



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

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

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

**Τελική Έκθεση 6^{ου} έτους
(Περίοδος μετρήσεων Νοέμβριος 2012 - Ιούνιος 2013)**

Ανάβυσσος, Οκτώβριος 2013

**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

Ανθούλα Μαριέτα

Αρβανιτάκης Γιώργος

Ζέρη Χριστίνα

Ηλιάκης Στέλιος

Κατσιάρας Νίκος

Κατσίκη Τζέλα

Κοντογιάννης Χαρίλαος

Κουερίνης Νίκος

Μόρφης Αθανάσιος

Rancucci-Παπαδοπούλου Αντωνέλλα

Παππάς Γιώργος

Πλακίδη Ελβίρα

Πυργάκη Χριστίνα

Ρεϊζοπούλου Σοφία

Στρεφτάρης Νικόλαος

Σύμπουρα Νομική

Τεχνολόγος τροφίμων

Τεχνικός – Βιολόγος

Χημικός Ωκεανογράφος (Δρ)

Χημικός Μηχανικός

Βιολόγος

Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)

Φυσικός Ωκεανογράφος (Δρ)

Τεχνικός

Τεχνικός

Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)

Τεχνικός

Τεχνολόγος τροφίμων

Τεχνολόγος τροφίμων

Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)

Βιολόγος

Βιολόγος Ωκεανογράφος (Δρ)

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 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ	8
3.1.1 Μεθοδολογία.....	8
3.1.2 Αποτελέσματα.....	8
3.1.3 Συμπεράσματα.....	10
3.2 ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΚΑΙ ΑΛΛΟΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	12
3.2.1 Μεθοδολογία.....	12
3.2.2 Αποτελέσματα και συζήτηση.....	13
3.3. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ	23
3.3.1 Μεθοδολογία.....	23
3.3.2 Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	23
3.4 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ, ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ..	30
3.4.1 Μεθοδολογία.....	30
3.4.2. Αποτελέσματα και συζήτηση.....	30
3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΟΣΤΡΑΚΟΕΙΔΗ (ΜΥΔΙΑ).....	34
3.6. ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΖΩΟΒΕΝΘΙΚΕΣ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	35
3.6.1 Μέθοδοι και Υλικά.....	35
3.6.2 Αποτελέσματα.....	36
3.6.3 Συμπεράσματα.....	45
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	47
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	50

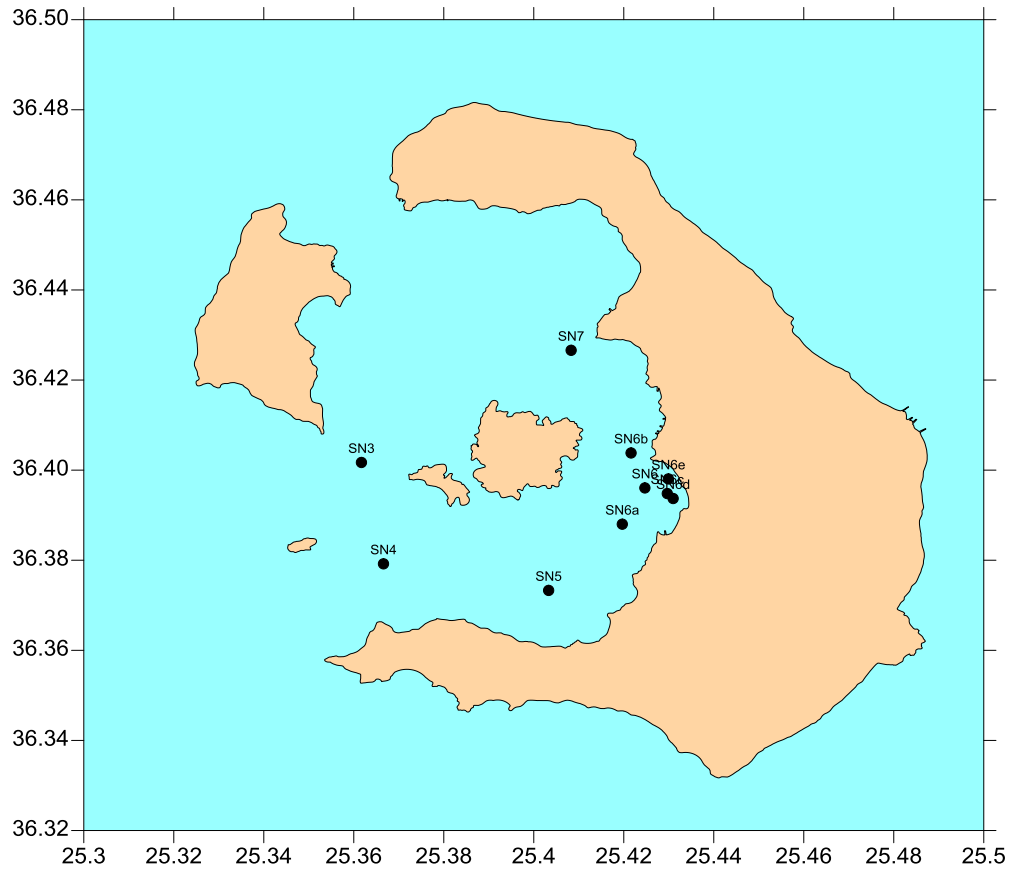
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. 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 16 δειγματοληψίες στην περιοχή με την πρώτη τον Μάιο του 2007 και την τελευταία τον Ιούνιο του 2013.

Στην παρούσα έκθεση παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πέμπτου έτους μετά το ατύχημα και περιλαμβάνουν τις δειγματοληψίες του Απριλίου και Ιουνίου 2013. Γίνεται επίσης μια γενική εκτίμηση για την κατάσταση του θαλάσσιου οικοσυστήματος μετά τη συμπλήρωση πέντε ετών από το ατύχημα.

2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ

2.1 ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ



Εικόνα 2.1.1 Θέσεις δειγματοληψίας στην περιοχή της καλντέρας Σαντορίνης τον Απρίλιο και Ιούνιο 2013

Πίνακας 2.1.1 Σταθμοί δειγματοληψίας θαλασσινού νερού και ιζημάτων στην περιοχή της καλντέρας Σαντορίνης τον Απρίλιο και Ιούνιο 2013

ΣΤΑΘΜΟΙ	Γ. Μήκος	Γ. Πλάτος	Βάθος (m)
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
SN6c	25°25.780'E	36°23.690'N	176
SN6d	25°25.858'E	36°23.622'N	132
SN6e	25°25.795'E	36°23.883'N	102
SN7	25°24.498'E	36°25.596'N	370

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

Σταθμοί	Θαλασσινό νερό			Επιφανειακά ιζήματα		
	Πετρελαιοειδή, οργανικοί ρύποι	Βαρέα μέταλλα	Φυσικά χαρακτηριστικά και ρεύματα	Υδρογονάνθρακες	Μέταλλα και ιχνοστοιχεία	Ζωοβένθος
9 Απριλίου 2013						
SN3	2m, πυθμένας	2m, πυθμένας		+	+	+
SN4	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		+	+	+
10 Ιουνίου 2013						
SN3	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	+			
SN6c	2m	2m	+			
SN6d	2m	2m	+			
SN6e	2m	2m	+			
SN7	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 φυσικοχημικών 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 9 Απριλίου 2013 με το

Ωκεανογραφικό σκάφος «ΦΙΛΙΑ» και στις 10 Ιουνίου 2013 με αλιευτικό σκάφος από την περιοχή. Το πλέγμα των σταθμών φαίνεται στην εικόνα 2.1.1 και στον πίνακα 2.1.1 Την περίοδο του Απριλίου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στη στήλη του νερού και στα θαλάσσια ιζήματα ενώ τον Ιούνιο μόνο στη στήλη του νερού και σε πυκνότερο πλέγμα σταθμών γύρω από το χώρο του ναυαγίου. Την περίοδο του Ιουνίου έγινε επιπλέον καταγραφή και των φυσικών ιδιοτήτων της στήλης του νερού (θερμοκρασία, αλατότητα και πυκνότητα), καθώς και λεπτομερής αποτύπωση των ρευμάτων στα πάνω ~80 m στην περιοχή του ναυαγίου όπου θεωρητικά λαμβάνει χώρα η αρχική διασπορά των όποιων ουσιών εισχωρούν στην υδάτινη στήλη και προέρχονται από το ναυάγιο.

