place contaminated marine sediments on the water column: processes and effects, Chap 7 in : Sediment Toxicity Assessment, Burton G. A. (ed.), Lewis Publishers, Michigan 1992 .
- Burggraaf, S, Wilkins, A. L., Langdon, A. G. and Kim, N. D., Heavy metals and organic hydrocarbons in sediments fro the Waikareoa estuary, Tauranga harbour, New Zealand, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 58, pp. 871-878, 1997.
- Campbell, P. G. C., Lewis, A. G., Chapman P. M., Crowder, A. A., Fletcher, W. K., Imber, B., Luoma, S. N., Stokes, P. M. and Winfrey, M., Biologically Available Metals in Sediments, National Research Council of Canada, Publ. No. NRCC 27694, Ottawa 1988.
- Campbell, P. G. C. and Tessier, A., Biological availability of metals in sediments: analytical approaches, Chap .5 in Heavy Metals in the Environment, Vernet, J. P. (ed), Elsevier Science Publishers, New York 1991.
- Carlson, R.E., and Foley, T.A., Radial Basis Interpolation Methods on Track Data, Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-JC-1074238, 1991a.
- Carlson, R.E., and Foley, T. A., The Parameter R2 in Multiquadric Interpolation, Computers Math. Applic, v. 21, n. 9, p. 29-42, 1991b.
- Chan, L. S., Yeung, C. H., Yim, W. W. S. and Or, O. L., Correlation between magnetic susceptibility and distribution of heavy metals in contaminated sea-floor sediments of Hong Kong Harbour, Environmental geology, 36 (1-2), pp. 145-152, November 1998.
- Chan, L. S., Ng, S. L., Davis, A. M., Yim, W. W. S. and Yeung, C. H., Magnetic properties and heavy-

- metal contents of contaminated seabed sediments of Penny's Bay, Hong Kong, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 42, Issue 7, pp. 569-583, July 2001.
- Chester, R. and Voutsinou, F., The initial assessment of trace metal pollution in coastal sediments, *Marine Pollution Bulletin*, 12, 84.
 - Conides, A. J. and Parpoura, A. R., A study of oil pollution effects on the ecology of a coastal lake ecosystem, *The Environmentalist*, 17, pp.297-306,1997.
 - Cotton, F. A. and Wilkinson, G., *Advanced Inorganic Chemistry*, 4th ed., J. Wiley & Sons, New York 1980.
 - Cressie, N. A. C., *The Origins of Kriging, Mathematical Geology*, v. 22, p. 239-252, 1990.
 - Cressie, N. A. C., *Statistics for Spatial Data*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1991.
 - Dassenakis, M., Degaita, A. and Scoullou, M., Trace metals in sediments of a Mediterranean estuary affected by human activities (Achelous river estuary, Greece), *The Science of the Total Environment* 168, pp. 19-31, 1995.
 - Dassenakis, M., Klounikiotou, M.A. and Pavlidou, S.A., The influence of long existing pollution on trace metal levels in a small tidal Mediterranean bay, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 32, No. 3, pp.275-282, 1996.
 - Dassenakis, M., Arsenikos, S., Botsou, F., Depiazi, G., Adrianos, H., Zaloumis P. and Drosis, J., General trends in marine pollution of the central part of Euvoikos Gulf, *Proceedings of the 6th International Conference on Environmental Science and Technology*, Samos 30 Aug – 2 Sep 1999, Vol. 2, pp. 108-115, 1999.
 - Dassenakis, M., Kapiris, K. and Pavlidou, A., The Aegean Sea, chapter 15 in *Seas at the Millenium: An Environmental Evaluation*, Volume I (Edited by C. Sheppard), Pergamon 2000.
 - David, M., *Geostatistical Ore Reserve Estimation*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York 1977.
 - Davies, O. L. (ed.), *The Design and Analysis of Industrial Experiments*, Oliver and Boyd, Edinburgh 1971.
 - Davis, J. A., *Complexation of trace metals by absorbed natural organic matter*, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, pp.679-691, 1984.
 - Davis, John C., *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley and Sons, New York, 1986.
 - Deelstra, Y., Nooteboom, S. G., Kohlmann, H, R., Van den Berg, J. and Innanen, S, Using knowledge for decision-making purposes in the context of large projects in the Netherlands, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 23, Issue 5, pp. 517 -541 August 2003.
 - De Kok, J. M. and Van der Meulen, A., Silt supply model for the Rotterdam harbour entrance, *Proceedings of International Conference on Computer Modelling of Seas and Coastal Regions*, COASTAL, pp. 401-411, 1997.

