



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΥ
ΠΡΟΚΛΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ ΤΟΥ
ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΟΥ «SEA DIAMOND» ΣΤΟΝ ΟΡΜΟ
ΑΘΗΝΙΟΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΘΗΡΑΣ**

**Τελική Έκθεση 4^ο έτους
(Περίοδος μετρήσεων Νοέμβριος 2010 – Μάιος 2011)**

Ανάβυσσος, Ιούλιος 2011

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΥ
ΠΡΟΚΛΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ ΤΟΥ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΟΥ
SEA DIAMOND ΣΤΟΝ ΟΡΜΟ ΑΘΗΝΙΟΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΘΗΡΑΣ**

Υπεύθυνος Προγράμματος

Χατζηανέστης Ιωάννης

Χημικός Ωκεανογράφος (Δρ)

Επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό

Αρβανιτάκης Γιώργος

Γιαννούδη Λουίζα

Ζερβουδάκη Σουλτάνα

Ζέρη Χριστίνα

Ζούλιας Θεόδωρος

Ηλιάκης Στέλιος

Κατσιάρας Νίκος

Κατσίκη Τζέλα

Κουερίνης Νίκος

Κωνσταντινοπούλου Αγγελική

Rancucci-Παπαδοπούλου Αντωνέλλα

Πανουτσοπούλου Μαρία

Παπαγεωργίου Αλκιβιάδης

Παππάς Γιώργος

Πλακίδη Ελβίρα

Πρωτοπαπά Μαρία

Πυργάκη Χριστίνα

Ρεϊζοπούλου Σοφία

Σύμπουρα Νομική

Ταξιάρχη Μαρία

Τεχνικός – Βιολόγος

Χημικός Ωκεανογράφος (Δρ)

Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)

Χημικός Ωκεανογράφος (Δρ)

Τεχνικός - Ιχθυολόγος

Χημικός Μηχανικός

Βιολόγος

Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)

Τεχνικός

Τεχνικός Βιολόγος

Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)

Χημικός

Τεχνικός

Τεχνικός

Τεχνολόγος τροφίμων

Βιολόγος

Τεχνολόγος τροφίμων

Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)

Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)

Τεχνικός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ.....	4
2.1 ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ.....	4
2.2 ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ	6
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	8
3.1 ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΚΑΙ ΑΛΛΟΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	8
3.1.1 Μεθοδολογία	8
3.1.2 Αποτελέσματα και συζήτηση.....	9
3.2. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ	21
3.2.1 Μεθοδολογία	21
3.2.2 Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	21
3.3 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ, ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ..	27
3.3.1 Μεθοδολογία	27
3.3.2. Αποτελέσματα και συζήτηση.....	27
3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΟΣΤΡΑΚΟΕΙΔΗ (ΜΥΔΙΑ).....	31
3.4.1 Εισαγωγή.....	31
3.4.2 Μεθοδολογία	32
3.4.3 Αποτελέσματα και συζήτηση.....	34
3.4.4 Συμπεράσματα.....	55
3.5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΟΝΙΚΕΣ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....	57
3.5.1 Εισαγωγή και Μεθοδολογία.....	57
3.5.2 Αποτελέσματα και συζήτηση.....	58
3.6. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΖΩΟΒΕΝΘΙΚΕΣ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	63
3.6.1 Μέθοδοι και Υλικά.....	63
3.6.2 Αποτελέσματα	64
3.6.3 Συμπεράσματα.....	72
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	74
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	78

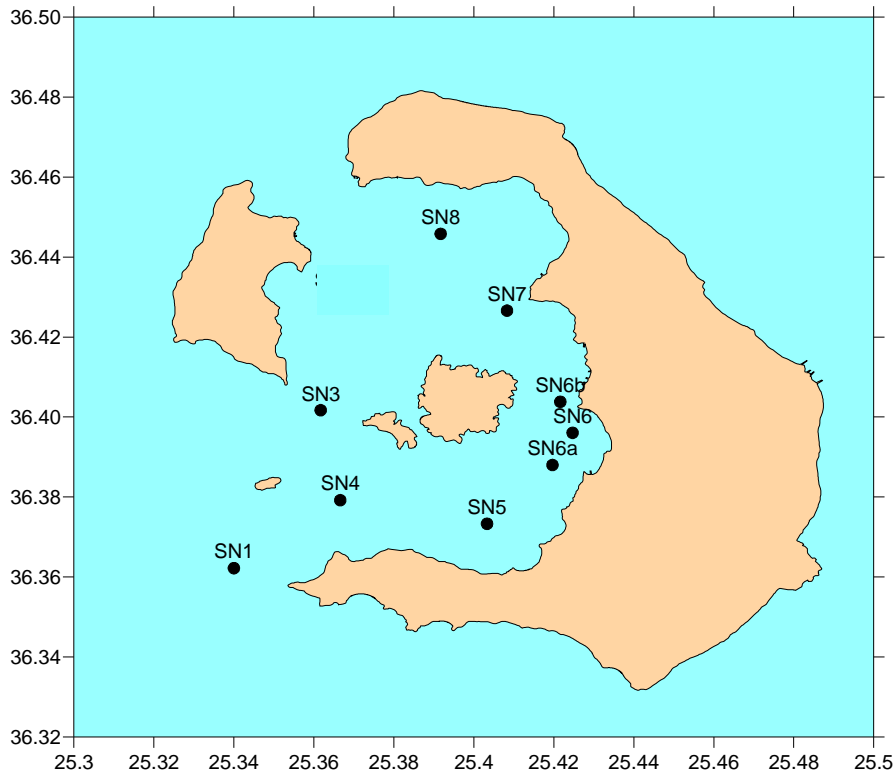
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό στις 5 Απριλίου 2007 βυθίστηκε το κρουαζιερόπλοιο «SEA DIAMOND» στον όρμο Αθηνιός στη θαλάσσια περιοχή της καλντέρας στη νήσο Θήρα (Σαντορίνη). Συνέπεια του ατυχήματος ήταν η σταδιακή διαρροή στο θαλάσσιο χώρο ενός μέρους από τη συνολική ποσότητα των καυσίμων του που ήταν περίπου 450 τόνοι, ενώ κάποιες ποσότητες ρυπογόνων ουσιών εξακολουθούν να παραμένουν στο βυθισμένο πλοίο. Το ΕΛΚΕΘΕ ύστερα από αίτημα του τότε Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας ξεκίνησε συστηματικές μετρήσεις στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή έτσι ώστε να παρακολουθείται η ποιότητα του θαλάσσιου οικοσυστήματος της περιοχής, να καταγράφονται άμεσα οι τυχόν επιπτώσεις από το ναυάγιο και επομένως να διασφαλίζεται η προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα 12 δειγματοληψίες στην περιοχή με την πρώτη τον Μάιο του 2007 και την τελευταία το Μάιο του 2011.

Στην παρούσα έκθεση παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του τέταρτου έτους μετά το ατύχημα και περιλαμβάνουν τις δειγματοληψίες του Δεκεμβρίου 2010 και Μαΐου 2011. Γίνεται επίσης μια γενική εκτίμηση για την κατάσταση του θαλάσσιου οικοσυστήματος μετά τη συμπλήρωση τεσσάρων ετών από το ατύχημα.

2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ

2.1 ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ



Εικόνα 2.1.1 Θέσεις δειγματοληψίας στην περιοχή της καλντέρας Σαντορίνης το Δεκέμβριο 2010 και Μάιο 2011

Πίνακας 2.1.1 Σταθμοί δειγματοληψίας θαλασσινού νερού και ιζημάτων στην περιοχή της καλντέρας Σαντορίνης.

ΣΤΑΘΜΟΙ	Γ. Μήκος	Γ. Πλάτος	Βάθος (m)
SN1	25°20.400'E	36°21.732'N	20
SN3	25°21.708'E	36°24.109'N	310
SN4	25°21.996'E	36°22.752'N	281
SN5	25°24.198'E	36°22.398'N	290
SN6	25°25.481'E	36°23.763'N	282
SN6a	25°25.180'E	36°23.280'N	278
SN6b	25°25.297'E	36°24.229'N	195
SN7	25°24.498'E	36°25.596'N	370
SN8	25°23.502'E	36°26.748'N	368

Πίνακας 2.1.2. Παράμετροι που μελετήθηκαν στο θαλασσίνο νερό και τα ιζήματα

Σταθμοί	Θαλασσίνο νερό			Επιφανειακά ιζήματα		
	Πετρέλαιου, οργανικοί ρύποι	Βαρέα μέταλλα	Ζωοπλαγκτόν	Υδρογονάνθρακες	Μέταλλα και ιχνοστοιχεία	Ζωοβένθος
8 Δεκεμβρίου 2010						
SN1	2m	2, 20 m	+			
SN3	2m, πυθμένας	2 m	+			
SN4	2m, πυθμένας					
SN5	2m, πυθμένας	2m, πυθμένας				
SN6	2m, πυθμένας	2, 20, 50, 100 m, πυθμένας	+			
SN6a	2m, πυθμένας	2, 20, 50, 100 m				
SN6b	2m, πυθμένας	2, 20, 50, 100 m,				
SN7	2m, πυθμένας	2, 20, 50, 100 m, πυθμένας	+			
18 Μαΐου 2011						
SN1	2m	2, 20 m	+			+
SN3	2m, πυθμένας	2m, πυθμένας	+	+	+	+
SN4	2m, πυθμένας	2m, πυθμένας		+	+	+
SN5	2m, πυθμένας	2m, πυθμένας		+	+	+
SN6	2m, πυθμένας	2, 20, 50, 100 m, πυθμένας	+	+	+	+
SN6a	2m, πυθμένας	2, 20, 50, 100 m, πυθμένας		+	+	
SN6b	2m, πυθμένας	2, 20, 50, 100 m, πυθμένας		+	+	
SN7	2m, πυθμένας	2, 20, 50, 100 m, πυθμένας	+	+	+	+
SN8	2m, πυθμένας	2, 20, 50, 100 m, πυθμένας				

Κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής πραγματοποιήθηκαν δύο δειγματοληψίες και όπως και τα προηγούμενα έτη μελετήθηκαν μια σειρά χημικών και βιολογικών παραμέτρων που είναι απαραίτητες για την κατανόηση της λειτουργίας του οικοσυστήματος και τη

διαπίστωση τυχόν αποκλίσεων και διατάραξης από τη φυσιολογική κατάσταση. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν τις εξής χρονικές περιόδους: Στις 8 Δεκεμβρίου 2010 με φουσκωτό σκάφος, και στις 18 Μαΐου 2011 με το Ωκεανογραφικό σκάφος «ΦΙΛΙΑ». Το πλέγμα των σταθμών φαίνεται στην εικόνα 2.1.1 και στον πίνακα 2.1.1 Την περίοδο του Δεκεμβρίου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μόνο στη στήλη του νερού ενώ τον Μάιο και στα θαλάσσια ιζήματα. Αναλυτικά οι παράμετροι που μελετήθηκαν είναι οι εξής (πίνακας 2.1.2):

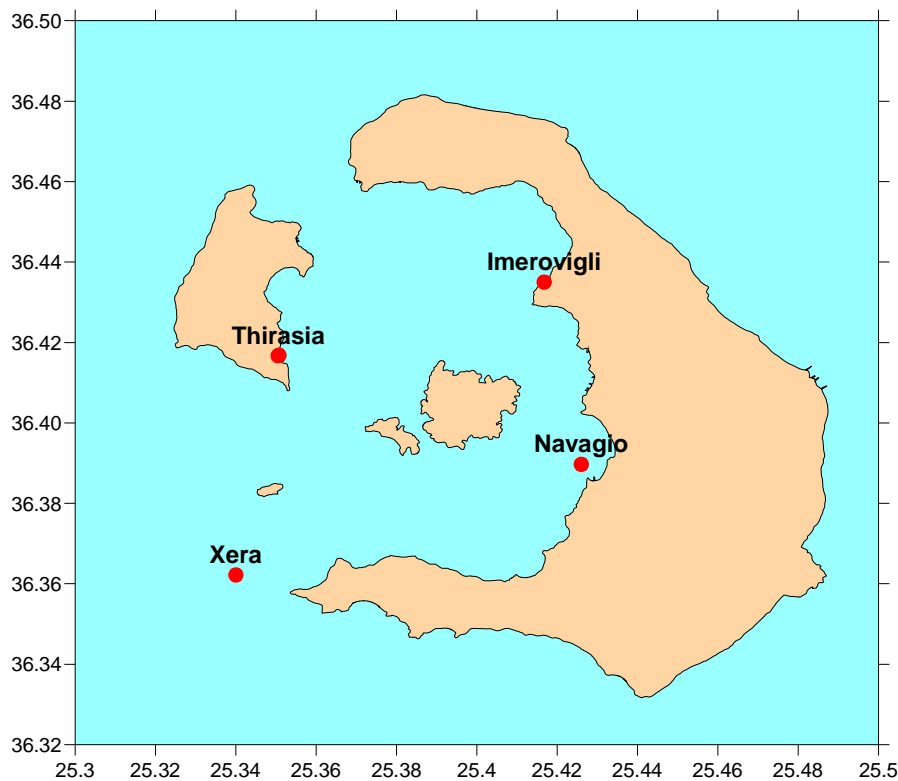
- 1) Πετρελαιοειδή και λοιπές οργανικές ουσίες στη στήλη του νερού (Δεκέμβριος 2010, Μάιος 2011).
- 2) Βαρέα μέταλλα στη στήλη του νερού (Δεκέμβριος 2010, Μάιος 2011).
- 3) Υδρογονάνθρακες και άλλοι οργανικοί ρύποι στα θαλάσσια ιζήματα (Μάιος 2011)
- 4) Βαρέα μέταλλα στα θαλάσσια ιζήματα (Μάιος 2011)
- 5) Βιοκοινωνίες του ζωοπλαγκτού (Δεκέμβριος 2010, Μάιος 2011)
- 6) Ζωοβενθικές βιοκοινωνίες (Μάιος 2011)

2.2 ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ

Πίνακας 2.2.1 Σταθμοί τοποθέτησης κλωβών με εμφυτευμένα μύδια στην περιοχή της καλντέρας Σαντορίνης.

Σταθμός	Γ. Μήκος	Γ. Πλάτος	Βάθος κλωβών (m)
25/11/2010 – 31/3/2011			
Ναυάγιο	25°25.560'E	36°23.382'N	5 40
Ξέρα	25°20.652'E	36°21.946'N	5
Ημεροβίγλι	25°25.005'E	36°26.101'N	5 40
Θηρασιά	25°21.032'E	36°25.002'N	5 40
31/3/2011 – 18/5/2011			
Ναυάγιο	25°25.560'E	36°23.382'N	5 20 40
Ημεροβίγλι	25°25.005'E	36°26.101'N	5 40
Θηρασιά Α	25°21.032'E	36°25.002'N	5 40
Θηρασιά Β	25°21.044'E	36°25.009'N	5 40

Για τη μελέτη της βιοσυσσώρευσης οργανικών και ανόργανων ρύπων πραγματοποιήθηκαν οι εξής εργασίες α) Στις 25/11/2010 και στις 31/3/2011 τοποθετήθηκαν στην περιοχή ειδικοί κλωβοί που περιείχαν οστρακοειδή (μύδια *Mytilus galloprovincialis*). Οι κλωβοί τοποθετήθηκαν στο φράγμα που βρίσκεται στο χώρο του ναυαγίου και σε σημεία αναφοράς σε διάφορα βάθη. Τα ακριβή σημεία τοποθέτησης των κλωβών και τα αντίστοιχα βάθη φαίνονται στην εικόνα 2.2.1 και στον πίνακα 2.2.1. Τα μύδια ανασύρθηκαν στις 31 Μαρτίου 2011 και 18 Μαΐου 2011 αντίστοιχα. β) Το Φεβρουάριο του 2011 συλλέχθηκαν δείγματα πεταλίδων από τα βράχια της παράκτιας ζώνης του ορμίσκου στον οποίο βρίσκεται το ναυάγιο και από αυτά της νησίδας Ασπρονήσι ως αναφορά και γ) το Νοέμβριο 2010 και Μάιο 2011 συλλέχθηκαν δείγματα ψαριών (γόπες το Νοέμβριο και σκορπίνες, χάνοι και γερμανοί το Μάιο) από την περιοχή του ναυαγίου.



Εικόνα 2.2.1 Θέσεις τοποθέτησης των κλωβών με εμφυτευμένα μύδια στην περιοχή της καλντέρας Σαντορίνης το Νοέμβριο του 2010 και το Μάιο του 2011

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΚΑΙ ΑΛΛΟΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ

I. Χατζηανέστης, X, Πυργάκη, E. Πλακίδη, A. Γιαννούδη, M. Πανουτσοπούλου

3.1.1 Μεθοδολογία

Τα δείγματα του θαλασσινού νερού όγκου 2.5 L συλλέχθηκαν από βάθος 1m από την επιφάνεια και από το μέγιστο βάθος του κάθε σταθμού με τη χρήση ειδικού δειγματολήπτη. Ακολούθησε άμεση εκχύλιση με 50 mL εξανίου. Τα εκχυλίσματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου μετά από ξήρανση με θειικό νάτριο και συμπύκνωση σε τελικό όγκο 100 μL έγινε ανίχνευση και προσδιορισμός μεμονωμένων υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών ρύπων με χρήση αέριας χρωματογραφίας – φασματομετρίας μαζών (Hewlett-Packard 6890 GC-MSD). Στη συνέχεια τα δείγματα αραιώθηκαν σε όγκο 5 mL και έγινε προσδιορισμός των ολικών διαλυμένων / διασκορπισμένων πετρελαϊκών υδρογονανθράκων σύμφωνα με τη φθορισμομετρική μέθοδο που προτείνεται από τον IOC (IOC, 1986). Χρησιμοποιήθηκε μήκος κύματος διέγερσης 310 nm και εκπομπής 360 nm και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε ισοδύναμα χρυσενίου.

Τα δείγματα των επιφανειακών ιζημάτων συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας δειγματολήπτη τύπου αρπάγης (grab) και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε αλουμινόχαρτο και καταψύχθηκαν στους -20 °C, μέχρι την ανάλυσή τους.

Στο εργαστήριο, τα δείγματα των ιζημάτων ξηράνθηκαν σε συσκευή λυοφίλησης και ομογενοποιήθηκαν. Ο αναλυτικός προσδιορισμός των υδρογονανθράκων βασίστηκε στην μεθοδολογία που προτείνεται από τον IOC (IOC, 1993). Σύμφωνα με αυτή 5g του ιζήματος εκχυλίζονται σε συσκευή Soxhlet για 24 ώρες με μίγμα μεθανόλης-διχλωρομεθάνιου 2:1, στη συνέχεια γίνεται σαπωνοποίηση του εκχυλίσματος με μεθανολικό διάλυμα καυστικού καλίου και εκχύλιση των μη σαπωνοποιημένων συστατικών με εξάνιο. Ακολουθεί καθαρισμός και κλασματοποίηση του εκχυλίσματος σε στήλη ενεργοποιημένης Silica gel και συλλογή δύο κλασμάτων: το πρώτο με 10 ml εξανίου που περιέχει τους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες και το δεύτερο με 10 ml εξανίου – οξικού αιθυλεστέρα 9:1 που περιέχει τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ενώσεων έγινε με αέρια

χρωματογραφία - φασματοσκοπία μάζας (Hewlett-Packard GC/MS 6890) χρησιμοποιώντας την τεχνική της πλήρους σάρωσης των ιόντων.

3.1.2 Αποτελέσματα και συζήτηση

Ολικοί διαλυμένοι / διασκορπισμένοι πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες.

Τις ημέρες των δειγματοληψιών δεν παρατηρήθηκαν οπτικώς εμφανή ίχνη πετρελαιοειδών στην επιφάνεια της θάλασσας.

Οι συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων – διασκορπισμένων πετρελαϊκών υδρογονανθράκων όπως προσδιορίστηκαν με φθορισμομετρική τεχνική δίνονται στον πίνακα 3.1.1.

Πίνακας 3.1.1 Συγκεντρώσεις των διαλυμένων / διασκορπισμένων πετρελαϊκών υδρογονανθράκων (μg/L εκφρασμένα σε ισοδύναμα χρυσενίου)

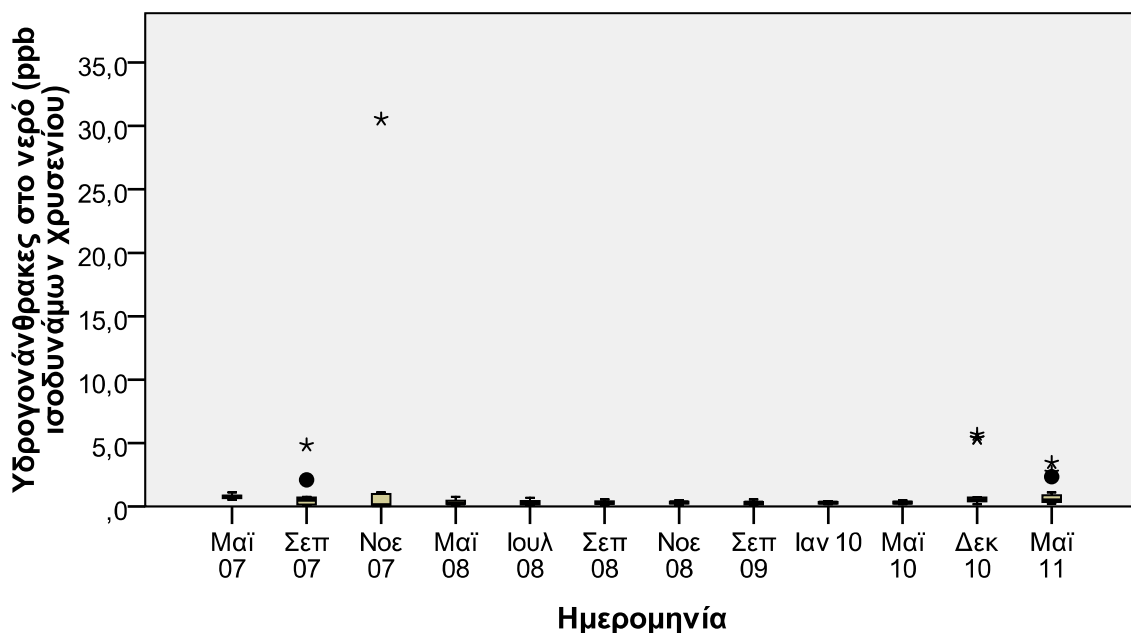
		Δεκέμβριος 2010	Μάιος 2011
SN1	Επιφάνεια	0.513	0.452
SN3	Επιφάνεια	5.678	3.456
	Πυθμένας	0.459	0.651
SN4	Επιφάνεια	0.491	2.674
	Πυθμένας	0.323	2.345
SN5	Επιφάνεια	0.611	0.345
	Πυθμένας	0.412	0.234
SN6	Επιφάνεια	0.742	1.123
	Πυθμένας	0.642	0.476
SN6α	Επιφάνεια	0.503	0.572
	Πυθμένας	0.199	0.631
SN6β	Επιφάνεια	5.372	0.379
	Πυθμένας	0.671	0.456
SN7	Επιφάνεια	0.421	0.267
	Πυθμένας	0.196	0.333
SN8	Επιφάνεια		0.143
	Πυθμένας		0.211
Μέση τιμή		1.014	0.868

Την περίοδο του Δεκεμβρίου 2010 οι τιμές ήταν λίγο μεγαλύτερες από αυτές που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια του προηγούμενου έτους μετρήσεων, χωρίς όμως να είναι τέτοιες που να ξεφεύγουν από τις συνηθισμένες στις Ελληνικές θάλασσες (Αγγελίδης, Γαβριήλ, 1999). Σχετικά αυξημένες τιμές πετρελαϊκών υδρογονανθράκων που υποδηλώνουν μικρής έκτασης ρύπανση (> 5 μg/L ισοδυνάμων χρυσενίου) βρέθηκαν στο επιφανειακό στρώμα των σταθμών SN3, SN6b. Στους υπόλοιπους σταθμούς οι τιμές ήταν αρκετά μικρότερες και κυμάνθηκαν μεταξύ 0.411 και 0.742 μg/L ισοδυνάμων χρυσενίου στο

επιφανειακό στρώμα και μεταξύ 0.196 και 0.671 $\mu\text{g/L}$ ισοδυνάμων χρυσενίου κοντά στον πυθμένα. Η μικρή ρύπανση που διαπιστώθηκε στους σταθμούς SN3, SN6b μπορεί να προέρχεται από διαρροή από το ναυάγιο, μπορεί όπως και να σχετίζεται και με οποιοδήποτε άλλο τυχαίο συμβάν, δεδομένης της κίνησης στο λιμάνι του Αθηνιού.

Την περίοδο του Μαΐου 2011 οι τιμές ήταν μικρότερες από αυτές του Δεκεμβρίου. Συγκεντρώσεις μεταξύ 2 και 3.5 $\mu\text{g/L}$ ισοδυνάμων χρυσενίου μετρήθηκαν στο σταθμό SN4 και στο επιφανειακό στρώμα του σταθμού SN3 ενώ στην υπόλοιπη περιοχή ήταν μικρότερες και κυμάνθηκαν μεταξύ 0.143 και 1.123 $\mu\text{g/L}$ ισοδυνάμων χρυσενίου στο επιφανειακό στρώμα και μεταξύ 0.211 και 0.651 $\mu\text{g/L}$ ισοδυνάμων χρυσενίου κοντά στον πυθμένα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι επειδή οι υδρογονάνθρακες είναι δυσδιάλυτοι στο θαλασσινό νερό οι συγκεντρώσεις τους έχουν μεγάλη μεταβλητότητα τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Επομένως τα αποτελέσματα που προαναφέρθηκαν απλώς αντικατοπτρίζουν την κατάσταση που επικρατούσε τις ημέρες των δειγματοληψιών.



Εικόνα 3.1.1 Διακύμανση των τιμών των υδρογονανθράκων στη στήλη του νερού της καλντέρας κατά τις 12 περιόδους δειγματοληψίας

Στην εικόνα 3.1.1 δίνεται η διακύμανση των τιμών υδρογονανθράκων στη στήλη του νερού σε όλους τους σταθμούς κατά τη διάρκεια των 12 δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν μέχρι τώρα. Όπως φαίνεται δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση, κάποιες μεμονωμένες μεγάλες τιμές μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια του 2007 όταν και έγινε το ατύχημα, στη συνέχεια και μέχρι το Μάιο του 2010 οι τιμές ήταν ιδιαίτερα μικρές σε όλους τους σταθμούς, ενώ το Δεκέμβριο του 2010 και σε μικρότερο βαθμό το Μάιο του 2011

εμφανίζονται κάποιες μεμονωμένες τιμές που θεωρούνται ελαφρά αυξημένες. Το εάν αυτό είναι τυχαίο γεγονός ή διαφαίνεται κάποια αυξητική τάση, μπορεί να φανεί μόνο με συνέχιση των μετρήσεων.

Άλλες ανθρωπογενείς οργανικές ουσίες στη στήλη του νερού.

Από τις λεπτομερείς αναλύσεις των δειγμάτων με αέρια χρωματογραφία – φασματομετρία μαζών, οι κύριες οργανικές ενώσεις που κατέστη δυνατόν να ταυτοποιηθούν και ποσοτικοποιηθούν είναι οι εξής (Πίνακες 3.1.2 - 3.1.5).

Πίνακας 3.1.2: Συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών ουσιών (μg/L) που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα που συλλέχθηκαν από το επιφανειακό στρώμα του νερού στις 8 Δεκεμβρίου 2010. UCM: μη διαχωρισμένο σύνθετο μίγμα.

Σταθμός	SN1	SN3	SN4	SN5	SN6	SN6A	SN6b	SN7
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες	1.9	58.3	1.7	0.9	1.6	1.1	55.3	1.8
κ-αλκάνια	0.2	2.3	0.2	0.1	0.1	0.1	2.1	0.2
UCM	< 0.1	53.5	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	51.4	< 0.1
Φθαλικοί εστέρες	2.1	4.3	0.9	1.7	1.2	3.9	4.1	6.5
Ναφθαλένιο	0.002	0.001	0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.003	0.002
Φαινανθρένιο	0.004	0.003	0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.002
Μεθυλο- και Διμεθυλο-φαινανθρένια	0.007	0.006	0.005	0.002	0.002	0.003	0.003	0.005
Φλουορανθένιο	0.002	0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.001
Πυρένιο	0.001	0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001	<0.001
Αλκυλοβενζόλια	0.007	0.01	0.004	0.01	0.003	0.009	0.005	0.02

Πίνακας 3.1.3: Συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών ουσιών (μg/L) που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα που συλλέχθηκαν από το βαθύτερο σημείο της στήλης του νερού στις 8 Δεκεμβρίου 2010. UCM: μη διαχωρισμένο σύνθετο μίγμα.

Σταθμός	SN3	SN4	SN5	SN6	SN6A	SN6b	SN7
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες	1.9	1.8	1.3	1.0	0.7	2.3	1.8
κ-αλκάνια	0.4	0.1	0.3	0.1	0.3	0.4	0.2
UCM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Φθαλικοί εστέρες	1.9	0.7	2.3	1.1	0.5	0.9	1.4
Ναφθαλένιο	0.001	0.002	0.001	0.002	<0.001	0.001	0.001
Αλκυλοβενζόλια	0.004	0.003	0.007	0.007	0.003	0.01	0.03

Πίνακας 3.1.4: Συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών ουσιών που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα που συλλέχθηκαν από το επιφανειακό στρώμα του νερού στις 18 Μαΐου 2011. UCM: μη διαχωρισμένο σύνθετο μίγμα.

Σταθμός	SN1	SN3	SN4	SN5	SN6	SN6a	SN6b	SN7	SN8
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες	1.9	36.3	26.1	0.9	8.6	1.1	2.3	1.8	0.5
κ-αλκάνια	0.2	9.1	3.2	0.1	2.1	0.1	0.3	0.2	0.2
UCM	< 0.1	13.5	8.3	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.4	< 0.1	< 0.1
Φθαλικοί εστέρες	3.1	2.3	0.9	3.7	2.2	3.1	4.7	6.2	3.1
Ναφθαλένιο	0.003	0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.003	0.001	0.002	0.001
Φαινανθρένιο	0.001	0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.002	0.001
Μεθυλο- και Διμεθυλο-φαινανθρένια	0.002	0.006	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.005	<0.001
Φλουορανθένιο	<0.001	0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.001	<0.001
Πυρένιο	0.001	0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001	<0.001	<0.001
Αλκυλοβενζόλια	0.002	0.02	0.004	0.02	0.008	0.007	0.005	0.03	0.002

Πίνακας 3.1.5: Συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών ουσιών που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα που συλλέχθηκαν στο μέγιστο βάθος της στήλης του νερού στις 18 Μαΐου 2011. UCM: μη διαχωρισμένο σύνθετο μίγμα.

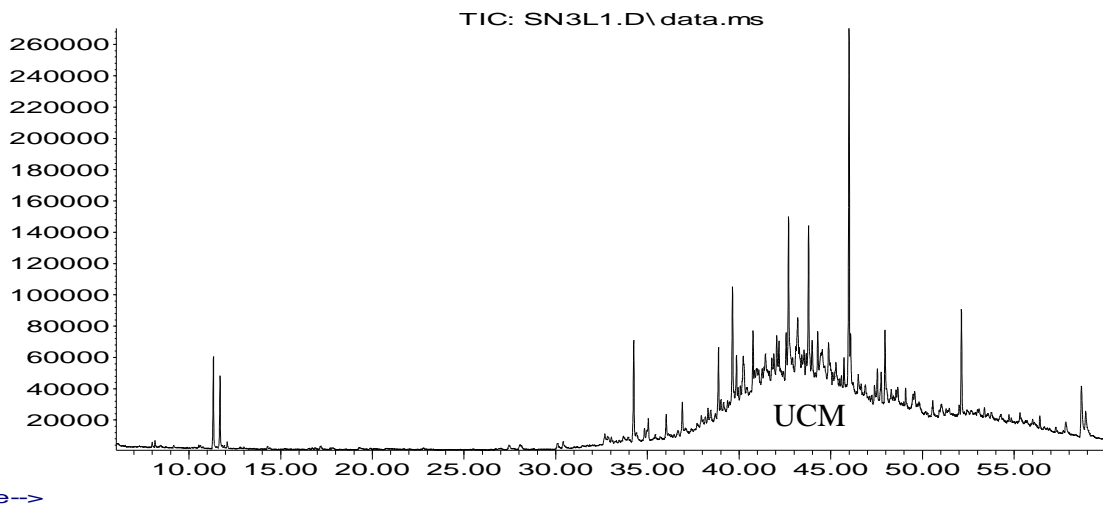
Σταθμός	SN3	SN4	SN5	SN6	SN6A	SN6b	SN7	SN8
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες	1.9	21.8	1.3	1.0	0.7	2.3	1.8	0.9
κ-αλκάνια	0.4	4.1	0.3	0.1	0.3	0.4	0.2	0.1
UCM	< 0.1	8.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Φθαλικοί εστέρες	1.1	1.7	1.3	3.1	0.9	0.2	1.4	0.5
Ναφθαλένιο	0.001	0.001	0.002	0.002	<0.001	0.001	0.001	<0.001
Φαινανθρένιο	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Μεθυλο- και Διμεθυλο-φαινανθρένια	<0.001	0.004	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Φλουορανθένιο	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Πυρένιο	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Αλκυλοβενζόλια	0.002	0.002	0.005	0.007	0.01	0.003	0.02	0.002

Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες

Όπως φαίνεται από τους πίνακες το Δεκέμβριο 2010 οι συγκεντρώσεις των αλειφατικών υδρογονανθράκων ήταν ιδιαίτερα μικρές (<2 μg/L) με εξαίρεση το επιφανειακό στρώμα στους σταθμούς SN3, SN6b όπου μετρήθηκαν τιμές > 50 μg/L. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις το UCM ήταν το σημαντικά μεγάλο ποσοστό του συνόλου των αλειφατικών υδρογονανθράκων (Εικόνα 3.1.2) γεγονός που υποδεικνύει ότι στην επιφάνεια αυτών των δύο σταθμών υπήρχαν υπολείμματα πετρελαιοειδών. Η παρουσία του πετρελαίου

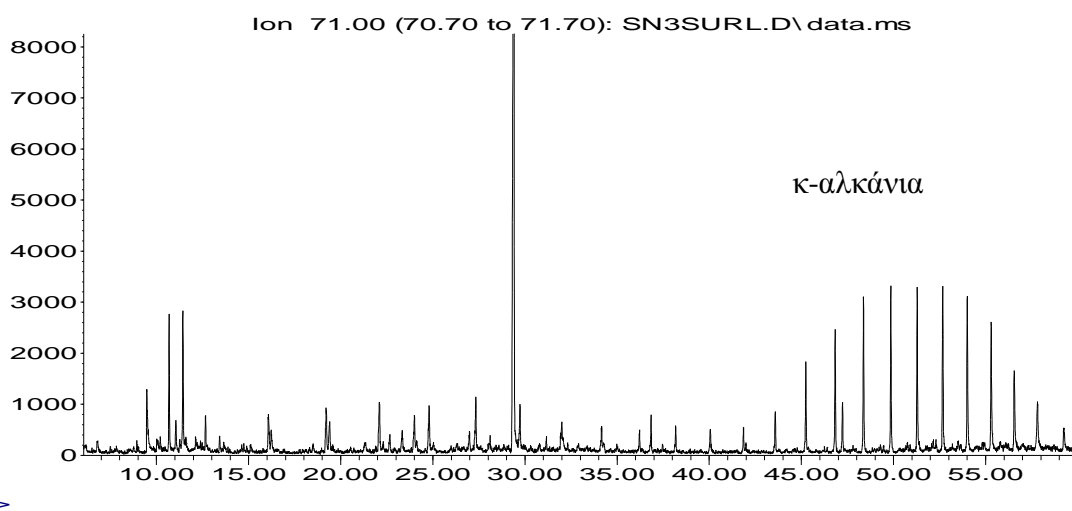
επιβεβαιώνεται και από την ανίχνευση στα δείγματα της σειράς των οπανίων που είναι ενώσεις που χαρακτηρίζουν τα πετρελαιοειδή. Οι συγκεντρώσεις των κ-αλκανίων ήταν πολύ μικρές σε όλα τα δείγματα ακόμη και στους σταθμούς SN3, SN6b, γεγονός που δείχνει ότι το πετρέλαιο που ανιχνεύθηκε δεν προερχόταν από πολύ πρόσφατη διαρροή αλλά είχε προλάβει να αποδομηθεί.