Αναλυτικά οι παράμετροι που μελετήθηκαν είναι οι εξής (πίνακας 2.1.2):

- 1) Φυσικά χαρακτηριστικά της στήλης του νερού και θαλάσσια ρεύματα (Ιούνιος 2013)
- 2) Πετρελαιοειδή και λοιπές οργανικές ουσίες στη στήλη του νερού (Απρίλιος 2013, Ιούνιος 2013).
- 3) Βαρέα μέταλλα στη στήλη του νερού (Απρίλιος 2013, Ιούνιος 2013).
- 4) Υδρογονάνθρακες και άλλοι οργανικοί ρύποι στα θαλάσσια ιζήματα (Απρίλιος 2013)
- 5) Βαρέα μέταλλα στα θαλάσσια ιζήματα (Απρίλιος 2013)
- 6) Ζωοβενθικές βιοκοινωνίες (Απρίλιος 2013)

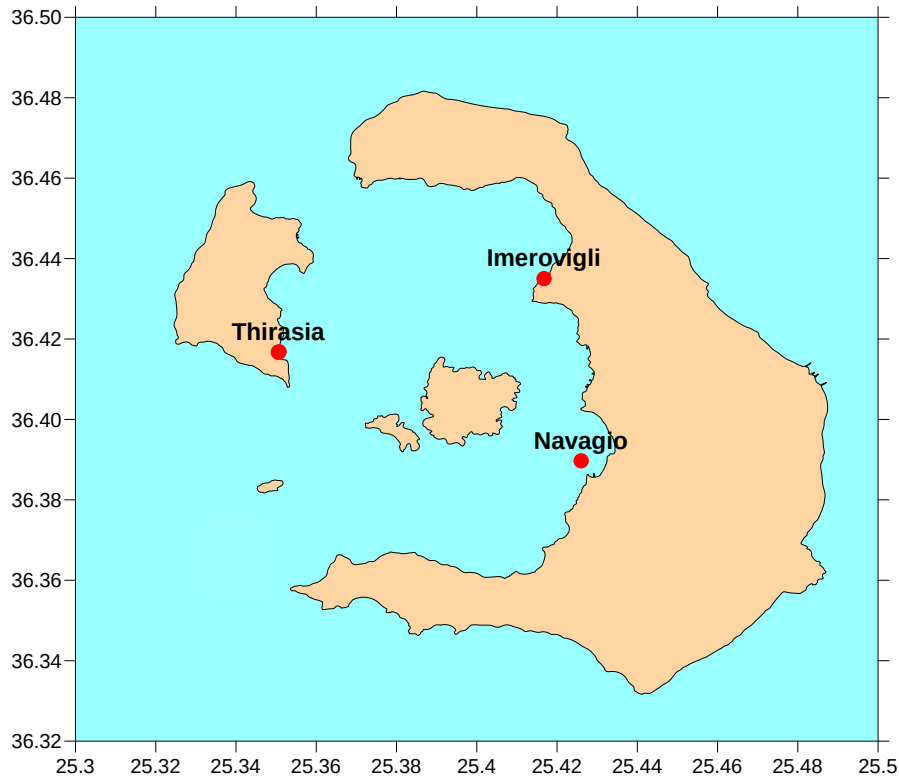
2.2 ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ

Πίνακας 2.2.1 Σταθμοί τοποθέτησης κλωβών με εμφυτευμένα μύδια στην περιοχή της καλντέρας Σαντορίνης στις 9 Απριλίου 2013

Σταθμός	Γ. Μήκος	Γ. Πλάτος	Βάθος κλωβών (m)
Ναυάγιο	25°25.560'E	36°23.382'N	5 20 40
Ημεροβίγλι	25°25.005'E	36°26.101'N	5 40
Θηρασιά	25°21.032'E	36°25.002'N	5 40

Για τη μελέτη της βιοσυσσώρευσης οργανικών και ανόργανων ρύπων πραγματοποιήθηκαν οι εξής εργασίες: Στις 9/4/2013 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. Δυστυχώς την προγραμματισμένη ημερομηνία ανάσυρσης (10/6/2013) διαπιστώθηκε όλοι οι κλωβοί που τοποθετήθηκαν είχαν χαθεί είτε λόγω καιρικών συνθηκών ή λόγω άλλων εξωγενών παραγόντων.



Εικόνα 2.2.1 Θέσεις τοποθέτησης των κλωβών με εμφυτευμένα μύδια στην περιοχή της καλντέρας Σαντορίνης το 2013

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

X. Κοντογιάννης

3.1.1 Μεθοδολογία

Τα φυσικά χαρακτηριστικά της στήλης του νερού μετρήθηκαν με τον αυτόματο συνεχή καταγραφέα CTD της Sea-Bird Electronics, ενώ οι μετρήσεις των ρευμάτων πραγματοποιήθηκαν με τον ακουστικό ρευματογράφο ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) ο οποίος αναρτάται από το πλοίο σε βάθος ~4 m και ηχοβολεί κατακόρυφα μέσα στην υδάτινη μάζα. Η μέτρηση της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ρεύματος γίνεται με βάση την αλλαγή της συχνότητας του ακουστικού σήματος που εκπέμπεται από το ADCP στα 300 kHz και ανακλάται από τα κινούμενα σωματίδια στα διάφορα βάθη της υδάτινης στήλης που συμπαράσπονται από τη ροή του νερού. Το ADCP στα 300 kHz μπορεί να καταγράφει ακουστικές επιστροφές από βάθη έως ~80 m και οι ρευματομετρήσεις καλύπτουν το συγκεκριμένο στρώμα στα άνω ~80 m. Υπενθυμίζεται ότι το ναυάγιοκάθεται σε βάθος περί τα 90-100 m.

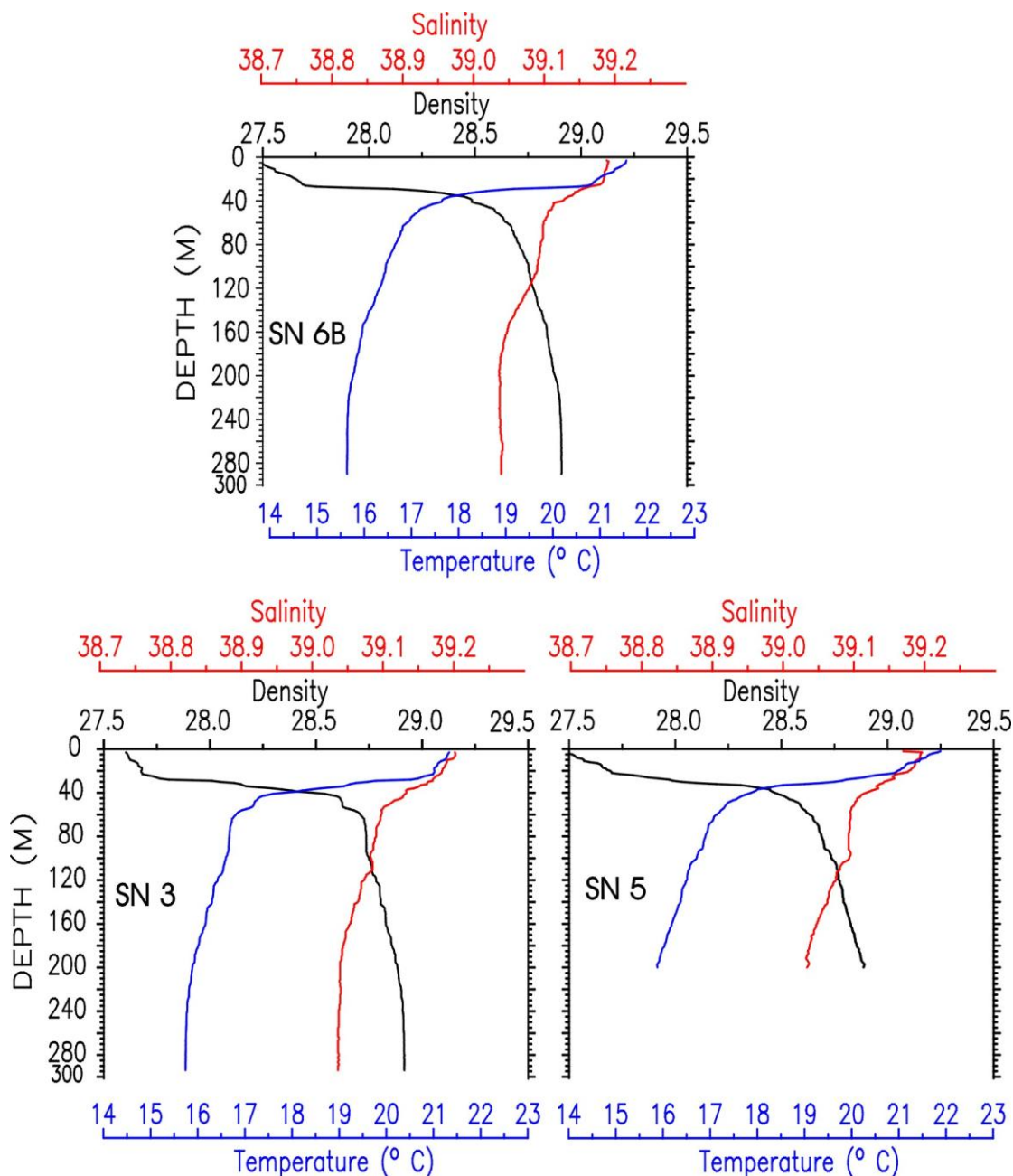
Οι σταθμοί μετρήσεων με το CTD επελέγησαν ώστε να αποκτήσουμε μία γενική εικόνα των τιμών θερμοκρασίας και αλατότητας καθώς και της δομής στη στρωμάτωση, δηλαδή της παρουσίας του πυκνοκλινούς. Την ημέρα της δειγματοληψίας στις 10 Ιουνίου 2013 επικρατούσε ασθενής βόρειος άνεμος περίπου 2-3 Μποφόρ.