- Deutsch, C.V., and Journel, A. G., *GSLIB - Geostatistical Software Library and User's Guide*, Oxford University Press, New York, 1992.
- Dimitrakopoulos, R., Geostatistical simulations for the mining industry (risk assessment and profitability in ore reserves, grade control and mine planning, MPES 2000 seminar, 2000.
- Dinelli, E., Lucchici, F., Fabbri, M. and Cortecci, G., Metal distribution and environmental problems related to sulfide oxidation in the Libiola copper mine area (Ligurian Apennines, Italy), *Journal of Geochemical Exploration* Volume 74, Issues 1-3, pp.141-152, December 2001.
- Draper, N., and Smith, H., *Applied Regression Analysis*, second edition, Wiley-Interscience, 1981.
- Ergin, M., Bodur, M., Ediger, V., Yemenicioglu, S., Okyar, M. and Kubilay, N., Sources and dispersal of heavy metals in surface sediments along the eastern Aegean shelf, *Bolletino di Oceanologica Teorica ed Applicata* XI (1), pp 27-44, 1993.
- Fatoki, O. S. and Mathabatha, S., An assessment of heavy metal pollution in the East London and Port Elizabeth harbours, *Water SA*, Volume 27, Issue 2, pp. 233-240, 2001.
- Fergusson, J. E., *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact, and Health Effects*, Pergamon Press, New York 1990.
- Förstner, U. and Patchineelam, S. R., Chemical associations of heavy metals in marine deposits with special reference to pollution in the German North Sea, *Rapp. P-v., Reun. Cons. Int. Explor, Mer*, 181, pp. 49-58, 1981.
- Förstner, U. and Stoffers, P., Chemical fractionation of transition elements in Pacific pelagic sediments, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, pp. 1141-1146, 1981.
- Förstner, U. and Wittmann, G. T. W., *Metal Pollution in the Aquatic Environment*, 2nd ed., Springer Verlag, Berlin 1983.
- Franke, R., and Nielson, G., Smooth Interpolation of Large Sets of Scattered Data, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, v. 15, p. 1691-1704, 1980.
- Franke, R., Scattered Data Interpolation: Test of Some Methods, *Mathematics of Computations*, v. 33, n. 157, p. 181-200, 1982.
- Gentry, D. W. and O'Neil, T. J., *Mine Investment Analysis*, SME - AIME, 1984.
- Gibbs, R. J., Transport phases of transition metals in the Amazon and Yukon river, *Bull. Geol. Soc. America*, 88, pp. 829-843, 1977.
- Guevara-Riba, A., Sahuquillo, A., Rubio, R. and Rauret, G., Assessment of metal mobility in dredged harbour sediments from Barcelona, Spain, *Science of the Total Environment*, Volume 321, Issue 1-3, pp. 241-255, 5 April 2004.
- Guerzoni, S., Transport of trace metals by sedimentation in the Adriatic sea: a case study, Transport of pollutants by sedimentation (collected papers from the first Mediterranean workshop), pp.161-181, UNEP, Athens 1990.

- Guerzoni, S., Ravaiolo, M., Rovatti, G. and Suman, O. D., Comparison of 210-Pb trace metals (Hg, Pb, Cu, Cr) profiles and river discharge in a core off the delta Po dalla Pila river mouth, Italy, Proceedings of 7th Workshop in Marine Pollution., CIESM/PNUE, Lucerne, 11-13 October 1984, pp.303-307.
- Guibas, L., and J. Stolfi, Primitives for the Manipulation of General Subdivisions and the Computation of Voronoi Diagrams, ACM Transactions on Graphics, v. 4, n. 2, p. 74-123, 1985.
- Gupta, S. K. and Chen, K. Y., Partitioning of trace metals in selective chemical fractions of near shore sediments, Environ. Letters, 10, pp. 129-138, 1975.
- Hamer, K. and Karius, V., Brick production with dredged harbour sediments. An industrial-scale experiment, Waste Management, Volume 22, Issue 5, pp. 521-530, August 2002.
- Harbaugh, J. W. and Merriam, D. F., Computer Application in Stratigraphic Analysis, John Wiley, New York, 1968.
- Hazen, S. W. and Meyer, W. L., Using probability models as basis for making decisions during mineral deposit explorations, R.I. 6778, U.S. Bureau of Mines, 1966.
- He, Z. and Morrison, R. J., Changes in the Marine Environment of Port Kembla harbour, NSW, Australia, 1975-1995: a review, Marine Pollution Bulletin, Volume 42, Issue 3, pp. 193-201, 2001.
- Heikell, R., Greek Waters Pilot, Imray Laurie Norie & Wilson Ltd, Wych House, St Ives, Huntington, Cambridgeshire 2001.
- Horowitz, A. J., A Primer on Sediment – Trace Element Chemistry, 2nd ed., Lewis Publishers, Michigan 1991.
- Hu, K., Mingham, C. G. and Causon, D. M., Numerical simulations of tidal induced circulation and waves in harbours, Proceedings of International Conference on Computer Modelling of Seas and Coastal Regions, COASTAL, pp. 325-334, 1997.
- Irvine, I. and Birch, G. F., Distribution of heavy metals in surficial sediments of Port Jackson, Sydney, New South Wales, Australian Journal of Earth Sciences, Volume 45, Issue 2, pp. 297-304, 1998.
- Isaaks, E. H., and Srivastava, R. M., An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, New York, 1989.
- Isakson, J., Persson, T. A. and Lindgren, E. S., Identification and assessment of ship emissions and their effects in the harbour of Göteborg, Sweden, Atmospheric Environment, Volume 35, Issue 21, pp. 3659-3666, July 2001.
- Jackson, M. L., Soil Chemical Analysis, Prentice Hall Pub. Co., Englewood Cliffs, N. Jersey 1958.
- Journel, A.G., and Huijbregts, C., Mining Geostatistics, Academic Press, 1978.
- Journel, A.G., Fundamentals of Geostatistics in Five Lessons, American Geophysical Union, Washington D.C., 1989.
- Kaczmarek, L. M. and Ostrowski, R., Sediment transport model and its applications for assessment of sedimentation in navigable channels, Coastal Dynamics – Proceedings of the International Conference,

pp. 923-932, 1997.