Abundance



Εικόνα 3.1.2 Αεριοχρωματογράφημα του εκχυλίσματος του δείγματος νερού που συλλέχθηκε από το επιφανειακό στρώμα του σταθμού SN3 το Δεκέμβριο του 2010.

Abundance



Εικόνα 3.1.3 Αεριοχρωματογράφημα του εκχυλίσματος του δείγματος νερού που συλλέχθηκε από το επιφανειακό στρώμα του σταθμού SN3 το Μάιο του 2011.

Τον Μάιο του 2011 συγκεντρώσεις αλειφατικών υδρογονανθράκων μεγαλύτερες από 20 µg/L μετρήθηκαν στο σταθμό SN4 και στο επιφανειακό στρώμα του σταθμού SN3 ενώ

στην υπόλοιπη περιοχή ήταν ιδιαίτερα μικρές (<2.5 µg/L). Στους σταθμούς SN3 και SN4 και οι συγκεντρώσεις των κανονικών αλκανίων ήταν σχετικά αυξημένες και μάλιστα υπήρχε ισοδυναμία κ-αλκανίων με περιττό και άρτιο αριθμό ατόμων άνθρακα (Εικόνα 3.1.3) γεγονός που δείχνει πρόσφατη πετρελαϊκή ρύπανση.

Αρωματικοί υδρογονάνθρακες

Από την κατηγορία των πολυκυκλικών υδρογονανθράκων ανιχνεύθηκαν μόνο ναφθαλένιο, φαινανθρένιο και τα μεθυλο- παράγωγά του, φλουορανθένιο και πυρένιο. Οι συγκεντρώσεις τους ήταν πολύ μικρές (<0.001 – 0.007 µg/L), θεωρούνται φυσιολογικές και είναι παρόμοιες με αυτές που έχουν μετρηθεί σε διάφορες Ελληνικές θάλασσες (Hatzianestis & Sklivagou, 2002). Από τους υπόλοιπους πτητικούς και ημιπτητικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες βρέθηκαν κυρίως διάφορα αλκυλιωμένα παράγωγα του βενζολίου επίσης σε μικρές και φυσιολογικές συγκεντρώσεις (< 0.02 µg/L) και χωρίς διαφοροποιήσεις μεταξύ σταθμών και βαθών.

Φθαλικοί εστέρες

Οι ενώσεις αυτές χρησιμοποιούνται ως πλαστικοποιητές και σχετίζονται με κάθε είδους πλαστικές ύλες και για το λόγο αυτό είναι ευρέως διαδεδομένες στο περιβάλλον. Ταυτοποιήθηκαν 5 ενώσεις: διβουτυλο-, διοκτυλο-, διμεθυλο-, δι(2-αιθυλ-εξυλο)- και διαιθυλο- φθαλικοί εστέρες. Οι συνολικές συγκεντρώσεις τους είναι γενικά μικρές και κυμαίνονται μεταξύ 0.2 και 6.2 µg/L με τη μεγαλύτερη τιμή στο επιφανειακό στρώμα του σταθμού SN7 που βρίσκεται κοντά στην πόλη των Φηρών. Η κατανομή των ενώσεων αυτών σε όλη την περιοχή δείχνει ότι η παρουσία τους δεν σχετίζεται με την ύπαρξη κάποιας σημειακής πηγής όπως είναι το ναυάγιο.

Υδρογονάνθρακες στα επιφανειακά ιζήματα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τα δείγματα που συλλέχθηκαν τον Μάιο του 2011 δίνονται στον πίνακα 3.1.6. Γενικά οι τιμές που βρέθηκαν ήταν παρόμοιες με αυτές που μετρήθηκαν και κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δειγματοληψιών το 2007, 2008 και 2010. Οι συγκεντρώσεις των ολικών υδρογονανθράκων ήταν πολύ μικρές και κυμάνθηκαν μεταξύ 8.7 και 16.7 µg/g ξηρού βάρους. Οι τιμές αυτές θεωρούνται ιδιαίτερα μικρές και δείχνουν ότι δεν υπάρχει ρύπανση από υδρογονάνθρακες, ενώ είναι σαφώς μικρότερες από αυτές που έχουν μετρηθεί σε άλλες παράκτιες περιοχές στην Ελλάδα και παρόμοιες με τιμές

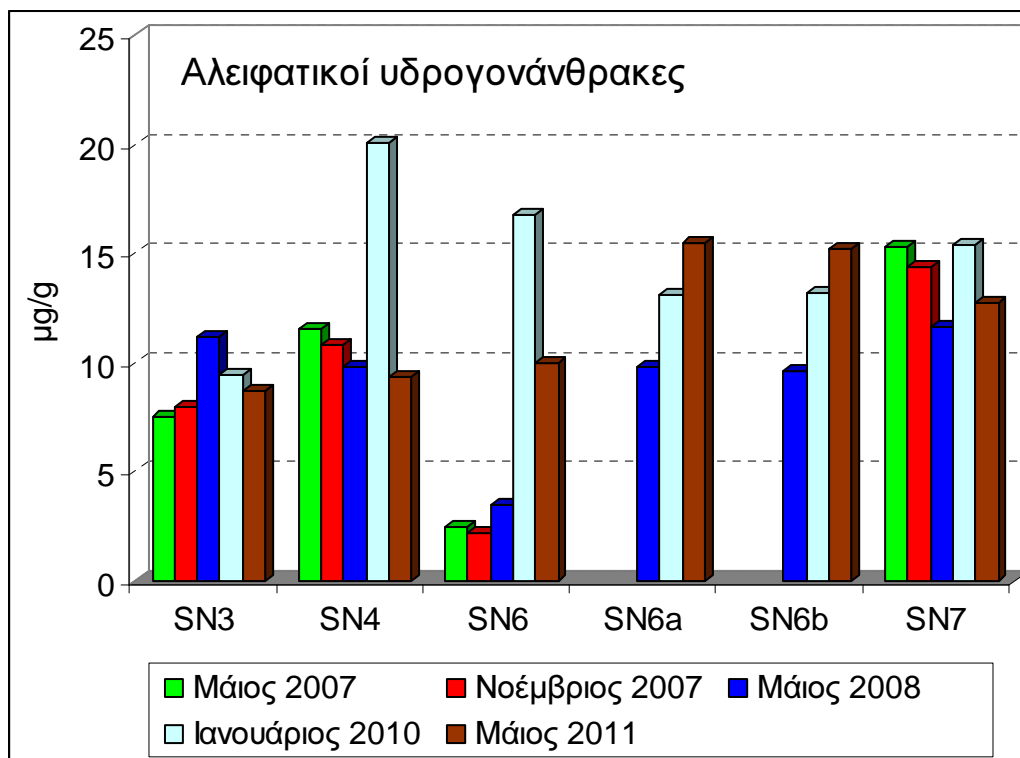
που έχουν βρεθεί στο ανοικτό Αιγαίο πέλαγος (Hatzianestis & Sklivagou, 2001, Hatzianestis *et al*, 2003) (Πίνακας 3.1.7).

Πίνακας 3.1.6: Συγκεντρώσεις των αλειφατικών και των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στα επιφανειακά ιζήματα που συλλέχθηκαν τον Μάιο 2011. UCM: μη διαχωρισμένο σύνθετο μίγμα, U/R: λόγος των μη διαχωρισμένων προς τις διαχωρισμένες ενώσεις.

Σταθμός	SN3	SN4	SN6	SN6a	SN6b	SN7
Συνολικοί υδρογονάνθρακες (μg/g)	8.7	9.3	10.1	15.6	15.4	16.7
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες (μg/g)	8.6	9.3	10.0	15.5	15.2	12.7
U/R	5.8	5.9	6.1	5.3	7.6	6.8
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ)						
Ναφθαλένιο	1.3	1.8	1.2	1.5	2.9	28.3
Ακεναφθυλένιο	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	2.1
Ακεναφθένιο	0.2	0.1	2.0	2.0	0.5	34.6
Φλουορένιο	0.4	0.3	0.7	0.8	0.7	32.1
Διβενζοθειοφένιο	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	26.7
Φαινανθρένιο	4.5	1.8	8.8	11.8	15.6	440.2
Ανθρακένιο	0.3	0.0	0.8	0.9	0.9	78.2
Φλουορανθένιο	3.7	1.0	6.3	6.5	14.6	368.7
Πυρένιο	3.4	1.1	5.4	7.2	13.8	315.1
Βενζο(α)ανθρακένιο	3.0	1.0	4.5	5.0	10.2	257.0
Χρυσένιο	4.2	1.9	4.7	5.8	13.9	297.3
Βενζο(β)φλουορανθένιο	10.4	4.6	6.1	7.5	18.4	411.8
Βενζο(κ)φλουορανθένιο	2.9	1.8	2.7	3.1	7.2	149.1
Βενζο(ε)πυρένιο	5.1	2.0	3.7	4.6	11.8	243.2
Βενζο(α)πυρένιο	4.7	1.6	4.4	5.8	12.1	330.4
Περυλένιο	1.3	0.5	1.2	1.6	3.0	88.3
Ινδενο(1,2,3-cd)πυρένιο	4.2	3.1	2.4	2.7	7.3	155.3
Διβενζο(a,h)ανθρακένιο	0.9	0.8	0.6	0.6	2.1	44.2
Βενζο(ghi)περυλένιο	3.9	2.6	2.8	3.1	9.6	180.0
Μεθυλοναφθαλένια	2.3	1.6	2.6	3.2	3.3	42.6
Διμεθυλοναφθαλένια	1.7	1.7	2.1	2.5	2.4	34.5
Τριμεθυλοναφθαλένια	1.6	1.3	1.8	2.2	2.3	37.8
Μεθυλοδιβενζοθειοφένια	0.4	0.1	0.2	0.3	0.6	13.3
Μεθυλοφαινανθρένια	4.0	1.6	3.7	4.3	12.7	270.3
Διμεθυλοφαινανθρένια	2.3	0.9	1.8	2.4	7.3	133.0
Ρετένιο	0.4	0.0	0.3	0.3	1.8	43.2
ΣΠΑΥ	67.1	33.3	70.9	86.1	175.3	4057.1

Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες.

Οι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες αντιστοιχούσαν σε όλες τις περιπτώσεις σε ένα ποσοστό μεγαλύτερο από 98.5% του συνόλου των υδρογονανθράκων. Η παρουσία των αλειφατικών υδρογονανθράκων στα θαλάσσια ιζήματα δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ρύπανση γιατί ένα σημαντικό ποσοστό από αυτούς μπορεί να είναι βιογενούς προέλευσης, είτε θαλάσσιας είτε χερσαίας (Bouloubassi & Salot, 1993). Συνήθως κατά την διαδικασία της αεριοχρωματογραφικής ανάλυσης τα χρωματογραφήματα των αλειφατικών κλασμάτων εμφανίζουν δύο χαρακτηριστικά: ενώσεις οι οποίες διαχωρίζονται επαρκώς και είναι κυρίως κανονικά αλκάνια και ένα μίγμα ενώσεων που δεν μπορούν να διαχωριστούν, το λεγόμενο “μη διαχωρισμένο σύνθετο μίγμα” (UCM: unresolved complex mixture). Το μίγμα αυτό αποτελείται από διακλαδισμένους, κυκλικούς και μερικά αποδομημένους υδρογονάνθρακες οι οποίοι δεν μπορούν να διαχωριστούν με τις υπάρχουσες αεριο-χρωματογραφικές τεχνικές. Η ύπαρξη του μίγματος αυτού σε μεγάλο ποσοστό θεωρείται ένδειξη παρουσίας υπολειμμάτων πετρελαιοειδών. Ο λόγος των μη διαχωρισμένων προς τις διαχωρισμένες ενώσεις (U/R) χρησιμοποιείται σαν κριτήριο της προέλευσης των υδρογονανθράκων και τιμές του λόγου αυτού μεγαλύτερες από 4 υποδεικνύουν σαφώς χρόνια ρύπανση από πετρελαιοειδή (Mazurek & Simoneit, 1984).



Εικόνα 3.1.4 Συγκεντρώσεις των αλειφατικών υδρογονανθράκων στα επιφανειακά ιζήματα την περίοδο Μάιος 2007 – Μάιος 2011.

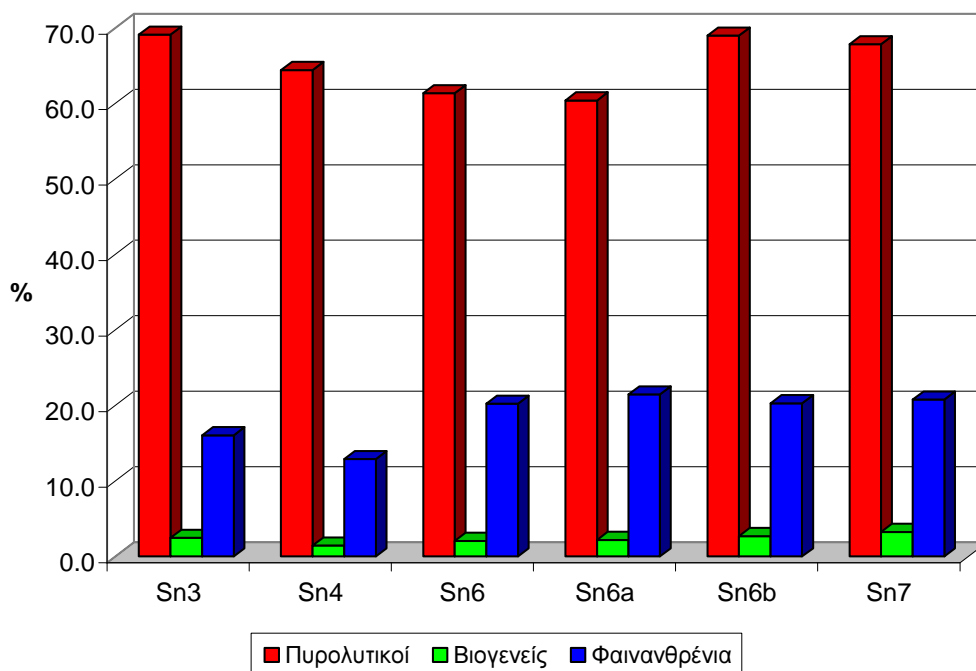
Οι τιμές του λόγου U/R για τα επιφανειακά δείγματα που εξετάστηκαν (Πίνακας 3.1.8) κυμαίνονται μεταξύ 5.8 και 7.6. Οι τιμές αυτές δείχνουν ότι παρόλο που οι τιμές των υδρογονανθράκων είναι μικρές υπάρχουν στο βυθό κάποια υπολείμματα πετρελαιοειδών κυρίως στο σταθμό SN6b. Πάντως η εικόνα αυτή είναι συνηθισμένη για τα ιζήματα του Αιγαίου πελάγους και δεν μπορεί να ειπωθεί ότι υπάρχει κάποια μεγαλύτερη επιβάρυνση λόγω του ατυχήματος. Αντίστοιχη εικόνα είχε διαπιστωθεί και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το 2007, 2008 και 2010.

Στην εικόνα 3.1.4 δίνονται συγκριτικά οι συγκεντρώσεις των αλειφατικών υδρογονανθράκων στα επιφανειακά ιζήματα όλες τις περιόδους δειγματοληψίας από το Μάιο του 2007 μέχρι το Μάιο του 2011. Όπως φαίνεται όλες οι τιμές σε όλους τους σταθμούς και περιόδους δειγματοληψίας είναι μικρότερες από 20 $\mu\text{g/g}$ και δείχνουν ότι η ρύπανση από πετρελαιοειδή είναι εξαιρετικά μικρή. Σημειώνεται ότι τα επίπεδα των φυσικών αλειφατικών υδρογονανθράκων στα θαλάσσια ιζήματα είναι περίπου 10 $\mu\text{g/g}$ και μπορούν να φτάσουν και μέχρι 100 $\mu\text{g/g}$ σε περιοχές με μεγάλη παραγωγικότητα.

Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ).

Οι ΠΑΥ, με εξαίρεση το περυλένιο που μπορεί να συντεθεί και βιογενώς και το ρετένιο που παράγεται από τα κωνοφόρα δένδρα που βρίσκονται στην ξηρά, είναι καθαρά ανθρωπογενείς ενώσεις με κύριες πηγές προέλευσης τις πάσης φύσεως καύσεις οργανικών υλικών (πυρολυτικοί ΠΑΥ) αλλά και τα πετρελαιοειδή. Στον πίνακα 3.1.6 δίνονται οι συγκεντρώσεις των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων που μετρήθηκαν στα επιφανειακά ιζήματα που συλλέχθηκαν τον Μάιο 2011. Όπως φαίνεται, σε όλες τους σταθμούς εκτός από τον SN7 οι συγκεντρώσεις των ΠΑΥ ήταν εξαιρετικά μικρές (<180 ng/g), αντίστοιχες με αυτές που μετρώνται σε καθαρές θαλάσσιες περιοχές και παρόμοιες με αυτές που είχαν μετρηθεί στις προηγούμενες δειγματοληψίες από το 2007 μέχρι το 2010. Αντίθετα στο σταθμό SN7 μετρήθηκε μια ιδιαίτερα μεγάλη τιμή (4000 ng/g) που φανερώνει σημαντική ρύπανση από ΠΑΥ. Η τιμή αυτή είναι παρόμοια με αυτές που έχουν μετρηθεί σε παράκτιες περιοχές που δέχονται έντονες ανθρωπογενείς πιέσεις είτε από βιομηχανική δραστηριότητα είτε από αστικά λύματα. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο σταθμό SN7 και στις προηγούμενες δειγματοληψίες είχαν ανιχνευθεί συγκεντρώσεις ΠΑΥ πολύ μεγαλύτερες από την υπόλοιπη περιοχή αλλά οι τιμές τους δεν είχαν ξεπεράσει τα 650 ng/g ωστόσο η μεγάλη αύξηση που παρατηρήθηκε την περίοδο αυτή είναι ανησυχητική και χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.

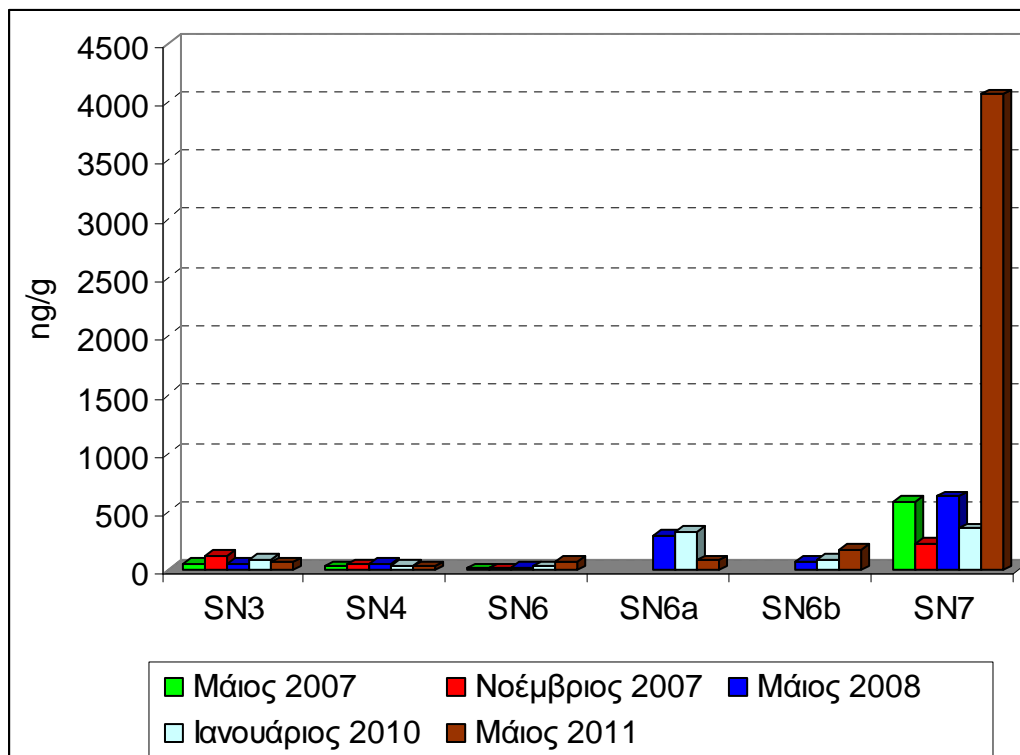
Σε ότι αφορά την κατανομή των επιμέρους ενώσεων, σε όλα τα δείγματα υπερισχύουν οι ενώσεις με τέσσερις ή περισσότερους αρωματικούς δακτυλίους όπως το φλουορανθένιο, το πυρένιο και τα βενζοφλουορανθένια. Αυτή η κυριαρχία των ενώσεων με μεγάλο αριθμό αρωματικών δακτυλίων είναι χαρακτηριστική ουσιών πυρολυτικής προέλευσης (Bouloubassi & Saliot, 1993). Στην Εικόνα 3.1.5 δίνονται οι κατανομές των συγκεντρώσεων των υδρογονανθράκων πυρολυτικής προέλευσης (σύνολο των ενώσεων με μοριακά βάρη 202, 228, 252, 276 και 278), βιογενούς-χερσογενούς (περυλένιο, ρετένιο) και πετρογενούς-πετρελαϊκής (το φαινανθρένιο και τα μεθυλιωμένα παράγωγά του). Όπως φαίνεται, σε όλες τις περιπτώσεις υπερισχύουν σαφώς οι ενώσεις πυρολυτικής προέλευσης. Η κυριαρχία των πυρολυτικών ΠΑΥ είναι συνηθισμένη στα θαλάσσια ιζήματα λόγω της μεγαλύτερης σταθερότητας των ενώσεων αυτών, και μόνο σε περιπτώσεις πρόσφατης πετρελαϊκής ρύπανσης εμφανίζονται και μεγαλύτερα ποσοστά πετρογενών ΠΑΥ. Τέτοια ρύπανση δεν φαίνεται να υπάρχει στην μελετούμενη περιοχή.



Εικόνα 3.1.5 % Κατανομή των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων πυρολυτικής, βιογενούς και πετρογενούς προέλευσης στα ιζήματα που συλλέχθηκαν στις 18 Μαΐου 2010.

Πρέπει να επισημανθεί ότι και στο ιδιαίτερα ρυπασμένο σημείο SN7 κυριαρχούν σαφώς οι ΠΑΥ πυρολυτικής προέλευσης και όχι πετρελαϊκής. Η σημειακή παρουσία μεγάλων ποσοτήτων τέτοιων ενώσεων στα θαλάσσια ιζήματα συνήθως σχετίζεται με την ύπαρξη κάποιου αγωγού που μεταφέρει από την ξηρά βιομηχανικά ή/και αστικά λύματα. Τόσο η θέση του σταθμού SN7 σε σχέση με το ναυάγιο, όσο και κυρίως η φύση των ενώσεων

αυτών δείχνουν ότι η συγκεκριμένη ρύπανση δεν πρέπει να σχετίζεται με το ναυαγισμένο πλοίο.



Εικόνα 3.1.6 Συγκεντρώσεις των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στα επιφανειακά ιζήματα την περίοδο Μάιος 2007 – Μάιος 2011.

Ορισμένοι πυρολυτικοί πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες θεωρείται ότι έχουν καρκινογόνες ιδιότητες για τα θηλαστικά και τον άνθρωπο. Η κυριότερη τέτοια ένωση είναι το βενζο(α)πυρένιο για το οποίο έχουν αρχίσει τα τελευταία χρόνια να θέτονται αυστηρά όρια και να επιβάλλεται η συστηματική παρακολούθησή του τόσο στο περιβάλλον όσο και στα τρόφιμα. Στα δείγματα που εξετάστηκαν ιδιαίτερα μεγάλη τιμή βενζο(α)πυρενίου (330.4 ng/g) βρέθηκε στο σταθμό SN7, ενώ στην υπόλοιπη περιοχή οι τιμές ήταν ιδιαίτερα μικρές (<15 ng/g). Στην Ελληνική παράκτια ζώνη οι συγκεντρώσεις του βενζο(α)πυρενίου είναι συνήθως μικρότερες από 60 ng/g με εξαίρεση εξαιρετικά ρυπασμένες περιοχές όπως ο κόλπος της Ελευσίνας, η περιοχή της Ψυττάλειας και ο όρμος της Λάρυμνας όπου έχουν μετρηθεί τιμές 200 – 1000 ng/g.

Στον πίνακα 3.1.7 δίνονται για συγκριτικούς λόγους οι τιμές των αλειφατικών υδρογονανθράκων και των ΠΑΥ που έχουν μετρηθεί από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε σε θαλάσσια ιζήματα από διάφορες περιοχές της Ελλάδας.

Πίνακας 3.1.7. Συγκεντρώσεις των αλειφατικών υδρογονανθράκων και ΠΑΥ στα θαλάσσια ιζήματα από διάφορες περιοχές της Ελλάδας.

Περιοχή	Αλειφατικοί (μg/g)	ΠΑΥ (ng/g)
Βόρειο Αιγαίο Πέλαγος	8.5-40.6	25.3 – 282
Νότιο Αιγαίο πέλαγος		19.4 - 103.2
Κρητικό πέλαγος		14.6 – 161.5
Εκβολές Νέστου	4.3-65.8	20.6 – 422
Στρυμονικός κόλπος	26.8-95.3	133 – 838
Εκβολές Έβρου	24.8-92.8	932 – 1025
Εκβολές Αχελώου		36.4 – 560
Κόλπος Θεσσαλονίκης	38-1109	217 – 1410
Εξωτερικός Θερμαϊκός	6.5-81	37.4 - 291
Σαρωνικός κόλπος	21.5-154.6	64.6 – 838
Κορινθιακός κόλπος	8.2-29.4	207 – 10300
Παγασητικός κόλπος	14-222	107 - 5160
Βόρειος Ευβοϊκός	5.2-30.9	167 - 7760
Νότιος Ευβοϊκός		25.6 – 196
Κόλπος Ελευσίνας	415-890	1807 – 5087
Περιοχή Ψυτάλλειας	700-1770	2936 – 17090
Καλντέρα Σαντορίνης (Μάιος 2011)	8.6-12.7	33.3-4057

3.2. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ

I. Χατζηανέστης, X. Ζέρη, Γ. Παππάς, Σ. Ηλιάκης

3.2.1 Μεθοδολογία

Τα δείγματα όγκου 1 L συλλέχθηκαν με φιάλες NISKIN. Τα δείγματα οξινίστηκαν επί τόπου και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου έγινε ο προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων. Στο εργαστήριο έγινε προσυγκέντρωση με ρητίνη Chelex 100 και τα μέταλλα προσδιορίστηκαν με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης σε φούρνο γραφίτη.

3.2.2 Αποτελέσματα και Συζήτηση

Στον πίνακα 3.2.1 δίνονται οι ολικές συγκεντρώσεις (σύνολο διαλυτής και σωματιδιακής μορφής) του μολύβδου (Pb), καδμίου (Cd), νικελίου (Ni), χαλκού (Cu) και ψευδαργύρου (Zn) στη στήλη του νερού.

Όπως φαίνεται οι συγκεντρώσεις τους κυμάνθηκαν ως εξής:

Pb

Δεκέμβριος 2010: 0.48– 8.64 nM (μέση τιμή 1.26 nM, μέγιστο στον SN7, πυθμένας).

Μάιος 2011: 0.18 – 0.85 nM (μέση τιμή 0.48 nM, μέγιστο στον SN6α, πυθμένας).

Cd

Δεκέμβριος 2010: 0.022–0.126 nM (μέση τιμή 0.048 nM, μέγιστο στον SN1, επιφάνεια).

Μάιος 2011: 0.022 – 0.078 nM (μέση τιμή 0.049 nM, μέγιστο στην επιφάνεια του SN3)

Ni

Δεκέμβριος 2010: 3.15 – 5.31 nM (μέση τιμή 3.96 nM, μέγιστο στο σταθμό SN5, επιφάνεια).

Μάιος 2011: 3.1 – 14.5 nM (μέση τιμή 5.0 nM, μέγιστο στην επιφάνεια του SN6)

Cu

Δεκέμβριος 2010: 1.00 – 6.99 nM (μέση τιμή 2.38 nM, μέγιστο στο σταθμό SN1, 20m).

Μάιος 2011: 0.8 – 13.1 nM (μέση τιμή 1.7 nM, μέγιστο στην επιφάνεια του SN6α)

Zn

Δεκέμβριος 2010: 9.7– 68.3 nM (μέση τιμή 29.3, nM μέγιστο στο σταθμό SN1, 20m).

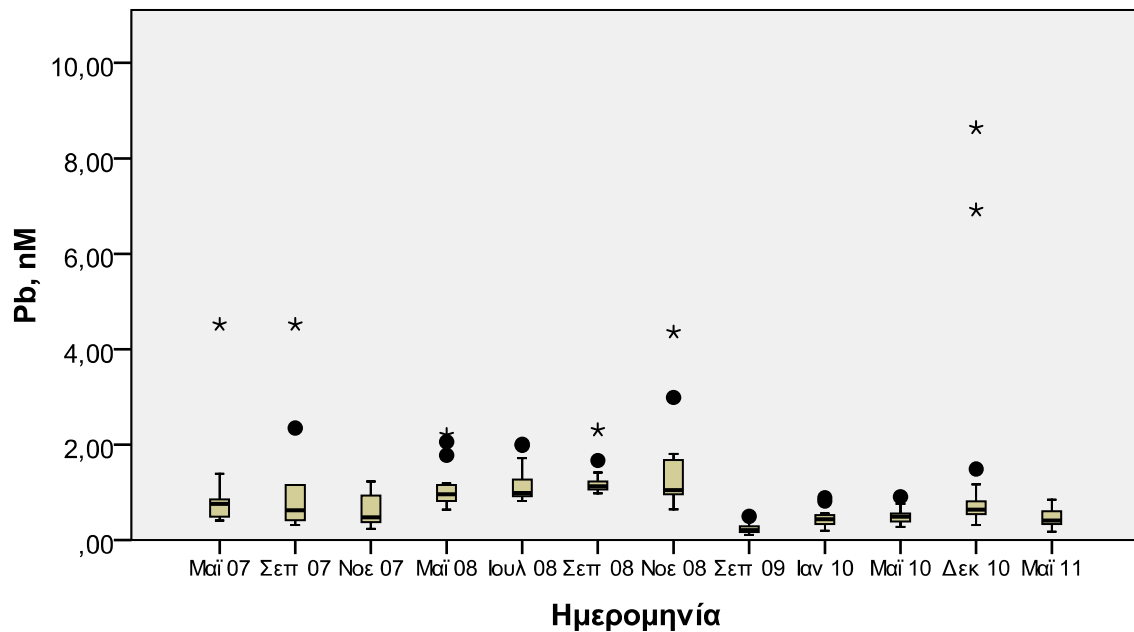
Μάιος 2011: 17.5 – 79.7 nM (μέση τιμή 31.1 nM, μέγιστο στην επιφάνεια του SN3)

Πίνακας 3.2.1 Ολικές συγκεντρώσεις (σύνολο διαλυτής και σωματιδιακής μορφής) των βαρέων μετάλλων στη στήλη του νερού (nmol/L) το Δεκέμβριο του 2010 και το Μάιο του 2011

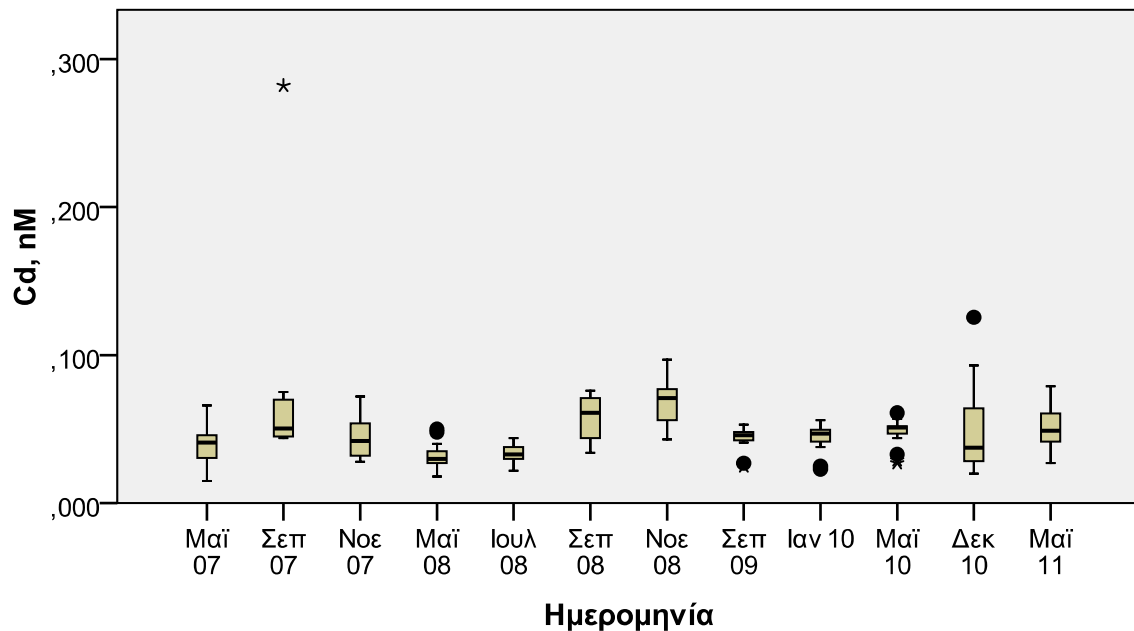
	Βάθος (m)	Cd		Cu		Zn		Ni		Pb	
		12/10	5/11	12/10	5/11	12/10	5/11	12/10	5/11	12/10	5/11
SN1	2	0.126	0.048	3.7	1.5	35.7	35.7	4.44	8.1	0.72	0.54
	20	0.074	0.076	7.0	1.4	33.2	33.2	4.74	3.6	0.82	0.54
SN3	2	0.065	0.053	2.5	4.7	79.7	79.7	3.95	5.2	0.82	0.79
	πυθμ.		0.079		1.1	32.3			3.6		0.70
SN4	2		0.059		1.4	30.3			4.4		0.43
	πυθμ.		0.069		1.4	26.7			4.2		0.36
SN5	2	0.050	0.078	2.4	1.4	51.4	32.3	5.31	5.6	0.61	0.30
	πυθμ.	0.047	0.042	1.3	1.4	31.7	30.3	3.97	4.3	0.48	0.35
SN6	2	0.093	0.077	4.4	1.9	29.4	26.7	4.96	14.5	1.17	0.69
	20	0.058	0.048	1.7	0.9	25.8	51.4	4.23	3.4	0.71	0.39
	50	0.064	0.059	2.7	1.0	35.1	31.7	4.65	3.3	0.61	0.65
	100	0.039	0.052	1.2	1.0	18.0	29.4	3.85	3.5	0.56	0.40
	πυθμ.	0.049	0.048	3.1	1.1	24.4	25.8	4.57	3.3	6.92	0.18
SN6a	2	0.034	0.041	2.4	13.1	41.4	35.1	4.11	8.2	0.79	0.29
	20	0.023	0.038	5.9	1.3	24.3	18.0	4.06	3.4	0.50	0.33
	50	0.028	0.039	1.6	0.8	27.7	24.4	4.26	3.8	0.58	0.32
	100	0.023	0.062	1.2	0.9	30.2	41.4	3.35	3.7	0.32	0.57
	πυθμ.	0.037	0.050	1.9	1.1	29.2	24.3	3.75	3.3	1.03	0.85
SN6b	2	0.036	0.027	1.4	2.0	38.1	27.7	3.36	9.5	0.64	0.32
	20	0.079	0.048	1.5	1.1	38.6	30.2	3.53	6.8	0.75	0.68
	50	0.023	0.066	1.2	2.1	28.6	29.2	3.15	3.9	0.50	0.26
	100	0.028	0.035	1.0	0.9	29.6	38.1	3.43	3.2	0.78	0.38
	πυθμ.	0.033	0.034	1.1	0.9	22.1	38.6	3.19	3.7	0.55	0.49
SN7	2	0.088	0.051	3.9	2.2	17.5	28.6	4.69	12.4	1.49	0.35
	20	0.029	0.050	1.8	1.0	26.2	29.6	3.38	3.4	0.55	0.64
	50	0.022	0.046	1.5	1.2	22.3	22.1	3.45	3.1	0.54	0.42
	100	0.020	0.041	1.3	1.6	18.9	17.5	3.25	3.4	0.50	0.52
	πυθμ.	0.037	0.046	1.7	1.0	23.6	26.2	3.44	4.2	8.64	0.37
SN8	2		0.022		1.1		27.3		4.3		0.39
	20		0.031		0.8		29.3		4.7		0.43
	50		0.027		1.5		31.9		5.1		0.51
	100		0.034		0.7		19.7		3.9		0.71
	πυθμ.		0.042		1.3		28.6		3.2		0.62
Μέση τιμή		0.048	0.049	2.4	1.7	31.1	31.5	3.96	5.0	1.26	0.48

Όλες οι τιμές των μετάλλων κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, είναι παρόμοιες με αυτές που έχουν μετρηθεί στο Αιγαίο και στο Κρητικό πέλαγος και δείχνουν ότι δεν υπάρχει πρόβλημα ρύπανσης από βαρέα μέταλλα στην περιοχή (Voutsinou et al, 2000). Επίσης δεν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των σταθμών που θα μπορούσαν να υποδηλώνουν την ύπαρξη κάποιας τοπικής πηγής ρύπανσης και επομένως από τις μετρήσεις

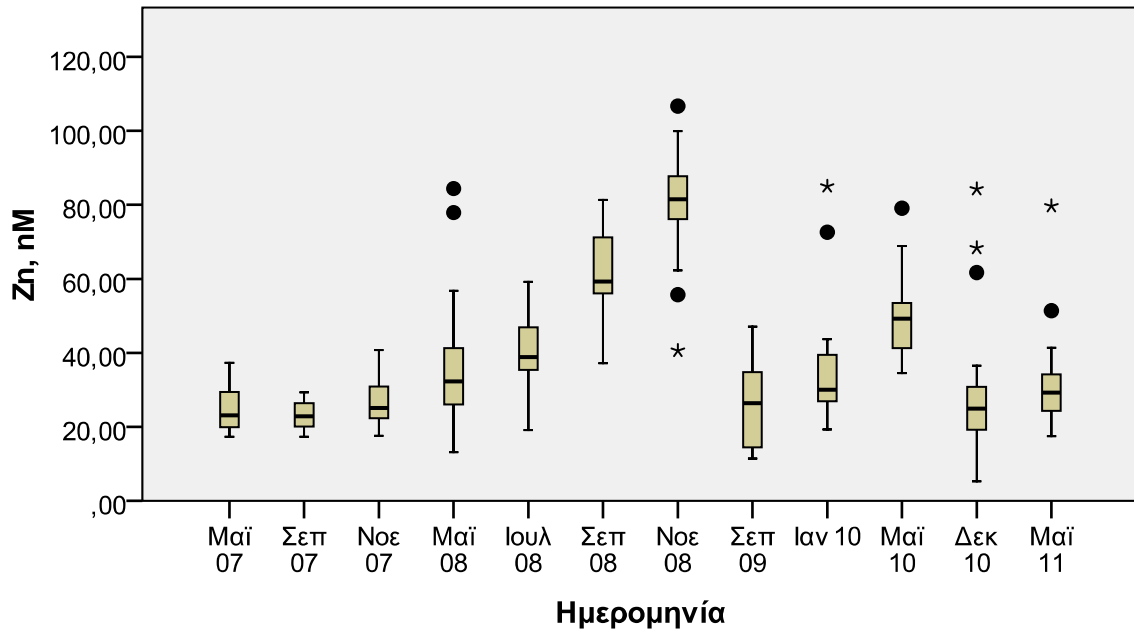
αυτές δεν προκύπτουν ενδείξεις σημαντικής απελευθέρωσης ιόντων μετάλλων από το βυθισμένο κρουαζιερόπλοιο.