3.1.2 Αποτελέσματα

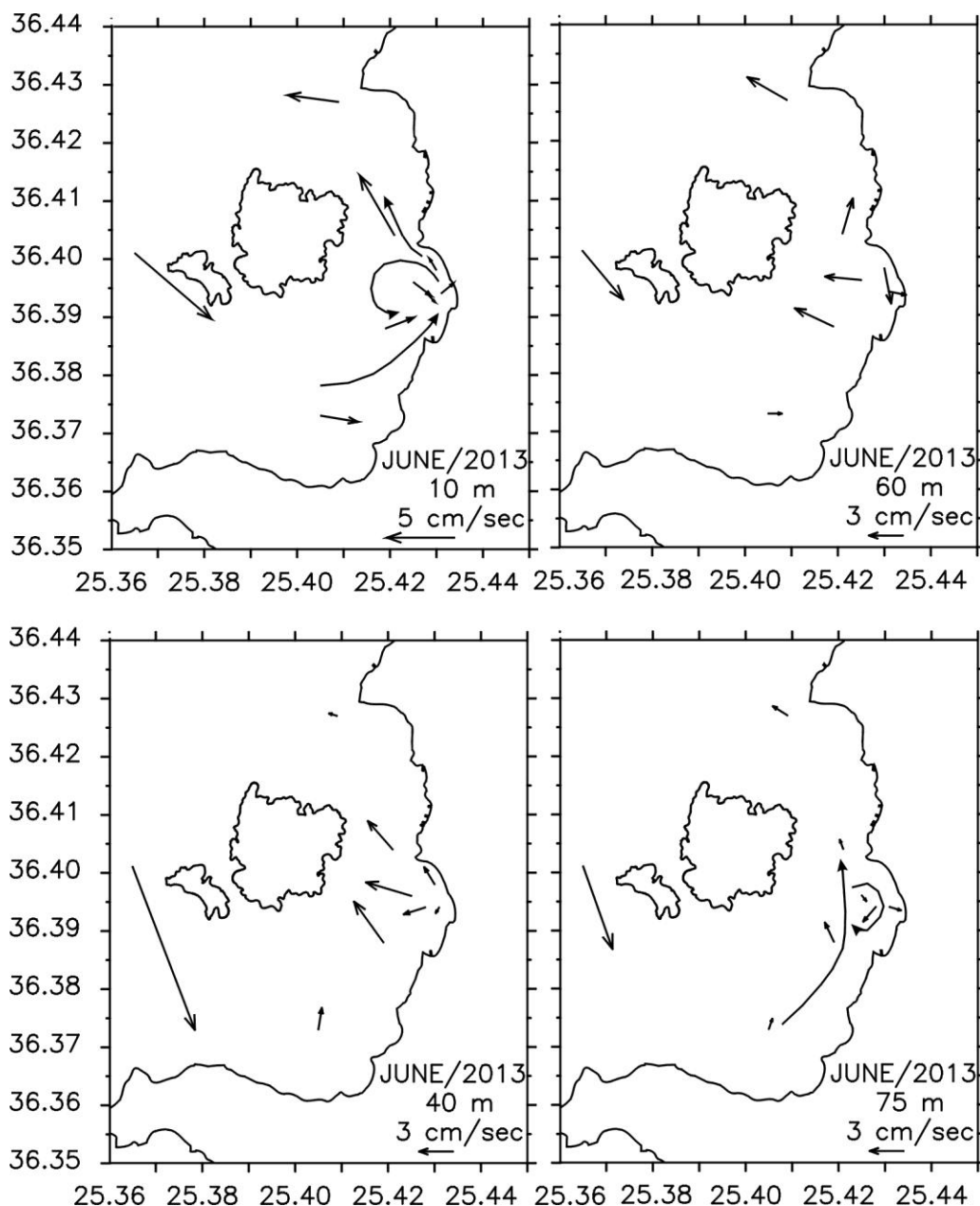
Στην Εικόνα 3.1.1 παρουσιάζονται κατακόρυφες κατανομές (προφίλ) θερμοκρασίας, αλατότητας και πυκνότητας στις χαρακτηριστικές θέσεις SN 3, SN5, και SN6 που αντίστοιχα είναι δυτικά από τη Νέα Καμένη, νότια από τον Αθηνιό και μέσα στον Αθηνιό. Υπενθυμίζεται ότι η θέση SN6 είναι σε απόσταση ~200 m από το ναυάγιο του Sea Diamond. Το πυκνοκλινές εμφανίζεται ανάμεσα στα 30-40 m. Οι θερμοκρασία κυμαίνεται από ~22° C στην επιφάνεια μέχρι ~17° C κάτω από το πυκνοκλινές, ενώ κοντά στον πυθμένα, στα 160 m και στα 300m, είναι περίπου 16° C.

Η Εικόνα 3.1.2 δείχνει τις ρευματομετρήσεις στα βάθη των 10 m, 40 m, 60 m και 75 m. Η ροή έχει την ίδια γενική δομή και στα τέσσερα αυτά βάθη και κατευθύνεται από το νότιο τμήμα της περιοχής, όπου είναι ο σταθμός SN5, προς το βόρειο ανάμεσα στη στένωση

μεταξύ της Νέας Καμένης και του νησιού της Θήρας. Στην περιοχή του ναυαγίου, λίγο βόρεια από το λιμάνι του Αθηνιού, υπάρχουν ενδείξεις ύπαρξης μικρού αριστερόστροφου στροβίλου επανακυκλοφορίας στην επιφάνεια. Οι ταχύτητες στην περιοχή του ναυαγίου είναι περίπου 3-5 cm/sec, στα πάνω ~50-60 m, ενώ στα ~75 m εξασθενούν περαιτέρω.



Εικόνα 3.1.1. Κατακόρυφες κατανομές θερμοκρασίας (μπλέ), αλατότητας (κόκκινο) και πυκνότητας (μαύρο) σε χαρακτηριστικές θέσεις (SN3, SN5, SN6) της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 3.1.2. Ταχύτητες και διευθύνσεις ρευμάτων (μικρά μαύρα βέλη) στις θέσεις μέτρησης (Εικόνα 1) στα βάθη των 10 m (πάνω αριστερά), 40 m (κάτω αριστερά), 60 m (πάνω δεξιά) και 75 m (κάτω δεξιά) στις 10 Ιουνίου 2013. Ταχύτητες αναφοράς με μέτρο 5 cm/sec ή 3 cm/sec και δυτική κατεύθυνση απεικονίζονται στο κάτω δεξιά τμήμα κάθε επί μέρους εικόνας.

3.1.3 Συμπεράσματα

Κατά τη δειγματοληψία του Ιουνίου 2013, η κατεύθυνση της ροής στην περιοχή νότια και νοτιοανατολικά από Νέα Καμένη, όπου ευρίσκεται το ναυάγιο του Sea Diamond, ήταν προς τα βόρεια-βορειοδυτικά προς τη στένωση ανάμεσα στη Νέα Καμένη και τη Θήρα. Οι

ταχύτητες στα πρώτα 50-60 m ήταν ~3-5 cm/sec, ενώ σημαντική εξασθένηση παρατηρήθηκε στα βαθύτερα στρώματα.

Υπήρχε έντονο εποχικό πυκνοκλινές ανάμεσα στα 30 m και στα 40 m. Η θερμοκρασία κυμαίνονταν από ~21-22° C πάνω από το πυκνοκλινές σε ~16-17° C κάτω από το πυκνοκλινές.