- Karageorgis, A., Anagnostou, X., Sioulas, A., Chronis, G. and Papatthanassiou, E., Sediment geochemistry and mineralogy in Milos bay, SW Kyklades, Aegean Sea, Greece, *Journal of Marine Systems*, 16, pp. 269-281, 1998.
- Karavoltos, S., Dassenakis, M. and Scoullou, M., Monitoring of lead, copper and zinc from land base sources in the Gulf of Elefsis, 6th International Conference on Environmental Science and Technology, Pythagorion, Samos, Greece 30/8-2/9/99, pp.124-131, 1999.
- Katz, A. and Kaplan, I. R., Heavy metals behavior in coastal sediments of southern California. A critical review and synthesis, *Mar. Chem.*, 10(4), p.261, 1981.
- Kirkaldy, J. F., *Minerals and Rocks in colour*, Blandford Press, London 1963 (rep. 1973).
- Krige, D.G., Computer applications in investment analysis, ore valuation and planning for the Prieska copper mine, *Proceedings, SME/AIME, 11th APCOM Symp.*, Tuscon, pp. G31-G47, 1973.
- Krige, D.G., A review of development of Geostatistics in South Africa, in *Advanced Geostatistics in the Mining Industry*, Guarascio, M., David, M. and Huijbregt (eds.). Reidel, Dordrecht, Netherlands, pp.279-294, 1976.
- Krige, D.G. and Rendu, J. M., The fitting of contour surfaces to hanging and footwall data for irregular orebody, *Proceedings 13th APCOM Symp.*, Clausthal, pp. CV1-CV12, 1975.
- Krishnaswamy, S., Lal, D., Martin, J. M. and Meybeck, M., Geochronology of lake sediments, *Earth Planet. Sci. Letters*, 11, pp.407-414, 1971.
- LAGA, Cooperation of the German federal authorities on waste. Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen; 5th September 1995, Erich Schmidt-Verlag, Berlin (1996).
- Lawson, C. L., Software for C1 surface interpolation, in *Mathematical Software III*, J. Rice (ed.), Academic Press, New York, p. 161-193, 1977.
- Lee, D. T., and Schachter, B. J., Two Algorithms for Constructing a Delaunay Triangulation, *International Journal of Computer and Information Sciences*, v. 9, n. 3, p. 219-242, 1980.
- Loring, D. H. and Rantala, R. T. T., Manual for the geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter, *Earth Sci. Rev.*, 32, pp. 235-283, 1992.
- Lustig, I. K., Trend – surface analysis of the Basin and Range Province, and some geomorphic implications, Prof. Paper 500-D, U.S. Geological Survey, 1969.
- Manheim, F. T., Buchholtz ten Brink, M. R. and Mecray, E. L., Recovery and validation of historical sediment quality data from coastal and estuarine areas: an integrated approach, *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 64, Issue 1-2 Part 1, pp. 377-393, November 1999.
- Marqués, M. J., Martínez - Conde, E., Rovira, J. V. and Ordóñez, S., Heavy metals pollution of aquatic ecosystems in the vicinity of a recently closed underground lead – zinc mine (Basque Country, Spain),

Environmental Geology, 40 (9), pp.1125-1137, August 2001.