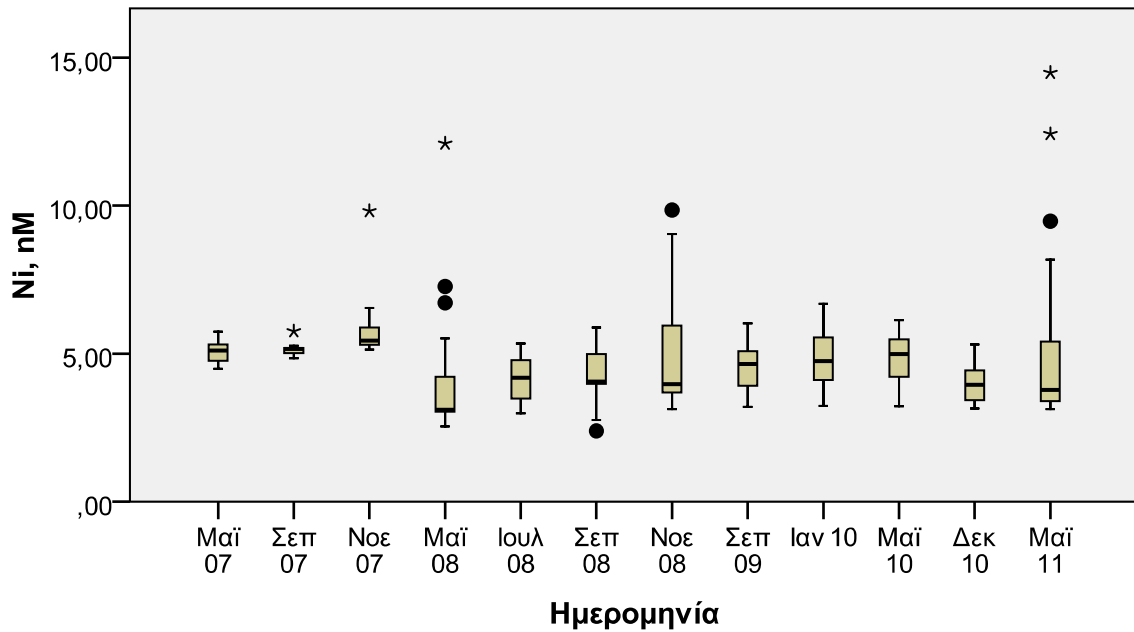
Εικόνα 3.2.1 Διακύμανση των τιμών των συγκεντρώσεων του μολύβδου (nM) στην περιοχή της καλντέρας κατά τη διάρκεια των 12 περιόδων δειγματοληψίας



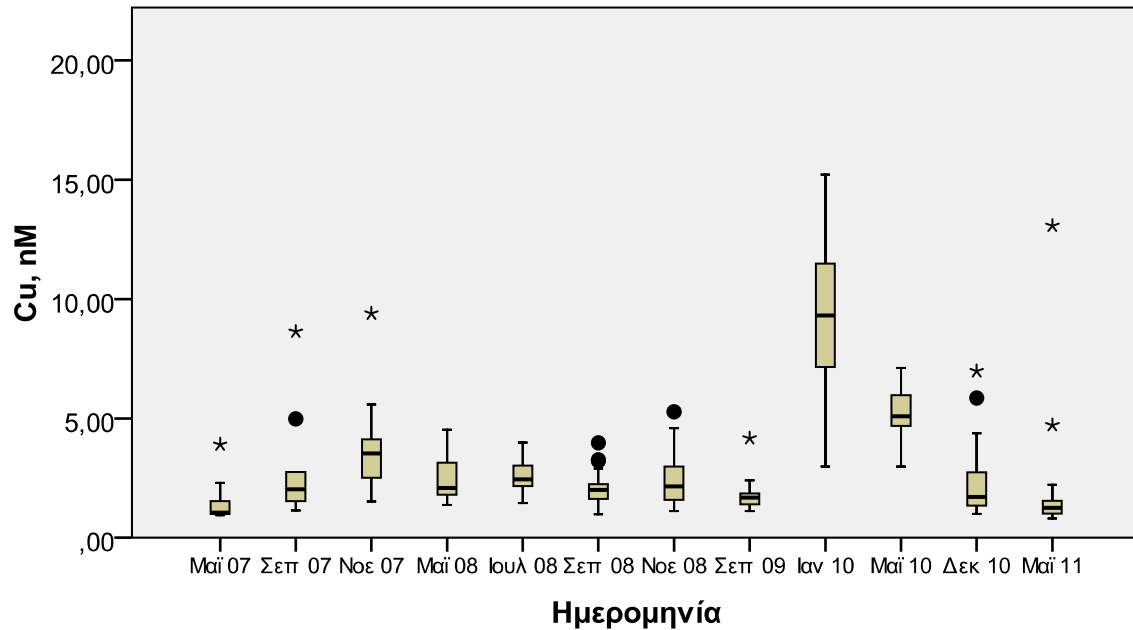
Εικόνα 3.2.2 Διακύμανση των τιμών των συγκεντρώσεων του καδμίου (nM) στην περιοχή της καλντέρας κατά τη διάρκεια των 12 περιόδων δειγματοληψίας



Εικόνα 3.2.3 Διακύμανση των τιμών των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου (nM) στην περιοχή της καλντέρας κατά τη διάρκεια των 12 περιόδων δειγματοληψίας



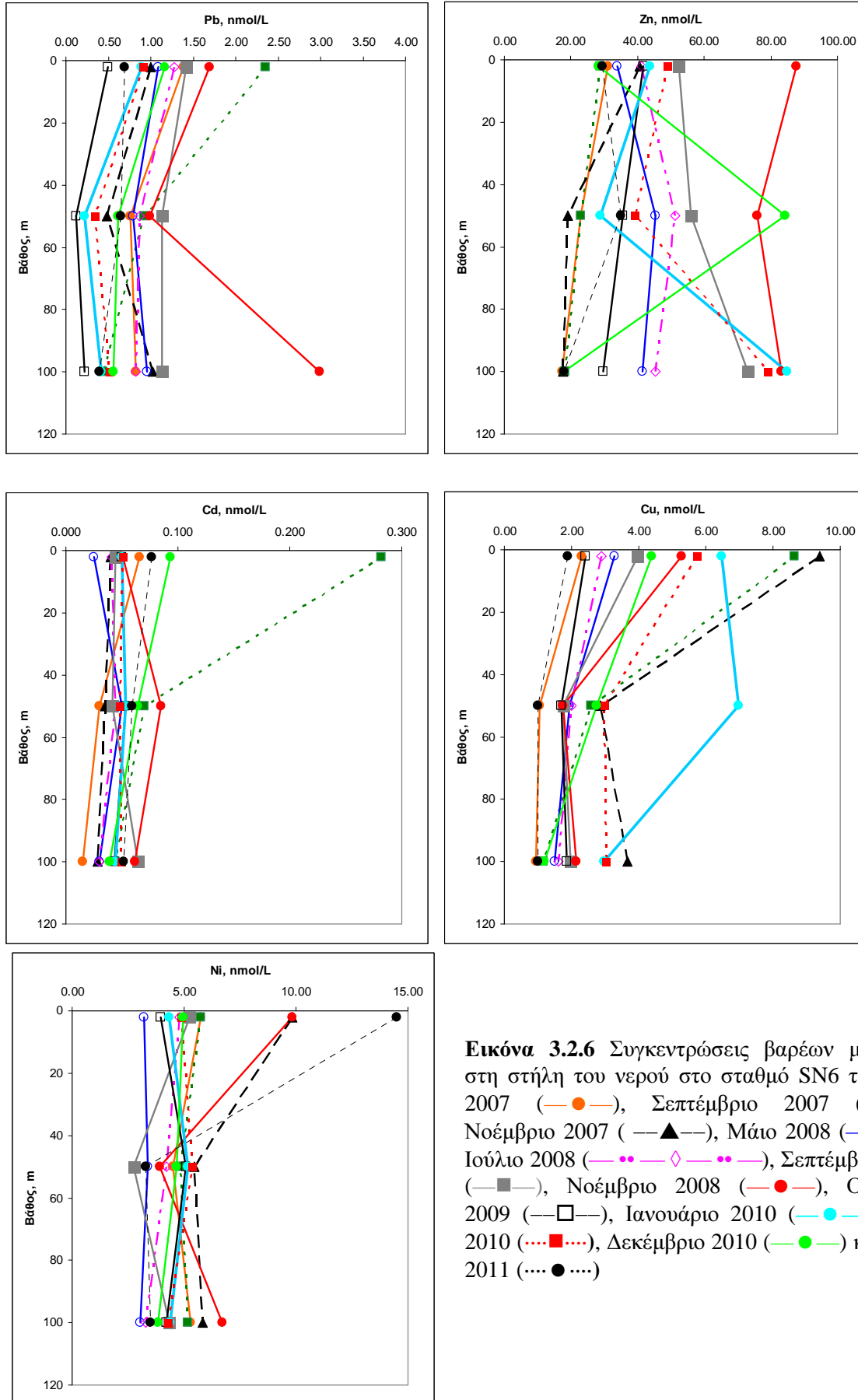
Εικόνα 3.2.4 Διακύμανση των τιμών των συγκεντρώσεων του νικελίου (nM) στην περιοχή της καλντέρας κατά τη διάρκεια των 12 περιόδων δειγματοληψίας



Εικόνα 3.2.5 Διακύμανση των τιμών των συγκεντρώσεων του χαλκού (nM) στην περιοχή της καλντέρας κατά τη διάρκεια των 12 περιόδων δειγματοληψίας

Στις εικόνες 3.2.1-3.2.5 δίνονται οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στην περιοχή της Καλντέρας σε όλες τις περιόδους που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις από το ΕΛΚΕΘΕ από το Μάιο του 2007 μέχρι το Μάιο του 2011 (12 περίοδοι). Όπως φαίνεται δεν προκύπτει κάποια σαφής τάση μείωσης ή αύξησης για κανένα μέταλλο. Η αύξηση που είχε φανεί για τον ψευδάργυρο μέχρι τον Νοέμβριο του 2008 δεν επιβεβαιώθηκε από τις επόμενες μετρήσεις.

Στην εικόνα 3.2.6 δίνονται οι κατανομές των βαρέων μετάλλων στη στήλη του νερού στο σταθμό του ναυαγίου SN6 τις 12 περιόδους δειγματοληψίας. Όπως φαίνεται και σε αυτή την περίπτωση για όλα τα μέταλλα υπάρχουν αυξομειώσεις χωρίς να εμφανίζεται κάποια σαφής τάση. Από τις μετρήσεις αυτές προκύπτει σαφώς ότι δεν φαίνεται μέχρι στιγμής επίδραση του ναυαγισμένου πλοίου στις τιμές των μετάλλων στη στήλη του νερού. Όπως έχει τονιστεί και στις προηγούμενες εκθέσεις η τυχόν αποδέσμευση προς το θαλασσινό νερό ιχνοστοιχείων και μετάλλων που προέρχονται από το σκελετό και τις διάφορες συσκευές του ναυαγίου είναι εξαιρετικά βραδεία διαδικασία και χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα για να αξιολογηθεί. Εξάλλου όπως είναι γνωστό οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο θαλασσινό νερό εξαρτώνται από πολλές φυσικοχημικές παραμέτρους και υφίστανται εποχιακές διακυμάνσεις, ενώ η περιοχή οπωσδήποτε δέχεται και άλλες πιέσεις, τόσο ανθρωπογενείς (λιμάνι του Αθηνιού, κρουαζιερόπλοια, δραστηριότητες στην πόλη των Φηρών, όσο και φυσικές (μεταλλοφορία λόγω του ηφαιστείου).



Εικόνα 3.2.6 Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στη στήλη του νερού στο σταθμό SN6 τον Μάιο 2007 (—●—), Σεπτέμβριο 2007 (....■....), Νοέμβριο 2007 (—▲—), Μάιο 2008 (—○—), Ιούλιο 2008 (—◆—), Σεπτέμβριο 2008 (—■—), Νοέμβριο 2008 (—●—), Οκτώβριο 2009 (—□—), Ιανουάριο 2010 (—●—), Μάιο 2010 (....■....), Δεκέμβριο 2010 (—●—) και Μάιο 2011 (....●....)

3.3 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ, ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ

I. Χατζηανέστης, Α. Παπαγεωργίου, Μ. Ταξιάρχη

3.3.1 Μεθοδολογία

Τα δείγματα των επιφανειακών ιζημάτων συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας δειγματολήπτη τύπου αρπάγης (grab). Ο προσδιορισμός έγινε στο ολικό κλάσμα του δείγματος και η προετοιμασία των δειγμάτων περιλάμβανε ξήρανση στους 60 °C και λειοτρίβηση σε μύλο από αχάτη. Για τον προσδιορισμό των κύριων στοιχείων (εκτός του καδμίου) 0.6 gr αναμείχθηκαν με 5.4 gr 1:1 Lithium Meta-Borate, Lithium Tetra-Borate και 0.5 gr Lithium Nitrate και ακολούθησε σύντηξη σε συσκευή Claisse™. Για τον προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων 5 gr σκόνης κάθε δείγματος χρησιμοποιήθηκαν για προετοιμασία δίσκου σε αυτόματη πρέσα. Ο προσδιορισμός των κυρίων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων έγινε σε σύστημα φθορισμού ακτίνων-X (XR-F) (Philips PW-2400) με δυνατότητα μέτρησης στοιχείων του περιοδικού συστήματος από το βόριο έως το ουράνιο. Το μέσο σφάλμα για την ανάλυση όλων των στοιχείων είναι 5%. Για τον προσδιορισμό του καδμίου έγινε χώνευση 1 g ιζήματος με νιτρικό οξύ και ο προσδιορισμός του καδμίου έγινε σε σύστημα επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος – φασματομετρίας μαζών (ICP-MS).

3.3.2. Αποτελέσματα και συζήτηση

Οι % περιεκτικότητες σε κύρια στοιχεία των επιφανειακών ιζημάτων δίνονται στον πίνακα 3.3.1. Όπως φαίνεται όλα τα δείγματα έχουν παρόμοια σύσταση και το στοιχείο που κυριαρχεί είναι το πυρίτιο με ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 22.4 και 27.5 %. Ακολουθούν το αργίλιο (7.0 – 9.5%), το ασβέστιο (4.3 – 7.6%), ο σίδηρος (3.6 – 4.4%) και το νάτριο (2.8 - 3.4%).

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων και λοιπόν ιχνοστοιχείων δίνονται στον πίνακα 3.3.2. Σε γενικές γραμμές οι τιμές των μετάλλων είναι μικρές και δείχνουν ότι δεν υπάρχει ρύπανση από βαρέα μέταλλα στην περιοχή. Πιο συγκεκριμένα:

Για τα στοιχεία V, Cr, Co, Ni, Cu, Sn, Sr, Zr, Mo και Cd οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν θεωρούνται ιδιαίτερα μικρές αντίστοιχες με αυτές του μέσου φλοιού και του μέσου σχιστόλιθου, ενώ δεν υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των δειγμάτων.

Για το Mn οι τιμές είναι αυξημένες σε όλα τα δείγματα και το γεγονός αυτό οφείλεται στη φυσική σύσταση των πετρωμάτων της περιοχής.

Πίνακας 3.3.1. % περιεκτικότητες κύριων στοιχείων στα δείγματα των ιζημάτων και οι αντίστοιχες τιμές του μέσου φλοιού (crust) και του μέσου σχιστόλιθου (shale)

Δείγμα	Al (%)	Ca (%)	Fe (%)	K (%)	Mg (%)	Na (%)	P (%)	Si (%)	Ti (%)
SN1	9.48	6.07	3.83	1.06	1.87	2.91	0.07	24.82	0.48
SN3	6.31	7.55	4.02	1.43	1.36	2.93	0.07	22.44	0.37
SN4	7.14	5.54	4.08	1.45	1.38	3.22	0.07	24.07	0.44
SN6	8.17	4.35	4.17	1.53	1.32	2.84	0.07	27.49	0.51
SN6a	7.04	5.44	4.42	1.56	1.37	3.01	0.08	24.30	0.42
SN6b	7.40	4.89	4.12	1.61	1.30	2.94	0.07	26.04	0.45
SN7	7.47	4.68	3.60	1.66	1.17	3.37	0.07	26.21	0.41
Μέσος φλοιός (crust)	8.2	4.1	4.1	2.1	2.3	2.3	0.1	27.7	0.6
Μέσος σχιστόλιθος (shale)	8.0	2.2	4.7	2.7	1.5	1.0	0.07	27.3	0.5

Πίνακας 3.3.2. Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων και οι αντίστοιχες τιμές του μέσου φλοιού (crust) και του μέσου σχιστόλιθου (shale)

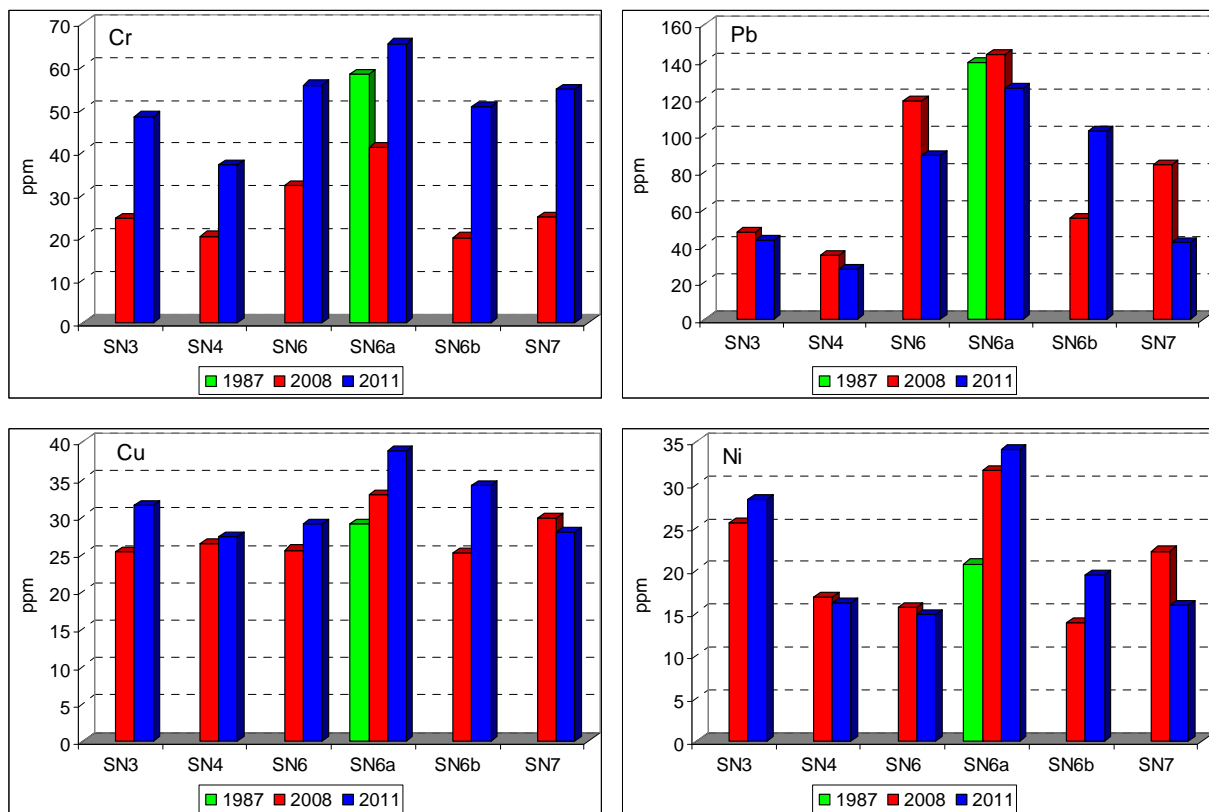
Δείγμα	V (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)	Sn (ppm)
SN1	102.1	49.0	875	5.9	14.5	12.9	0.23	8.2
SN3	120.6	48.2	2951	8.0	28.2	31.5	0.27	8.6
SN4	117.1	36.8	2223	7.0	16.1	27.3	0.22	7.2
SN6	106.0	55.5	1564	7.4	14.8	29.0	0.43	9.1
SN6a	143.7	65.3	3903	8.2	34.1	38.8	0.41	9.1
SN6b	112.3	50.5	1828	6.8	19.4	34.1	0.41	9.6
SN7	83.3	54.6	1293	4.4	15.9	27.9	0.32	11.0
Μέσος φλοιός (crust)	160	100	950	20	80	50	0.20	
Μέσος σχιστόλιθος (shale)	130	90	850	19	68	45	0.30	

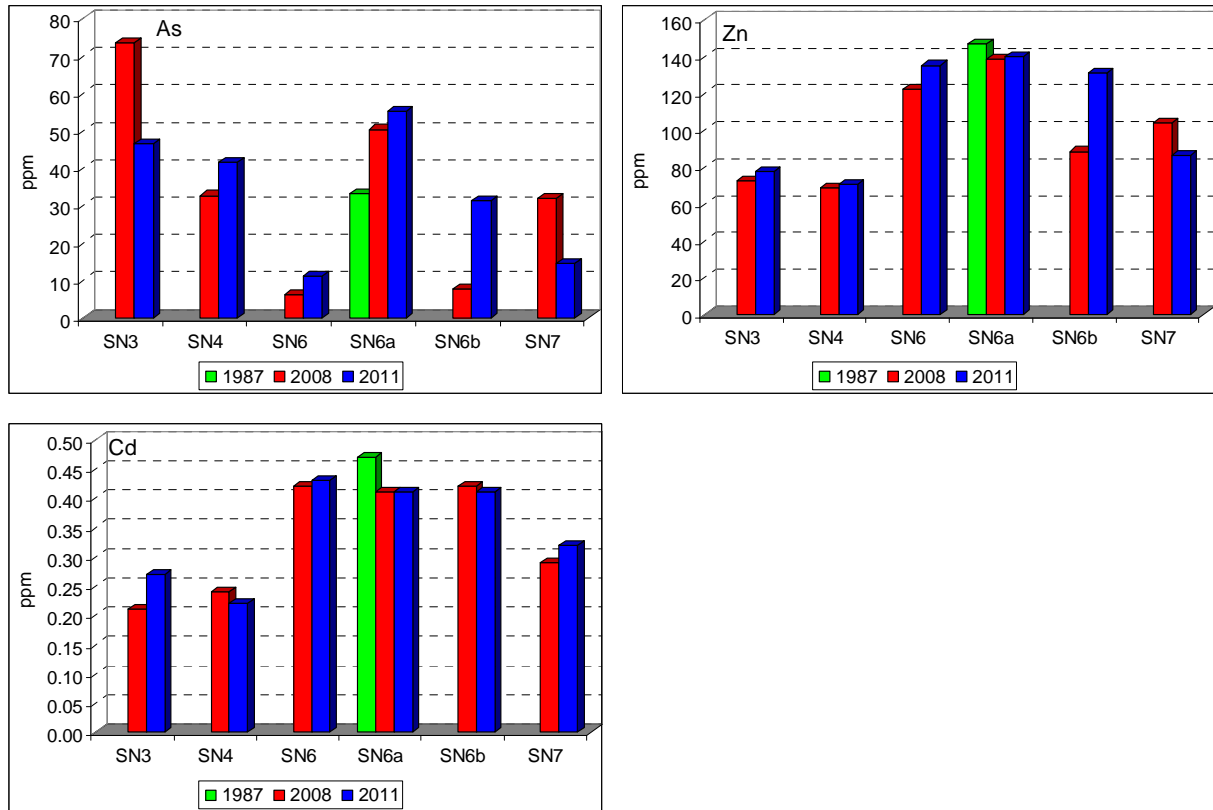
Δείγμα	Zn (ppm)	As (ppm)	Br (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Ba (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)
SN1	58.7	30.9	19.6	312.3	126.7	265.1	3.7	10.5
SN3	77.7	46.5	117.8	457.1	167.0	267.8	6.6	43.1
SN4	70.5	41.5	127.8	337.6	168.4	275.0	6.0	27.1
SN6	135.1	11.1	40.4	204.2	187.5	309.8	5.8	89.1
SN6a	139.7	55.2	96.1	298.8	180.0	291.6	7.6	125.2
SN6b	131.3	31.3	81.0	264.0	192.9	303.8	6.5	102.2
SN7	86.2	14.5	77.9	260.2	196.2	299.5	6.1	41.8
Μέσος φλοιός (crust)	75	1.5		370	190	500	1.5	14
Μέσος σχιστόλιθος (shale)	95	13		140	160	580	2.6	20

Για το As υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δειγμάτων και αυξημένες τιμές μετρήθηκαν στα δείγματα SN3, SN4 και SN6a. Είναι όμως γνωστό ότι η ηφαιστειακή δραστηριότητα εμπλουτίζει την περιοχή με As.

Για τον Pb και σε μικρότερο βαθμό για τον Zn οι τιμές εμφανίζονται αυξημένες στους σταθμούς SN6, SN6a, SN6b και σε μικρότερο ποσοστό στον SN7. Η επιβάρυνση αυτή κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται σε ανθρωπογενείς επιδράσεις που μπορεί να σχετίζονται με την κίνηση του λιμανιού του Αθηνιού και στα κρουαζιερόπλοια που δένουν στην περιοχή και με τις δραστηριότητες της πόλης των Φηρών.

Στην εικόνα 3.3.1 δίνονται για λόγους σύγκρισης οι τιμές των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά ιζήματα της Καλντέρας που μετρήθηκαν το 2008 και το 2011 στα πλαίσια της παρούσας μελέτης καθώς οι τιμές που μετρήθηκαν σε ίζημα που συλλέχθηκε από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε και από την ίδια περιοχή το 1987. Όπως φαίνεται σε γενικές γραμμές δεν υπάρχει κάποια συστηματική διαφοροποίηση των τιμών.





Εικόνα 3.3.1 Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά ιζήματα στην περιοχή της Καλντέρας το 1987, 2008 και 2011.

3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΟΣΤΡΑΚΟΕΙΔΗ (ΜΥΔΙΑ)

Α. Κατσίκη, Ι. Χατζηανέστης, Χ. Πυργάκη, Α. Γιαννούδη, Μ. Πανουτσοπούλου, Ν. Κουερίνης, Γ. Παππάς

3.4.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο διερευνά την πιθανή αύξηση της περιεκτικότητας σε μέταλλα και οργανικούς ρύπους των θαλάσσιων οργανισμών της καλδέρας λόγω απελευθέρωσης ρύπων από το ναυάγιο.

Προκειμένου να διερευνήσουμε το πιο πάνω ερώτημα, κρίνουμε σκόπιμο να δώσουμε στοιχεία για τη χρήση των βιοδεικτών στις περιβαλλοντικές μελέτες. Η μελέτη της βιοσυσσώρευσης σε υδρόβιους οργανισμούς έχει το πλεονέκτημα - σε αντίθεση με τη μελέτη του νερού- να δίνει μια χρονικά ολοκληρωμένη (time integrated) εικόνα της βιοδιαθεσιμότητας ενός ρύπου (Phillips, 1977). Ως εκ τούτου δεν επηρεάζεται από μικρής χρονικής διάρκειας διακυμάνσεις των ρύπων στο νερό. Για τέτοιες μελέτες χρησιμοποιούμε μια κατηγορία οργανισμών που λέγονται βιοδείκτες. Οι βιοδείκτες έχουν την ιδιότητα να βιοσυγκεντρώνουν τα μέταλλα σε μεγάλο βαθμό, να μην τα βιορυθμίζουν, να είναι κοσμοπολίτικοι και ικανού μεγέθους, να είναι εδραίοι ή να μετακινούνται ελάχιστα.

Σαν βιοδείκτες για τη μελέτη της επίδρασης των ρύπων στις βιοκοινωνίες της Θήρας, μέσω του προσδιορισμού των επιπέδων των μετάλλων και των υδρογονανθράκων επιλέξαμε το βενθικό είδος *Mytilus galloprovincialis*, κοινώς μύδι, που χρησιμοποιείται διεθνώς σαν βιοδείκτης (Phillips, 1977). Είναι οργανισμός που για να τραφεί διηθεί μεγάλες ποσότητες νερού και λόγω της μη δυνατότητας μετακίνησης υφίσταται όλες τις μεταβολές του θαλάσσιου περιβάλλοντος, τις οποίες και καταγράφει μέσω της βιοσυσσώρευσης.

Συμπληρωματικά χρησιμοποιήθηκαν δύο ακόμα βιοδείκτες: πεταλλίδες (*Patella sp.*) γαστερόποδα που ζουν στα βράχια της παράκτιας ζώνης και ψάρια εμπορικής αξίας.

Όλοι οι οργανισμοί που μελετήθηκαν χρησιμοποιούνται ευρέως διεθνώς αλλά και από το Εργαστήριο Οικοτοξικολογίας του ΕΛΚΕΘΕ, το οποίο και διαθέτει συγκριτικά στοιχεία σε μεγάλη βάση δεδομένων.



Εικόνα 3.4.1. Κλωβός με μύδια του είδους *Mytilus galloprovincialis* που τοποθετήθηκε στην περιοχή του ναυαγίου για τη μελέτη τυχόν βιοσυσσώρευσης ρύπων

3.4.2 Μεθοδολογία

Όπως προαναφέρθηκε επειδή δεν υπάρχουν αυτοφυείς πληθυσμοί μυδιών στην περιοχή και προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε το είδος αυτό για την εκτίμηση της επίδρασης του βυθισμένου σκάφους στον έμβιο κόσμο, προβήκαμε σε πειράματα εμφύτευσης μυδιών. Τα μύδια αυτά προέρχονταν (*Mytilus galloprovincialis*) από μυδοκαλλιέργειες στα βόρειο-δυτικά παράλια του Σαρωνικού (Λουτρόπυργος). Για την εμφύτευση τα μύδια, τοποθετήθηκαν σε ειδικά δίχτυα και επισημάνθηκαν (Εικόνα 3.4.1). Προκειμένου δε, να εξασφαλιστεί επαρκής ποσότητα μυδιών για τις αναλύσεις μετάλλων, πετρελαιοειδών και χλωριωμένων χρησιμοποιήθηκαν περίπου 250 μύδια σε κάθε σημείο εμφύτευσης.

Τα ψάρια αλιεύθηκαν και παραδόθηκαν σε κατάσταση ψύξης στο ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε διαμέσου του Προέδρου του Συλλόγου Αλιέων Θήρας. Η πρώτη δειγματοληψία (Νοέμβριος 2010) αφορούσε μεγάλο αριθμό ψαριών του είδους *Boops boops* (γόπα) και η δεύτερη (Μάιος 2011) μεγαλύτερο αριθμό ειδών (σκορπίνες, χάνοι, γερμανοί, μπαρμπούνια), αλλά σε μικρότερο αριθμό ατόμων.

Τα δείγματα των πεταλίδων συλλέχθηκαν και παραδόθηκαν σε κατάσταση ψύξης στο ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. από τον δύτη Καραμολέγκο Ε.

Μετά τη συλλογή τους τα μύδια, πεταλίδες και ψάρια τοποθετήθηκαν σε ισόθερμα δοχεία και μεταφέρθηκαν εντός 24 ωρών στο εργαστήριο όπου μετά την καταγραφή των σωματικών τους χαρακτηριστικών, απομονώθηκε η σάρκα τους, ξηράνθηκε σε συσκευή

λυοφίλησης, ομογενοποιήθηκε και ακολούθησαν ο προσδιορισμός υδρογονανθράκων και βαρέων μετάλλων.

Για την ανάλυση των μετάλλων στα δείγματα των μυδιών προετοιμάστηκαν 6 μεικτά δείγματα από τους μαλακούς ιστούς περίπου 15 μυδιών το καθένα, ενώ στα δείγματα των πεταλίδων 3 μεικτά δείγματα από τους μαλακούς ιστούς περίπου 15 πεταλίδων το καθένα. Για την ανάλυση των μετάλλων στα ψάρια προετοιμάστηκαν 6 μεικτά δείγματα από τους μυς (φιλέτο) 10 ατόμων παρόμοιου μεγέθους το καθένα. Για τα είδη που διαθέταμε μικρότερο αριθμό ατόμων προετοιμάστηκε μικρότερος αριθμός μεικτών δειγμάτων (3-4) από 7 άτομα το καθένα, εκτός από τα μπαρμπούνια που το μοναδικό δείγμα προετοιμάστηκε από το φιλέτο δύο μόνο ατόμων γι' αυτό και οι τιμές που δίνονται είναι εντελώς ενδεικτικές.

Σε όλα τα δείγματα έγινε χώνευση 1 g ξηρού ιστού με πυκνό HNO_3 υπό πίεση σε φούρνο μικροκυμάτων CEM MDS 2100. Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων Cu, Ni, Fe, Zn, Cr, Cd, Mn, Pb & Hg στα δείγματα προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης. Χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης VARIAN SPECTR AA 20 plus, με φλόγα για τα Cu, Fe, Zn, Mn και φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης PERKIN ELMER 4100 με φούρνο γραφίτη για τα Ni, Cr, Cd & Pb. Αντίστοιχα ο Hg προσδιορίστηκε με την μέθοδο των ψυχρών ατμών (cold vapor) στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης VARIAN SPECTR AA 20.

Ο έλεγχος της αναλυτικής μεθοδολογίας των μετρήσεων έγινε με την ταυτόχρονη ανάλυση πρότυπων δειγμάτων (γνωστής συγκέντρωσης μετάλλων), ενώ χρησιμοποιήθηκε και πρότυπο δείγμα της BCR (*Ulva lactuca*).