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

I. Χατζηανέστης, X. Πυργάκη, E. Πλακίδη

3.2.1 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 μ L έγινε ανίχνευση και προσδιορισμός μεμονωμένων υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών ρύπων με χρήση αέριας χρωματογραφίας – φασματομετρίας μαζών (Agilent 7890 GC 5975 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 ξηράθηκαν 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 (Agilent 7890 GC 5975 MSD) χρησιμοποιώντας την τεχνική της πλήρους σάρωσης των ιόντων.

3.2.2 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 3.2.1.

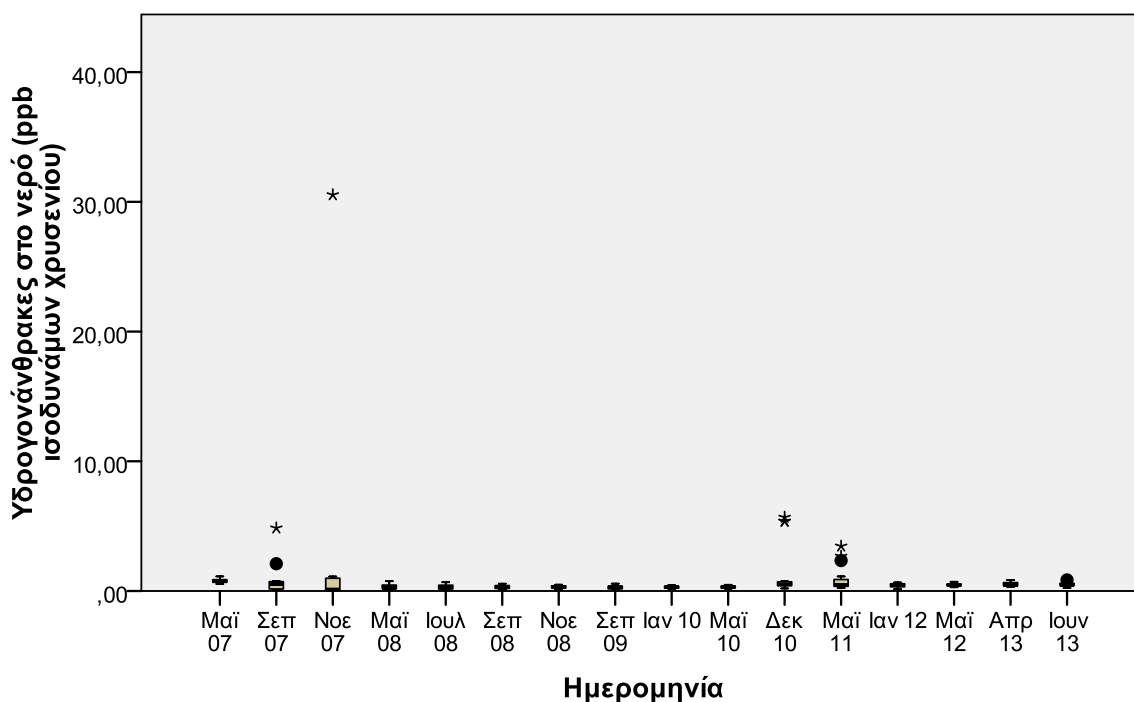
Πίνακας 3.2.1 Συγκεντρώσεις των διαλυμένων / διασκορπισμένων πετρελαϊκών υδρογονανθράκων (μg/L εκφρασμένα σε ισοδύναμα χρυσενίου)

		Απρίλιος 2013	Ιούνιος 2013
SN3	Επιφάνεια	0.329	0.504
	Πυθμένας	0.424	0.613
SN4	Επιφάνεια	0.563	
	Πυθμένας	0.453	
SN5	Επιφάνεια		0.438
	Πυθμένας		0.449
SN6	Επιφάνεια	0.756	0.612
	Πυθμένας	0.317	0.376
SN6a	Επιφάνεια	0.562	0.708
	Πυθμένας	0.429	0.569
SN6β	Επιφάνεια	0.731	0.356
	Πυθμένας	0.444	0.239
SN6c	Επιφάνεια		0.622
SN6d	Επιφάνεια		0.527
SN6e	Επιφάνεια		0.467
SN7	Επιφάνεια	0.453	0.501
	Πυθμένας	0.853	0.459
Μέση τιμή		0.526	0.490

Την περίοδο του Απριλίου 2013 οι τιμές ήταν ιδιαίτερα μικρές σε όλους του σταθμούς και βάθη και δείχνουν ότι δεν υπήρχαν ίχνη πετρελαϊκής ρύπανσης σε κανένα σημείο (Αγγελίδης, Γαβριήλ, 1999). Στο επιφανειακό στρώμα κυμάνθηκαν μεταξύ 0.329 και 0.756μg/L ισοδυνάμων χρυσενίου και κοντά στον πυθμένα μεταξύ 0.317 και 0.853 μg/L ισοδυνάμων χρυσενίου.

Την περίοδο του Ιουνίου 2013 οι τιμές ήταν σε γενικές γραμμές παρόμοιες με αυτές του Ιανουαρίου (0.356 – 0.708 μg/L ισοδυνάμων χρυσενίου στο επιφανειακό στρώμα, 0.239 - 0.613 ισοδυνάμων χρυσενίου κοντά στον πυθμένα) και δείχνουν ότι και αυτή την περίοδο δεν υπήρχαν ίχνη πετρελαϊκής ρύπανσης.

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 3.2.1 Διακύμανση των τιμών των υδρογονανθράκων στη στήλη του νερού της καλντέρας κατά τις 14 περιόδους δειγματοληψίας

Στην εικόνα 3.2.1 δίνεται η διακύμανση των τιμών υδρογονανθράκων στη στήλη του νερού σε όλους τους σταθμούς κατά τη διάρκεια των 16 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. Κατά τη διάρκεια των ετών 2012 και 2013 οι τιμές ήταν και πάλι μικρές σε όλα τα σημεία.

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 3.2.2 - 3.2.5).

Πίνακας 3.2.2: Συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών ουσιών (μg/L) που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα που συλλέχθηκαν από το επιφανειακό στρώμα του νερού στις 9 Απριλίου 2013. UCM: μη διαχωρισμένο σύνθετο μίγμα.

Σταθμός	SN3	SN4	SN6	SN6A	SN6b	SN7
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες	1.3	0.8	0.7	1.3	1.1	1.8
κ-αλκάνια	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
UCM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Φθαλικοί εστέρες	2.3	3.9	1.8	3.1	2.7	4.2
Ναφθαλένιο	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002
Φαινανθρένιο	0.001	0.002	0.003	0.001	0.001	0.002
Μεθυλο- και Διμεθυλο-φαινανθρένια	0.007	0.005	0.002	0.002	0.003	0.005
Αλκυλοβενζόλια	0.01	0.006	0.005	0.007	0.003	0.01

Πίνακας 3.2.3: Συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών ουσιών (μg/L) που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα που συλλέχθηκαν από το βαθύτερο σημείο της στήλης του νερού στις 9 Απριλίου 2013. UCM: μη διαχωρισμένο σύνθετο μίγμα.

Σταθμός	SN3	SN4	SN6	SN6A	SN6b	SN7
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες	1.4	1.3	1.2	1.4	1.3	1.5
κ-αλκάνια	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
UCM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Φθαλικοί εστέρες	1.6	1.4	1.1	1.8	0.9	1.3
Ναφθαλένιο	0.001	0.001	0.001	<0.001	0.001	0.001
Φαινανθρένιο	0.001	0.001	0.001	<0.001	0.001	<0.001
Μεθυλο- και Διμεθυλο-φαινανθρένια	0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Αλκυλοβενζόλια	0.004	0.003	0.002	0.006	0.005	0.01

Πίνακας 3.2.4: Συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών ουσιών που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα που συλλέχθηκαν από το επιφανειακό στρώμα του νερού στις 10 Ιουνίου 2013. UCM: μη διαχωρισμένο σύνθετο μίγμα.

Σταθμός	SN3	SN5	SN6	SN6a	SN6b	SN6c	SN6d	SN6e	SN7
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες	1.8	1.6	0.8	1.1	2.3	2.7	1.3	1.9	2.8
κ-αλκάνια	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	0.2	0.3
UCM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Φθαλικοί εστέρες	2.4	3.5	2.6	2.1	3.7	4.1	2.9	3.9	4.8
Ναφθαλένιο	0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
Φαινανθρένιο	0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
Μεθυλο- και Διμεθυλο-φαινανθρένια	0.004	0.002	0.002	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002
Αλκυλοβενζόλια	0.006	0.002	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005	0.006	0.003

Πίνακας 3.2.5: Συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών ουσιών που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα που συλλέχθηκαν στο μέγιστο βάθος της στήλης του νερού στις 9 Ιουνίου 2013. UCM: μη διαχωρισμένο σύνθετο μίγμα.