- Mason, C. F., Biology of Freshwater Pollution, 2nd ed., J. Wiley & Sons, New York 1991.
- Mason, R. P., Kim. E. H. and Cornwell, J., Metal accumulation in Baltimore harbour: current and past inputs, Applied Geochemistry, corrected proof, av. on line May 4 2004 (in press).
- Mälkki, M., on the leachability and sources of some elements in sediments from the Bothnian Sea and the Gotland Deep (the Baltic Sea), Chemosphere 44, pp. 637-642, 2001.
- Meegoda, J. M. and Perera, R., Ultrasound to decontaminate heavy metals in dredged sediments, Journal of Hazardous Materials, Volume 85, Issues 1-2, pp. 73-89, 30 July 2001.
- McCracken, D. D. and Dorn, W. S., Numerical Methods and FORTRAN Programming, John Wiley, New York, 1965.
- Metwally, M. E. S., Al-Muzaini, S., Jacob, P. G., Bahloul, M., Urusigawa, Y., Sato, S. and Matsumura, A., Petroleum hydrocarbons and related heavy metals in the near-shore marine sediments of Kuwait, Environmental International, Vol. 23, No. 1, pp. 115-121, 1997.
- Microsoft Encarta Atlas (CD), Microsoft Co. 1998
- Microsoft AutoRoute (CD), Microsoft Co. 2002
- Millero, F. J. and Sohn, M. L., Chemical Oceanography, CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London 1992.
- Muohi, A. W., Onyari, J. M., Omondi, J. G. and Mavuti, K. M., Heavy metals in sediments from Makupa and Port- Reitz Creek systems: Kenyan Coast, Environment International, Volume 28, Issue 7, pp. 639-647, January 2003.
- Müller, J., Ruppert, H., Muramatsu, Y. and Schneider, J., Reservoir sediments – a witness of mining and industrial development (Malter Reservoir, eastern Germany), Environmental Geology, 39 (12), pp.1341-1351, November 2000.
- National Technical University of Athens (NTUA), Chapter 2: Evaluation of the environmental Problem, in Vol. 3: Environmental Characterization of Lavrion Site – Development of Remediation Techniques, Soil Rehabilitation in the Municipality of Lavrion, LIFE Project, Contract No: 93/GR/A/GR/4567, 1999.
- Nembrini, G. P., Rarin, F., Garcia, J. I. and Förstner, U., Speciation of Fe and Mn in a sediment core of the Baie de Villefrance (Mediterranean Sea, France), Environ. Technol. Lett, 3, pp. 545-552, 1983.
- Nieboer, E., and Richardson, D. H. S., The replacement of the nondescript term "heavy metals" by a biologically and chemically significant classification of metal ions, Environ. Pollut. Ser. B, 1, pp 3-10, 1980.
- Nissenbaum, A., Distribution of several metals in chemical fractionation of a sediment core from the Sea of Okhotsk, Israel J. Earth Sci., 21, pp. 143-154, 1972.
- Oschenkühn, K. M. and Grimanis, A. P., Investigations of the elements Cr, Co, Fe, Sc and Zn in the particulated matter of the marine environment of the Saronikos and Elefsina Gulf, Fresenius Envir. Bull 1

(Supplementum), pp. S104-S109, 1992.

- Orlić I. and Tang, S. M., Elemental depth profiles in marine sediments of Singapore coastal waters, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research , Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 150, Issues 1-4, Pages 291-297, 2 April 1999.
- Paipai E., Guidelines for Port Environmental Management, Report SR554, H.R. Wallingford, DETR, 1999.
- Papakostidis, G., Grimanis, A. P., Zafeiropoulos, D., Griggs, G. B. and Hopkins, T. S., Heavy Metals in Sediments from the Athens Sewage Outfall Area, Marine Pollution Bulletin, vol. 6, No.9, pp.136-139, Sep. 1975a.
- Papakostidis, G., Griggs, G. B., Grimanis, A. P., Hopkins, T. S. and Zafeiropoulos, D., The distribution of heavy metals in bottom sediments in the vicinity of the Athens sewage outfall, Rapp. Comm. Int. Mer. Médit., 23, 4a, pp.289-293, 1975b.
- Pardali, A. and Sakellariadou, F., Economic and environmental impacts from the operation of marinas: the Greek case, International Conference PORTS 200, 27-29 Sept Barcelona, published in Maritime Engineering and Ports 2, Brebbia, C., A. and Olivella, J., pp. 119-129, WIT Press 2000.
- Payne, A.L., (senior editor) Exploration of Mineral Deposits, Chap 5 in "Mining Engineering Handbook", Cummins, A.B. and Given I.A. (eds.), pp.,5/77-5/83 SME of AIME, New York 1973.
- Peters, W. C., Sumner, J. S. and Sturgul, J. R., Computer applications in exploration, in Chap 5, Exploration of Mineral Deposits Payne, A.L., (senior editor) in "Mining Engineering Handbook", Cummins, A.B. and Given I.A. (eds.), pp.,5/77-5/83 SME of AIME, New York 1973.
- Pilotto, P. J., Goff, J. R. and Weatherburn, D. C., A contemporary contamination record of stormdrain and harbour sediments, Wellington, New Zealand, Environmental geology, 36 (1-2), pp. 159-166, November 1998.
- Pilotto, P. J., Goff, J. R. and Weatherburn, D. C., Acid leached analyses off stormdrain and harbor sediments, New Zealand, Environmental geology, 37 (1-2), pp. 145-152, January 1999.
- Pohl, C. and Hennings U., The effect of redox processes on the partitioning of Cd, Pb, Cu and Mn between dissolved and particulate phases in the Baltic Sea, Marine Chemistry, 65, pp. 41-53, 1999.
- Polyák, K. and Hlavay, J., Environmental mobility of trace metals in sediments collected in the Lake Balaton, Fresenius J. Anal. Chem. 363, pp. 587-593, 1999.
- Pontee, N. I., Cooper, W. S. and Hannam, M. D., The modelling requirements for port developments – today and tomorrow, Dock and Harbour Authority, Volume 80, Issue 901, pp.87-89, 2000.
- Powell, M.J.D., The Theory of Radial Basis Function Approximation in 1990, University of Cambridge Numerical Analysis Reports, DAMTP 1990/NA11, 1990.
- Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A., and Vetterling, W.T., Numerical Recipes in C, Cambridge University Press, 1988.