Για την ανάλυση των υδρογονανθράκων 3 g ξηρού ιστού σαπωνοποιήθηκαν με μεθανολικό διάλυμα καυστικού καλίου και στη συνέχεια έγινε εκχύλιση των μη σαπωνοποιημένων συστατικών με εξάνιο. Ακολουθεί καθαρισμός και κλασματοποίηση του εκχυλίσματος σε στήλη ενεργοποιημένης Silica gel και συλλογή δύο κλασμάτων: το πρώτο με 10 ml εξανίου που περιέχει τους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες και το δεύτερο με 10 ml εξανίου – οξικού αιθυλεστέρα 9:1 που περιέχει τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Τα 2 κλάσματα καθαρίστηκαν περαιτέρω σε στήλη Al_2O_3 απενεργοποιημένου με 6% νερό και ο ποσοτικός προσδιορισμός των ενώσεων έγινε με αέρια χρωματογραφία - φασματοσκοπία μάζας (Hewlett-Packard GC/MS 6890).

3.4.3 Αποτελέσματα και συζήτηση

Α. ΜΥΔΙΑ

Δυστυχώς κανένα από τα δείγματα που τοποθετήθηκαν στις 25/11/2010 δεν βρέθηκε είτε από ανθρώπινη παρέμβαση, είτε από κακές καιρικές συνθήκες και για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα που ακολουθούν αφορούν στα μύδια που εμφυτεύθηκαν στις 31/3/2011.

Υδρογονάνθρακες

Οι συγκεντρώσεις των υδρογονανθράκων που προσδιορίστηκαν στη σάρκα των μυδιών δίνονται στον πίνακα 3.4.1.

Οι συγκεντρώσεις των αλειφατικών υδρογονανθράκων είναι γενικά μικρές. Οι μεγαλύτερες τιμές (98.7 μg/g ξηρού βάρους) που δείχνουν μικρή πετρελαϊκή ρύπανση μετρήθηκαν στο σημείο του ναυαγίου και σε βάθος 40 m, βαίνουν μειούμενες προς την επιφάνεια και προφανώς σχετίζονται με τη συνεχιζόμενη διαρροή πετρελαιοειδών από το ναυάγιο. Πάντως και οι τιμές αυτές εξακολουθούν να είναι σημαντικά μικρότερες από αντίστοιχες τιμές σε μύδια που έχουν συλλεγεί από άλλες παράκτιες περιοχές που δέχονται σημαντικές ανθρωπογενείς επιδράσεις όπως είναι ο Θερμαϊκός και ο Σαρωνικός κόλπος. Στα υπόλοιπα σημεία οι τιμές των αλειφατικών υδρογονανθράκων είναι ιδιαίτερα μικρές. Ο λόγος U/R δείχνει μια μικρή πετρελαϊκή επιβάρυνση σε όλες τις περιπτώσεις εικόνα συνηθισμένη στην Ελληνική παράκτια ζώνη. Και εδώ η μεγαλύτερη επιβάρυνση φαίνεται στο σημείο του ναυαγίου σε βάθος 40 m

Συγκρίνοντας τις τιμές που μετρήθηκαν το 2011 με αυτές που μετρήθηκαν στα εμφυτευμένα μύδια που τοποθετήθηκαν στο σημείο του ναυαγίου και σε βάθος 5 m το 2008 και το 2010 (εικόνα 3.4.2) φαίνεται ότι το 2011 η βιοσυσσώρευση των αλειφατικών υδρογονανθράκων είναι σημαντικά μειωμένη σε σχέση με το 2008 και ελαφρά μειωμένη σε σχέση με το 2010.

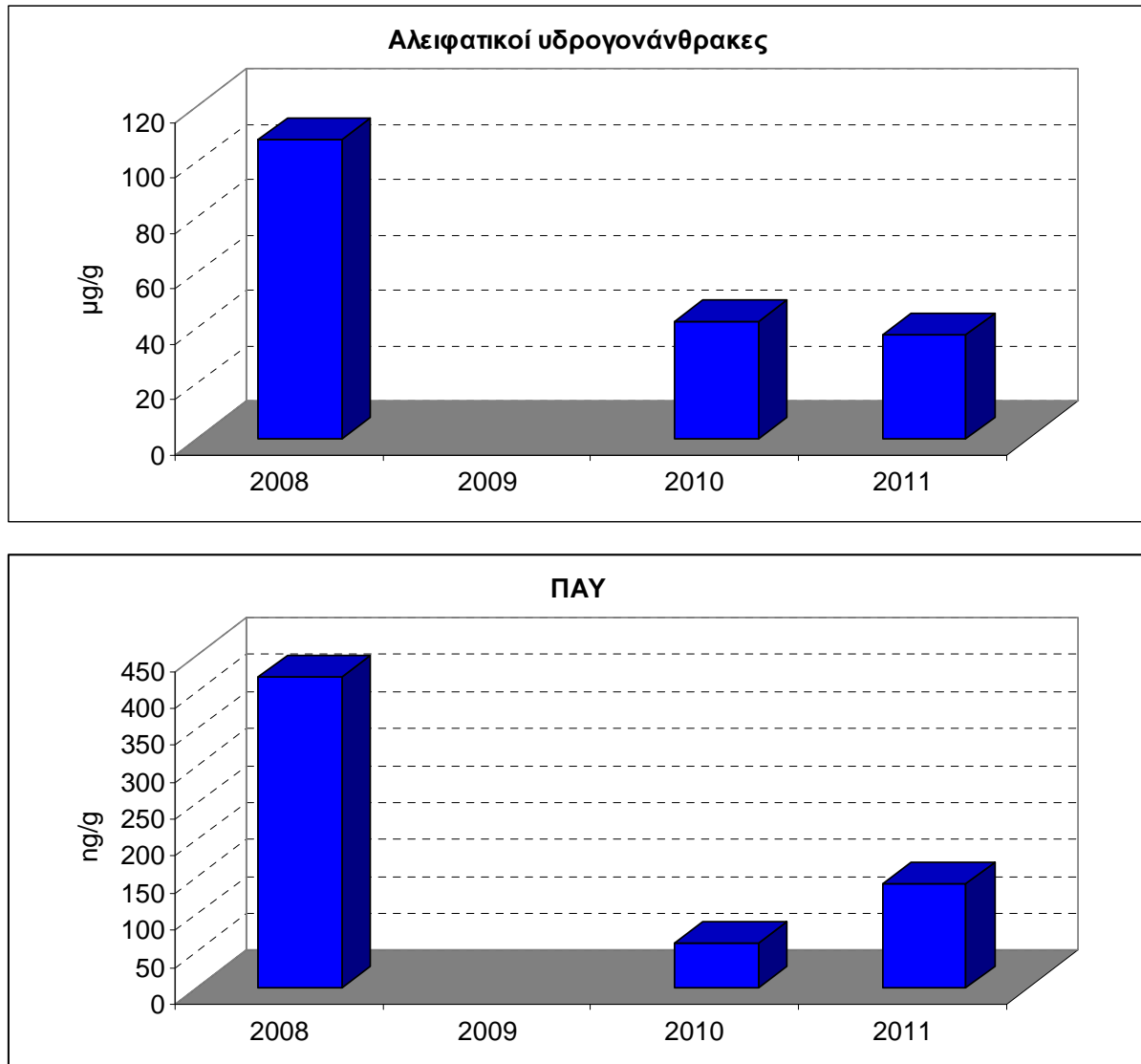
Οι συγκεντρώσεις των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (ΠΑΥ) είναι σε όλα τα σημεία μικρότερες από 150 ng/g και θεωρούνται μικρές και αντίστοιχες με αυτές που μετρώνται σε μη ρυπασμένες παράκτιες περιοχές στην Ελλάδα. Η προέλευση των ΠΑΥ είναι πετρελαϊκή σε όλες τις περιπτώσεις, ενώ οι ενώσεις πυρολυτικής προέλευσης ανιχνεύθηκαν σε εξαιρετικά μικρές συγκεντρώσεις. Στο σημείο του ναυαγίου οι τιμές των ΠΑΥ το 2011

ήταν σημαντικά μειωμένες σε σχέση με το 2008, αλλά ελαφρά αυξημένες σε σχέση με το 2010.

Πίνακας 3.4.1 Συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων σε ιστούς μυδιών που τοποθετήθηκαν στην περιοχή του ναυαγίου στις 31/3/2011. Όλες οι τιμές είναι εκφρασμένες σε ξηρό βάρος ιστού.

Σταθμός	Ναυάγιο			Ημεροβίγλι		Θηρασιά	
	5m	20m	40m	5m	40m	5m	40m
Συνολικοί υδρογονάνθρακες (μg/g)	37.7	55.2	98.8	29.4	23.6	27.5	21.9
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες (μg/g)	37.6	55.1	98.7	29.3	23.5	27.4	21.8
U/R	6.7	7.2	16.7	8.1	7.9	7.2	6.2
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) (ng/g)							
Ναφθαλένιο	5.7	5.2	4.1	4.1	5.6	4.8	4.3
Ακεναφθυλένιο	0.1	μ.α.	0.1	μ.α.	μ.α.	0.1	μ.α.
Ακεναφθένιο	0.1	0.1	0.2	μ.α.	0.1	μ.α.	μ.α.
Φλουορένιο	0.8	0.2	0.2	0.3	0.9	0.2	0.2
Διβενζοθειοφένιο	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.
Φαινανθρένιο	13.0	12.9	14.1	14.2	13.3	13.7	13.0
Ανθρακένιο	0.7	0.5	0.9	0.6	0.5	0.5	0.5
Φλουορανθένιο	2.7	2.9	3.1	3.0	2.7	2.9	2.8
Πυρένιο	0.9	1.0	1.1	1.0	0.8	0.9	0.9
Βενζο(α)ανθρακένιο	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7	1.5	1.4
Χρυσένιο	5.7	5.6	7.2	6.1	4.7	4.9	5.0
Βενζο(β)φλουορανθένιο	2.5	2.5	2.6	2.4	2.5	2.5	2.7
Βενζο(κ)φλουορανθένιο	0.4	0.4	0.1	0.2	0.6	0.2	0.1
Βενζο(ε)πυρένιο	0.9	0.9	1.7	1.1	0.8	0.8	0.8
Βενζο(α)πυρένιο	1.2	1.1	1.2	1.0	1.3	0.9	0.9
Περυλένιο	0.1	0.1	0.1	0.1	μ.α.	μ.α.	μ.α.
Ινδενο(1,2,3-cd)πυρένιο	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.
Διβενζο(a,h)ανθρακένιο	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.
Βενζο(ghi)περυλένιο	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
Μεθυλοναφθαλένια	1.1	2.3	6.3	1.1	0.7	1.1	0.9
Διμεθυλοναφθαλένια	0.5	4.2	10.7	2.3	0.3	0.1	0.2
Τριμεθυλοναφθαλένια	0.5	5.1	13.7	3.6	0.5	0.8	0.1
Μεθυλοδιβενζοθειοφένια	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.
Μεθυλοφαινανθρένια	21.2	24.5	33.2	19.7	18.7	19.6	19.1
Διμεθυλοφαινανθρένια	21.0	27.3	39.0	23.6	13.1	14.7	18.6
Ρετένιο	0.1	0.1	0.2	μ.α.	μ.α.	μ.α.	μ.α.
ΣΠΑΥ	80.8	98.5	141.6	86.1	68.9	70.3	71.6

μ.α.: μη ανιχνεύσιμα, όριο ανίχνευσης 0.1 ng/g ξηρού βάρους



Εικόνα 3.4.2 Συγκεντρώσεις αλειφατικών και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στα δείγματα των μυδιών κατά τη διάρκεια των ετών 2008-2011

Από όλες τις ενώσεις που προσδιορίστηκαν ανώτατα επιτρεπτά όρια για κατανάλωση οστρακοειδών έχουν τεθεί μόνο για το βενζο(α)πυρένιο και αυτά είναι 10 ng/g υγρού βάρους. Στα δείγματα που μετρήθηκαν, οι συγκεντρώσεις του βενζο(α)πυρενίου ήταν σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερες από 0.2 ng/g υγρού βάρους

Βαρέα μέταλλα

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στα δείγματα των μυδιών δίνονται στον Πίνακα 3.4.2 εκφρασμένα σε µg μετάλλου ανά g ξηρού βάρους ιστού.

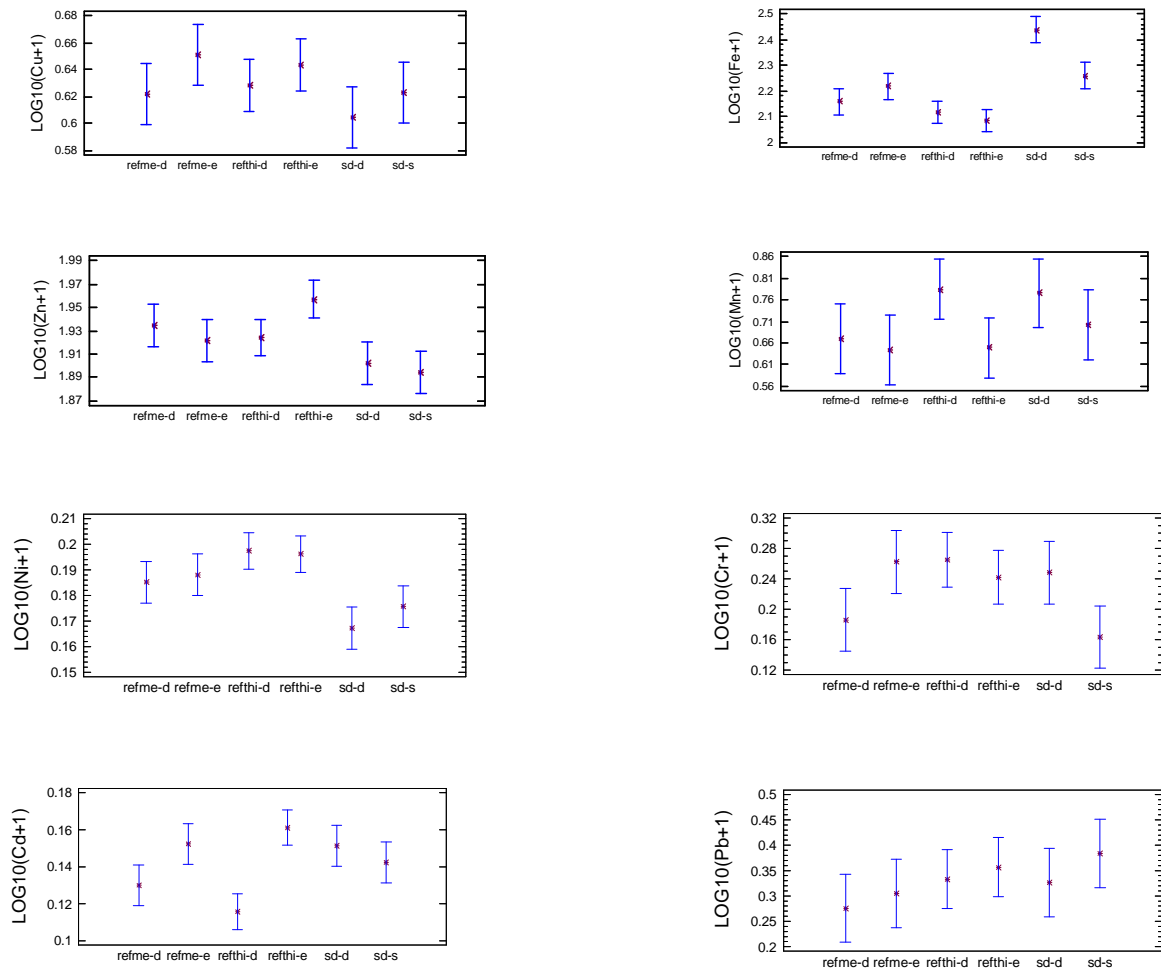
Πίνακας 3.4.2 Περιεκτικότητα εμφυτευμένων μυδιών σε μέταλλα σε µg/gξηρού βάρους. (N=αριθμός δειγμάτων, Mo=μέση τιμή, SD=τυπική απόκλιση και όπου refme=Ημεροβίγλι, refthi=Θηρασία, sd=ναυάγιο, βάθος τοποθέτησης των μυδιών e=5 m, m= 20 m & d=40 m)

	μέταλλο	N	MO	SD		μέταλλο	N	MO	SD
refme-d	Zn	3	85.10	4.68		Ni	3	0.53	0.03
refme-e		3	82.44	1.30			3	0.54	0.01
refthi-d		4	83.15	6.62			4	0.58	0.06
refthi-e		4	89.61	3.39			4	0.57	0.01
sd-d		3	78.79	1.53			3	0.47	0.02
sd-m		5	86.20	5.58			5	0.54	0.08
sd-s		3	77.38	1.69			3	0.50	0.01
refme-d	Cu	3	3.18	0.09		Cr	3	0.54	0.07
refme-e		3	3.48	0.08			3	0.85	0.30
refthi-d		4	3.27	0.42			4	0.86	0.34
refthi-e		4	3.40	0.18			4	0.75	0.09
sd-d		3	3.03	0.31			3	0.77	0.03
sd-m		5	3.38	0.15			5	0.44	0.08
sd-s		3	3.20	0.08			3	0.46	0.04
refme-d	Mn	3	3.69	0.30		Cd	3	0.35	0.02
refme-e		3	3.41	0.30			3	0.42	0.03
refthi-d		4	5.59	3.42			4	0.31	0.05
refthi-e		4	3.48	0.35			4	0.45	0.04
sd-d		3	4.96	0.16			3	0.42	0.07
sd-m		5	4.46	0.27			5	0.42	0.10
sd-s		3	4.03	0.25			3	0.39	0.01
refme-d	Fe	3	145.59	28.98		Pb	3	0.89	0.04
refme-e		3	164.84	18.14			3	1.02	0.16
refthi-d		4	130.86	18.63			4	1.19	0.50
refthi-e		4	121.94	17.12			4	1.30	0.42
sd-d		3	272.59	11.93			3	1.12	0.03
sd-m		5	188.32	19.55			5	1.37	0.18
sd-s		3	182.04	20.71			3	1.51	0.85

Όπως μαρτυρά ο δείκτης ευρωστίας των εμφυτευμένων μυδιών οι συνθήκες διαβίωσης ήταν παρόμοιες σε όλες τις περιοχές του πειράματος, αν και πάνω από το ναυάγιο λόγω γειννίας με το λιμάνι τα μύδια ήταν ελαφρά πιο εύρωστα.

Προκειμένου να συγκρίνουμε τη βιοσυσσώρευση των μετάλλων στα μύδια που τοποθετήθηκαν πάνω από το ναυάγιο (sd) και αυτά στις περιοχές αναφοράς (όπου refme=Μεροβίγλι, refthi=Θηρασία, sd=ναυάγιο και με βάθος τοποθέτησης μυδιών

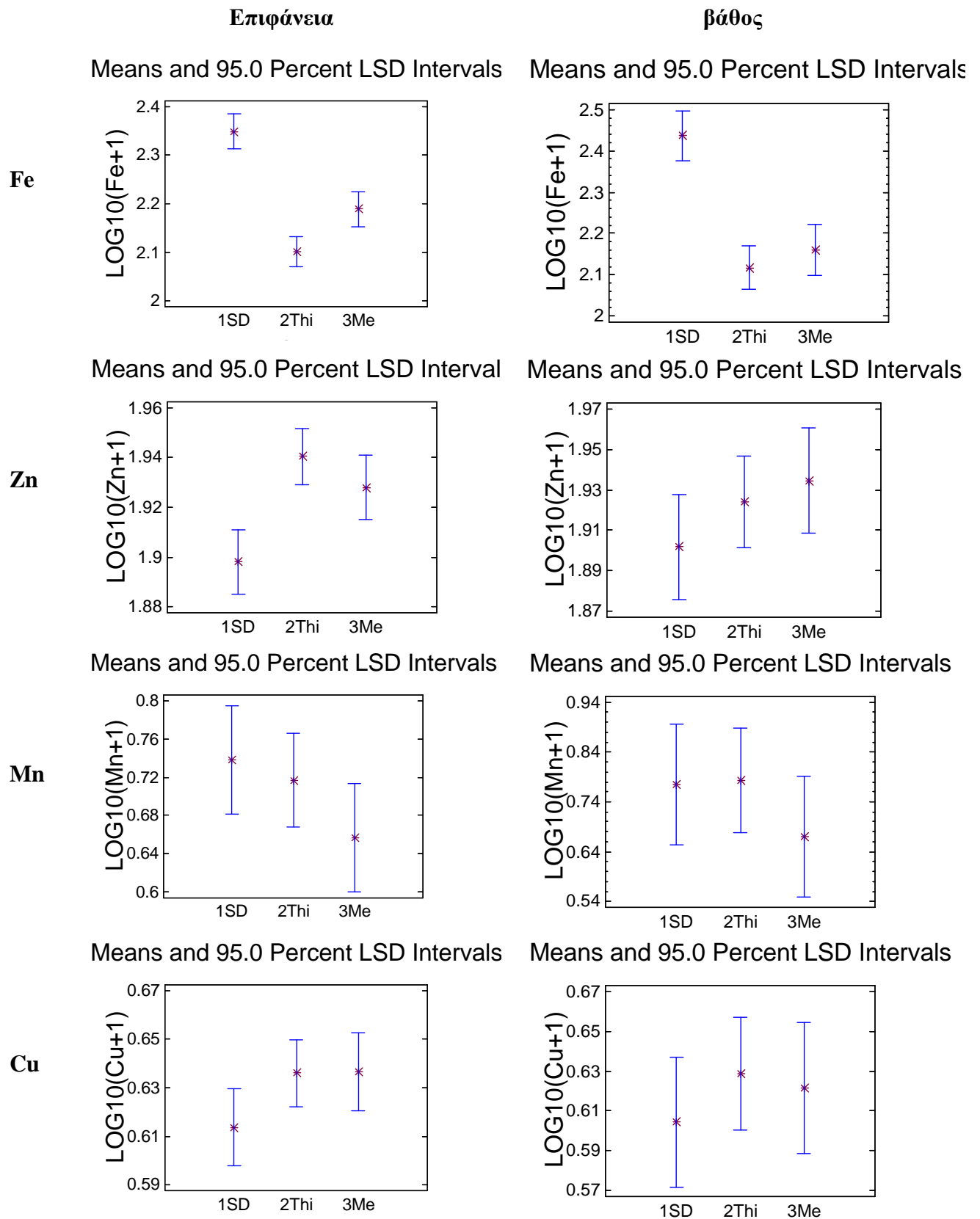
e=επιφάνεια & d=βάθος) κάναμε ανάλυση διασποράς ενός παράγοντα, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται γραφικά στην εικόνα 3.4.3.



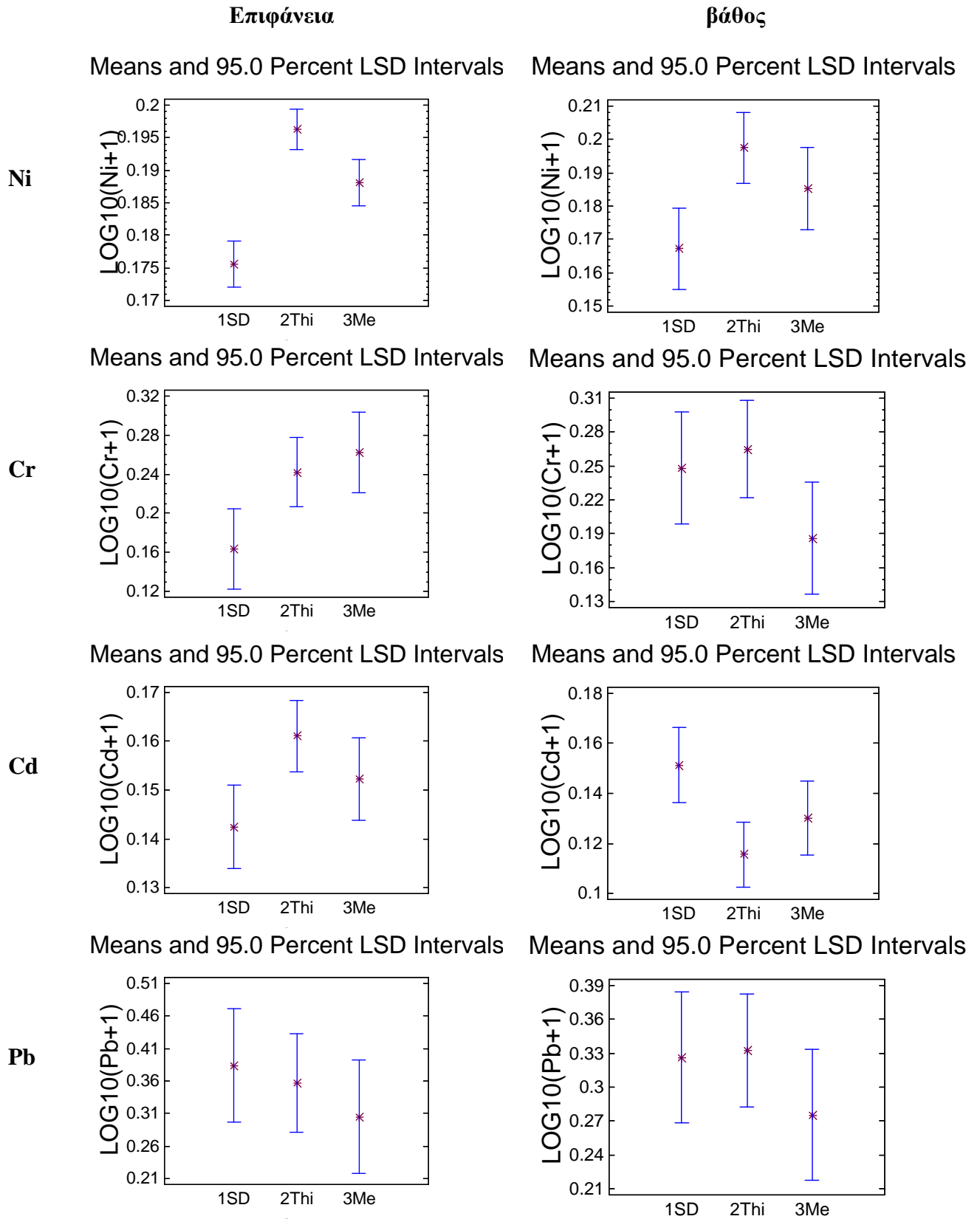
Εικόνα 3.4.3: Διαφορές στη βιοσυσσώρευση των εμφυτευμένων πάνω από το ναυάγιο (sd) και στις περιοχές αναφοράς (refme=Μεροβίγλι, refthi=Θηρασία) σε 2 βάθη (d=βάθος 40μ, e=επιφάνεια 5μ)

Τα μύδια που τοποθετήθηκαν πάνω από το ναυάγιο μόνο στην περίπτωση του σιδήρου περιείχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις και μάλιστα τα τοποθετημένα βαθύτερα ήταν πιο επιβαρημένα. Για τα υπόλοιπα μέταλλα είτε δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($P > 0,05$) ανάμεσα στις περιοχές (μόλυβδος, χαλκός, μαγγάνιο), είτε τα μύδια από το χώρο του ναυαγίου είχαν χαμηλότερες συγκεντρώσεις (ψευδάργυρος, νικέλιο), είτε δεν υπήρχε κάποια σαφής τάση (χρώμιο, κάδμιο).

Για να προσεγγίσουμε καλύτερα τις διαφορές ανάμεσα στα μύδια που τοποθετήθηκαν πάνω από το ναυάγιο και τις περιοχές αναφοράς προβήκαμε και σε ανάλυση διασποράς δύο παραγόντων (2way ANOVA) με παράγοντες α) την περιοχή και β) το βάθος τοποθέτησης των μυδιών. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας δίνονται στα διαγράμματα της εικόνας 3.4.4.



Εικόνα 3.4.4: Διαφορές στη βιοσυσσώρευση μετάλλων στα μύδια πάνω από το ναυάγιο (1SD) και τις περιτοχές αναφοράς (2Thi=Θηρασία & 3Me=Ημεροβίγλι)

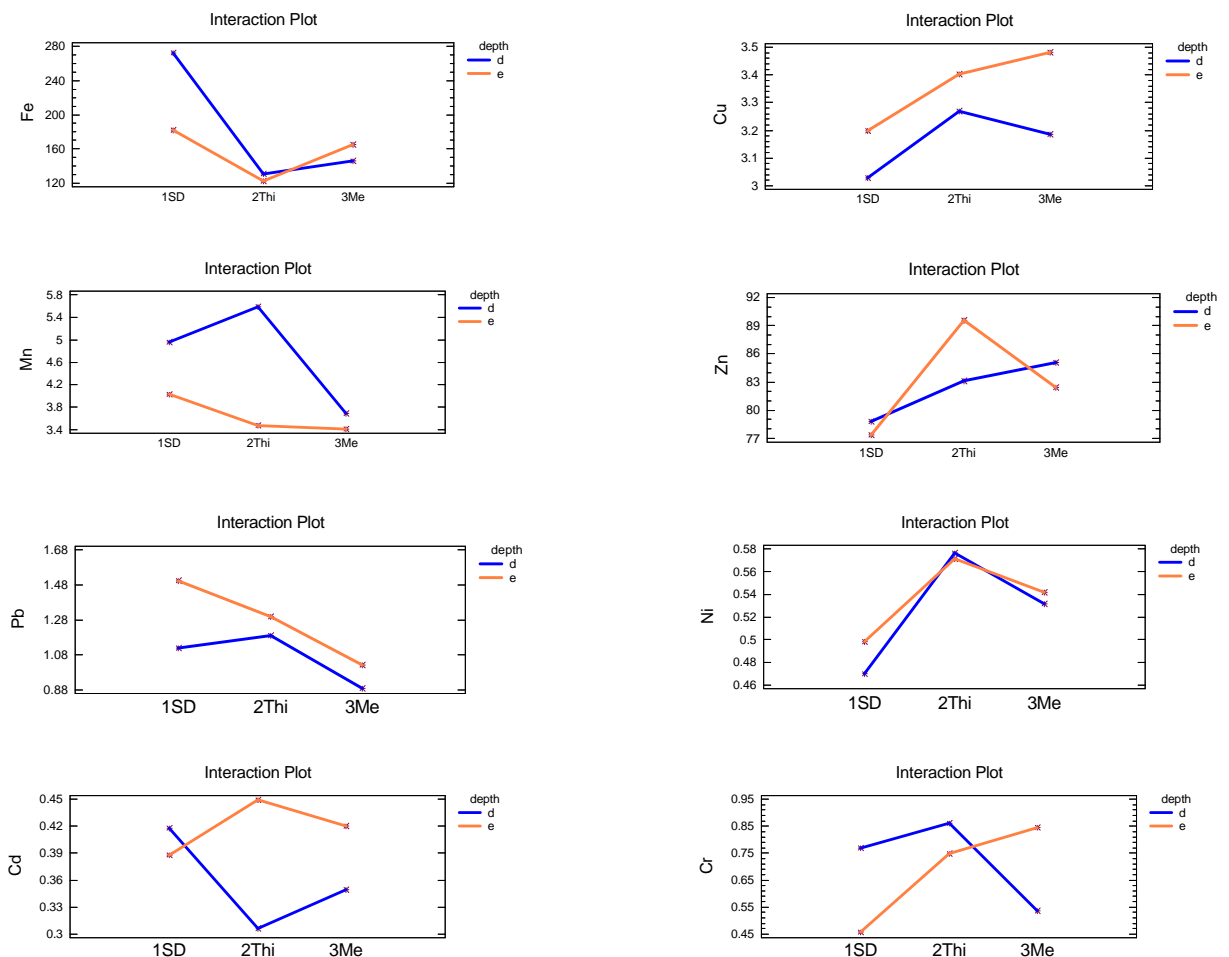


Εικόνα 3.4.4 (συνέχεια): Διαφορές στη βιοσυσσωρευση μετάλλων στα μύδια πάνω από το ναυάγιο (1SD) και τις περιοχές αναφοράς (2Thi=Θηρασία & 3Me=Ημεροβίγλι)

Από τα διαγράμματα της εικόνας 3.4.4 φαίνεται καθαρά ότι μόνο στην περίπτωση του σιδήρου (Fe) οι συγκεντρώσεις στα μύδια πάνω από το ναυάγιο ήταν υψηλότερες από αυτές των άλλων περιοχών και μάλιστα και στα δύο βάθη (5 & 40μ). Αυτό πιθανώς φανερώνει ότι η οξείδωση του σκελετού του πλοίου προσφέρει σίδηρο στο περιβάλλον και επηρεάζει τη βιοσυσώρευση από τα μύδια.

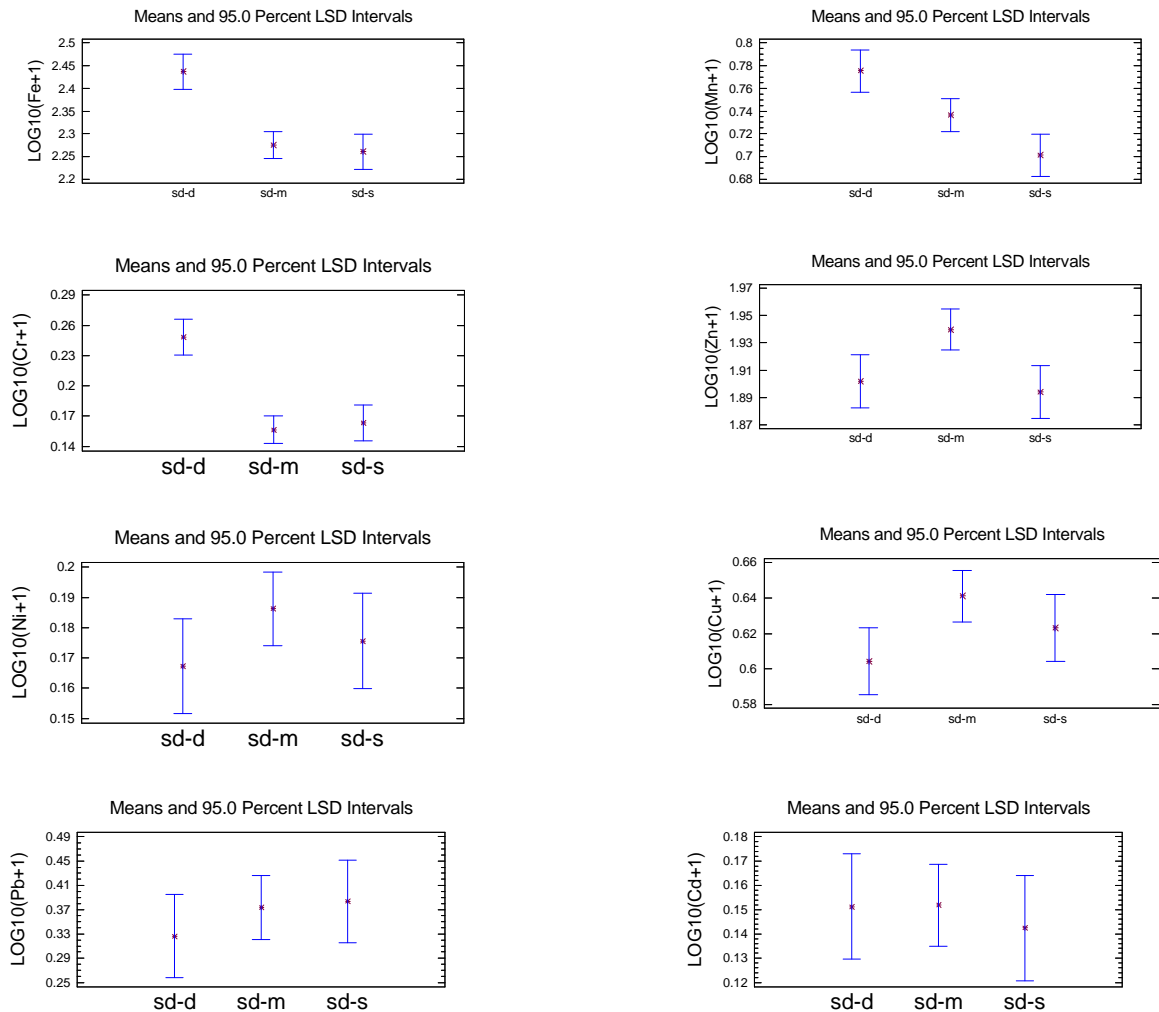
Από τα υπόλοιπα μέταλλα ενδιαφέρον παρουσιάζει το κάδμιο που βρέθηκε επίσης αυξημένο στα δείγματα μόνο του βάθους (40μ) πάνω από το ναυάγιο, ενώ η αντίθετη εικόνα υπάρχει για τα πιο επιφανειακά δείγματα. Το εύρημα αυτό υπάρχει μικρή πιθανότητα να σχετίζεται με το ναυάγιο.