Σταθμός	SN3	SN5	SN6	SN6a	SN6b	SN6c	SN6d	SN6e	SN7
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες	1.6	1.4	1.8	1.1	1.3	1.7	2.3	0.9	2.8
κ-αλκάνια	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.3
UCM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Φθαλικοί εστέρες	2.2	3.1	2.9	2.8	3.1	2.1	2.9	3.2	4.9
Ναφθαλένιο	0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
Φαινανθρένιο	0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
Μεθυλο- και Διμεθυλο- φαινανθρένια	0.003	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.003
Αλκυλοβενζόλια	0.005	0.003	0.004	0.005	0.006	0.004	0.003	0.006	0.004

Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες

Όπως φαίνεται από τους πίνακες, τον Απρίλιο του 2013 οι συγκεντρώσεις των αλειφατικών υδρογονανθράκων ήταν ιδιαίτερα μικρές ($<2 \mu\text{g/L}$) γεγονός που δείχνει ότι δεν υπήρχαν υπολείμματα πετρελαιοειδών σε κανένα σημείο. Οι συγκεντρώσεις των κ-αλκανίων ήταν επίσης πολύ μικρές σε όλα τα δείγματα.

Τον Ιούνιο του 2012 οι συγκεντρώσεις των αλειφατικών υδρογονανθράκων ήταν επίσης ιδιαίτερα μικρές ($<2 \mu\text{g/L}$) υποδεικνύοντας και πάλι την έλλειψη πετρελαϊκής ρύπανσης.

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 ($<0.001 - 0.002 \mu\text{g/L}$), 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 αλκυλωμένα παράγωγα του βενζολίου επίσης σε μικρές και φυσιολογικές συγκεντρώσεις ($< 0.01 \mu\text{g/L}$) 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 0.9 και 4.9 $\mu\text{g/L}$. 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 Απρίλιο του 2013 δίνονται στον πίνακα 3.2.6. Γενικά οι τιμές που βρέθηκαν ήταν παρόμοιες με αυτές που μετρήθηκαν και κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δειγματοληψιών το 2007, 2008, 2010, 2011 και 2012. Οι συγκεντρώσεις των ολικών υδρογονανθράκων ήταν πολύ μικρές και κυμάνθηκαν μεταξύ 9.7 και 16.1 $\mu\text{g/g}$ 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 3.2.7).

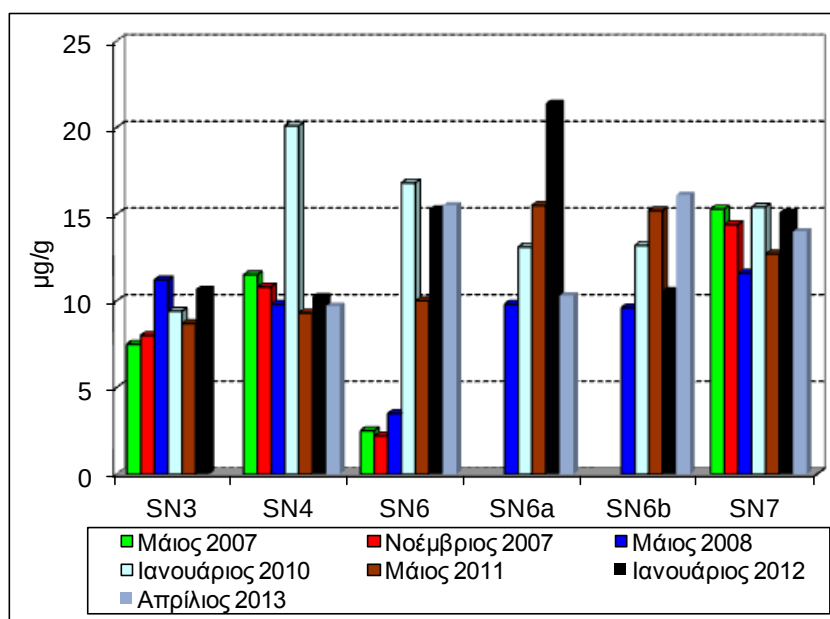
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες.

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).

Πίνακας 3.2.6: Συγκεντρώσεις των αλειφατικών και των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στα επιφανειακά ιζήματα που συλλέχθηκαν τον Απρίλιο 2013. UCM: μη διαχωρισμένο σύνθετο μίγμα, U/R: λόγος των μη διαχωρισμένων προς τις διαχωρισμένες ενώσεις.

Σταθμός	SN4	SN6	SN6a	SN6b	SN7
Συνολικοί υδρογονάνθρακες (μg/g)	9.7	15.5	10.4	16.2	14.1
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες (μg/g)	9.7	15.5	10.3	16.1	14.0
U/R	3.9	5.0	4.8	5.3	4.3
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ)					
Ναφθαλένιο	3.1	4.7	4.4	4.4	3.7
Ακεναφθυλένιο	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4
Ακεναφθένιο	0.1	0.6	0.3	0.5	0.7
Φλουορένιο	0.1	0.4	0.2	0.3	0.5
Διβενζοθειοφένιο	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4
Φαινανθρένιο	1.8	3.8	2.5	5.0	6.6
Ανθρακένιο	0.2	0.3	0.3	0.7	0.5
Φλουορανθένιο	1.4	3.3	3.4	6.8	9.9
Πυρένιο	1.4	3.1	3.8	6.4	9.3
Βενζο(α)ανθρακένιο	1.4	2.8	3.1	5.0	7.3
Χρυσένιο	1.9	3.5	3.8	5.7	9.3
Βενζο(β)φλουορανθένιο	3.3	8.2	7.4	12.3	43.7
Βενζο(κ)φλουορανθένιο	1.3	2.7	2.5	4.3	15.1
Βενζο(ε)πυρένιο	1.6	4.7	4.0	7.0	23.6
Βενζο(α)πυρένιο	1.2	4.0	3.3	7.6	22.4
Περυλένιο	0.4	1.0	0.9	1.8	6.3
Ινδενο(1,2,3-cd)πυρένιο	1.4	2.1	2.7	3.0	5.8
Διβενζο(a,h)ανθρακένιο	0.2	0.4	0.5	0.7	1.1
Βενζο(ghi)περυλένιο	1.3	2.1	2.5	3.3	5.7
Μεθυλοναφθαλένια	3.8	10.2	7.5	7.3	4.4
Διμεθυλοναφθαλένια	2.7	5.3	4.4	5.7	4.9
Τριμεθυλοναφθαλένια	2.1	4.4	3.6	5.5	4.1
Μεθυλοδιβενζοθειοφένια	0.5	0.8	0.6	0.8	0.6
Μεθυλοφαινανθρένια	2.0	3.5	2.9	4.7	5.8
Διμεθυλοφαινανθρένια	1.4	3.5	2.1	3.6	4.5
Ρετένιο	0.3	0.8	0.5	1.2	0.8
ΣΠΑΥ	35.3	76.6	67.6	104.1	197.5



Εικόνα 3.2.2 Συγκεντρώσεις των αλειφατικών υδρογονανθράκων στα επιφανειακά ιζήματα την περίοδο Μάιος 2007 – Απρίλιος 2013.

Οι τιμές του λόγου U/R για τα επιφανειακά δείγματα που εξετάστηκαν (Πίνακας 3.2.6) κυμαίνονται μεταξύ 3.9 και 5.3. Οι τιμές αυτές δείχνουν ότι παρόλο που οι τιμές των υδρογονανθράκων είναι μικρές υπάρχουν στο βυθό κάποια υπολείμματα πετρελαιοειδών. 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 τα έτη 2007 – 2012.