- Pruszkowska, E and Barrett, P., Determination of As, Se, Cr, Co and Ni in geochemical samples using the stabilized Temperature Platform Furnace and Zeeman background correction, *Spectrochim. Acta*, 39B, pp. 485-491, 1984.
- Quevauviller, P., Rauret, G., Griepink, B., Conclusions of the workshop: Single and sequential extraction in sediments, *Int. J. Env. Anal. Chem*, Vol 51(14), pp.231-235, 1993.
- Rao, K. V. and Rao, N. S., Composition of dredged spoils of Indian harbours: Part I – heavy metals, *The Science of the Total Environment*, 207, pp.13-19, 1997.
- Renka, R. J., Multivariate Interpolation of Large Sets of Scattered Data, *ACM Transaction on Mathematical Software*, v. 14, n. 2, p. 139-148, 1988.
- Ridgway, I. M. and Price, N. B., Geochemical associations and postpositional mobility of heavy metals in coastal sediments: Loch Etive, Scotland, *Mar. Chem.*, 21, pp. 229-248, 1987.
- Riley, J. P. and Chester, R., *Introduction to Marine Chemistry*, Academic Press, London 1971.
- Rudge, I. C., *Mining Economics and Strategy*, SME - AIME, 1998.
- Saad, M., A., N., El-Rayyis, O., A. and El-Nady, F., E., Occurrence of some trace metals in bottom deposits from Abu Qir Bay, Egypt, *Journ. Etud. Pollut. CIESM*, 5, pp. 555-560, 1981.
- Salomons, W. and Förstner, U., *Metals in the Hydrocycle*, Springer, New York 1984.
- Sakellariadou, F., *Geochemistry of nearshore sediments from the North Aegean Sea, Greece*, Ph.D Thesis, Imperial College, University of London, London, U.K., 1987.
- Sakellariadou, F., Dassenakis, M., Michailidou, L. and Haralambides, L., Metal pollution in Piraeus port, a major Mediterranean port, Abstract book of the 10th International Symposium of MESAEP on "Environmental pollution and its impacts on life in the Mediterranean region", 2-6 October, Alicante, Spain, p.120, 1999.
- Sakellariadou, F., Haralambides, L. and Maroulakou, M., Geochemical investigations in sediment samples collected from the ports of Lavrio and Rafina, East Attiki, *Proc. 5th International Conference on Environmental Pollution, Thessaloniki – Greece*, pp. 741-748, 2000.
- Sakellariadou, F., Dassenakis, M., Michailidou, L. and Haralambides, L., Metal pollution in Piraeus port, a major Mediterranean port, *Fresenius environmental Bulletin*, vol. 10, no 1, pp. 73-79, 2001.
- Sakellariadou, F., Haralambides, L. and Dassenakis, M., Metal partitioning in Piraeus port sediments, *Proc 36th CIESM Congress, Monte Carlo- Monaco*, Vol.36, p.161, 2001.
- Sakellariadou, F., and Haralambides, L., Geochemical investigations in sediments collected from the Milos island bay, *Book of Abstracts of the 1st Scientific Conference "Oceanographic Aspects for a Sustainable Mediterranean"*, Athens 27-29/9/2002, p.25, 2002.
- Sakellariadou, F., and Haralambides, L., Lead, zinc, copper and iron partitioning spatial distribution in Lavrio port sediments, *Proc 37th CIESM Congress, Bcelona-Spain*, Vol.37, p.239, 2004.
- Sakellariadou, F., and Haralambides, L., Metal partitioning in Rafina port sediments, 20th International

Annual Port Conference, 11-13 Jan 2004, Alexandria (Egypt) 2004.