Οι πιο πάνω διαφορές ανάμεσα στα μύδια του πειράματος συνοψίζονται και στα διαγράμματα της εικόνας 3.4.5.



Εικόνα 3.4.5: Διαγράμματα μέσω συγκεντρώσεων μετάλλων στα μύδια του 4^{ου} πειράματος (μύδια πάνω από το ναυάγιο 1SD, περιοχές αναφοράς 2Thi=Θηρασία & 3Me=Ημεροβίγλι, e=επιφάνεια, d=βάθος)

Όπως αναφέρθηκε, πάνω από το ναυάγιο τοποθετήθηκαν μύδια σε 3 βάθη και όχι σε 2 όπως στις περιοχές αναφοράς. Η διερεύνηση των διαφορών ανάμεσα στις συγκεντρώσεις σε μέταλλα των μυδιών που τοποθετήθηκαν πάνω από το Sea Diamond στα 5, 20 & 40 m βάθος διερευνήθηκε με ανάλυση διασποράς ενός παράγοντα (ANOVA), τα αποτελέσματα της οποίας δίνονται γραφικά στην εικόνα 3.4.6.

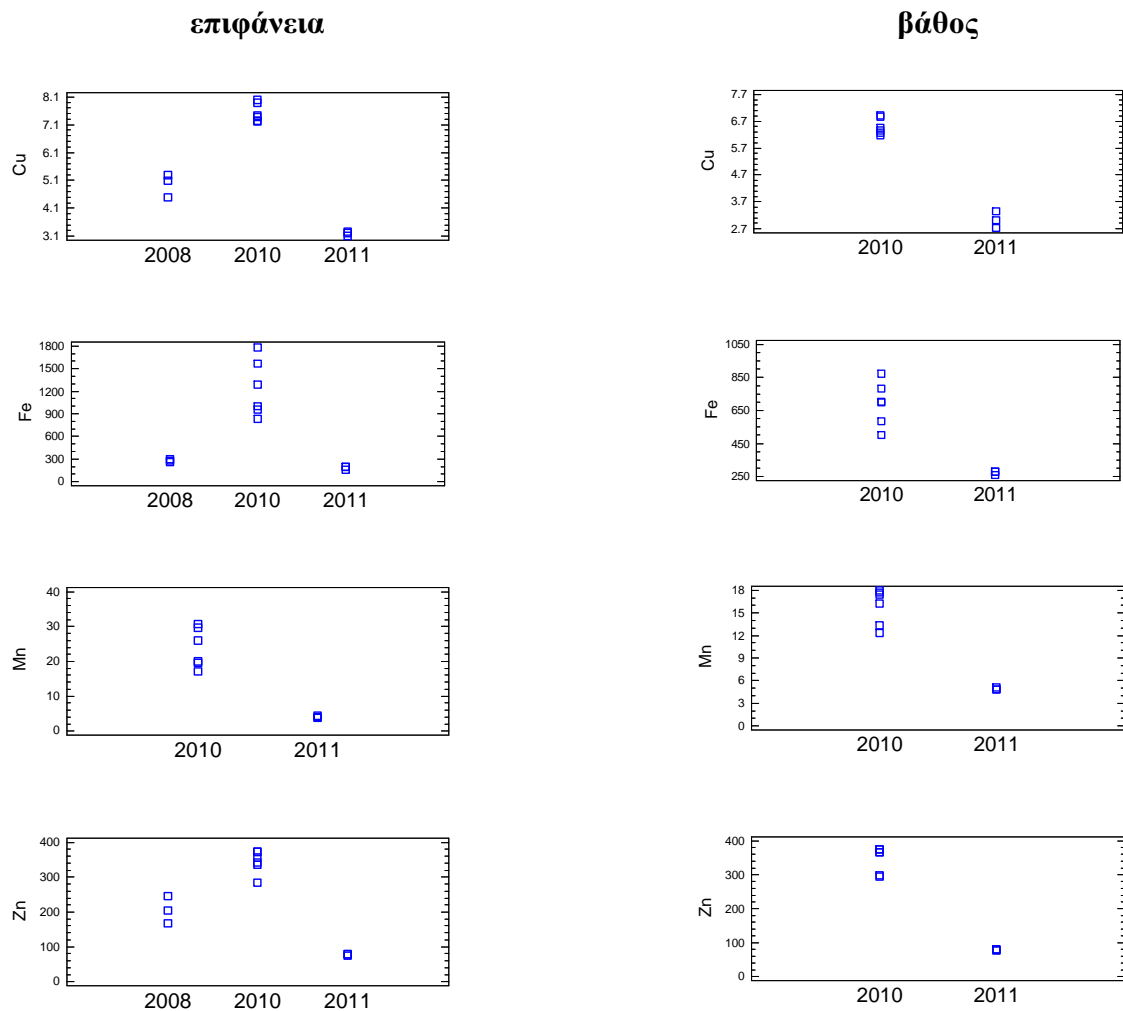


Εικόνα 3.4.6: Διαφορές στη βιοσυσσωρευση των εμφυτευμένων μυδιών σε διάφορα βάθη πάνω από το ναυάγιο (sd-d=βάθος 40m, sd-m=ενδιάμεσο βάθος 20m, sd-e=επιφάνεια 5m)

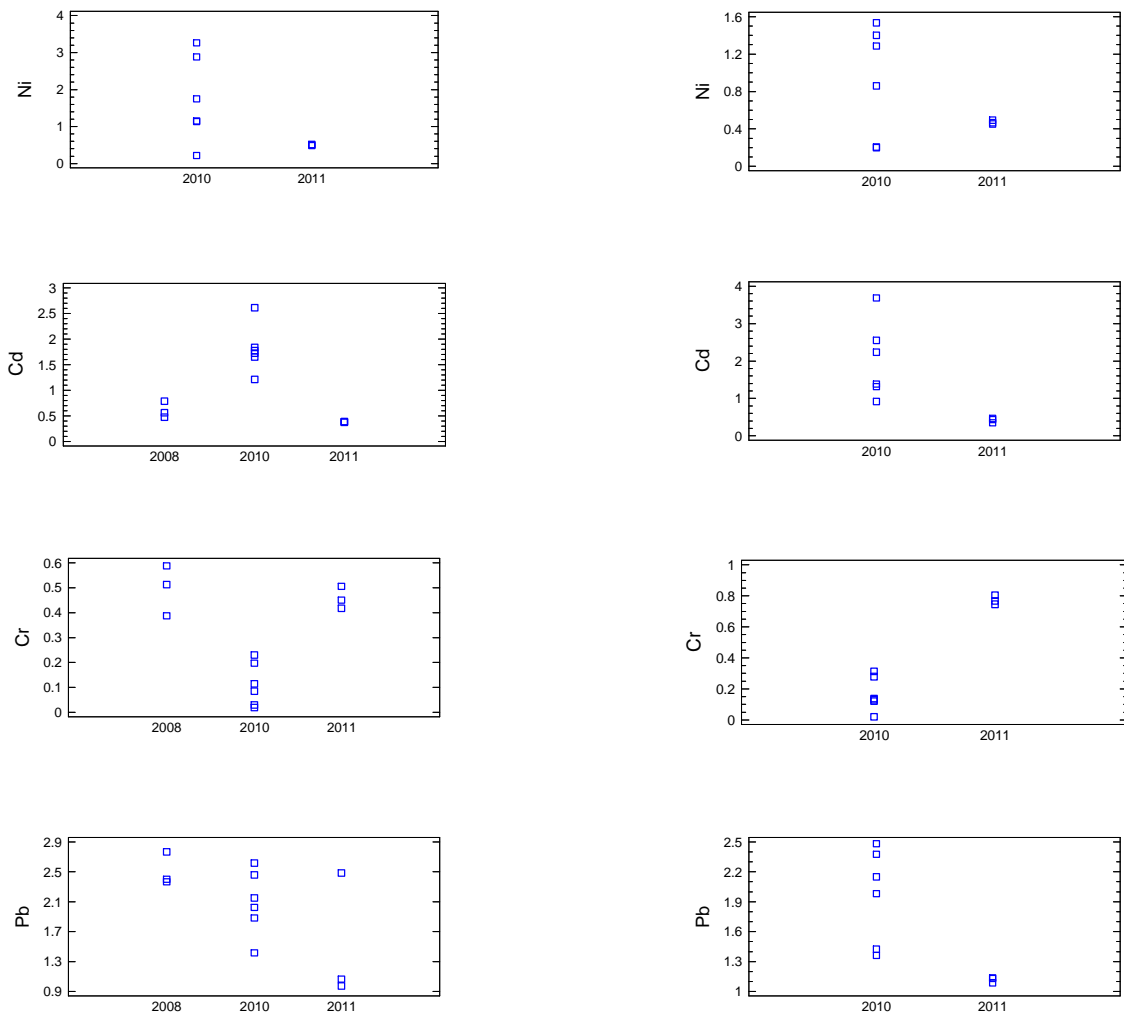
Παρατηρούμε ότι κατά το πείραμα του 2011 δεν υπάρχει σαφής διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων όλων των μετάλλων με το βάθος εμφύτευσης των μυδιών. Τα μέταλλα χρώμιο, σίδηρος και μαγγάνιο βρέθηκαν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις στα δείγματα που είχαν τοποθετηθεί βαθύτερα (40m), ενώ ο χαλκός & το νικέλιο ήταν χαμηλότερα στα βαθιά δείγματα και υψηλότερα στα πιο επιφανειακά. Ο ψευδάργυρος βρέθηκε αυξημένος στα μύδια του ενδιάμεσου βάθους (20m) και τέλος ο μόλυβδος & το κάδμιο δεν εμφάνισαν διαφορές. Οι

υψηλότερες συγκεντρώσεις χρωμίου, σιδήρου και μαγγάνιου στα βαθύτερα τοποθετημένα μύδια λογικά θα αποδοθούν στην ύπαρξη του ναυαγίου, ενώ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις χαλκού & το νικελίου στα επιφανειακά δείγματα θα μπορούσε να αποδοθούν στην λειτουργία του λιμανιού και στην κίνηση των κρουαζιερόπλοιων, κάτι που είχε διαπιστωθεί και στις μετρήσεις του 2010.

Τέλος στα διαγράμματα της εικόνας 3.4.7 παρουσιάζονται διαχρονικά οι μετρήσεις βιοσυσώρευσης μετάλλων στα μύδια που τοποθετήθηκαν πάνω από το βυθισμένο Sea Diamond. Αυτό που παρατηρεί κανείς είναι όλα για όλα τα μέταλλα με εξαίρεση το χρώμιο οι μεγαλύτερες τιμές όλων των μετάλλων μετρήθηκαν το 2010, ενώ το 2011 ήταν σημαντικά μειωμένες.



Εικόνα 3.4.7 : Διαχρονική εξέλιξη συγκεντρώσεων μετάλλων στα εμφυτευμένα μύδια πάνω από το ναυάγιο

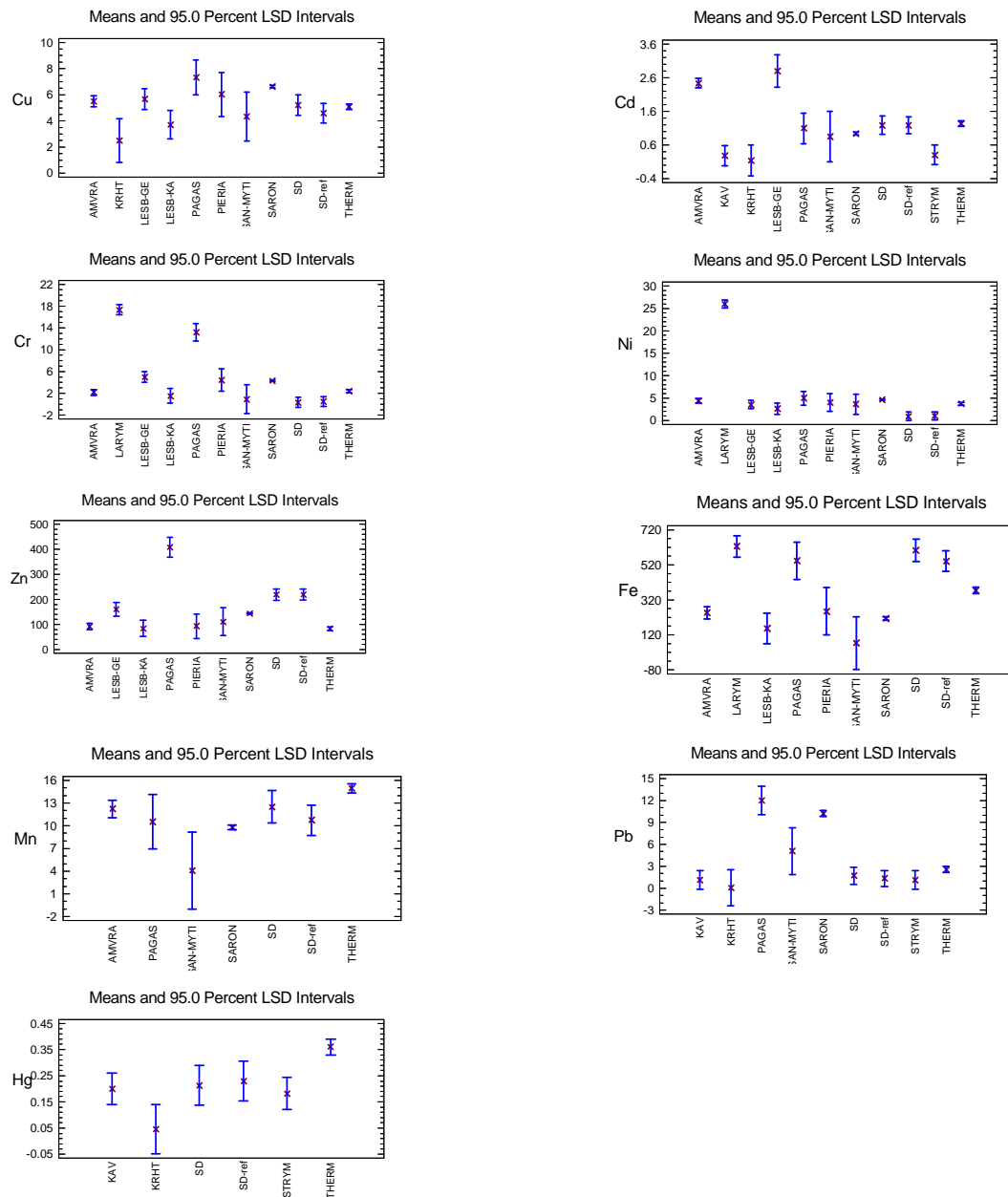


Εικόνα 3.4.7 (συνέχεια) : Διαχρονική εξέλιξη συγκεντρώσεων μετάλλων στα εμφυτευμένα μύδια πάνω από το ναυάγιο

Είναι φανερό ότι είναι απαραίτητη μεγαλύτερη χρονοσειρά μετρήσεων για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα σε σχέση με την απελευθέρωση μετάλλων από το βυθισμένο πλοίο και τη βιοσυσσωρευσή τους από θαλάσσιους οργανισμούς.

Σε σύγκριση με αντίστοιχα δείγματα, από άλλες παράκτιες περιοχές, οι μετρηθείσες συγκεντρώσεις μετάλλων στη σάρκα των εμφυτευμένων μυδιών βρίσκονται μέσα στα φυσιολογικά πλαίσια. Ειδικότερα παρουσιάζουμε στην εικόνα 3.4.8 συγκριτικά στοιχεία περίπου 1340 δειγμάτων μυδιών από κυρίως φυσικούς πληθυσμούς διαφόρων περιοχών της Ελλάδας που προέρχονται από τη βάση δεδομένων της μονάδας Οικοτοξικολογίας του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. και αφορούν τη χρονική περίοδο 1988-2011. Ειδικότερα δίνονται στοιχεία για τις περιοχές AMVRA = Αμβρακικός, ΚΑΥ=Καβάλα, ΚΡΗΤ= Ηράκλειο (λιμένας), LESB-

GE= Γέρα Λέσβου, PAGAS= Παγασητικός, SARON= Σαρωνικός, SD=”Sea Diamond”, SD-ref=περιοχή αναφοράς Σαντορίνη, STRYM=Στρυμωνικός και THERM=Θερμαϊκός.



Εικόνα 3.4.8 : Σύγκριση περιεκτικότητας σε μέταλλα μυδιών από διάφορες περιοχές της Ελλάδας

Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται ότι τα εμφυτευμένα μύδια τόσο στο ναυάγιο, όσο και στις περιοχές αναφοράς στην Σαντορίνη έχουν χαμηλές ή παρόμοιες συγκεντρώσεις μετάλλων με μύδια από άλλες ελληνικές περιοχές. Εξαιρέση αποτελούν τα μέταλλα ψευδάργυρος, σίδηρος και μαγγάνιο τα οποία εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις. Το φαινόμενο αυτό δεδομένου ότι ισχύει τόσο για τα μύδια στο σημείο του ναυαγίου, όσο και

για αυτά των περιοχών αναφοράς, δεν μπορεί προς το παρόν να συσχετιστεί ασφαλώς με το βυθισμένο πλοίο και θα μπορούσε μάλλον να αποδοθεί σε γεωχημικά αίτια λόγω των ηφαιστειακών πετρωμάτων της Σαντορίνης. Μεγαλύτερη χρονοσειρά μετρήσεων είναι απαραίτητη για να εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα.

B. ΠΕΤΑΛΙΔΕΣ

Επειδή ο αριθμός των πεταλίδων είναι σχετικά μικρός τα αποτελέσματα είναι συμπληρωματικά των μυδιών και τα θεωρούμε ενδεικτικά.

Υδρογονάνθρακες

Οι συγκεντρώσεις των υδρογονανθράκων στα δείγματα των πεταλίδων δίνονται στον πίνακα 3.4.3

Οι συγκεντρώσεις των αλειφατικών υδρογονανθράκων τόσο στα δείγματα από την περιοχή του ναυαγίου όσα και σε αυτά στο Ασπρονήσι ήταν μικρές (< 45 µg/g ξηρού ιστού), παρόμοιες με αυτές που έχουν μετρηθεί σε μη ρυπασμένες παράκτιες περιοχές στην Ελλάδα και δείχνουν ότι δεν υπήρχε πετρελαϊκή ρύπανση.

Οι συγκεντρώσεις των ΠΑΥ θεωρούνται επίσης μικρές και στις δύο περιπτώσεις, μάλιστα τα δείγματα από το Ασπρονήσι εμφάνισαν ελαφρά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από αυτά στην περιοχή του ναυαγίου. Όπως και στην περίπτωση των μυδιών κυριαρχούν οι ΠΑΥ πετρελαϊκής προέλευσης ενώ οι συγκεντρώσεις των πυρολυτικών ΠΑΥ ήταν εξαιρετικά χαμηλές. Οι συγκεντρώσεις του βενζο(α)πυρενίου και στα δύο δείγματα ήταν μικρότερες από 0.2 ng/g υγρού βάρους

Επομένως με βάση τα δείγματα αυτά δεν διαπιστώθηκε ρύπανση από υδρογονάνθρακες που να σχετίζεται με την ύπαρξη κάποιας σημειακής πηγής.

Πίνακας 3.4.3 Συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων σε ιστούς πεταλίδων που συλλέχθηκαν το Φεβρουάριο 2011. Όλες οι τιμές είναι εκφρασμένες σε ξηρό βάρος ιστού.

	Περιοχή ναυαγίου	Ασπρονήσι
Συνολικοί υδρογονάνθρακες (μg/g)	43.2	40.3
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες (μg/g)	43.0	40.2
U/R	6.3	5.9
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ng/g)		
Ναφθαλένιο	18.3	23.3
Ακεναφθυλένιο	0.9	0.9
Ακεναφθένιο	9.0	5.4
Φλουορένιο	3.8	4.0
Διβενζοθειοφένιο	0.7	1.8
Φαινανθρένιο	24.8	31.9
Ανθρακένιο	1.3	1.2
Φλουορανθένιο	5.0	6.7
Πυρένιο	10.3	10.1
Βενζο(α)ανθρακένιο	3.4	3.0
Χρυσένιο	5.3	5.4
Βενζο(β)φλουορανθένιο	1.5	2.3
Βενζο(κ)φλουορανθένιο	0.3	0.4
Βενζο(ε)πυρένιο	3.9	3.0
Βενζο(α)πυρένιο	0.6	0.8
Περυλένιο	0.4	0.2
Ινδενο(1,2,3-cd)πυρένιο	0.1	0.2
Διβενζο(a,h)ανθρακένιο	0.2	0.2
Βενζο(ghi)περυλένιο	0.3	0.1
Μεθυλοναφθαλένια	11.7	11.9
Διμεθυλοναφθαλένια	25.2	20.2
Τριμεθυλοναφθαλένια	10.6	13.9
Μεθυλοδιβενζοθειοφένια	1.2	4.4
Μεθυλοφαινανθρένια	5.3	3.5
Διμεθυλοφαινανθρένια	11.3	9.6
Ρετένιο	0.1	0.2
ΣΠΑΥ	155.5	169.7

Βαρέα μέταλλα

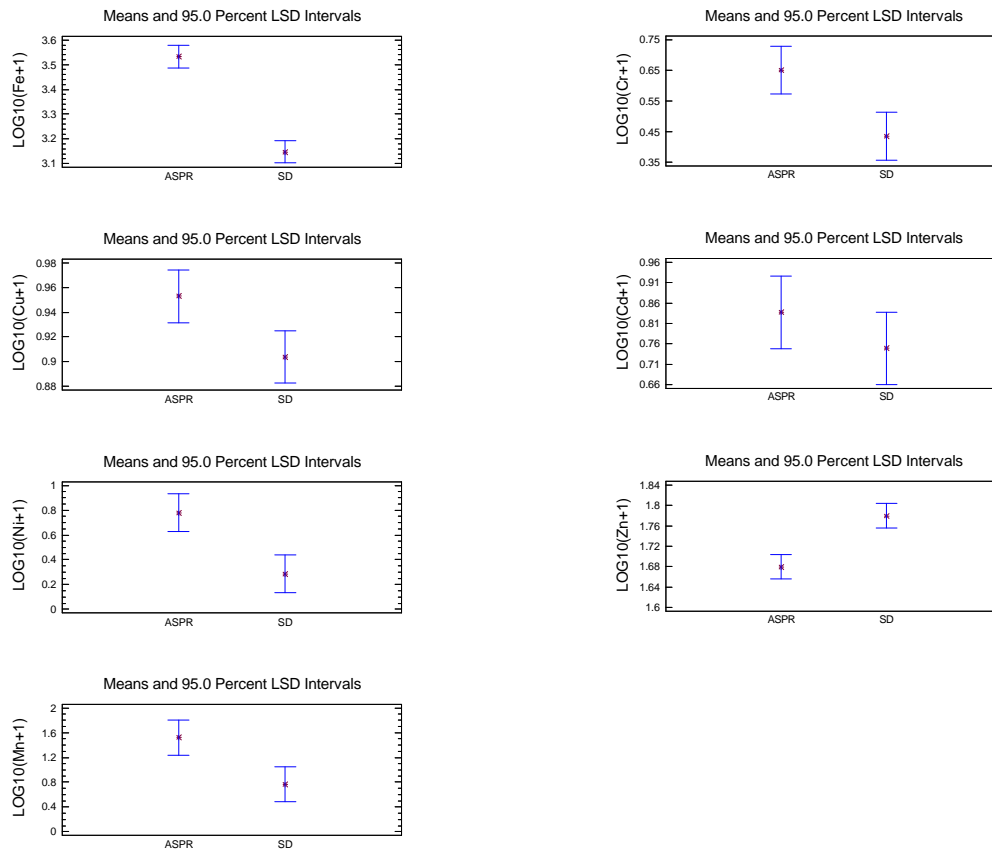
Τα αποτελέσματα περιεκτικότητας σε μέταλλα των δειγμάτων πεταλίδων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.4 εκφρασμένα σε μg μετάλλου ανά g ξηρού βάρους ιστού. Στον πίνακα δίνονται οι μέσοι όροι \pm τυπική απόκλιση και σε παρένθεση οι ακραίες τιμές συγκεντρώσεων.

Πίνακας 3.4.4. Βιοσυσώρευση μετάλλων σε πεταλίδες (μέσοι όροι \pm τυπική απόκλιση, σε παρένθεση οι ακραίες τιμές συγκεντρώσεων σε $\mu\text{g}/\text{g}$ ξηρού ιστού).

	SeaDiamond			Αναφοράς-Ασπρονήσι		
Fe	1406	\pm 65.17	(1332 - 1455)	3423	\pm 404	(2965 - 3733)
Cu	7.02	\pm 0.39	(6.67 - 7.44)	7.98	\pm 0.33	(7.60 - 8.22)
Cd	4.62	\pm 0.43	(4.14 - 4.97)	6.00	\pm 1.60	(4.24 - 7.37)
Ni	1.04	\pm 0.87	(0.34 - 2.01)	5.07	\pm 0.86	(4.33 - 6.02)
Zn	59.31	\pm 3.85	(54.9 - 62.0)	46.84	\pm 1.06	(45.80 - 47.92)
Mn	4.96	\pm 1.30	(3.56 - 6.14)	40.14	\pm 34.2	(18.23 - 79.56)
Cr	1.75	\pm 0.51	(1.34 - 2.32)	3.50	\pm 0.60	(2.94 - 4.13)

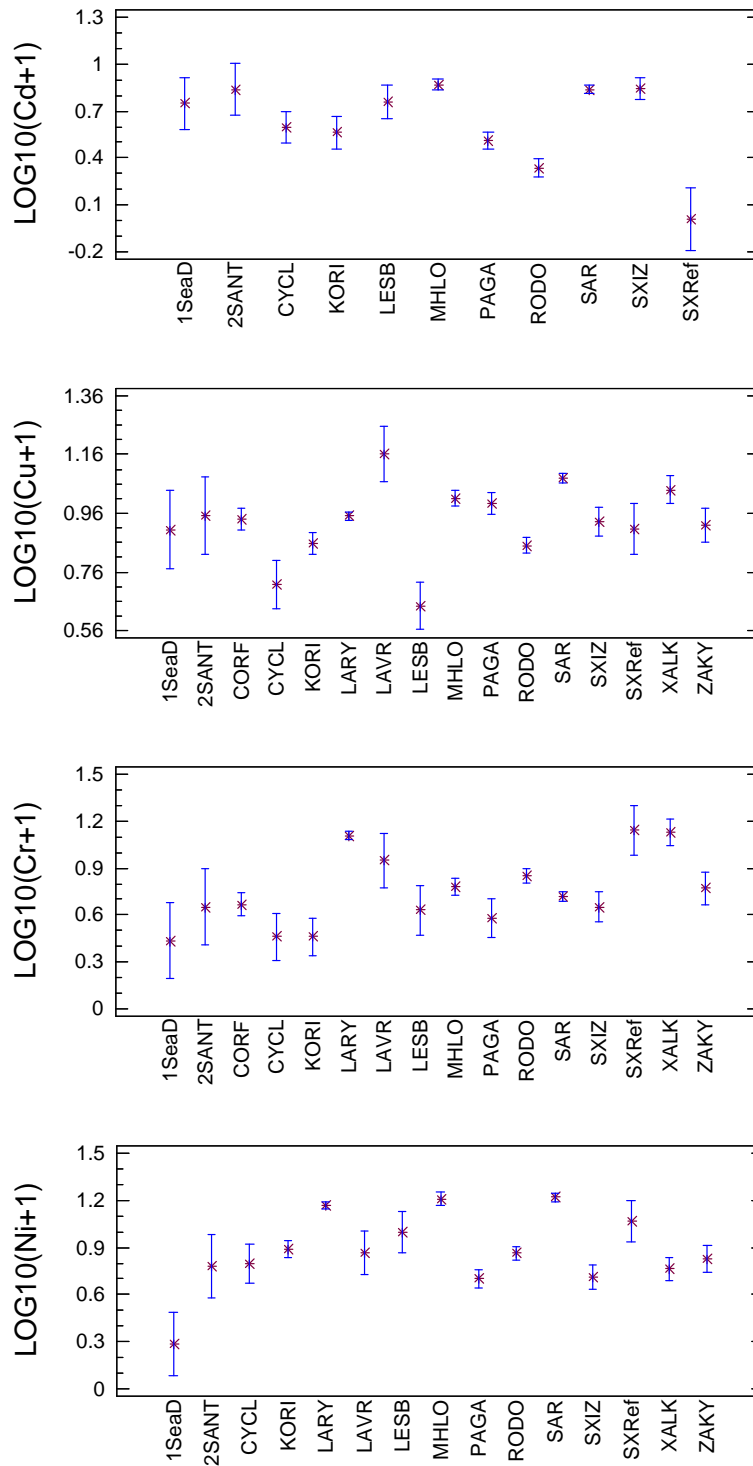
Όπως φαίνεται και από τον πιο πάνω πίνακα, οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στις πεταλίδες που συλλέχθηκαν στον ορμίσκο στη γειτονία με το βυθισμένο Sea Diamond είναι στην πλειοψηφία τους χαμηλότερες από αυτές των πεταλίδων της περιοχής αναφοράς. Προκειμένου να διαπιστώσουμε αν οι παρατηρούμενες διαφορές είναι στατιστικά σημαντικές εφαρμόσαμε ανάλυση διασποράς ενός παράγοντα (one-way ANOVA) τα αποτελέσματα της οποίας δίνονται γραφικά στην Εικόνα 3.4.9.

Από τα διαγράμματα αυτά είναι εμφανές ότι με εξαίρεση το κάδμιο (Cd) υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα σε μέταλλα ανάμεσα στις πεταλίδες που συλλέχθηκαν στις δύο περιοχές. Ειδικότερα η περιοχή αναφοράς εμφάνισε στατιστικά υψηλότερες τιμές μετάλλων, εκτός από τον ψευδάργυρο (Zn) όπου η εικόνα ήταν αντίστροφη. Το φαινόμενο αυτό πρέπει μάλλον να αποδοθεί σε αυξημένες τιμές υποβάθρου της περιοχής του Ασπρονησίου.

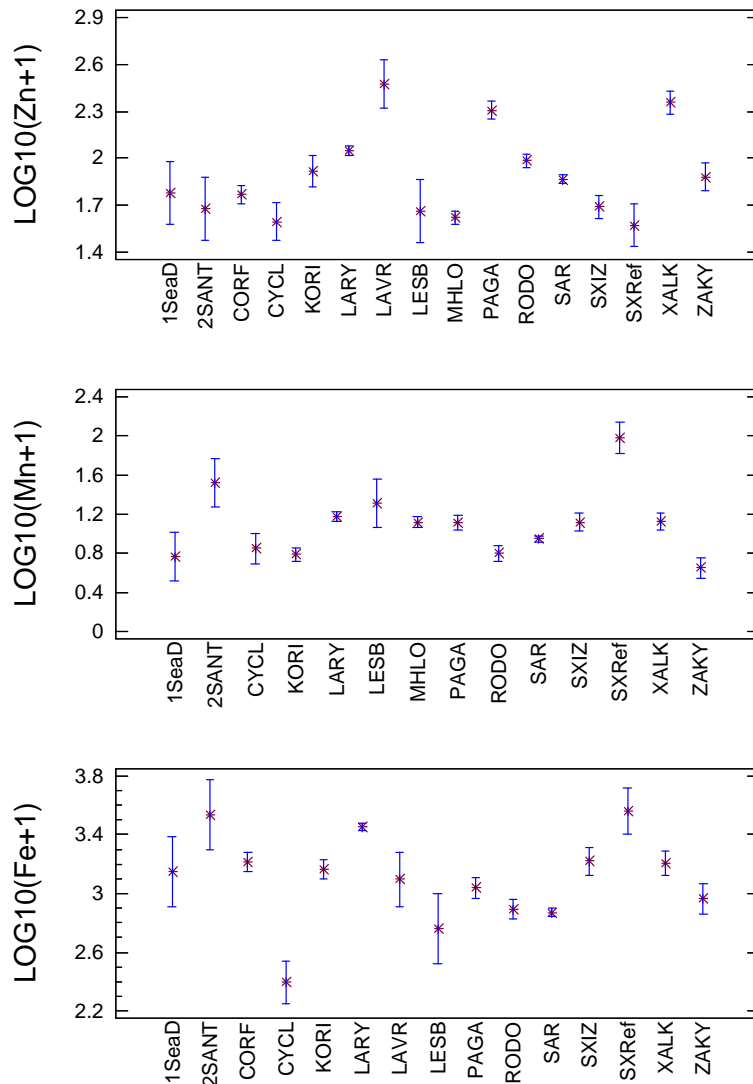


Εικόνα 3.4.9: Συγκεντρώσεις μετάλλων σε πεταλίδες (όπου SD=ορμίσκος ναυαγίου & ASPR= Ασπρονήσι-περιοχή αναφοράς)

Συμπληρωματικά χρησιμοποιήσαμε τη βάση δεδομένων του εργαστηρίου Οικοτοξικολογίας του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. για να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα περιεκτικότητας των πεταλίδων σε μέταλλα. Η βάση αφορά αποτελέσματα αναλύσεων σε 800 περίπου δείγματα πεταλίδων που συλλέχθηκαν από διάφορες περιοχές της Ελλάδας το διάστημα 1986-2011. Τα δείγματα από τον ορμίσκο δίπλα στο βυθισμένο Sea Diamond και την περιοχή αναφοράς εμφανίζονται στις δύο πρώτες μπάρες των διαγραμμάτων όπου: 1SeaD= όρμος Sea Diamond, 2SANT=Ασπρονήσι Σαντορίνης, CORF= Κέρκυρα, CYCL= Κυκλάδες, KORI=B. Κορινθιακός LARY= Λάρυμνα, LAVR=Λαύριο, LESB=Λέσβος, PAGA=Παγασητικός, RODO=Ρόδος, SAR=Σαρωνικός, SXIZ=νήσος Σχίζα, SXRef=Φοινικούντα, XALK=κ Ιερισού, ZAKY=Ζάκυνθος



Εικόνα 3.4.10: Σύγκριση περιεκτικότητας σε μέταλλα πεταλίδων ναυαγίου με άλλες ελληνικές περιοχές (1SeaD= ορμος Sea Diamond, 2SANT=Ασπρονήσι Σαντορίνης, CORF= Κέρκυρα, CYCL= Κυκλάδες, KORΙ=Β. Κορινθιακός ΛΑRΥ= Λάρυμνα, LAVR=Λαύριο, LESB=Λέσβος, PAGA=Παγασητικός, RODO=Ρόδος, SAR=Σαρωνικός, SXIZ=νήσος Σχίζα, SXRef=Φοινικούντα, XALK=κ Ιερισού, ZAKY=Ζάκυνθος



Εικόνα 3.4.10 (συνέχεια): Σύγκριση περιεκτικότητας σε μέταλλα πεταλίδων ναυαγίου με άλλες ελληνικές περιοχές (1SeaD= ορμος Sea Diamond, 2SANT=Ασπρονήσι Σαντορίνης, CORF= Κέρκυρα, CYCL= Κυκλάδες, KORI=B. Κορινθιακός ΛΑΡΥ= Λάρυμνα, LAVR=Λαύριο, LESB=Λέσβος, PAGA=Παγασητικός, RODO=Ρόδος, SAR=Σαρωνικός, SXIZ=νήσος Σχίζα, SXRef=Φοινικούντα, XALK=κ Ιερισσού, ZAKY=Ζάκυνθος

Η σύγκριση των τιμών βιοσυσώρευσης μετάλλων σε πεταλίδες που συλλέχθηκαν από διάφορες περιοχές της Ελλάδας έχει ενδεικτικό χαρακτήρα αφενός διότι οι πεταλίδες έχουν συλλεγεί κατά διάφορες εποχές του χρόνου –παράμετρος που σχετίζεται με τον αναπαραγωγικό κύκλο και επηρεάζει τη βιοσυσώρευση και αφετέρου επειδή τα δείγματα από την Σαντορίνη ήταν λίγα σε αριθμό και όχι ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικά των πληθυσμών που διαβιούν στην περιοχή.

Από διαγράμματα της εικόνας 3.4.10 φαίνεται ότι τα δείγματα πεταλίδων από τον ορμίσκο του βυθισμένου Sea Diamond και αυτά από το Ασπρονήσι έχουν συγκριτικά με

άλλες ελληνικές περιοχές από τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων με εξαίρεση κυρίως τον σίδηρο (Fe), αλλά και το μαγγάνιο (Mn) & το κάδμιο (Cd) που βρίσκονται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις.