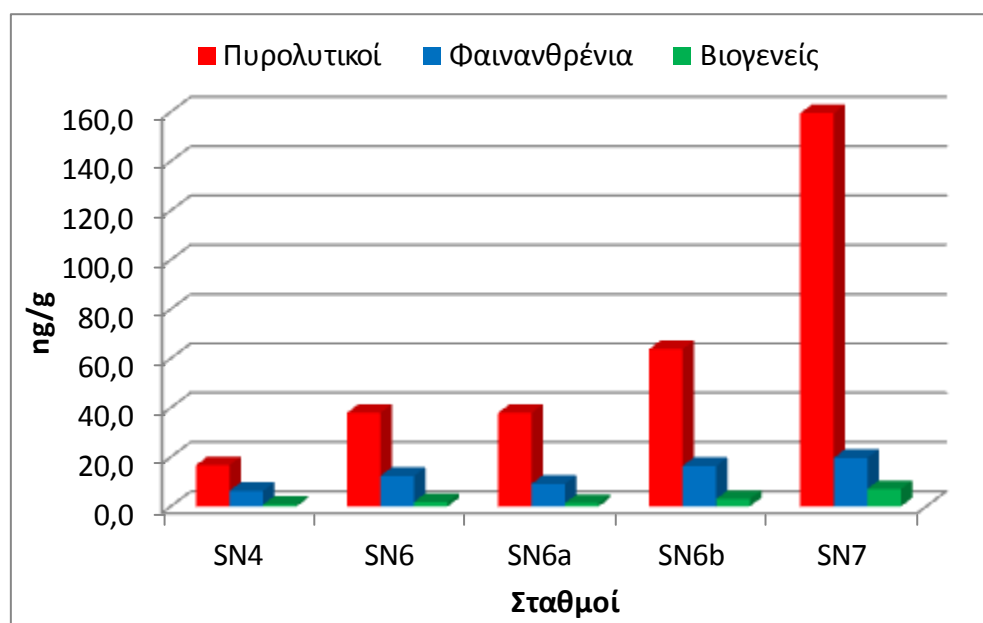
Στην εικόνα 3.2.2 δίνονται συγκριτικά οι συγκεντρώσεις των αλειφατικών υδρογονανθράκων στα επιφανειακά ιζήματα όλες τις περιόδους δειγματοληψίας από το Μάιο του 2007 μέχρι τον Απρίλιο του 2013. Όπως φαίνεται όλες οι τιμές σε όλους τους σταθμούς και περιόδους δειγματοληψίας είναι μικρότερες από 25 μg/g και δείχνουν ότι η ρύπανση από πετρελαιοειδή είναι εξαιρετικά μικρή. Σημειώνεται ότι τα επίπεδα των φυσικών αλειφατικών υδρογονανθράκων στα θαλάσσια ιζήματα είναι περίπου 10 μg/g και μπορούν να φτάσουν και μέχρι 100 μg/g σε περιοχές με μεγάλη παραγωγικότητα

Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ).

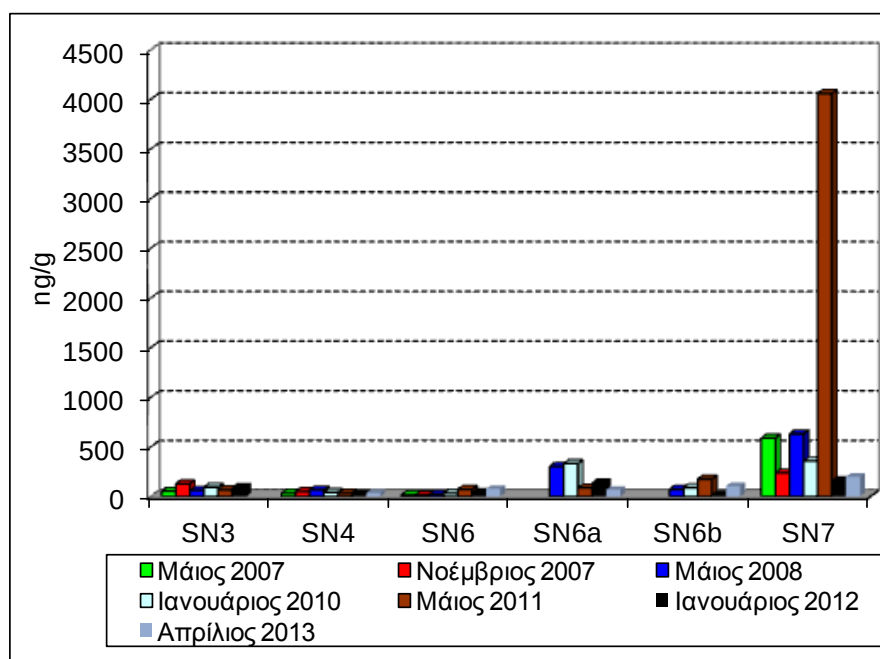
Οι ΠΑΥ, με εξαίρεση το περυλένιο που μπορεί να συντεθεί και βιογενώς και το ρετένιο που παράγεται από τα κωνοφόρα δένδρα που βρίσκονται στην ξηρά, είναι καθαρά ανθρωπογενείς ενώσεις με κύριες πηγές προέλευσης τις πάσης φύσεως καύσεις οργανικών υλικών (πυρολυτικοί ΠΑΥ) αλλά και τα πετρελαιοειδή. Στον πίνακα 3.2.6 δίνονται οι

συγκεντρώσεις των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων που μετρήθηκαν στα επιφανειακά ιζήματα που συλλέχθηκαν τον Απρίλιο του 2013. Όπως φαίνεται, σε όλους τους οι συγκεντρώσεις των ΠΑΥ ήταν εξαιρετικά μικρές (<200 ng/g), αντίστοιχες με αυτές που μετρώνται σε καθαρές θαλάσσιες περιοχές. Αξίζει να σημειωθεί ότι και στο σταθμό SN7 όπου τις περιόδους 2007 – 2011 μετρήθηκαν μεγάλες τιμές ΠΑΥ πυρολυτικής προέλευσης που είχαν αποδοθεί σε κάπα χερσαία δραστηριότητα τώρα οι συγκεντρώσεις των ΠΑΥ ήταν μικρές και σε συμφωνία με τις μετρήσεις του 2012 (Εικόνα 3.2.4).

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 3.2.3 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 3.2.3 Κατανομή των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων πυρολυτικής, βιογενούς και πετρογενούς προέλευσης στα ιζήματα που συλλέχθηκαν στις 9 Απριλίου 2013.



Εικόνα 3.2.4 Συγκεντρώσεις των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στα επιφανειακά ιζήματα την περίοδο Μάιος 2007 – Απρίλιος 2013.

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. Σε όλα τα δείγματα που εξετάστηκαν οι τιμές του βενζο(α)πυρενίου ήταν ιδιαίτερα μικρές (<25 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.

Πίνακας 3.2.7. 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 (Απρίλιος 2013)	9.7 - 16.1	35.3 - 197.3

3.3. BAPEA ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ

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

3.3.1 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 ICP-MS.

3.3.2 Αποτελέσματα και Συζήτηση

Στους πίνακες 3.3.1 και 3.3.2 δίνονται οι ολικές συγκεντρώσεις (σύνολο διαλυτής και σωματιδιακής μορφής) του μολύβδου (Pb), καδμίου (Cd), νικελίου (Ni), χαλκού (Cu), ψευδαργύρου (Zn), σιδήρου (Fe) και κοβαλτίου (Co) στη στήλη του νερού.

Όπως φαίνεται οι συγκεντρώσεις τους κυμάνθηκαν ως εξής:

Pb

Απρίλιος 2013: 0.09 – 0.45 nM (μέση τιμή 0.21 nM μέγιστο στο σταθμό SN6a, επιφάνεια)

Ιούνιος 2013: 0.01 – 1.37 nM (μέση τιμή 0.3 nM, μέγιστο στον SN6b, πυθμένας).

Cd

Απρίλιος 2013: 0.089 – 0.154 nM (μέση τιμή 0.128 nM, μέγιστο στο σταθμό SN6, 100 m)

Ιούνιος 2013: 0.030– 0.092 nM (μέση τιμή 0.055 nM, μέγιστο στην επιφάνεια του SN5)

Ni

Απρίλιος 2013: 3.4 – 11.1 nM (μέση τιμή 5.0 nM, μέγιστο στο σταθμό SN6b, 100 m)

Ιούνιος 2013: 1.5 – 3.8 nM (μέση τιμή 2.4 nM, μέγιστο στον πυθμένα του SN7)

Cu

Απρίλιος 2013: 1.0 – 9.8 nM (μέση τιμή 4.9 nM, μέγιστο στο σταθμό SN6b, 100 m)

Ιούνιος 2013: 1.8 – 15.8 nM (μέση τιμή 5.2 nM, μέγιστο στην επιφάνεια του SN7)

Zn

Απρίλιος 2013: 5.1– 41.9 nM (μέση τιμή 12.2, nM μέγιστο στο σταθμό SN6b, 100 m)

Ιούνιος 2013: 9.7 – 139.5 nM (μέση τιμή 23.8 nM, μέγιστο στην επιφάνεια του SN5)

Fe

Απρίλιος 2013: 19.1 – 209.6 nM (μέση τιμή 60.3 nM μέγιστο στο σταθμό SN6a, πυθμένας)

Ιούνιος 2013: 12.8 – 140.8 nM (μέση τιμή 40.0 nM μέγιστο στον πυθμένα του SN6a).