- Sakellariadou, F., and Haralambides, L., Metal partitioning in Rafina and Lavrio port sediments, *The Cyprus Journal of Science and Technology*, published by the Frederick Research Centre, No 4, pp. 109-117, 2003.
- Sakellariadou, F., and Haralambides, L., Metal partitioning spatial distribution in Elefsis bay sediments (2004, in press).
- Schell, R. W. and Nevissi, A., Heavy metals from waste disposal in Central Puget Sound, *Environ. Sci. Technol.*, 11, pp. 887-893, 1977.
- Scoullou, M. J., An Assessment of the state of marine pollution in the Elefsis Bay, *Atti del Convegno Internazionale I Parchi Costieri Mediteranei*, Salerno Castellabate, 18 – 22 Giugno 1973, Regione Campania Assessorato per il Turismo, 1973.
- Scoullou, M., Chemical studies of the Gulf of Elefsis, Greece, Ph.D. Thesis, Dept. of Oceanography, University of Liverpool; 1979.
- Scoullou, M. J., Zinc in Seawater and Sediments (of the Gulf of Elefsis, Greece), *Water, Air and Soil Pollution* 16, pp.187-207, 1981.
- Scoullou, M. J., Trace metals in a landlocked intermittently anoxic basin, in "Trace Metals in Sea Water", Wong, C. S. Boyle, E., Bruland, K. W., Burton, J. D. and Goldberg, E. (eds.), pp. 351-366, Plenum Press, New York and London 1983.
- Scoullou, M. and Dassenakis, M., Trace metals in suspended particles and sediments of the central and eastern Aegean sea, *Second International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region*, Iraklio, Crete, 1983.
- Scoullou, M. and Oldfield, F., Mineral magnetic studies for a pollution monitoring of marine and estuarine sediments, *VIIes Journées Étud. Pollutions*, Lucerne, CIESM (1984).
- Scoullou, M. J., Lead in coastal sediments: The case of the Elefsis Gulf, Greece, *The Science of the Total Environment*, 49, pp. 199-219, 1986.
- Scoullou, M. and Constantianos V., Assessment of the state of pollution of the Mediterranean sea by zinc, copper and their compounds, *MAP Technical report Series No. 105*, UNEP, Athens, 1996.
- Sharaf El Din, S. H. and Mahar, A. M., Evaluation of sediment transport along the Nile Delta coast, Egypt, *Journal of Coastal Research*, Volume 13, Issue 1, pp. 23-26, 1997.
- Shepard, D., A two dimensional interpolation function for irregularly spaced data, *Proc. 23rd Nat. Conf. ACM*, p. 517-523, 1968.
- Sholkovitz, E. R. and Copland, D., The coagulation, solubility and absorption properties of Fe, Mn, Cu, Ni, Cd, Co and humic acids in river water, *Geochim. Cosmochim. Acta* 45, pp.181-190, 1981.
- Shumilin, E. N., Anikiev, V. V., Goryachev, N. A., Kassatkina, A. P. and Fazlullin, S. M., Estimation of the role of biogeochemical barriers in trace metal migration in the river – sea system, *Mar. Chem.*, 43, pp.

- Sibson, R., "A Vector Identity for the Dirichlet Tessilation, *Math. Proc. Cambridge Phil. Soc.*, v. 87, p. 151-155, 1980.
- Sibson, R., A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation, Interpreting Multivariate Data, V. Barnett editor, John Wiley and Sons, New York, p. 21-36, 1981.
- Singh, M., Heavy metal pollution in freshly deposited sediments of the Yamuna River (the Ganges River tributary): a case study from Delhi and Agra urban centres, India, *Environmental geology*, 40 (6), pp. 664-671, March 2001.
- Sirinavin, W., Turner, D. R., Westerlund, S. and Kanatharana P., Trace metals study in the Outer Songkla Lake, Thale Sap Songkla, a southern Thai estuary, *Marine Chemistry*, 62, pp. 175-183, 1998.
- Slavina, W., Graphite furnace AAS for biological materials, *Sci. Total Environ.*, 71, pp. 17-35, 1988.
- Smith, W. H. F., and Wessel, P., Gridding with Continuous Curvature Splines in Tension, *Geophysics*, v. 55, n. 3, p. 293-305, 1990.
- Sorrel C. A. and Sandstrom G. F., *The rocks & minerals of the World*, Collins, St James's Place, London 1973 (rep. 1978).
- Stengar, P., Vukadin, I., Smodis, B., Vakselj, A. and Prosenec, A., Trace elements in sediments and organisms from Kastela Bay, *Journ. Etud. Pollut. CIESM*, 5, pp. 595-600, 1981.
- Stephenson, T., Sources of heavy metals in wastewater, Chap. 2 in: *Heavy metals in wastewater and sludge treatment processes*, Vol. 1: Sources, Analysis and Legislation, Lester, J. N. (ed.), CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, 1987.
- Storrar, C. D., *South African Mine Valuation*, Chamber of Mines of South Africa, 1981.
- Stumm, W. and Morgan, J. J., *Aquatic Chemistry*, Wiley & Sons, N. York 1970.
- Surfer 7 (CD), © by Golden Software Inc., 1999.
- Surfer 8 (CD), © by Golden Software Inc., 2002.
- Tanner, P. A., Leong, L. S., Pan, S. M. and Yu, Z., Mossbauer study of sediment cores from Victoria harbour, Hong Kong, *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 53, Issue 6, pp. 1017-1021, 15 December 2000.
- Tessier, A., Campbell, G.C and Bisson, M., Sequential extraction procedure of the speciation of particulate trace metals, *Anal. Chem.*, Vol 51(7), pp.844-850, 1979.
- The Piraeus Port Authority, *The port of Piraeus, Handbook & Directory 1999-2000*, 1999.
- Thompson, M. and Walsh, J. N., *A Handbook of Inductively Coupled Plasma Spectroscopy*, Blackie and Son Ltd, 1983
- Tipping, E., The absorption of aquatic substances by iron oxides, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, pp. 191-200, 1981.
- Tselentis, B. S., and E.S. Tzannatos, E. S., Butyltin compounds in coastal sediments of areas associated