Συμπερασματικά από τη μελέτη των λίγων δειγμάτων πεταλίδων δεν προκύπτει ότι υπάρχει επιβάρυνση από το βυθισμένο Sea Diamond.

Γ. ΨΑΡΙΑ

Υδρογονάνθρακες

Σε όλα τα δείγματα των ψαριών που εξετάστηκαν δεν ανιχνεύθηκαν πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες ούτε ΠΑΥ. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ενώσεις αυτές μεταβολίζονται από τον οργανισμό των ψαριών και επομένως μόνο σε περιπτώσεις μεγάλης πετρελαϊκής ρύπανσης ανιχνεύονται στη σάρκα τους.

Βαρέα μέταλλα

Συνολικά μελετήθηκαν 17 μεικτά δείγματα ψαριών που προέρχονταν από 132 άτομα 5 ειδών ψαριών. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 3.4.5 εκφρασμένα σε μg μετάλλου ανά g ξηρού βάρους ιστού.

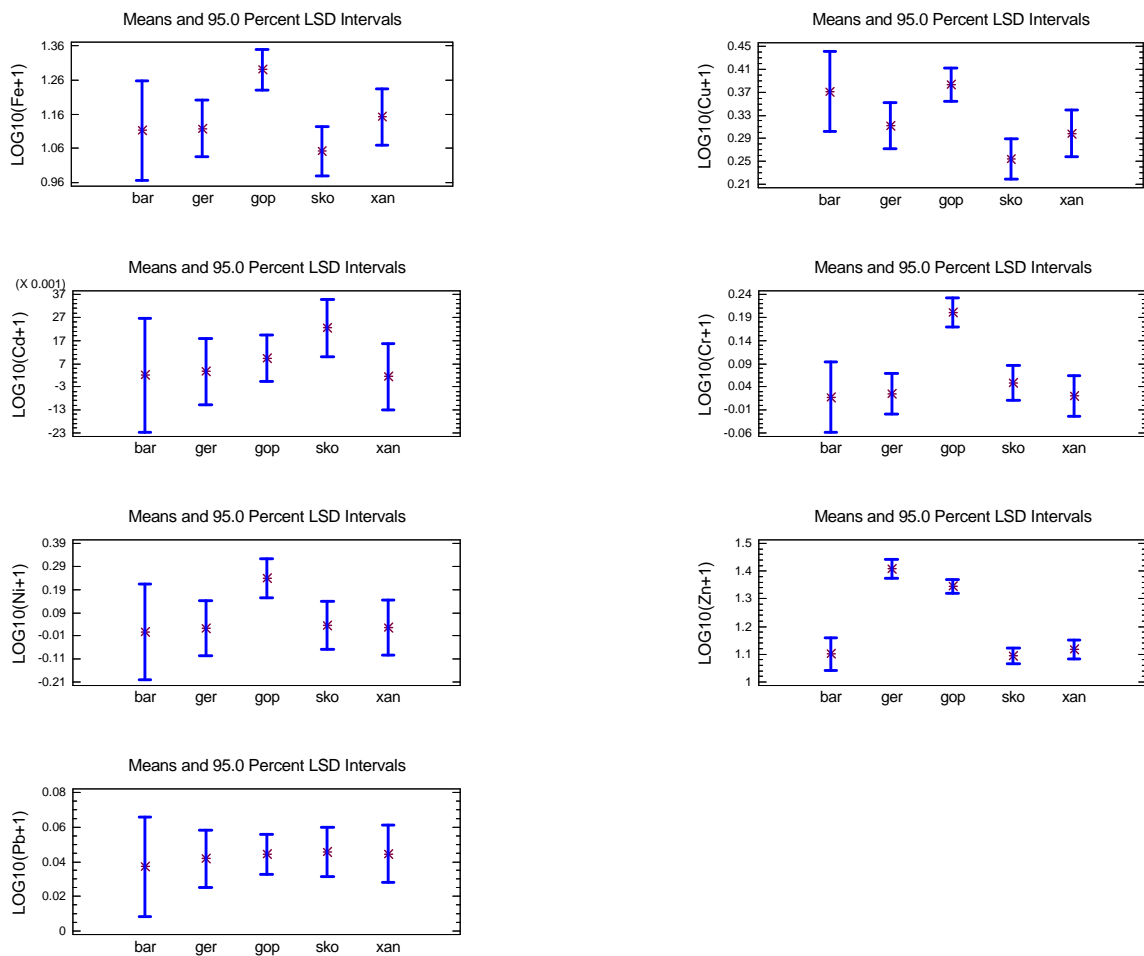
Πίνακας 3.4.5 Συνοπτικά στατιστικά στοιχεία περιεκτικότητας σε μέταλλα δειγμάτων γόπας εκφρασμένα σε μg/g ξηρού βάρους (Μέση τιμή ± τυπική απόκλιση.)

Είδος	N		MO	±	TA		MO	±	TA
γόπες	6	Fe	18.69	±	2.99	Cu	1.43	±	0.23
γερμανοί	3		12.59	±	4.53		1.05	±	0.13
μπαρμπούνια	1		11.93	±			1.35	±	
σκορπίνες	4		10.50	±	2.64		0.81	±	0.24
χάνοι	3		13.37	±	2.80		1.00	±	0.24
γόπες	6	Zn	21.24	±	2.40	Mn	0.75	±	0.33
γερμανοί	3		24.74	±	2.36		0.63	±	0.20
μπαρμπούνια	1		11.60	±			0.80	±	
σκορπίνες	4		11.42	±	0.74		0.65	±	0.26
χάνοι	3		12.15	±	0.76		0.94	±	0.32
γόπες	6	Cr	0.61	±	0.27	Cd	0.022	±	0.009
γερμανοί	3		0.06	±	0.01		0.008	±	0.004
μπαρμπούνια	1		0.04	±			0.005	±	
σκορπίνες	4		0.12	±	0.07		0.055	±	0.080
χάνοι	3		0.05	±	0.01		0.003	±	0.002
γόπες	6	Ni	0.91	±	0.88	Pb	0.108	±	0.039
γερμανοί	3		0.05	±	0.02		0.103	±	0.079
μπαρμπούνια	1		0.02	±			0.089	±	
σκορπίνες	4		0.08	±	0.02		0.111	±	0.046
χάνοι	3		0.06	±	0.04		0.108	±	0.025

Για την μετατροπή των τιμών ξηρού βάρους σε νωπό απαιτείται η διαίρεση των πιο πάνω τιμών δια του λόγου νωπό προς ξηρό βάρος που είναι: 4 για τους γερμανούς και τα μπαρμπούνια, 4,7 για τις γόπες και τους χάνους και 5 για τις σκορπίνες.

Τα 5 είδη ψαριών που μελετήσαμε δεν βιοσυσσώρευαν τα μέταλλα στον ίδιο βαθμό, αλλά όπως φαίνεται από την εικόνα 3.4.11 οι γόπες είχαν σε γενικές γραμμές τις υψηλότερες συγκεντρώσεις. Στην περίπτωση του ψευδαργύρου και οι γερμανοί είχαν υψηλή περιεκτικότητα. Ας σημειώσουμε ότι για τα μέταλλα μόλυβδος και κάδμιο δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα ψάρια. Το φαινόμενο της βιοσυσσώρευσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες πολλοί από τους οποίους είναι καθαρά βιολογικοί και ευθύνονται για τις διαφορές που αναφέραμε.

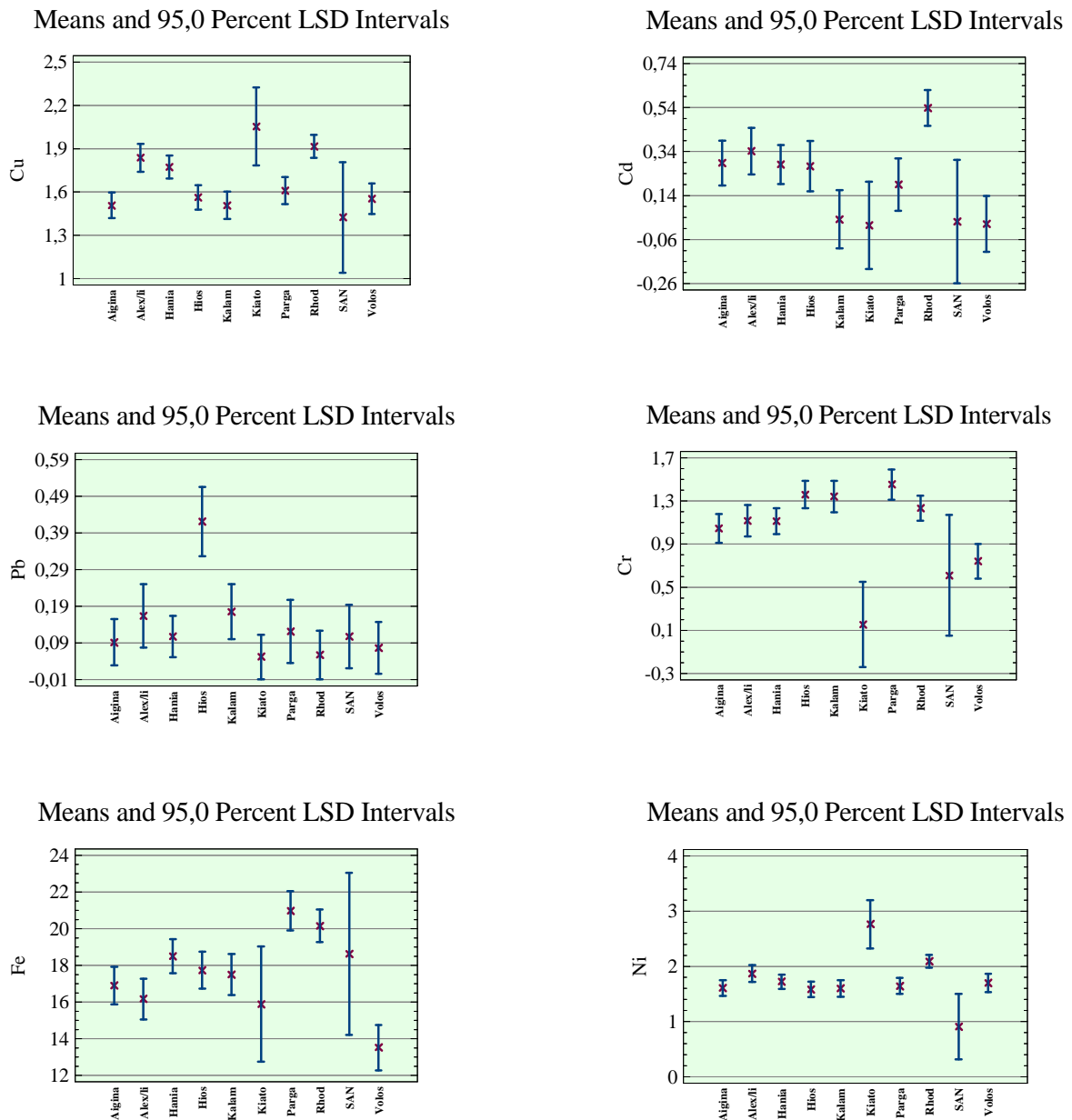
Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων που μετρήσαμε στα 5 είδη ψαριών είναι μέσα στα φυσιολογικά πλαίσια.



Εικόνα 3.4.11: Διαφορές στη περιεκτικότητα μετάλλων των μελετηθέντων ειδών (όπου bar=μπαρμπούνια, ger=γερμανοί, gop= γόπες, sko= σκορπίνες, xan= χάνοι)

Από τα μέταλλα αυτά μόνο για το κάδμιο και τον μόλυβδο υπάρχουν θεσμοθετημένα ανώτατα όρια καταλληλότητας για κατανάλωση, τα οποία σύμφωνα με το ΦΕΚ 1881/2006 είναι 0,30 μg/g νωπού βάρους για τον Μόλυβδο & 0,05 μg/g νωπού βάρους για το κάδμιο.

Μετά την μετατροπή των τιμών του Πίνακα 3.4.5 σε νωπό βάρος παρατηρούμε ότι όλες οι πιο πάνω τιμές για κάδμιο και μόλυβδο είναι κατά πολύ κάτω του θεσπισμένου ορίου ασφαλούς κατανάλωσης.



Εικόνα 3.4.12: Μέση περιεκτικότητα μετάλλων σε γόπες από διάφορες περιοχές της Ελλάδας – βάση δεδομένων MED.POL. SAN=καλδέρα Σαντορίνης

Χρήσιμα είναι τα συγκριτικά στοιχεία που διαθέτει το εργαστήριο Οικοτοξικολογίας, με μία βάση δεδομένων περιεκτικότητας σε μέταλλα 920 δειγμάτων γόπας από διάφορες ελληνικές περιοχές το χρονικό διάστημα 1987-2010. Η σύγκριση των δειγμάτων γόπας από την καλδέρα με αυτά άλλων ελληνικών περιοχών (Aigina= Σαρωνικός, Alex/li=Αλεξανδρούπολη, Hania=Χανιά, Hios=Χίος, Kalam=Μεσσηνιακός, Kiato= Κιάτο, Parga=Πάργα, Rhod= Ρόδος, Volos=Βόλος) δίνεται γραφικά στην εικόνα 3.4.12. Τα δείγματα γόπας από την καλδέρα φαίνονται με τον κωδικό SAN. Από τα διαγράμματα της εικόνας 3.4.12 είναι εμφανές ότι τα δείγματα γόπας από την καλδέρα, αλιευμένα κοντά στο ναυάγιο έχουν από τις χαμηλότερες περιεκτικότητες σε μέταλλα.

3.4.4 Συμπεράσματα

Η μελέτη της βιοσυσώρευσης ρύπων από θαλάσσιους οργανισμούς προσφέρει πολύτιμες περιβαλλοντικές πληροφορίες. Στην Έκθεση αυτή μελετήσαμε την περιεκτικότητα σε μέταλλα μυδιών από πειράματα εμφύτευσης, ψαριών αλιευμένων κοντά στο ναυάγιο και μικρού αριθμού πεταλίδων.

Οι συνθήκες διαβίωσης των εμφυτευμένων μυδιών ήταν παρόμοιες σε όλα τα σημεία εμφύτευσης, αν και πάνω από το Sea Diamond τα νερά ήταν ελαφρά πιο πλούσια.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων από τις μετρήσεις το 2011 έδειξαν ότι τα μύδια από την περιοχή του ναυαγίου του SeaDiamond μόνο στην περίπτωση του σιδήρου εμφάνισαν στατιστικά υψηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τις περιοχές αναφοράς και μάλιστα τα τοποθετημένα βαθύτερα (πλησιέστερα στο ναυάγιο) ήταν πιο επιβαρημένα.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις χρωμίου, σιδήρου και μαγγάνιου στα βαθύτερα τοποθετημένα μύδια θα μπορούσε να σχετίζονται σε ένα βαθμό με την ύπαρξη του ναυαγίου - όχι όμως με βεβαιότητα, ενώ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις χαλκού και νικελίου στα επιφανειακά δείγματα θα μπορούσαν να αποδοθούν στις υπόλοιπες ανθρωπογενείς δραστηριότητες της περιοχής (λειτουργία του λιμανιού, κρουαζιερόπλοια) κλπ,

Η μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης των συγκεντρώσεων, ότι οι συγκεντρώσεις των μετάλλων κατά τη διάρκεια του 2011 ήταν σημαντικά μειωμένες σε σχέση με το 2010. Απαιτείται μεγαλύτερη χρονοσειρά μετρήσεων για να εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Όσον αφορά τη σύγκριση της βιοσυσώρευσης με ελεύθερα μύδια από διάφορες περιοχές της Ελλάδας φαίνεται ότι τα εμφυτευμένα μύδια τόσο στο ναυάγιο, όσο και στις

περιοχές αναφοράς στην Σαντορίνη έχουν χαμηλές ή παρόμοιες συγκεντρώσεις μετάλλων και υδρογονανθράκων με μύδια από άλλες ελληνικές περιοχές. Εξαιρέση αποτελούν τα μέταλλα ψευδάργυρος, σίδηρος και μαγγάνιο τα οποία είναι υψηλά, όμως το φαινόμενο αυτό δεδομένου ότι ισχύει τόσο για τα μύδια του ναυαγίου, όσο και για αυτά των περιοχών αναφοράς, πρέπει να αποδοθεί μάλλον σε γεωχημικά αίτια λόγω των ηφαιστειακών πετρωμάτων της Σαντορίνης.

Όσον αφορά τα ψάρια που αλιεύτηκαν κοντά στο ναυάγιο, τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι η περιεκτικότητα τους σε μέταλλα είναι συγκρίσιμη με αυτή από άλλες περιοχές της Ελλάδας και τα τοξικά μέταλλα κάδμιο και μόλυβδος βρίσκονται σε επίπεδα πολύ κάτω του ορίου ασφαλούς κατανάλωσης που έχουν θεσπιστεί σύμφωνα με το ΦΕΚ 1881/2006. Συμπερασματικά δεν φαίνεται από τις μετρήσεις μας ότι επηρεάστηκε ο αλιευτικός πλούτος της περιοχής από το ναυάγιο.

Τέλος όσον αφορά τις πεταλίδες, επειδή ο αριθμός των δειγμάτων που συλλέχθηκε ήταν μικρός τα αποτελέσματα είναι συμπληρωματικά των μυδιών και τα θεωρούμε ενδεικτικά. Οι αναλύσεις έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στις πεταλίδες που συλλέχθηκαν στον ορμίσκο στη γειτονία με το Sea Diamond είναι στην πλειοψηφία τους χαμηλότερες από αυτές των πεταλίδων της περιοχής αναφοράς. Συγκριτικά δε με άλλες ελληνικές περιοχές οι πεταλίδες από το ορμίσκο κοντά στο ναυάγιο και τη Σαντορίνη γενικότερα, έχουν από τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων με εξαίρεση το σίδηρο (Fe) αλλά και το μαγγάνιο (Mn) & το κάδμιο (Cd) που βρίσκονται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις και των οποίων η προέλευση σχετίζεται με την ηφαιστειότητα της περιοχής. Συμπερασματικά από τη μελέτη των λίγων δειγμάτων πεταλίδων δεν προκύπτει ότι υπάρχει επιβάρυνση από το βυθισμένο Sea Diamond.

Παρόλο που οπωσδήποτε απελευθερώθηκαν μέταλλα στο θαλάσσιο περιβάλλον εξαιτίας του ναυαγισμένου κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond, από τα αποτελέσματα της μελέτης της βιοσυσώρευσης δεν φαίνεται οι ποσότητες των απελευθερωθέντων μετάλλων να επηρέασαν την περιοχή. Εξάλλου δεν πρέπει καθόλου να λησμονούμε ότι η καλδέρα έχει μεγάλα βάθη με μεγάλες μάζες νερού, ενώ παράλληλα η περιοχή του ναυαγίου υφίσταται επιπλέον επιβάρυνση από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

3.5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΟΝΙΚΕΣ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Σ.Ζερβουδάκη, Θ. Ζούλιας και Μ. Πρωτοπαπά

3.5.1 Εισαγωγή και Μεθοδολογία

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης γίνεται παρακολούθηση των βιοκοινωνιών του ζωοπλαγκτού και διερευνώνται οι επιπτώσεις στις βιοκοινωνίες που σχετίζονται με την επίδραση από την έκχυση πετρελαίου και τα επακόλουθα μέτρα καθαρισμού στο ζωοπλαγκτόν της θαλάσσιας περιοχής της Καλντέρας στη Σαντορίνη, ύστερα από το ναυάγιο του Sea Diamond. Στην παρούσα έκθεση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε τον Μάιο 2011, καθώς επίσης γίνεται και σύγκριση των αποτελεσμάτων με εκείνα από τις προηγούμενες δειγματοληψίες στην περιοχή.

Τα δείγματα του ζωοπλαγκτού συλλέχθηκαν σε 4 σταθμούς SN1, SN3, SN6, SN7 τον Μάιο 2011 (18/5/2011). Η συλλογή των δειγμάτων έγινε με κάθετη σύρση του διχτυού WP-2 (άνοιγμα ματιού 200 μm) στο στρώμα νερού 0-100 m, ενώ στο ρηχό σταθμό SN1 έγινε στο στρώμα 0-20 m. Για την συντήρηση και μεταφορά του υλικού στο εργαστήριο προστέθηκε σε όλα τα δείγματα διάλυμα 4% ουδετεροποιημένης με βόρακα φορμαλδεΐδη. Κάθε δείγμα χωρίστηκε με τη συσκευή Folsom splitter σε δύο υποδείγματα. Το ένα μέρος χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της βιομάζας με τη μέθοδο του ξηρού βάρους (Omori & Ikeda, 1984) ενώ το άλλο, ανάλογα με την πυκνότητα του υλικού, υποδιαιρέθηκε για τη μελέτη της σύνθεσης και την καταμέτρηση των ατόμων στερεοσκόπιο (OLYMPUS SZ12). Στα δείγματα αυτά έγινε ποσοτική (αριθμός ατόμων ανά κυβικό μέτρο θαλασσινού νερού) και ποιοτική (σύνθεση σε ομάδες και είδη) ανάλυση. Για την επεξεργασία των δεδομένων υπολογίστηκε η αφθονία κάθε είδους και ομάδας που εκφράζει τον αριθμό ατόμων στο 1m^3 και η σχετική αφθονία που εκφράζει το επί τοις εκατό ποσοστό παρουσίας της ομάδας και του είδους στο συνολικό δείγμα.

Επιπλέον στα δεδομένα υπολογίστηκε ο δείκτης ποικιλότητας (H , bits ind^{-1}) του Shannon-Weaver (Shannon-Weaver, 1963). Ο δείκτης Shannon υπολογίστηκε στο σύνολο των Κοπηπόδων αφού σε αυτή την ταξινομική ομάδα έγινε ταυτοποίηση σε είδη. Επίσης υπολογίστηκε η ομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων με βάση τα δεδομένα αφθονίας με τη χρήση του τύπου Bray-Curtis. Χαρακτηριστικό αυτού του δείκτη ομοιότητας είναι ότι δεν επηρεάζεται από τις κοινές απουσίες ειδών και εξαρτάται περισσότερο από τους οργανισμούς με αυξημένη αφθονία (Field et al 1982). Για τους λόγους αυτούς, όλα τα δεδομένα

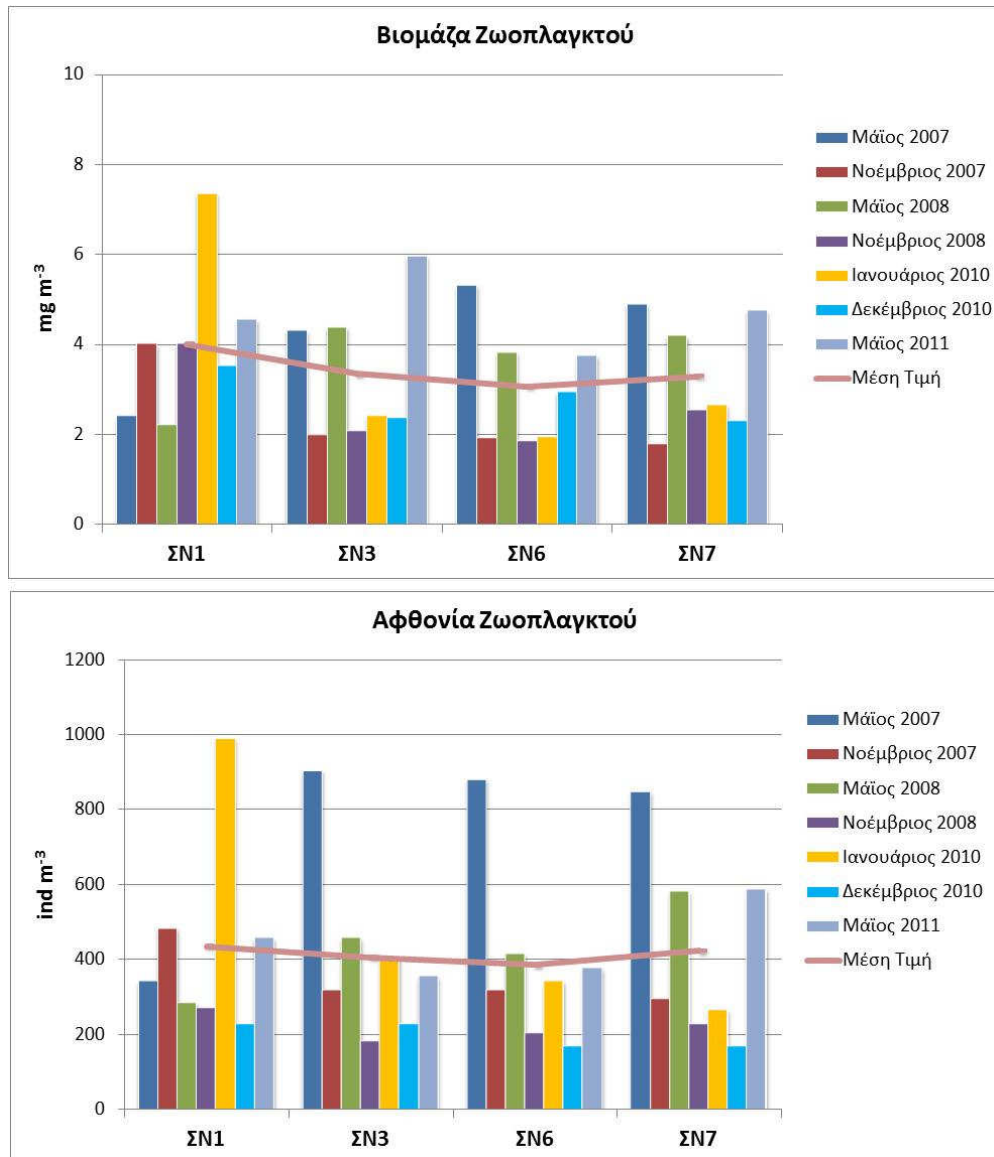
τροποποιήθηκαν σε τετραγωνική ρίζα (square root). Από τους υπολογισμούς κατασκευάστηκε τριγωνικός πίνακας ομοιότητας που περιλαμβάνει όλες τις δυνατές συγκρίσεις μεταξύ των δειγμάτων ανά δύο και ακολούθως πραγματοποιήθηκε σύνδεση των επί μέρους δειγμάτων σε ευρύτερες ομάδες και απεικόνιση των μεταξύ τους σχέσεων με τη μορφή δενδρογράμματος (Field et al 1982).

3.5.2 Αποτελέσματα και συζήτηση

Βιομάζα και Αφθονία του ζωοπλαγκτού

Η κατανομή και οι διακυμάνσεις της βιομάζας (mg ξηρού βάρους ανά 1 m^3 , mg m^{-3}) και της αφθονίας (αριθμός ατόμων ανά 1 m^3 , ind m^{-3}) του ζωοπλαγκτού μεταξύ των σταθμών φαίνονται στην Εικόνα 3.5.1. Οι τιμές της βιομάζας ήταν μεγαλύτερες από εκείνες που βρέθηκαν κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών που έγιναν την χειμερινή περίοδο (εξαιρέση αποτελεί ο SN1 τον Ιανουάριο 2010) και συγκρίσιμες με εκείνες που πραγματοποιήθηκαν στο τέλος της εαρινής περιόδου (Μάιος). Το γεγονός αυτό έρχεται σε συμφωνία με το εποχικό πρότυπο κατανομής του ζωοπλαγκτού όπου μετά την εαρινή άνθιση του φυτοπλαγκτού έχουμε την αύξηση του ζωοπλαγκτού με χρονική διαφορά περίπου 1 ως 2 μήνες (Kjørboe and Nielsen, 1994). Σε σύγκριση τώρα με την δειγματοληψία του ζωοπλαγκτού που έγινε την περίοδο αμέσως μετά το ναυάγιο (Μάιος 2007) φαίνεται ότι οι παρούσες τιμές είναι μεγαλύτερες στους σταθμούς SN1 και SN3, μικρότερες στο σταθμό SN6 και παρόμοιες στο σταθμό SN7. Έτσι, σε αυτήν τη δειγματοληψία, η μεγαλύτερη τιμή βιομάζας σημειώθηκε στο σταθμό SN3 ($5,94 \text{ mg m}^{-3}$), ενώ η μικρότερη μετρήθηκε στο σταθμό SN7 ($3,74 \text{ mg m}^{-3}$). Επίσης, οι τιμές της βιομάζας μεταξύ των σταθμών δεν παρουσίασαν έντονες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών όπως φαίνεται και από την κατανομή της μέσης τιμής της βιομάζας σε όλους τους σταθμούς (Εικ.3.5.1).

Η αφθονία του ζωοπλαγκτού την περίοδο αυτή ήταν παρόμοια με εκείνη που βρέθηκε το Μάιο 2008 και μικρότερη από εκείνη που σημειώθηκε τον Μάιο 2007 στους σταθμούς SN3, SN6 και SN10, ενώ είναι μεγαλύτερη από εκείνες που βρέθηκαν τον Μάιο 2007 και 2008. Η μεγαλύτερη τιμή την περίοδο αυτή σημειώθηκε στο σταθμό SN7 (586 ind m^{-3}), ενώ η χαμηλότερη τιμή μετρήθηκε στο σταθμό SN3 (354 ind m^{-3}). Η μέση τιμή της αφθονίας δεν παρουσίασε έντονες διακυμάνσεις μεταξύ των σταθμών καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών όπως φάνηκε και για τη βιομάζα του ζωοπλαγκτού.



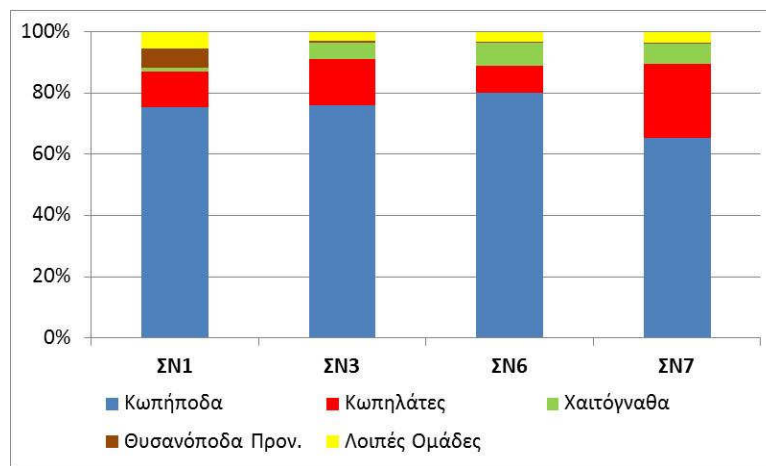
Εικόνα 3.5.1. Διακυμάνσεις της βιομάζας (mg m^{-3}) και αφθονίας (ind m^{-3}) του ζωοπλαγκτού στους σταθμούς δειγματοληψίας για όλες τις περιόδους δειγματοληψίας.

Σύνθεση Ζωοπλαγκτού

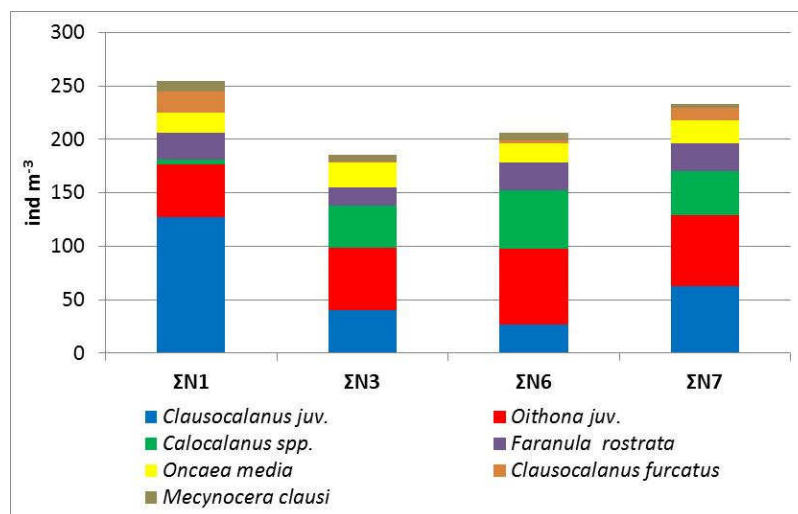
Η κατανομή των κυριότερων ομάδων του ζωοπλαγκτού παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.5.2. Τα Κωπήποδα επικρατούσαν σε όλους τους σταθμούς, με υψηλά ποσοστά σχετικής αφθονίας που κυμάνθηκαν από 65 % (σταθμός SN7) ως 80% (σταθμός SN6). Ακολουθούσε η ομάδα των Κωπηλατών με ποσοστά σχετικής αφθονίας που κυμάνθηκαν από 9 (SN6) ως 24 % (SN7) και των Χαιτόγναθων (1-8%). Αξιοσημείωτη είναι και η παρουσία των προνυμφών των Θυσανοπόδων στο σταθμό SN1, πιθανά λόγω της αυξημένης αναπαραγωγής των

βενθικών αυτών οργανισμών στο σταθμό αυτό. Οι υπόλοιπες ομάδες συμμετείχαν με χαμηλότερα ποσοστά σχετικής αφθονίας.

Τα Κωπήποδα, λόγω της μεγάλης αφθονίας που παρουσίασαν ταυτοποιήθηκαν σε επίπεδο είδους. Η κατανομή των επικρατούντων ειδών των Κωπηπόδων δίνεται στην Εικόνα 3.5.3. Στη σύνθεση των Κωπηπόδων συμμετείχαν πολλά είδη κυρίως πελαγικά, τα οποία παρουσίασαν παρόμοιες τιμές αφθονίας μεταξύ των σταθμών. Την περίοδο αυτή σημαντική ήταν η παρουσία των νεαρών σταδίων του γένους *Clausocalanus*, με τιμές αφθονίες μεγαλύτερες στο σταθμό SN1 ενώ στους υπόλοιπους σταθμούς η αφθονία τους ήταν παρόμοια. Ακολουθούσαν τα νεαρά στάδια του γένους *Oithona*, τα *Calocalanus spp.*, *Farranula rostrata*, *Clausocalanus furcatus* και *Oncaea media*.



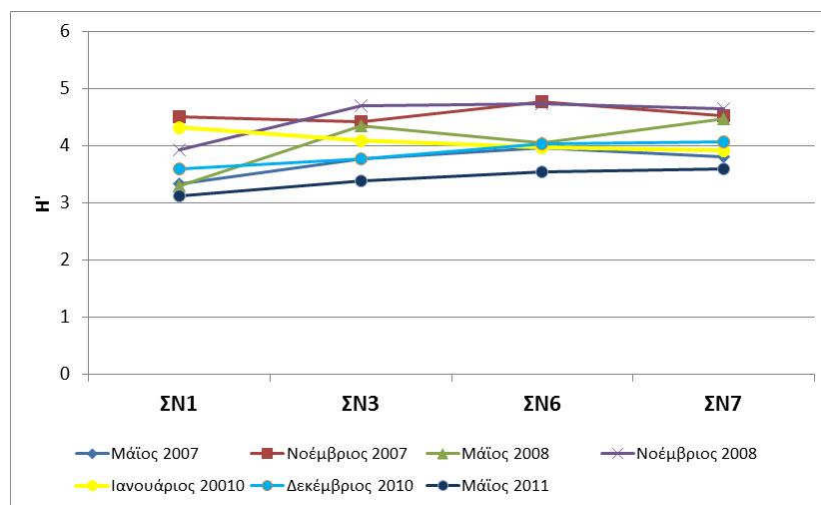
Εικόνα 3.5.2. Διακυμάνσεις της σχετικής αφθονίας (%) των κυρίαρχων ομάδων του ζωοπλαγκτού στους σταθμούς δειγματοληψίας τον Μάιο 2011.