Co

Ιανουάριος 2012: 0.3 – 1.1 nM (μέση τιμή 0.6 nM μέγιστο στο σταθμό SN4, επιφάνεια)

Ιούνιος 2013: 0.4 – 1.2 nM (μέση τιμή 0.8 nM μέγιστο στο σταθμό SN7, πυθμένας).

Πίνακας 3.3.1 Ολικές συγκεντρώσεις (σύνολο διαλυτής και σωματιδιακής μορφής) των βαρέων μετάλλων Cd, Cu, Zn, Ni, Pb στη στήλη του νερού (nmol/L) τον Απρίλιο και τον Ιούνιο του 2013

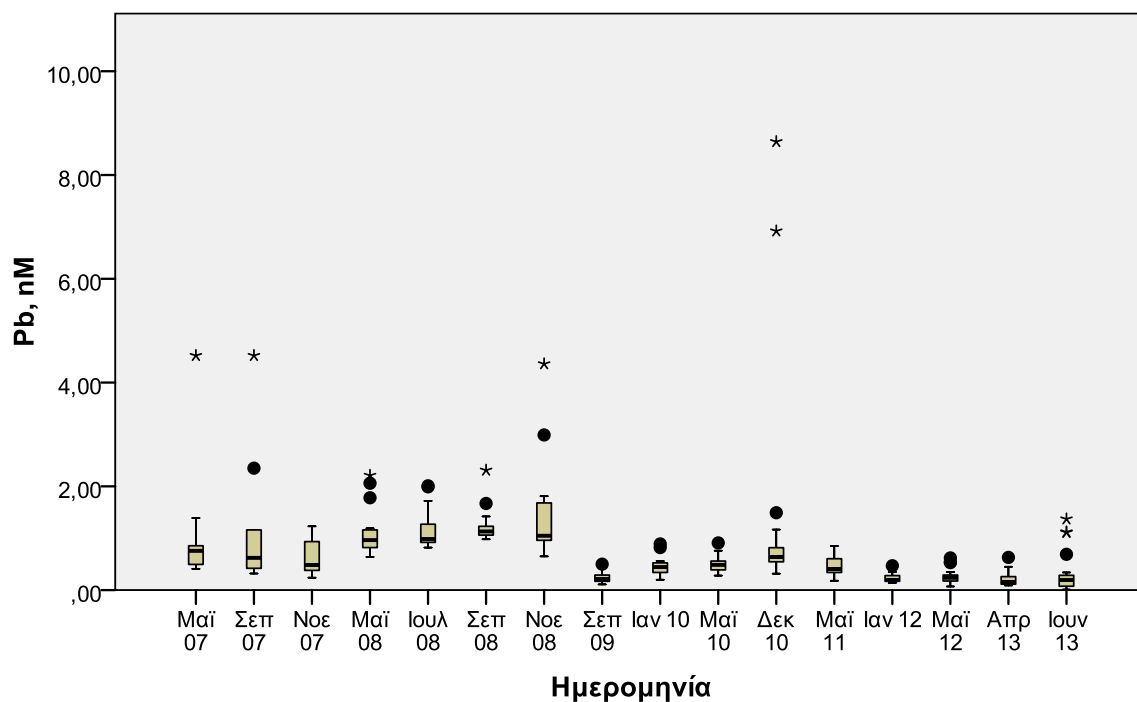
	Βάθος (m)	Cd		Cu		Zn		Ni		Pb	
		04/13	6/13	04/13	6/13	04/13	6/13	04/13	6/13	04/13	6/13
SN3	2	0.126	0.052	2.0	5.7	7.1	18.9	5.9	6.1	0.30	0.30
	πυθμ.	0.134	0.061	1.0	2.6	6.1	13.0	4.3	4.5	0.09	0.19
SN4	2	0.105		4.3		8.5		6.7		0.63	
	πυθμ.	0.120		2.3		6.4		4.9		0.11	
SN5	2		0.092		7.1		139.5		5.6		1.12
	πυθμ.		0.069		3.9		44.1		5.1		0.28
SN6	2	0.125	0.054	3.0	13.0	12.0	28.8	5.0	6.1	0.26	0.09
	20	0.125	0.034	2.3	4.0	13.2	10.7	3.5	4.8	0.11	0.06
	50	0.122	0.084	4.1	6.5	12.6	17.3	3.8	5.8	0.11	0.29
	100	0.154	0.066	6.3	3.4	12.6	9.7	4.4	5.5	0.25	0.15
	πυθμ.	0.125	0.042	5.6	5.5	9.8	26.1	3.6	5.2	0.26	0.02
SN6a	2	0.142	0.032	5.7	7.5	6.9	18.0	5.6	5.1	0.45	0.02
	20	0.145	0.043	4.3	4.0	12.6	19.5	4.4	5.7	0.19	0.03
	50	0.149	0.074	5.4	4.2	5.1	21.6	3.5	5.5	0.09	0.17
	100	0.109	0.052	6.8	4.0	8.8	17.2	4.7	6.0	0.10	0.23
	πυθμ.	0.100	0.042	8.4	3.6	-	17.0	3.4	5.2	0.14	0.12
SN6b	2	0.142	0.077	9.5	8.4	15.8	37.4	5.7	5.6	0.43	0.27
	20	0.144	0.063	7.3	4.2	16.8	18.5	4.1	6.2	0.15	0.22
	50	0.129	0.046	7.4	2.3	7.7	19.0	5.1	4.0	0.12	0.04
	100	0.149	0.026	9.8	1.8	41.9	13.5	11.1	3.4	0.27	0.01
	πυθμ.	0.149	0.052	2.2	3.9	12.7	14.4	5.7	5.8	0.16	1.37
SN6c	2		0.060		5.3		13.0		5.7		1.11
SN6b	2		0.030		5.8		13.5		4.9		0.69
SN6e	2		0.032		4.0		24.9		5.8		0.04
SN7	2	0.120	0.033	7.1	15.8	19.9	22.7	5.9	5.5	0.15	0.18
	20	0.122	0.049	3.4	3.4	12.7	11.6	5.1	4.4	0.17	0.16
	50	0.129	0.057	2.4	3.4	9.8	12.8	4.8	5.7	0.12	0.20
	100	0.089	0.067	2.9	3.9	6.5	16.4	4.5	6.8	0.12	0.27
	πυθμ.	0.109	0.084	2.9	3.5	14.5	22.6	5.0	6.5	0.20	0.34
Μέση τιμή		0.128	0.055	4.9	5.22	12.2	23.8	5.0	5.42	0.21	0.29

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.

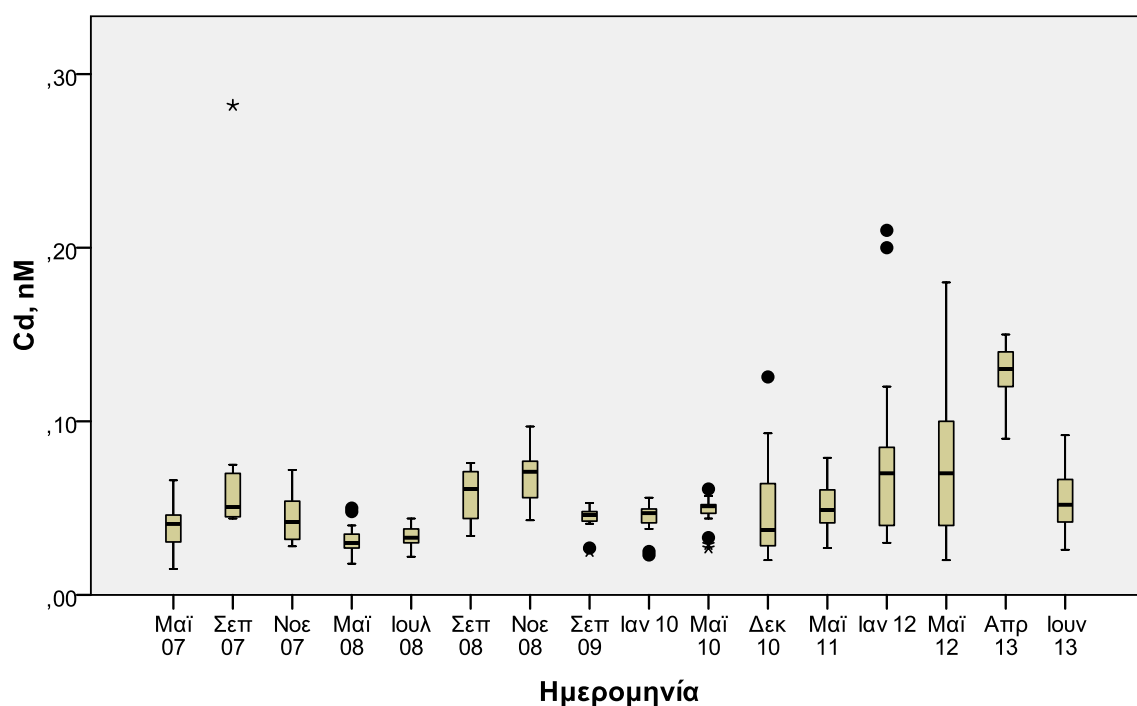
Πίνακας 3.3.2 Ολικές συγκεντρώσεις (σύνολο διαλυτής και σωματιδιακής μορφής) των βαρέων μετάλλων Fe, Co στη στήλη του νερού (nmol/L) τον Απρίλιο και τον Ιούνιο του 2013