- with maritime facilities in Greece, *Fresenius Environmental Bulletin* 9, pp. 499-507, 2000.
- Tselentis, B. S., Maroulakou, M., Lascourreges, J. F., Szpunar, J., Smith, V., Sakellariadou F. and Donard, O.F.X. Organotins in sediments and biological tissues from Greek coastal areas : preliminary results” *Marine Pollution Bulletin*, 38 (2), pp.146-152, 1999.
 - Turekian, K. K., *Geochemical distribution of elements*, in : *Encyclopedia of Science and Technology*, 7th ed., McGraw-Hill, New York 1977
 - Tyson, J. F., A critical look at calibration procedures for flame atomic absorption spectrometry, *Analyst*, 109, pp. 313-317, 1984.
 - UNEP, *Reference Methods for Marine Pollution Studies*, Report no 31-39, 1985.
 - UNEP, *State of the Mediterranean marine environment*, MAP Technical Reports Series No. 28, Athens 1989.
 - UNEP (Jefic, L.), *State of the marine environment in the Mediterranean region* MAP Technical Reports Series No. 28, 1990.
 - Ure, A. M., Queeuvauviller, P., Muntau, H. and Griepink, B., *Speciation in heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BRC of the Commission of the European Communities*, *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, 51, pp. 135-151, 1993.
 - Uysal, H. and Tuncer, S., A comparison study on the heavy metal concentrations in some fish species and in the sediments from Izmir Bay, , *Journ. Etud. Pollut. CIESM*, 7, pp. 275-283, 1985.
 - Vaghar, S., Donovan, J., Dobosz, K. and Clary, J, *Treatment and stabilization of dredged harbor bottom sediments; Central Artery / Tunnel Project, Massachusetts, Dredging and Management of Dredged Material; Geotechnical Special Publication*, pp. 105-121, 1997.
 - Van der Meulen, A., De Kok, J. M. and Wang, Z. B., *Modelling the siltation in the Rotterdam harbour area*, *Oceans Conference Record (IEEE)*, Volume 3, pp. 1531-1534, 1998.
 - Van Loon, J. C., *Selected Methods of Trace Metals Analysis – Biological and Environmental Samples*, J. Wiley & Sons, N. York 1985.
 - Van Valin, R. and Morse, J. W., An investigation of methods commonly used for the selective removal and characterization of trace metals in sediments, *Marine Chemistry*, vol 11 (6), pp. 535-564, 1982.
 - Varnavas, S. P., and Ferentinos, S., *Heavy metal distribution in the surface sediments of Patraikos Gulf, Greece*, *Proceedings of 6th Workshop in Marine Pollution.*, CIESM/PNUE, Cannes, , pp.405-409.
 - Vogely, W. A. (ed.), Stone, C. S. and Newcomb, R. T., *Economics of the Mineral Industries*, SME-AIME, 4th edition, 1985.
 - Voutsinou – Taliadouri, F., *Metal Pollution in the Saronikos Gulf*, *Marine Pollution Bulletin*, Vol.12, No. 5, pp.163-168, 1981.
 - Voutsinou – Taliadouri, F., *Metal concentration in polluted and unpolluted Greek sediments: a*

- comparative study, *Vies Jour. Etud. Pollutions*, Cannes, CIESM, pp. 329-333, 1982.
- Voutsinou – Taliadouri, F., and Satmadjis, J., Trace metals in the Pagassitikos Gulf, Greece, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15, pp. 221-228, 1982.
 - Voutsinou – Taliadouri, F., Georgakopoulou-Grigoriadou E. and Fragoudaki, S., Trace metal pollution in surface sediments of the Gulf of Elefsis, Greece, *Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας*, σελ. 99-108, 1987.
 - Voutsinou – Taliadouri, F., and Georgakopoulou-Grigoriadou E., Heavy metal concentrations in surface sediments from Pagassitikos Gulf, Greece, *Toxicological and Environmental Chemistry*, Vols 20-21, pp. 53-58, 1989.
 - Voutsinou – Taliadouri, F. and Balopoulos, E., Geochemical and water flow features in a semienclosed embayment of the western Aegean Sea (Pagassitikos Gulf) and physical oceanographic and geochemical conditions in Thermaikos Bay (Northwestern Aegean, Greece), *Water Science and Technology* 21 (12), 188.
 - Voutsinou – Taliadouri F., Satmadjis, J. and Iatridis, B., Impact of Athens sewage and industrial discharge on the metal content of sediments from Piraeus harbour and Elefsis Bay, *Rev Int. Océanogr. Méd.*, Tomes LXXXIII-LXXXIV, pp. 31-45, 1989.
 - Voutsinou – Taliadouri F., and Bogdanos, C., Man iduced effects on the seabottom of a shallow land-locked basin (Elefsis Bay, Greece), *Fresenius Envir. Bull* !, pp.638-643, 1992.
 - Watson, Dave, Nngridr - An Implementation of Natural Neighbor Interpolation, David Watson, P.O. Box 734, Clarement, WA 6010, Australia, 1994.
 - Weiss, A., Mathematical techniques and computer application as incorporated in exploration, development and mining systems, 5th Ann. Symp. On Computer Applications in the Mineral Industry, pp.S3-W25, Univ. of Arizona, 1965.
 - Wells, J. H., Special exploration techniques – placer deposits, , in Chap 5, Exploration of Mineral Deposits, Payne, A.L, (senior editor) in “Mining Engineering Handbook”, Cummins, A.B. and Given I.A.(eds.), pp.5/44-5/50, SME of AIME, New York 1973.
 - Wen, X. and Allen, H. E., Mobilization of heavy metals from Le An River sediment, *The Science of Total Environment* 227, pp. 101-108, 1999.
 - Whitten, D. G. A. with Brooks J. R. V., *The Penguin Dictionary of Geology*, Penguin Books 1972, rep. 1978.
 - Wiese, S. B. O., Emmerson, R. H. C., Macleod, C. L. and Lester, J. N., Trends in the solid phase partitioning of metals in the Thames Estuary sediments during recent decades, *Estuaries*, Volume 20, Issue 3, pp. 494-503, 1997.
 - Wood, J. M. and Golgberg, E. D., Impact of metals in the Biosphere, in: *Global Chemical Cycles and their Alteration by Man*, Stumm, W. (ed.), Dahlem Konferenzen, Berlin 1977.