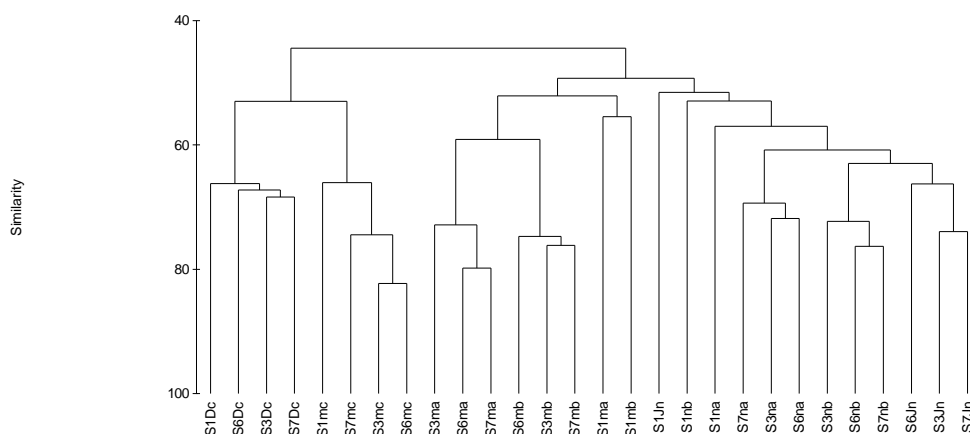
Εικόνα 3.5.3. Διακυμάνσεις της αφθονίας (ind m⁻³) των κυρίαρχων ειδών των Κωπηπόδων στους σταθμούς δειγματοληψίας τον Μάιο 2011.

Η εκτίμηση του δείκτη ποικιλότητας σε όλους τους σταθμούς για όλες τις περιόδους δειγματοληψίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.5.4. Οι τιμές αυτές είναι λίγο χαμηλότερες από εκείνες που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δειγματοληψιών στην περιοχή και κυμάνθηκαν από 3,1 (SN1) ως 3,6 (SN7).

Το δενδρόγραμμα ομαδοποίησης έδειξε ότι η διαφοροποίηση των σταθμών είναι κυρίως εποχική (Εικόνα 3.5.5). Οι σταθμοί διαχωρίζονται ανάλογα με την περίοδο δειγματοληψίας και ομαδοποιούνται μαζί χωρίς να υπάρχει διαφοροποίηση των σταθμών που βρίσκονται κοντά στο ναυάγιο.



Εικόνα 3.5.4. Διακυμάνσεις του δείκτη ποικιλότητας (H' , bits ind^{-1}) για όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας.



Εικόνα 3.5.5. Δενδρόγραμμα ομαδοποίησης των σταθμών SN1, SN3, SN6, SN7 και SN10 για τις δειγματοληψίες: Μάιος 2007 (ma), Μάιος 2008 (mb), Νοεμβρίου 2007 (na), Νοέμβριος 2008 (nb) Ιανουάριος 2010 (Jn), Δεκέμβριος 2010 (Dc) και Μάιος 2011 (mc).

Οι καταγραφόμενες τιμές της αφθονίας και βιομάζας του ζωοπλαγκτού για την περίοδο του Μαΐου 2011 οδηγούν στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχουν επιπτώσεις στο ζωοπλαγκτό της περιοχής λόγω της έκχυσης του πετρελαίου από το ναυάγιο. Η βιοκοινωνία χαρακτηρίζεται ως σταθερή και υγιής λόγω της παρουσίας πολλών ειδών, ενώ οι ομάδες και τα είδη που βρέθηκαν την περίοδο αυτή των δειγματοληψιών, αποτελούν τα πιο σημαντικά είδη του ζωοπλαγκτού στην Ανατολική Μεσόγειο και η σημασία τους έχει αναφερθεί σε πολλές μελέτες (Zervoudaki et al., 2006, Moraitou-Apostolopoulou et al., 2000, Siokou-Frangou et al. 1997, Mazzochi et al., 1997).

3.6. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΖΩΟΒΕΝΘΙΚΕΣ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Ν. Σύμπουρα, Μ.Α. Ρανucci-Παπαδοπούλου, Σ. Ρεϊζοπούλου, Ν. Κατσιάρας, Γ. Αρβανιτάκης

3.6.1 Μέθοδοι και Υλικά

Η δειγματοληψία της δεύτερης φάσης παρακολούθησης των επιπτώσεων του ναυαγίου “Sea Diamond” στο ζωοβένθος της καλντέρας της Σαντορίνης έγινε στις 18 Μαΐου 2011 με το Ω/Κ ΦΙΛΙΑ του ΕΛΚΕΘΕ. Χρησιμοποιήθηκε δειγματολήπτης βένθους Van Veen δειγματοληπτικής επιφάνειας 0.1 m².

Με βάση την στρατηγική δειγματοληψίας που περιγράφηκε στην πρώτη έκθεση έγινε δειγματοληψία στο πλέγμα των πέντε σταθμών που είχαν επιλεγεί για την παρακολούθηση των επιπτώσεων του ναυαγίου στο ζωοβένθος.

Σε κάθε σταθμό συλλέχθηκαν δύο υποδείγματα. Τα δείγματα κοσκινίστηκαν στο πλοίο με κόσκινο διαμετρήματος 1mm και συντηρήθηκαν σε διάλυμα φορμόλης 40% σε θαλασσινό νερό και χρωστική Rose Bengal. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου έγινε η διαλογή των οργανισμών από το ίζημα και ο διαχωρισμός τους στις κύριες βενθικές ομάδες. Κατόπιν τα είδη προσδιορίστηκαν στο επίπεδο του είδους και μόνον όπου αυτό δεν ήταν δυνατόν σε ανώτερο ταξονομικό επίπεδο (γένους ή οικογένειας). Για την επεξεργασία των δεδομένων υπολογίστηκε ο μέσος όρος των δύο υποδειγμάτων και κατόπιν έγινε ο υπολογισμός των βιολογικών δεικτών.

Καταμετρήθηκαν ο αριθμός των ειδών *S* καθώς και ο αριθμός των ατόμων ή πυκνότητα ατόμων στο σύνολο της επιφάνειας δειγματοληψίας των δύο υποδειγμάτων (0.2 m²).

Για την επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων υπολογίστηκαν ο δείκτης ποικιλότητας *H'* Shannon-Wiener (Shannon & Weaver, 1963) με βάση τον δυαδικό λογάριθμο και ο δείκτης ομοιομορφίας *J* (Pielou, 1969).

Τέλος για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης χρησιμοποιήθηκε ο βιοτικός δείκτης Bentix (Simboura & Zenetos, 2002) που αναπτύχθηκε πρόσφατα για τις ανάγκες της εφαρμογής της Κοινοτικής Οδηγίας Πλαίσιο για τα Υδατα (EEC, 2000). Για την πολυπαραγοντική ανάλυση (ιεραρχική ταξινόμηση CLUSTER και πολυδιάστατη διευθέτηση MDS) χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο Primer v6. Έγινε λογαριθμική μετατροπή των δεδομένων και τεχνική ταξινόμησης “group average”. Στον πίνακα 3.6.1 δίνονται τα χαρακτηριστικά των σταθμών.

Πίνακας 3.6.1. Σταθμοί δειγματοληψίας και χαρακτηριστικά πεδίου.

ΣΤΑΘΜΟΙ	Περιοχή	Βάθος (m)	Υπόστρωμα
SN1	Δυτικό άνοιγμα Καλντέρας	20	Χαλίκια, πέτρες σε διάκενα λειβαδιού <i>Posidonia</i>
SN3	Μεταξύ Θηρασιάς και και Παλαιάς Καμένης	310	Λάσπη κοκκινωπή με λίγη άμμο και χαλίκια
SN4	Ακρωτήρι	281	Αμμόλασπη με φυτικά υπολείμματα <i>Posidonia</i>
SN6	Ναυάγιο	282	Αδρό χαλίκι με πέτρες
SN7	Θήρα	359	Αμμόλασπη κοκκινωπή με άμμος και χαλίκια

3.6.2 Αποτελέσματα

Α) ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Συνολικά από τους πέντε σταθμούς προσδιορίστηκαν από πέντε σταθμούς 185 είδη βενθικών οργανισμών (125 Πολύχαιτοι, 16 Καρκινοειδή, 5 Εχινόδερμα, 16 Μαλάκια και 23 Διάφορα μικρότερα φύλα) και καταμετρήθηκαν 489 άτομα (327 Πολύχαιτοι, 30 Καρκινοειδή, 7 Εχινόδερμα, 29 Μαλάκια και 96 Διάφορα μικρότερα φύλα).

Ο Πίνακας 3.6.2 παρουσιάζει τις τιμές των βιολογικών δεικτών στους σταθμούς μελέτης κατά την τέταρτη δειγματοληψία του Μαΐου 2011. Πιο συγκεκριμένα, ο πίνακας 3.6.2 δίνει: τον αριθμό των ειδών S για το σύνολο των δύο υποδειγμάτων ($0.2m^2$), την πυκνότητα των ατόμων N/m^2 , το δείκτη ποικιλότητας H' Shannon-Wiener, το δείκτη ομοιομορφίας κατανομής J και το δείκτη οικολογικής κατάστασης Bentix. Η εικόνα 3.6.1 παρουσιάζει γραφικά τη σύγκριση των τιμών των δεικτών από την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο του Μαΐου 2007 έως την τέταρτη δειγματοληψία του Μαΐου 2011 στους πέντε σταθερούς σταθμούς δειγματοληψίας (SN 1,3,4,6,7).

Όσο αφορά τον αριθμό των ειδών (S) ανά δειγματοληπτική επιφάνεια, κατά τη δειγματοληψία του Μαΐου 2011 αυξήθηκε ο αριθμός ειδών μόνο στο σημείο του ναυαγίου ενώ στους υπόλοιπους σταθμούς μειώθηκε. Γενικά οι αυξομειώσεις του αριθμού ειδών

σχετίζονται είτε με εποχικές διακυμάνσεις, είτε με τη δειγματοληπτική προσπάθεια, ενώ η αύξηση του αριθμού των ειδών στο σημείο του ναυαγίου σηματοδοτεί την συνεχιζόμενη πορεία ανάκαμψης (από 26 είδη τον Νοέμβριο 2007 σε 36 είδη ανά 0.2m² τον Μάιο 2008, 42 είδη τον Ιανουάριο 2010 και 47 είδη τον Μάιο 2011). Μάλιστα στον σταθμό του ναυαγίου ο αριθμός των ειδών ήταν ο μέγιστος μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας την συγκεκριμένη περίοδο. Αντίθετα εντύπωση προκαλεί η αντίστροφη τάση μείωσης του αριθμού των ειδών στη θέση του σταθμού SN7.

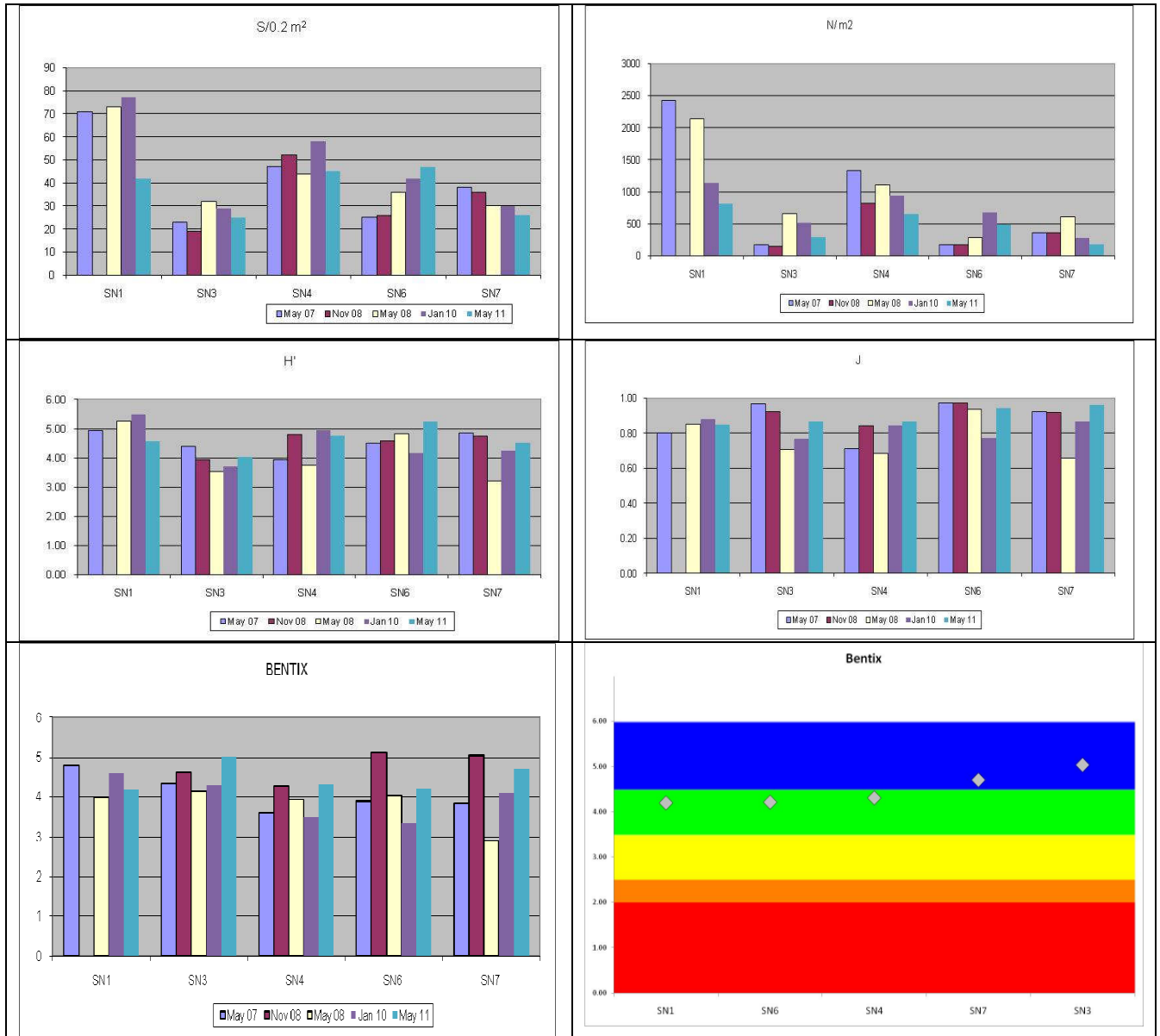
Όσο αφορά τον αριθμό των ατόμων (N), η μείωση του αριθμού των ατόμων που είχε παρατηρηθεί σε όλους τους σταθμούς πλην του ναυαγίου τον Ιανουάριο συνεχίστηκε και τον Μάιο συμπεριλαμβανομένου και του σταθμού του ναυαγίου. Ωστόσο ο αριθμός των ατόμων στην περιοχή του ναυαγίου είναι υψηλότερος τον Μάιο του 2011 από ότι τον Μάιο του 2008. Όσο αφορά στον σταθμό SN7 που σχολιάστηκε ως προς τον αριθμό των ειδών, ο αριθμός των ατόμων την τελευταία δειγματοληψία ήταν επίσης πολύ χαμηλός (185 άτομα.m²) και ανάλογος με τις τιμές μετά το ατύχημα στον σταθμό SN6.

Όσο αφορά τον δείκτη ποικιλότητας (H), αυτή η παράμετρος αυξήθηκε σε όλους τους σταθμούς πλην του SN1 και SN4 που όμως παρέμεινε σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Στον σταθμό του ναυαγίου ο δείκτης ποικιλότητας έφτασε στις 5,24 μονάδες τιμή μέγιστη μεταξύ όλων των σταθμών (πλην του σταθμού SN1) και των εποχών και συγκρίσιμη μόνο με αυτή στον σταθμό SN1 όπου υπάρχουν λειβάδια Ποσειδωνίας (όπου H'=5,27 τον Μάιο 2008).

Ο δείκτης ομοιομορφίας επίσης αυξήθηκε γενικά σε όλους τους σταθμούς τον Μάιο 2011 πλην του SN1 όπου ελαφρώς μειώθηκε σε σχέση με τον Ιανουάριο.

Πίνακας 3.6.2. Τιμές βιολογικών δεικτών στους σταθμούς μελέτης κατά την δεύτερη δειγματοληψία του Ιανουαρίου 2010.

Σταθμοί	S/0.2m ²	N/m ²	H'	J	Bentix
SN1	42	820	4.56	0.85	4.20
SN3	25	290	4.03	0.87	5.03
SN4	45	655	4.76	0.87	4.31
SN6	47	495	5.24	0.94	4.21
SN7	26	185	4.52	0.96	4.70



Εικόνα 3.6.1. Χρονική εξέλιξη των δεικτών στους σταθμούς μελέτης (Μάιος, Νοέμβριος 2007, Μάιος 2008, Ιανουάριος 2010 και Μάιος 2011) και οικολογική κατάσταση τον Μάιο 2011.

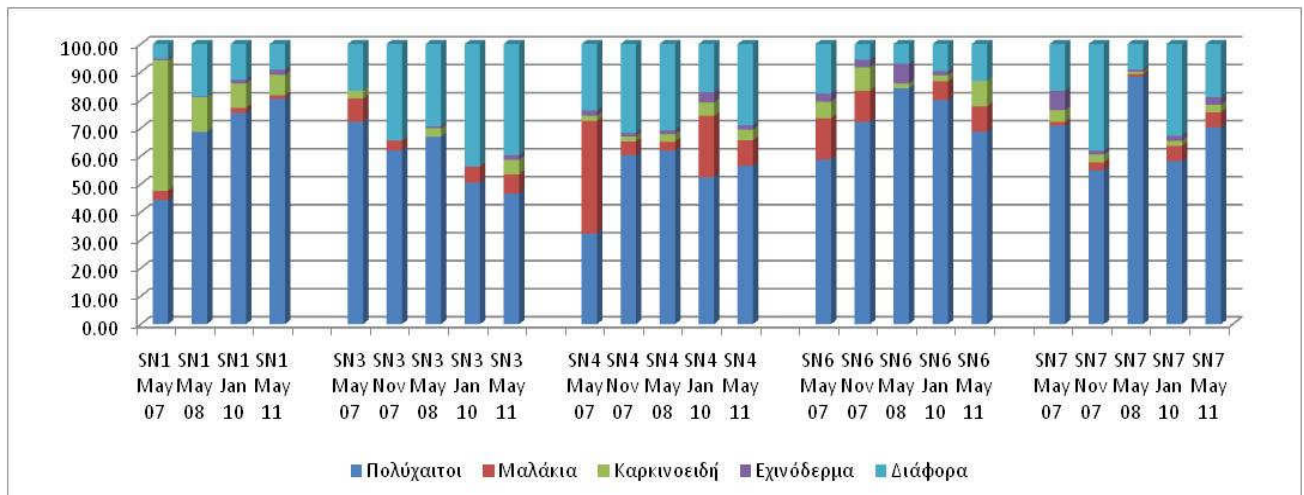
Κατά την περίοδο δειγματοληψίας του Μαΐου 2011 επίσης ο δείκτης οικολογικής κατάστασης Bentix αυξήθηκε σε όλους τους σταθμούς πλην του SN1 όπου ελαφρώς μειώθηκε. Μάλιστα η αύξηση στον σταθμό του ναυαγίου ήταν ιδιαίτερα σημαντική.

Γενικά η πορεία όλων των δεικτών πλην του αριθμού των ατόμων ήταν την τελευταία περίοδο του Μαΐου αυξητική σε όλους τους σταθμούς πλην του SN1. Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η αύξηση των δεικτών στον σταθμό του ναυαγίου.

Η σχετική πτώση όλων των δεικτών στην περιοχή του σταθμού SN1 μπορεί να αποδοθεί στην αλλαγή του τύπου βιοκοινωνίας που ελήφθη κατά την τελευταία δειγματοληψία σε σχέση με τις προηγούμενες περιόδους καθώς ο δειγματολήπτης συνέλεξε το ίζημα από αδρόκοκκη άμμο που υπάρχει ανάμεσα στις συστάδες των λειμώνων Ποσειδωνίας και όχι τα ριζώματα και τα φύλλα Ποσειδωνίας μαζί με το ίζημα. Χαρακτηριστικά είδη της βιοκοινωνίας της αδρόκοκκης άμμου υπό την επίδραση ρευμάτων βυθού είναι οι πολύχαιτοι *Praegeria remota*, *Protodorvillea kefersteini*, *Kefersteinia cirrata* με υψηλή πυκνότητα που βρέθηκαν στο σταθμό αυτό.

Β) ΣΥΝΘΕΣΗ ΟΜΑΔΩΝ

Η εικόνα 3.6.2 παρουσιάζει την σύνθεση της βενθικής πανίδας σε κάθε σταθμό ανάλογα με την συμμετοχή των κυριότερων βενθικών ομάδων στην συνολική αφθονία των ατόμων.

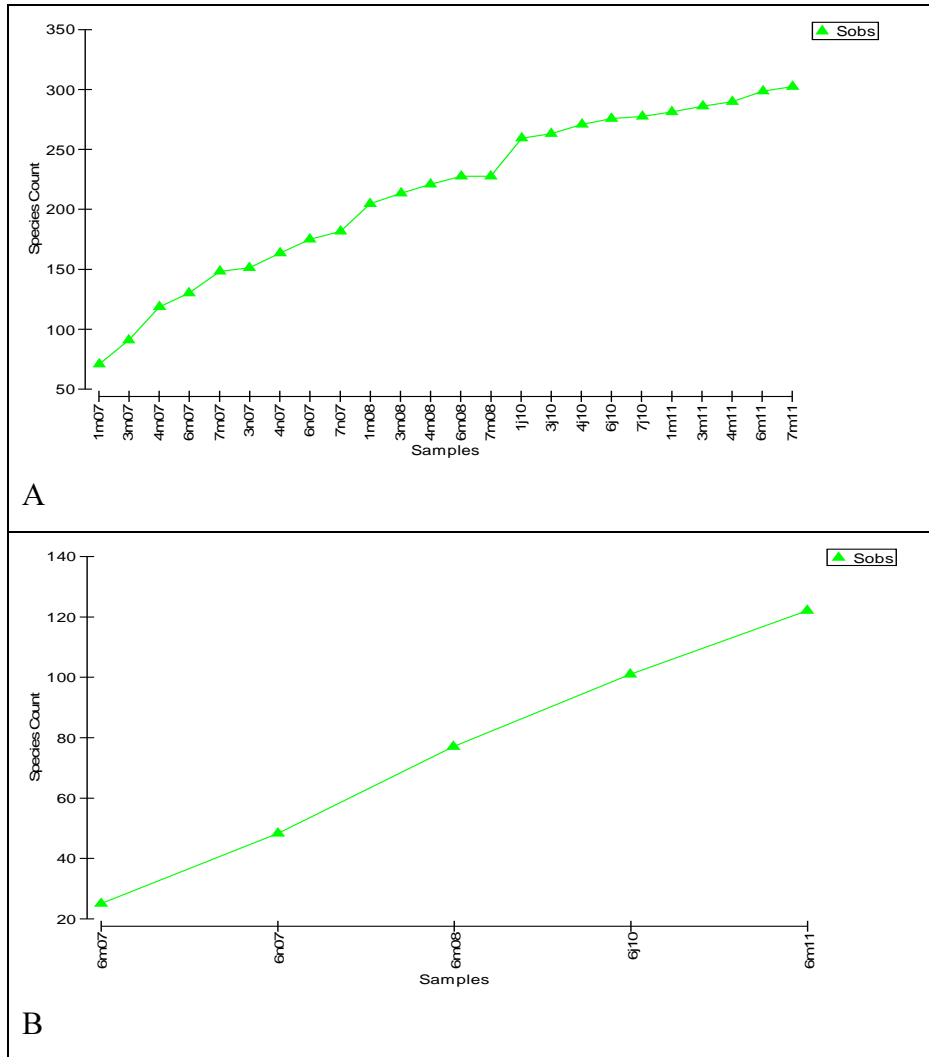


Εικόνα 3.6.2. Ποσοστά αφθονίας των κυριότερων βενθικών ομάδων σε όλους τους σταθμούς και εποχές δειγματοληψίας.

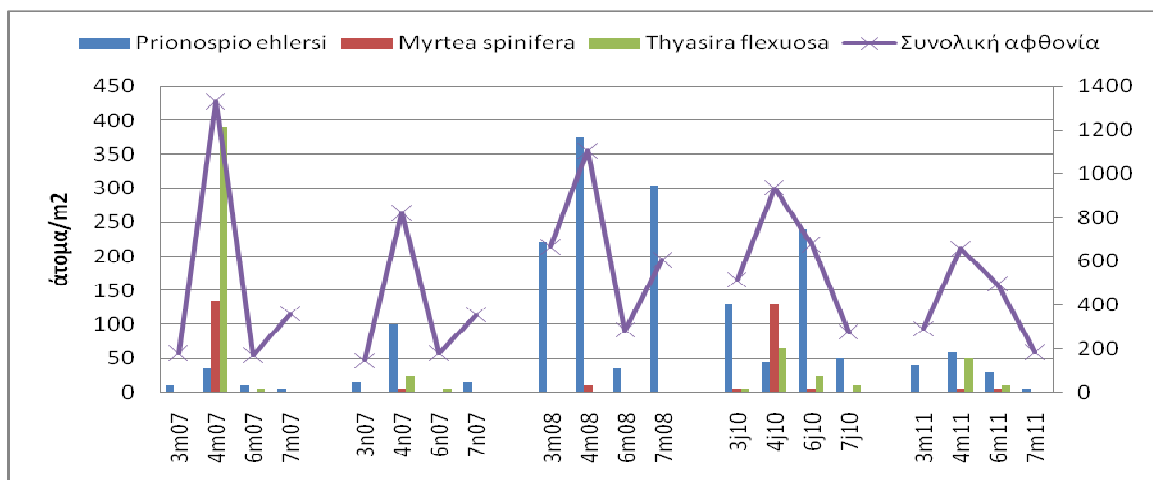
Η σχετική αναλογία της ομάδας των πολυχαιτών μειώθηκε περαιτέρω σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο στους σταθμούς SN3 και SN6 ενώ αυξήθηκε περαιτέρω στους σταθμούς SN1 και SN7. Συγκεκριμένα στον σταθμό SN6 αυξήθηκαν συγκριτικά και τα καρκινοειδή που αποτελούν ευαίσθητη γενικά ομάδα. Γενικά η ομάδα των πολυχαιτών θεωρείται ανθεκτική στα περισσότερα είδη ρύπανσης σε σχέση με άλλες βενθικές ομάδες όπως τα καρκινοειδή και τα εχινόδερμα που είναι πιο ευαίσθητα στην ρύπανση.

Γ) ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ ΤΟΥ ΝΑΥΑΓΙΟΥ

Την περίοδο του Μαΐου 2011 βρέθηκαν συνολικά στην περιοχή της καλντέρας της Σαντορίνης 20 νέα είδη (που δεν είχαν βρεθεί στην περιοχή από την αρχή του προγράμματος παρακολούθησης) από τα οποία τα 7 μόνο στο σημείο του ναυαγίου: οι πολύχαιτοι *Micronephthys maryae*, *Cirrophorus harpagoneus*, *Levinsenia reducta*, *Sosane solcata* τα Καρκινοειδή *Urothoe elegans*, *Achaeus gracilis* και το δίθυρο *Loripes lacteus*. Την προηγούμενη περίοδο του Ιανουαρίου 2010 είχαν βρεθεί συνολικά στην περιοχή της καλντέρας της Σαντορίνης 47 νέα είδη από τα οποία τα 5 μόνο στο σημείο του ναυαγίου. Γενικά με την αύξηση της δειγματοληπτικής προσπάθειας και έρευνας σε μια περιοχή αυξάνεται ο αριθμός των ειδών που βρίσκονται σε μια περιοχή. Η καμπύλη αυτή αυξάνεται εκθετικά μέχρι να υπάρξει τάση σταθεροποίησης όταν τα περισσότερα από τα είδη που αναμένονται να βρεθούν έχουν βρεθεί (Bogdanos et al., 2002; Simboura & Zenetos, 2005). Στην εικόνα 3.6.3 φαίνεται η καμπύλη συσσωρευτικής αύξησης του αριθμού των ειδών με την πρόοδο των ετών και της δειγματοληπτικής επιφάνειας α) στο σύνολο της περιοχής και β) μόνο στο σημείο του ναυαγίου. Παρατηρούμε ότι η πρώτη καμπύλη δείχνει μια τάση σταθεροποίησης ενώ η δεύτερη δείχνει γραμμική συσχέτιση.



Εικόνα 3.6.3. Καμπύλη συσσωρευτικής αύξησης των ειδών με την πρόοδο της παρακολούθησης και της δειγματοληπτικής προσπάθειας. Α. Στο σύνολο των σταθμών και Β. Στον σταθμό του ναυαγίου.



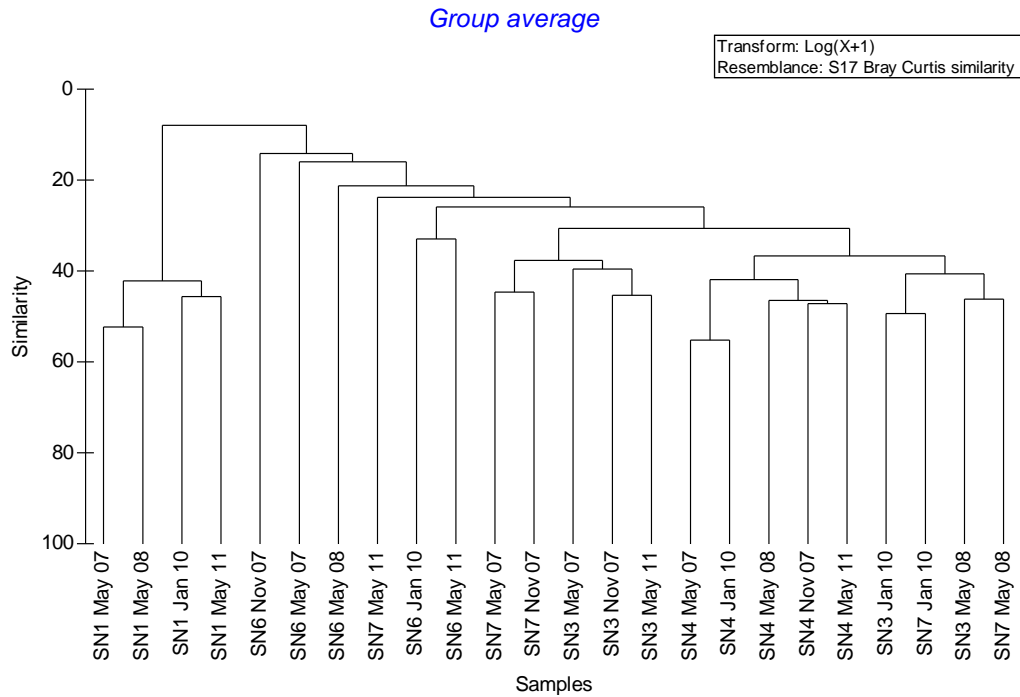
Στο Κεφάλαιο περί δεικτών αναφέρθηκε ότι την τελευταία περίοδο υπήρξε γενική μείωση της συνολικής αφθονίας. Το παραπάνω διάγραμμα (Εικόνα 3.6.4) δείχνει τα σημαντικότερα είδη που συμβάλλουν στις αυξομειώσεις της γενικής αφθονίας, από τα οποία όπως φαίνεται σημαντικότερο είναι το είδος *Prionospio ehlersi*. Το είδος αυτό που ήταν ιδιαίτερα αυξημένο κυρίως το 2008 και 2010 τόσο στο σταθμό του ναυαγίου όσο και γενικότερα στην περιοχή, κατά την περίοδο του Μαΐου 2011 δεν βρέθηκε σε τόσο υψηλές πυκνότητες (5-60 άτομα/m² έναντι 45-240 ατ/m² τον Ιανουάριο 2010) σε κανένα από τους σταθμούς. Η αυξημένη πυκνότητα του είδους αυτού τις προηγούμενες περιόδους δειγματοληψίας είχε συνδεθεί με πιθανές συνθήκες ευτροφισμού και γενικότερης οικολογικής κατάστασης της περιοχής και όχι ειδικά με την ρύπανση από το ναυάγιο.

Σε συνδυασμό με την αύξηση της αφθονίας ειδών, της ποικιλότητας, ομοιομορφίας και του δείκτη BENTIX στο σημείο του ναυαγίου μπορούμε να υποθέσουμε τη συνεχιζόμενη πορεία ανάκαμψης των βενθικών βιοκοινωνιών 4 χρόνια μετά το ατύχημα.

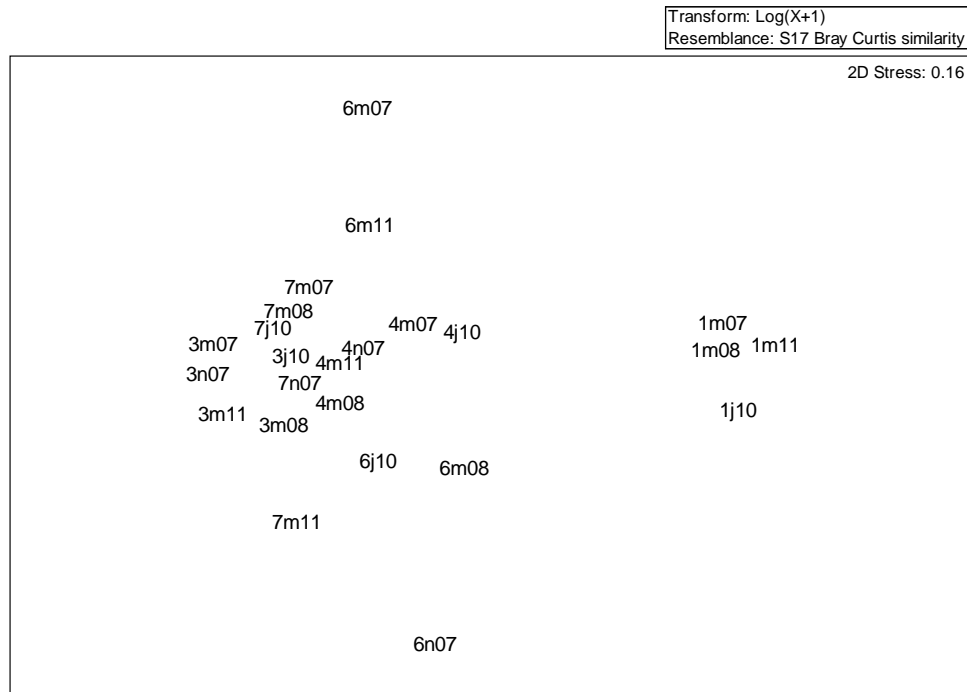
Δ) ΠΟΛΥΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα διαγράμματα της εικόνας 3.6.5 (α,β) δείχνουν την ιεραρχική ταξινόμηση και δισδιάστατη διευθέτηση των σταθμών για τις πέντε περιόδους ανάλογα με την ποιοτική και ποσοτική πανιδική τους σύνθεση. Τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε λογαριθμική μετατροπή (Log 1+x). Κατά την προηγούμενη έκθεση είχε αναφερθεί ότι αυξήθηκε η σχέση ομοιότητας του σταθμού του ναυαγίου με τους υπόλοιπους σταθμούς της καλντέρας SN3, SN4 και SN7 που έχουν παρόμοιο βάθος και υπόστρωμα. Κατά την τελευταία δειγματοληψία ο σταθμός του ναυαγίου ομαδοποιείται σε στενότερη σχέση ομοιότητας με τον ίδιο σταθμό κατά την προηγούμενη περίοδο του Ιανουαρίου 2010. Ο σταθμός SN1 διαφοροποιείται σημαντικά από τους υπόλοιπους λόγω της διαφορετικότητας του βιοτόπου (λειβάδια *Posidonia*) αλλά και του βάθους. Ο σταθμός SN1 βρίσκεται στην νοτιοδυτική είσοδο της καλντέρας με μικρό βάθος (20m) και καλύπτεται από λειβάδι Ποσειδώνιας, ενώ στο εσωτερικό της καλντέρας το βάθος αυξάνεται απότομα και ο βυθός καλύπτεται από ιζήματα ηφαιστειακής προέλευσης. Τα λειβάδια Ποσειδώνιας φυσιολογικά φιλοξενούν πληθώρα βενθικών οργανισμών και χαρακτηρίζονται από υψηλή βιοποικιλότητα γεγονός που διαφοροποιεί τις βενθικές βιοκοινωνίες τους από αυτές άλλων βιοτόπων χωρίς φυτική κάλυψη, όπως και στην περίπτωση της περιοχής μελέτης. Ωστόσο οι βιοκοινωνίες που απαντούν σε μία δειγματοληψία στην περιοχή του λειβαδιού μπορεί να διαφέρουν αρκετά ανάλογα με την

πυκνότητα του λειβαδιού και τα διάκενα που υπάρχουν ανάμεσα στα πυκνότερα τμήματα του λειβαδιού.