- Wooldridge, C. F., Environmental auditing of port and harbour operations, The Dock and Harbour Authority, Dec/Jan, pp.180-183, 1998.
- Wooldridge, C. F. McMullen, C. and Howe, V., Environmental management of ports and Harbours: Implementation of policy through scientific monitoring, Marine Policy, 23 (4-5), pp. 413-425, 1999.
- Wooldridge, C. F. and Tselentis, B. S., Environmental management of port operations – the ports sector’s response to the European dimension, Maritime Engineering and Ports, ed G. Sciotto and C.A. Brebbia, WIT Press, pp. 227 – 242, 1999.
- Yin, J., Falconer, R. A., Chen, Y. and Probert, S D., Water and sediment movements in harbours, Applied Energy, 67, pp. 341-352, 2000.
- Yuan, Y., Hall, K. and Oldham, C., A preliminary model for predicting heavy metal contaminant loading from an urban catchment, The Science of the Total Environment, 266, pp. 299-307, 2001.
- Zago, C., Giblin, A. E. and Bergamasco, A, Changes in the metal content of surficial sediments of Boston Harbor since the cessation of sludge discharge, Marine Environmental Research, Volume 51, Issue 5, pp. 389-415, June 2001.
- Zoumis, T., Schmidt, A., Grigorova, L. and Calmano, W., Contaminants in sediments: remobilisation and demobilisation, The Science of the Total Environment 226, pp.195-292, 2001.

Γ. ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ (SITES)

- <http://hjs.geol.uib.no/hsense/>: Δικτυακός τόπος της ΕΕ για την χρήση προβλέψεων που γίνονται με μοντέλα ιζηματογένεσης για διαχείριση λιμενικών δραστηριοτήτων.
- www.greenpeace.gr: Ο δικτυακός τόπος του Ελληνικού τμήματος της Greenpeace, πληροφορίες και ανταλλαγή απόψεων για το περιβάλλον.
- www.greenpeace.org: Ο δικτυακός τόπος της Greenpeace, πληροφορίες και ανταλλαγή απόψεων για το περιβάλλον.
- www.igme.gr: Ο δικτυακός τόπος του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.
- www.in.gr: Δικτυακός τόπος ειδήσεων.
- www.maporama.com: Χάρτες για ολόκληρο τον κόσμο με δυνατότητα αντιγραφής.
- www.olp.gr: Ο δικτυακός τόπος του Οργανισμού Λιμένος Πειραιώς (ΟΛΠ).
- www.thrasiopedio.gr: Ο δικτυακός τόπος των δήμων του Θριασίου Πεδίου.
- www.yen.gr: Ο δικτυακός τόπος του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας. Πληροφορίες για όλα τα λιμάνια, τις μαρίνες, τους λιμενίσκους, και τους όρμους της Ελλάδας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

- Έγγραφα WORD:

1. *Syntelestes_Sysxetisis*: Όλοι οι συντελεστές συσχέτισης και τα $t_{\text{πειρ}}$ (Student)
2. *Geologikes_Tomes_Attikis*: Γεωλογικές τομές της Αττικής
3. *Geologikos_Xartis_Attikis*: Γεωλογικός χάρτης της Αττικής
4. *Tectonic_Zones_Greece*: Οι γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας.

- Folders:

1. *METRHSEIS*: Όλες οι μετρήσεις για τα επιφανειακά δείγματα σε φύλλα EXCEL
2. *SYSXETISEIS*: Όλες οι συσχετίσεις σε φύλλα EXCEL
3. *PYRHNES*: Όλες οι μετρήσεις και συσχετίσεις για τους πυρήνες σε φύλλα EXCEL
4. *MODELS*: Όλα τα μοντέλα για κάθε λιμάνι και κάθε μέταλλο σε φύλλα EXCEL
5. *ISOXHMIKOI_XARTES*: Όλοι οι ισοπεριεκτικοί χάρτες, προσβάσιμοι με Windows Picture and Fax Viewer