Εικόνα 3.6.4α. Ιεραρχική ταξινόμηση. Ο κάθε σταθμός συμβολίζεται με τον κωδικό του σταθμού (1-7), την ένδειξη της εποχής (η ένδειξη m συμβολίζει την περίοδο του Μαΐου, η ένδειξη n του Νοεμβρίου και η ένδειξη j του Ιανουαρίου), και την ένδειξη της χρονολογίας (07, 08, 10, 11).



Εικόνα 3.6.4β. Δισδιάστατη διευθέτηση. Ο κάθε σταθμός συμβολίζεται με τον κωδικό του σταθμού (1-7), την ένδειξη της εποχής (η ένδειξη m συμβολίζει την περίοδο του Μαΐου, η ένδειξη n του Νοεμβρίου και η ένδειξη j του Ιανουαρίου), και την ένδειξη της χρονολογίας (07, 08, 10, 11).

Γενικά οι σχέσεις ομοιότητας μεταξύ των σταθμών όπως απεικονίζονται κυρίως στην ιεραρχική ταξινόμηση υπαγορεύονται α) από τις ομοιότητες στον τύπο του υποστρώματος και το βάθος (πίνακας 3.6.1) και β) από τον βαθμό διατάραξης. Έτσι στους σταθμούς SN7 και SN3 με μεγαλύτερο βάθος πάνω από 300μ και υπόστρωμα από κοκκινωπή λάσπη με άμμο και χαλίκια οι βιοκοινωνίες έχουν μεγαλύτερη ομοιότητα μεταξύ τους, ενώ ο σταθμός SN4 με σχετικά μικρότερο βάθος και φυτικά υπολείμματα διαφοροποιείται σχετικά από τους υπόλοιπους, ενώ ο σταθμός SN1 όπως ήδη αναφέρθηκε είναι εντελώς διαφορετικός με ιδιαίτερο βιότοπο και μικρό βάθος. Στην περίπτωση του σταθμού του ναυαγίου το δενδρόγραμμα δείχνει μια μειωμένη σχέση ομοιότητας του σταθμού αυτού τόσο με τους υπόλοιπους όσο και μεταξύ των διαδοχικών δειγματοληψιών που όμως αυξάνεται με την χρονική απομάκρυνση από το επεισόδιο του ναυαγίου. Η ιδιαιτερότητα στις σχέσεις ομοιότητας του σταθμού αυτού οφείλεται α) στο ιδιαίτερο υπόστρωμα με αδρά χαλίκια και πέτρες στον σταθμό αυτό που τον διαφοροποιεί αρκετά από τους υπόλοιπους και β) στις αρχικές έντονες επιπτώσεις του ατυχήματος στις βιοκοινωνίες της περιοχής και την αντίδραση ανάκαμψης των βιοκοινωνιών που ακολούθησε.

3.6.3 Συμπεράσματα

Γενικά αξίζει να σημειωθεί:

- η ανάκαμψη της βενθικής βιοκοινότητας στο σημείο του ναυαγίου συνεχίζεται και εκφράζεται α) με την περαιτέρω αύξηση του αριθμού ειδών, της ποικιλότητας, ομοιομορφίας και οικολογικής κατάστασης και β) με τη σταθερή αύξηση της ομοιότητας του σταθμού αυτού με τους υπόλοιπους σταθμούς της καλντέρας. Από τις καμπύλες συσσωρευτικής αύξησης του αριθμού ειδών γενικά στην περιοχή και ειδικά στον σταθμό SN6 αναμένεται μεγαλύτερη αύξηση στο αριθμό των ειδών στον σταθμό του ναυαγίου.
- Την τελευταία περίοδο υπήρξε μια γενική μείωση της πυκνότητας των ατόμων συνολικά σε όλους τους σταθμούς της καλντέρας. Επίσης υπήρξε και κάποια μείωση του αριθμού των ειδών σε σχέση με την προηγούμενη εποχή με εξαίρεση τον σταθμό του ναυαγίου όπου ο αριθμός ειδών αυξήθηκε. Ο αριθμός των ειδών εμφανίζει σχετικές χρονικές αυξομειώσεις στην περιοχή γενικά, ενώ αντίθετα στον σταθμό του ναυαγίου παρουσιάζει σταθερά αυξητική πορεία.

- Η συνολική μείωση της αφθονίας οφείλεται κατά πολύ σε κάποια μεμονωμένα ευκαιριακά είδη που υποχώρησαν την τελευταία περίοδο γενικά στην περιοχή. Επίσης οι υπόλοιποι δείκτες (ποικιλότητας, ομοιομορφίας και οικολογικής ποιότητας) παρουσίασαν αύξηση, και γενικότερα οι βιοκοινωνίες είχαν ισορροπημένη δομή.
- Η γενικότερη οικολογική κατάσταση της καλντέρας εμφανίζει βελτίωση με πιο ισορροπημένη δομή βιοκοινωνιών. Την τελευταία περίοδο η οικολογική κατάσταση στους σταθμούς SN1, SN4, SN6 κατηγοριοποιείται ως «Καλή» ενώ στους σταθμούς SN7 και SN3 ως «Υψηλή». Αυτή η βελτίωση οφείλεται εν πολλοίς στην υποχώρηση του ευκαιριακού είδους *Prionospio ehlersi*.
- Ωστόσο στον σταθμό SN7 η σταδιακή μείωση του αριθμού των ειδών, και η εξαιρετικά μικρή τιμή αφθονίας ατόμων την τελευταία περίοδο σε συνδυασμό με το γεγονός ότι στο σημείο αυτό βρέθηκαν εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις πολυαρωματικών υδρογονανθράκων που είναι τοξικοί ρύποι προβληματίζουν για την ποιότητα των λυμάτων της πόλης της Θήρας και την μελλοντική εξέλιξη της κατάστασης των βενθικών βιοκοινωνιών στο σημείο αυτό.
- Με την ολοκλήρωση τεσσάρων ετήσιων κύκλων παρακολούθησης με εναλλαγή ψυχρών και θερμών περιόδων τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στην περίπτωση αυτή της ρύπανσης από την πετρελαιοκηλίδα του ναυαγίου SEA DIAMOND οι διαδικασίες της διαδοχής ειδών και η επανάκαμψη της αφθονίας των ειδών και των πυκνοτήτων των πληθυσμών τους (ειδικά στο σημείο του ναυαγίου) αποτελούν το κύριο πρότυπο αντίδρασης-ανάκαμψης των βενθικών βιοκοινωνιών. Οι διακυμάνσεις αυτές που εκφράζονται μέσω των βιολογικών-οικολογικών δεικτών επικαλύπτουν τις όποιες εποχικές διακυμάνσεις που οφείλονται στον βιολογικό κύκλο των οργανισμών η σε δειγματοληπτικούς παράγοντες.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις μετρήσεις και τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν προκύπτουν τα ακόλουθα συνοπτικά συμπεράσματα:

Υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ουσίες στο θαλασσινό νερό

Οι συγκεντρώσεις των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων στη στήλη του θαλασσινού νερού ήταν σε γενικές γραμμές φυσιολογικές σε όλους τους σταθμούς κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών του 2010-2011. Μόνο σε δύο περιπτώσεις και τον Δεκέμβριο του 2010 και το Μάιο του 2011 ανιχνεύθηκαν ίχνη από υπολείμματα πετρελαιοειδών χωρίς όμως οι τιμές τους να ξεφεύγουν από τις συνηθισμένες στις ελληνικές θάλασσες

Σχετικά με τις υπόλοιπες οργανικές ουσίες ανθρωπογενούς προέλευσης δεν παρατηρήθηκαν σε κανένα σταθμό και βάθος ενδείξεις επιβάρυνσης από το ναυάγιο. Οι ουσίες που ανιχνεύθηκαν ήταν κυρίως διάφοροι φθαλικοί εστέρες σε συγκεντρώσεις που είναι αναμενόμενες στις Ελληνικές θάλασσες. Όπως είναι γνωστό οι ενώσεις αυτές περιέχονται στα πλαστικά και για το λόγο αυτό είναι ευρέως διαδεδομένες στο περιβάλλον.

Υδρογονάνθρακες στα θαλάσσια ιζήματα

Οι συγκεντρώσεις των αλειφατικών υδρογονανθράκων στα θαλάσσια ιζήματα ήταν ιδιαίτερα μικρές σε όλα τα δείγματα γεγονός που δείχνει ότι δεν υπήρχαν ίχνη πετρελαϊκής ρύπανσης στο θαλάσσιο βυθό.

Οι συγκεντρώσεις των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (ΠΑΥ) ήταν επίσης μικρές σε όλα τα δείγματα με εξαίρεση το σταθμό SN7, όπου βρέθηκαν πολύ αυξημένες τιμές, χαρακτηρίζοντας έτσι το συγκεκριμένο σημείο ως σημαντικά ρυπασμένο. Η επιβάρυνση αυτή, όπως έδειξαν οι κατανομές των επιμέρους ενώσεων και τα διάφορα διαγνωστικά κριτήρια που εφαρμόστηκαν, οφείλεται σε ΠΑΥ που έχουν πυρολυτική προέλευση και επομένως δεν φαίνεται να σχετίζονται με το ατύχημα αλλά με κάποια άλλη ανθρωπογενή πηγή, πιθανότατα από την πόλη των Φηρών ή με ύπαρξη αγωγού λυμάτων. Στο συγκεκριμένο σημείο και στις προηγούμενες δειγματοληψίες είχαν βρεθεί αυξημένες σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή τιμές, όμως το Μάιο του 2011 οι συγκεντρώσεις των ΠΑΥ έχουν πενταπλασιαστεί. Το γεγονός αυτό χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Πρέπει να επισημανθεί επίσης η ιδιαίτερα μεγάλη τιμή για το βενζο(α)πυρένιο (330 ng/g) που ανιχνεύθηκε το σημείο αυτό.

Βαρέα μέταλλα στο θαλασσινό νερό

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων βρέθηκαν σε όλους τους σταθμούς και βάθη ιδιαίτερα χαμηλές και παρόμοιες με αυτές που ανιχνεύονται στην ανοιχτή θάλασσα. Συγκρίνοντας τις τιμές των μετάλλων που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια των 12 δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν τα τέσσερα έτη μετά το ναυάγιο, δεν παρατηρήθηκε κάποια σαφής τάση αύξησης ή μείωσης. Δεν διαπιστώθηκε καμία επιβάρυνση στο σημείο του ναυαγίου σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή και η τάση αύξησης των τιμών του ψευδαργύρου που είχε διαφανεί μέχρι το τέλος του 2008 δεν επιβεβαιώθηκε από τις επόμενες μετρήσεις. Όπως αναφέρθηκε και στις προηγούμενες εκθέσεις, τυχόν αποδέσμευση προς το θαλασσινό νερό ιχθυοστοιχείων και μετάλλων που προέρχονται από το σκελετό και τις διάφορες συσκευές του ναυαγισμένου πλοίου γίνεται με βραδείς ρυθμούς και για το λόγο αυτό θα πρέπει να συνεχιστούν οι μετρήσεις, έτσι ώστε να διαπιστωθεί με ασφάλεια ο ρόλος του ναυαγισμένου πλοίου στην επιβάρυνση της περιοχής με βαρέα μέταλλα.

Βαρέα μέταλλα και ιχθυοστοιχεία στα θαλάσσια ιζήματα

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα ιζήματα της περιοχής ήταν παρόμοιες με αυτές που προσδιορίστηκαν το 2008. Όπως και τότε, η μεγαλύτερη επιβάρυνση διαπιστώθηκε για το μόλυβδο και σε μικρότερο βαθμό για τον ψευδάργυρο. Ανάλυση δείγματος ιζήματος από την περιοχή που βρίσκεται σήμερα το ναυάγιο το οποίο είχε συλλεγεί από επιστήμονες του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. το 1987 έδειξε ότι οι σημερινές τιμές δεν διαφοροποιούνται σημαντικά και επομένως οποιαδήποτε επιβάρυνση δεν σχετίζεται με το ναυάγιο του SeaDiamond αλλά με τις υπόλοιπες ανθρωπογενείς δραστηριότητες ή/και με το ιδιαίτερο φυσικό υπόβαθρο της περιοχής

Βιοσυσσώρευση σε θαλάσσιους οργανισμούς (μύδια)

Οι συγκεντρώσεις τόσο των υδρογονανθράκων όσο και των βαρέων μετάλλων σε μύδια που εμφυτεύθηκαν στην περιοχή για τη μελέτη της βιοσυσσώρευσης βρέθηκαν μικρές και παρόμοιες με αυτές που μετριοούνται συνήθως σε πληθυσμούς μυδιών από διάφορες περιοχές της Ελλάδος και σαφώς μικρότερες από οποιοδήποτε όριο ασφαλούς κατανάλωσης. Οι τιμές των υδρογονανθράκων ήταν σαφώς μικρότερες από αυτές που μετρήθηκαν το 2008, ωστόσο στα μύδια που τοποθετήθηκαν πάνω από το ναυάγιο ήταν εμφανής η επίδραση από υπολείμματα πετρελαιοειδών. Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα δείγματα των μυδιών ήταν σημαντικά μειωμένες σε σχέση με το 2010 αλλά η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι για το σίδηρο υπάρχει σαφής επίδραση του ναυαγισμένου πλοίου. Μικρότερου βαθμού επίδραση είναι πιθανή και για το μαγγάνιο και

τον ψευδάργυρο. Δεδομένου ότι η βιοσυσσώρευση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, τόσο φυσικοχημικούς όσο και βιολογικούς, και προκειμένου να εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα είναι αναγκαία η ύπαρξη μεγαλύτερης χρονοσειράς μετρήσεων και επομένως είναι απαραίτητη η συνέχιση της παρακολούθησης της περιοχής. **Όσον αφορά τα ψάρια που αλιεύτηκαν κοντά στο ναυάγιο, τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι η περιεκτικότητα τους σε μέταλλα είναι συγκρίσιμη με αυτή από άλλες περιοχές της Ελλάδας και σε επίπεδα πολύ κάτω των ορίων ασφαλούς κατανάλωσης που έχουν θεσπιστεί σύμφωνα με το ΦΕΚ 1881/2006. Επομένως δεν φαίνεται από τις μετρήσεις μας ότι επηρεάστηκε ο αλιευτικός πλούτος της περιοχής από το ναυάγιο.**

Επιπτώσεις στις ζωοπλακτονικές βιοκοινωνίες

Η βιοκοινωνία του ζωοπλακτού στην περιοχή του ναυαγίου χαρακτηρίζεται ως σταθερή και υγιής λόγω της παρουσίας πολλών ειδών, άρα και τροφικών επιπέδων, ενώ οι ομάδες και τα είδη που βρέθηκαν αποτελούν τα πιο σημαντικά είδη του ζωοπλακτού στην Ανατολική Μεσόγειο και η σημασία τους έχει αναφερθεί σε πολλές μελέτες.

Επιπτώσεις στις ζωοβενθικές βιοκοινωνίες

Η γενικότερη οικολογική κατάσταση της καλντέρας με βάση τις βιοκοινωνίες του ζωοβένθους εμφανίζει βελτίωση με πιο ισορροπημένη δομή βιοκοινωνιών. Την τελευταία περίοδο η οικολογική κατάσταση στους σταθμούς SN1, SN4, SN6 κατηγοριοποιείται ως «Καλή» ενώ στους σταθμούς SN7 και SN3 ως «Υψηλή». Ωστόσο στον σταθμό SN7 η σταδιακή μείωση του αριθμού των ειδών, και η εξαιρετικά μικρή τιμή αφθονίας ατόμων την τελευταία περίοδο σε συνδυασμό με το γεγονός ότι στο σημείο αυτό βρέθηκαν εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις πολυαρωματικών υδρογονανθράκων που είναι τοξικοί ρύποι προβληματίζουν για την ποιότητα των λυμάτων της πόλης της Θήρας και την μελλοντική εξέλιξη της κατάστασης των βενθικών βιοκοινωνιών στο σημείο αυτό.

Σε σχέση με τη μονάδα αφαλάτωσης που λειτουργεί στην Οία για την παραγωγή πόσιμου νερού οι μετρήσεις έδειξαν ότι η ποιότητα του θαλασσινού νερού σε ότι αφορά χημική ρύπανση είναι εξαιρετική και επομένως δεν υπάρχει κανένας λόγος ανησυχίας.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τις μετρήσεις που καλύπτουν τη χρονική περίοδο των πρώτων τεσσάρων ετών από το ατύχημα είναι ότι οι επιπτώσεις από το ναυάγιο

στο θαλάσσιο οικοσύστημα της περιοχής είναι σε γενικές γραμμές αμελητέες. Παρόλο που το βυθισμένο κρουαζιερόπλοιο περιέχει ρυπογόνα φορτία, τα οποία έστω και με αργούς ρυθμούς απελευθερώνονται στο θαλάσσιο περιβάλλον, τα αποτελέσματα των μετρήσεων δείχνουν ότι μέχρι στιγμής δεν έχει επηρεαστεί η ποιότητά του. Οι συγκεντρώσεις όλων των ρυπογόνων στοιχείων στο θαλασσινό νερό και στα ιζήματα παραμένουν μικρές και φυσιολογικές ενώ και οι βιοκοινωνίες των θαλάσσιων οργανισμών παραμένουν υγιέστατες. Η συνεχιζόμενη μικρή διαφυγή πετρελαιοειδών φαίνεται ότι αντιμετωπίζεται σωστά και δεν επηρεάζει τη θαλάσσια περιοχή εκτός των ορίων του φράγματος που είναι τοποθετημένο στο σημείο του ναυαγίου. Παρόλα αυτά, από τη μελέτη της βιοσυσσώρευσης σε θαλάσσιους οργανισμούς (μύδια) προκύπτουν κάποιες ενδείξεις επιβάρυνσης τόσο σε κάποια βαρέα μέταλλα (κυρίως Fe και κατά δεύτερο λόγο Mn, Zn) όσο και σε πετρελαιοειδή που θα μπορούσαν να συσχετιστούν και με το ναυάγιο. Επομένως, και εφόσον το βυθισμένο πλοίο παραμένει στην περιοχή, επιβάλλεται η συνέχιση των μετρήσεων μέχρις ότου διαπιστωθεί με ασφάλεια ότι δεν υπάρχει κίνδυνος περαιτέρω ρύπανσης. Τέλος επισημαίνεται και πάλι η ανίχνευση ιδιαίτερα μεγάλων συγκεντρώσεων πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στο θαλάσσιο ίζημα του σταθμού SN7 η οποία, αν και δεν συνδέεται με την ύπαρξη του ναυαγίου αλλά με κάποια άλλη ανθρωπογενή πηγή, χρειάζεται οπωσδήποτε περαιτέρω διερεύνηση.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ALYAMANI, F.Y., ALRIFAIE, K., ISMAIL, W., 1993. Post-spill zooplankton distribution in the NW Gulf. *Marine Pollution Bulletin* 27, 239-243.
- BALESTRI E. & F. CINELLI, 2003. Sexual reproductive success in *Posidonia oceanica*, *Aquatic Botany*, 75(1): 21-32.
- BATTEN S.D., ALLEN R.J.S., WOTTON C.O.M. 1998. The effects of the *Sea Empress* oil spill on the plankton of the southern Irish Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 36(10) 764-774.
- BELLAN-SANTINI, D., J.-C. LACAZE & C. POIZAT, 1994. Les biocenoses marines et littorales de Mediterranee. Synthese, menaces et perspectives. Collection Patrimoines Naturels- Vol., 19, Ser. Patrimoine ecologique. *Mus. Nat. Hist. Nat.*, 246p.
- BOULOUBASSI L., SALIOT, A. (1993): Investigation of anthropogenic and natural organic inputs in estuarine sediments using hydrocarbon markers (NAH, LAB, PAH). *Oceanologica Acta*, 16:145-161
- BURNS, K. & SALIOT, A., (1986): Petroleum Hydrocarbons in the Mediterranean Sea: A mass balance. *Marine Chemistry*, 20:141-157
- DEAN T.A., M.S. STEKOLL, S.C. JEWETT, R.O. SMITH & J.E. HOSE, 1998. Eelgrass (*Zostera marina* L.) in Prince William/sound, Alaska: effects of the Exxon Valdez oil spill, *Marine Pollution Bulletin* 36, pp. 201–210.
- EC, 2000. Directive of the European parliament and of the Council 2000/60/EC establishing a framework for community action in the field of Water Policy. PE-CONS 3639/1/00.
- FERED, H.M & A. BLANCHARD, 1998. The deep benthos of Prince William Sound, Alaska, 16 months after the Exxon Valdez oil spill. *Marine Pollution Bulletin.*, 30(2): 118-130.
- FIELD, J.G., K.R. CLARKE AND R.M. WARWICK, 1982. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*,8, 37-52.
- FROST, B AND FLEMINGER A. (1968). A revision of the genus *Clausocalanus* (Copepoda Calanoida) with remarks on distributional patterns in diagnostic characters. *Bull. Scripps Inst. Ocean* 12: 92 pp.
- GAUDY, R. (1985) Features and peculiarities of zooplankton communities from the western Mediterranean. In: Moraitou-Apostolopoulou M, Kiortsis V (eds) *Mediterranean Marine Ecosystems*. Plenum Publishing Corporation, New York, p 279-301.
- GIN, K.Y.H., HUDA, M.D.K., LIM, W.K., TKALICH, P., 2001. An oil spill-food interaction model for coastal waters. *Marine Pollution Bulletin* 42(7), 590-597.
- GOMEZ GESTEIRA, J.L. & J.C. DAUVIN, 2000. Amphipods are good bioindicators of the impact of oil spills on soft-bottom macrobenthic communities. *Marine Pollution Bulletin*, 40(11): 1017-1027.
- GOTSIS-SKRETAS O., IGNATIADES L. 2005. Phytoplankton in pelagic and coastal waters. In : *SoHelMe, State of the Hellenic Marine Environment (Eds. E. Papathanassiou and A. Zenetos)*, HCMR Publ., 360 pp.
- GOTSIS-SKRETAS O., PAGOU K., MORAITOU-APOSTOLOPOULOU M., IGNATIADES L. 1999. Seasonal horizontal and vertical variability in primary production and standing stocks of phytoplankton and zooplankton in the Cretan Sea and the Straits of the Cretan Arc (March 1994 - January 1995). *Progress in Oceanography*, 44(4): 625-649.

- GOUTZ H.M., BERLAND B., LEVEAU M., BERTRAND J.C. 1984. Effects of petroleum biodegradation products on phytoplankton growth. 2nd *International Colloquium on Marine Bacteriology*, 621-627. IFREMER, Paris, France.
- HATZIANESTIS I., E. SKLIVAGOU (2002). Hydrocarbon Contamination in Sediments from five Major Greek Estuaries. 8th FECS Conference on Chemistry and the Environment. Athens, Greece, August 31 – September 4, 2002, *Environmental Science and Pollution Research*, special issue **3**: 60-61
- HATZIANESTIS I., A. HANTZI, E. SKLIVAGOU, F. RIGAS (2003). Distribution and origin of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in Saronikos gulf sediments. 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Proceedings, pp. 310-317, 8-10 September 2003, Lemnos.
- HATZIANESTIS J., SKLIVAGOU E. & GEORGAKOPOULOU, E (2001): Hydrocarbons, pesticides and PCBs in sediments from Thermaikos gulf. *Fresenius Environmental Bulletin*, **10**(1), 63-68.
- HATZIANESTIS J., SKLIVAGOU, E., GEORGAKOPOULOU, E (2000). Organic contaminants in sediment and mussels from Thermaikos gulf, Hellas. *Toxicological and Environmental Chemistry*, **74**:203-216
- HATZIANESTIS, I. N. RORI, E. SKLIVAGOU, F. RIGAS (2004). PAH profiles in dated sediment cores from Elefsis bay, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, **13**, 1253-1257
- HISCOCK, K., LANGMEAD, O. & WARWICK, R. 2004. Identification of seabed indicator species from time series and other studies to support implementation of the EU Habitats and Water Framework Directives. Report to the Joint Nature Conservation Committee and the Environment Agency from the Marine Biological Association. Plymouth: Marine Biological Association. JNCC Contract F90-01-705. 109pp
- IOC MANUAL AND GUIDES (1993): The determination of petroleum hydrocarbons in sediments
- IOC, 1986. Manual for monitoring oil and dissolved/dispersed petroleum hydrocarbons in marine waters and on beaches. Intergovernmental Oceanographic Commission. Manuals and Guides, No 13.
- KARAGEORGIS, A. I. HATZIANESTIS (2003). Surface sediment chemistry in the Olympic games 2004 Sailing Center (Saronikos Gulf). *Marine Mediterranean Science*, **4**(1), 5-22
- KARYDIS, M. (1999). Evaluation of the trophic levels in Greek coastal ecosystems. Scientific Report, Univ. of Aegean, Lesvos Island, February 1999.
- KINGSTON, P.F., 1992. Impact of offshore oil production installations on the benthos of the North Sea. *Journal of Marine science*, **49**: 45-53.
- KINGSTON, P.F., I.M.T. DIXON, S. HAMILTON & D.C. MOORE, 1995. The impact of the Braer oil spill on the macrobenthic infauna of the sediments off the Shetland islands. *Marine Pollution Bulletin*, **30**(7): 445-459.
- KOROLEFF, F. (1970). Revised version of "Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue". *Int. Con. Explor. Sea C. M. 1969/ C:9 ICES information on techniques and methods for sea water analysis. Interlab. Rep.*, No 3, 19-22.
- KUHNHOLD W.W. 1978. Impact of the *Argo Merchant* oil spill on macrobenthic and pelagic organisms. Paper presented at the AIBS Conference Assessment of Ecological Impact of Oil Spill, 14-17 June 1975, Keystone, Colorado, USA.
- LACAZE, J.C. AND VILLEDON DE NAIDE, O., 1976. Influence of illumination on phytotoxicity of crude oil. *Marine Pollution Bulletin* **7**(4), 73-76.
- MARBÀ N. C.M. DUARTE, A ALEXANDRA AND S.CABAÇO, 2004. How do seagrasses grow and spread? In: European seagrasses: an introduction to monitoring and

- management. J Borum, CM Duarte, D Krause-Jensen and TM Greve (eds), EU Project Monitoring and Managing of European Seagrasses (M&MS), 11-18pp
- MAZUREK, M. A. & SIMONEIT, B.R.T. (1984): Characterization of biogenic and petroleum-derived organic matter in aerosols over remote, rural and urban areas. In: Identification and Analysis of Organic Pollutants in Air, L.H. Keith, editor. Ann Arbor Science/Butterworth, Boston, 353-370
- MAZZOCCHI, M.G., CHRISTOU, E.D., FRAGOPOULOU, N., SIOKOU-FRANGOU, I. 1997. Zooplankton distribution from Sicily to Cyprus (Eastern Mediterranean): I. General aspects. *Oceanologica Acta* 20(3), 521-535.
- MAZZOCCHI, M.G., PAFFENHOFER, G.A. (1998). First observations on the biology of *Clausocalanus furcatus* (Copepoda, Calanoida). *Journal of Plankton Research* 20 (2): 331-342
- McAULEY R.N. 1966. The biological effects of oil pollution in a river. *Limnology and Oceanography*, 11(4), 475-488.
- MORAITOU-APOSTOLOPOULOU, M. (1985) The zooplankton communities of eastern Mediterranean (Levantine Basin, Aegean Sea); influence of man-made factors. In: Moraitou-Apostolopoulou M, Kiortsis V (eds) Mediterranean marine ecosystems. Plenum, New York, p 303-329.
- MORAITOU-APOSTOLOPOULOU, M., ZERVOUDAKI, S., KAPIRIS, K., 2000. Composition, bathymetric and temporal differentiation of zooplankton in an oligotrophic area (South Aegean Sea). *Marine Life* 10 (1-2), 43-55.
- MURPHY, J. & RILEY, J. P. (1962). A modified single solution method for phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 12: 162-176.
- MULLIN, J.B. & RILEY, J.P. (1955). The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 12: 162-176.
- NELSON-SMITH 1970. The problem of oil pollution of the sea. In: (F.S. Russel and M. Yonge, Ed.), *Advances in Marine Biology*, Vol 8, Academic Press, London and New York (1970), pp. 215-306.
- O'BRIEN, PY & DIXON, PS. 1976. The effects of oils and oil components on algae: a review. *Br. Phycol. J.* Vol. 11, no. 2, pp. 115-142. 1976.
- OLSGARD, F. & J.S. GRAY, 1995. A comprehensive analysis of the effects of offshore oil and gas exploitation and production on the benthic communities of the Norwegian continental shelf. *Marine Ecology Progress Series*, 122: 277-306.
- OMORI, M., IKEDA, T., 1984. - Methods in Marine Zooplankton Ecology. J.Wiley & sons publ., 88.
- OSTGAARD, K., EIDE I., JENSEN, A., 1984. Exposure of phytoplankton to Ecofish crude oil. *Marine Environmental Research* 11(3), 183-200.
- PANAYOTIDIS P., E. PAPATHANASSIOU & V.A. CATSIKI, 1989. An important flowering of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Saronikos Gulf (Aegean Sea, Greece), during 1985. *Posidonia Newsletter*, 2 (2): 23-27.
- PAVLIDOU, A., I. HATZIANESTIS, E. SKLIVAGOU, V. PAPADOPOULOS, V. ZERVAKIS (2002). Hydrology And Pollution Assessment In A Coastal Estuarine System. The Case Of Strymonikos Gulf (North Aegean Sea). *Marine Mediterranean Science*, 3(1), 65-78
- PIELOU, E.C., 1969. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.* **13**: 131-144.

- PUJO-PAY M, RAIMBAULT P (1994) Improvement of the wet-oxidation procedure for simultaneous determination of particulate organic nitrogen and phosphorus collected on filters. *Mar Ecol Prog Ser* 105:203-207
- SANDERS, H.L., GRASSLE, J.F., HAMPSON, G.R., MORSE, L.S., PRIICE-GARNER, S. & JONES, C.C., 1980. Anatomy of an oil spill: Long-term effects from the grounding of the barge Florida off West Falmouth, Massachusetts, *J. Mar. Res.*, 38, 265-380.
- SATSMADJIS J., GEORGAKOPOULOS E. & VOUTSINOY-TALIADOURI F. (1988): Separation of chlorinated hydrocarbons on alumina. *Journal of Chromatography*, 437: 254-259.
- SCOTTO DI CARLO B., THOMAS, C.R., IANORA, A. et al. (1985). Uno studio integrato dell'ecosistema pelagico costiero del golfo di Napoli Nova Thalassia 7 (suppl.3): 99-128.
- SERRANO, A., F. SANCHEZ, I. PRECIADO, S. PARRA & I. FRUTOS, 2006. Spatial and temporal changes in benthic communities of the Galician continental shelf after the Prestige oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 53: 315-331.
- SHANNON, C.R. AND WEAVER, W. (1963) The mathematical Theory of Communication. Urbana University, Illinois, p 117-127.
- SIMBOURA, N. & A. NICOLAIDOU, 2001. The Polychaetes (Annelida, Polychaeta) of Greece: checklist, distribution and ecological characteristics. *Monographs on Marine Sciences*, Series no 4. NCMR, 115pp.
- SIMBOURA, N. & ZENETOS A. 2002. Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new Biotic index. *Mediterranean Marine Science*, 3/2, 77-111
- SIOKOU-FRANGOU, I., CHRISTOU, E.D., FRANGOPOULOU, N., MAZZOCCHI, M.G. (1997) Zooplankton distribution from Sicily to Cyprus (Eastern Mediterranean) II. Copepod assemblages. *Oceanol. Acta* 20(3): 537-547.
- SIOKOU-FRANGOU, I., GOTSIS-SKRETAS, O., CHRISTOU, E.D., PAGOU, K. (1999) Plankton characteristics in the Aegean, Ioanian and NW Levantine Seas. In: P. Malanotte-Rizzolo and V.N. Eremeev (eds) *The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems*. Kluwer, Netherlands, p. 205-223.
- SIOKOU-FRANGOU, I., PANCUCCI-PAPADOPOULOU, M.A., KOUYOUFAS, P. (1990). Etude de la repartition du zooplankton dans les mers Egee et Ionienne. *Rapp. Comm. Int. Mer. Medit.* 32(I): 221.
- STRICKLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R. (1968). A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167:310p.
- STRAUGHAN D. 1972. Biological effects of oil pollution in the Santa Barbara Channel. In: (M. Ruivo, Ed, *Marine Pollution and Sea Life*, Fishing News Books Ltd, London (1972), pp. 355-35
- STRICKLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R. (1968). A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167:310p.
- TOLOSA, I., BAYONA, J. ALBAIGES, J. (1995), Spatial and Temporal Distribution, Fluxes and Budgets of Organochlorinated Compounds in Northwest Mediterranean Sediments. *Environmental Science and Technology*, 29, 2519-2527.
- TURNA İ.İ., Ö.O. ERTAN, M. CORMACI & G. FURNARI, (2002). Seasonal Variations in the Biomass of Macro-Algal Communities from the Gulf of Antalya (north-eastern Mediterranean). *Tr. J. Botany* 26 : 19-29.
- UNEP, 1988. Assessment of the state of pollution of the Mediterranean sea by petroleum hydrocarbons. Mediterranean Action Plan. MEDPOL, United Nations Environment Programme, Intergovernmental Oceanographic Commission, No 19

- UNEP/MAP, 2004. Guidelines for the development of ecological status and stress reduction indicators for the Mediterranean region. *MAP Technical Reports Series*, No 154, 94pp.
- UTERMOHL H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen internationale Vereinigung fur theoretische und angewandte Limnologie* **9**, 1-38.
- VARELA M., BODE A., ALVAREZ-OSSORIO M.T., PREGO R., CANLE M., CASAS B., LORENZO J., MARINO D., GONZALEZ I., CARBALLO R., VILAS M. 1996. *Sequimiento de la contaminacion producida por el accidente del buque Aegean Sea. Sistema Pelagico*: In: *Sequimiento de la contaminacion producida por el accidente del buque Aegean Sea. Ministerio de Medio Ambiente (Ed.)*, pp. 15-63.
- VARELA M., MIRANDA A., PATROCINIO T., ANADON R., VIESCA L., RODRIGUEZ N., VALDES L., CABAL J., URRUTIA A., GARCIA-SOTO C., RODRIGUEZ M., ALVAREZ-SALGADO X.A., GROOM S. 2006. The effect of the "Prestige" oil spill on the plankton of the N-NW Spanish coast. *Marine Pollution Bulletin*, 53(5-7), 272-286.
- VOYTSINOU-TALIADOURI, F, ZERI, C, MORIKI, A. (2000). Distribution and transfer of trace metals in the Aegean Seawater (Eastern Mediterranean Basin). *Marine Mediterranean Science*, 1(2), 5-30
- ZENETOS A., HATZIANESTIS I, LANTZOUNI M., SIMBOURA M., SKLIVAGOU E., ARVANITAKIS G., 2004. The Eurobulker oil spill: mid-term changes of some ecosystem indicators. *Marine Pollution Bulletin*, 48 (1-2), 12-131.
- ZERVOUDAKI, S., NIELSEN, T. G., CHRISTOU E. D. AND SIOKOU-FRANGOU, I., 2006 , Zooplankton distribution and diversity in a frontal area of the Aegean Sea , *Marine Biology Research*, 2-3, 149 – 168.
- OMORI, M., IKEDA, T., 1984. - Methods in Marine Zooplankton Ecology. J.Wiley & sons publ., 88.
- TOMAJKA J., 1985. 1985. The influence of petroleum hydrocarbons on the primary production of the Danube River plankton. *Acta Hydrochimie-Hydrobiologie* 13, 615-618.
- ΑΓΓΕΛΙΔΗΣ, Μ., ΓΑΒΡΙΗΛ Α., 1999. Προσδιορισμός των διαλυμένων / διασκορπισμένων πετρελαϊκών υδρογονανθράκων στην παράκτια περιοχή της Μυτιλήνης. 6^ο Διεθνές Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Πυθαγόρειο Σάμου, Πρακτικά Τόμος Γ', σελ. 287-294
- ΕΚΘΕ, 2001. Μελέτη των βραχυπρόθεσμων και μεσοπρόθεσμων επιπτώσεων από την ρύπανση από πετρελαιοειδή στον Ν. Ευβοϊκό κόλπο. ΥΕΝ-ΕΚΘΕ. 2001. Υπ. Δρ. Ι. Χατζηανέστης, σελ.:20-25.
- ZENETOY, A. N. ΣΥΜΠΟΥΡΑ & Ε. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ. 1993. Βιολογικοί δείκτες μίας ηφαιστειογενούς περιοχής στο Ν. Αιγαίο (Σαντορίνη). *Πρακτικά Δ' Πανελλ. Συμποσίου Ωκεανογραφίας & Αλιείας*, Ρόδος, 26-29 Απρ., 1993 σελ: 226-229