	Βάθος (m)	Fe		Co	
		04/13	6/13	04/13	6/13
SN3	2	44.5	26.5	1.1	1.2
	πυθμ.	37.5	20.6	0.6	0.4
SN4	2	116.0		1.1	
	πυθμ.	154.5		1.0	
SN5	2		33.8		0.6
	πυθμ.		103.9		0.5
SN6	2	44.8	24.7	1.0	1.1
	20	28.2	18.7	0.4	0.7
	50	29.0	19.2	0.4	1.0
	100	19.1	16.2	0.3	1.0
	πυθμ.	176.6	132.7	0.3	0.7
SN6a	2	101.3	66.4	0.4	0.8
	20	32.4	18.2	0.6	1.0
	50	24.1	20.2	0.4	0.8
	100	22.7	24.8	0.9	1.1
	πυθμ.	209.6	140.8	0.1	0.9
SN6b	2	67.6	37.3	0.8	1.0
	20	26.4	27.6	0.4	1.1
	50	28.0	14.9	0.9	0.4
	100	66.7	12.8	1.0	0.3
	πυθμ.	28.5	34.6	0.3	0.9
SN6c	2		26.2		1.1
SN6b	2		25.1		0.8
SN6e	2		30.2		1.0
SN7	2	56.1	37.7	0.9	0.8
	20	39.5	34.7	0.8	0.4
	50	47.2	17.1	0.7	1.0
	100	22.0	20.0	0.7	1.1
	πυθμ.	24.9	94.8	0.6	1.2
Μέση τιμή		60.3	40.0	0.6	0.8

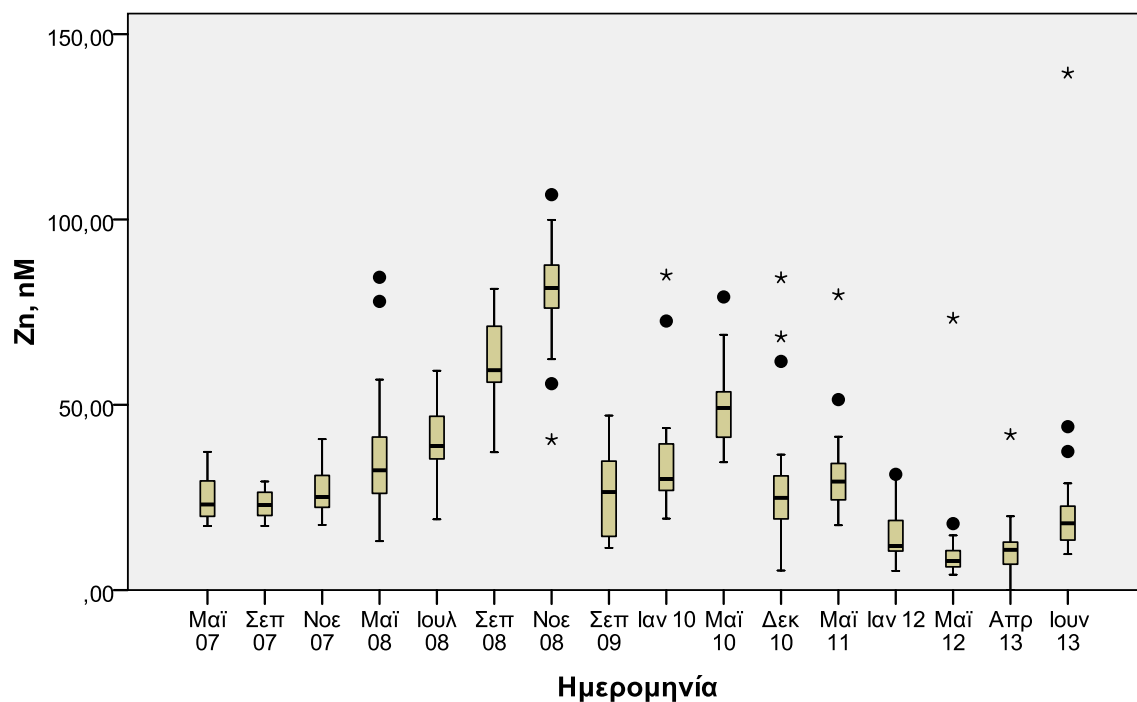
Στις εικόνες 3.3.1-3.3.5 δίνονται οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στην περιοχή της Καλντέρας σε όλες τις περιόδους που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις από το ΕΛΚΕΘΕ από το Μάιο του 2007 μέχρι το Ιούνιο του 2013 (16 περίοδοι) Όπως φαίνεται δεν προκύπτει κάποια σαφής τάση μείωσης ή αύξησης για κανένα μέταλλο.



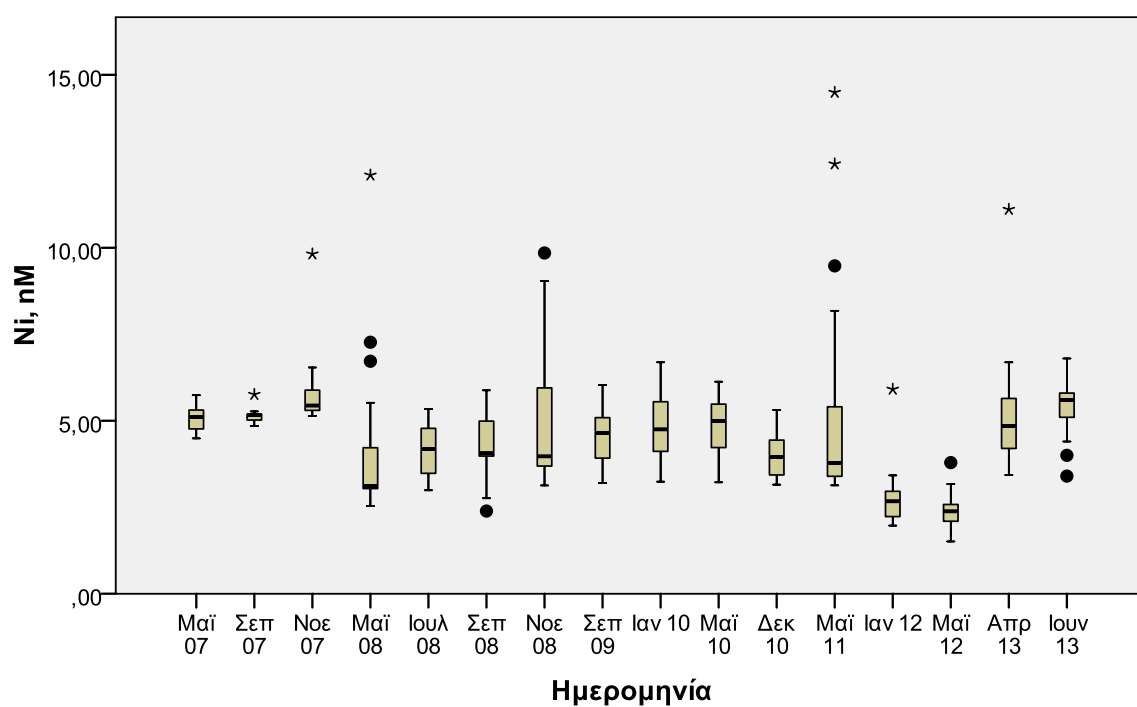
Εικόνα 3.3.1 Διακύμανση των τιμών των συγκεντρώσεων του μολύβδου (nM) στην περιοχή της καλντέρας κατά τη διάρκεια των 16 περιόδων δειγματοληψίας



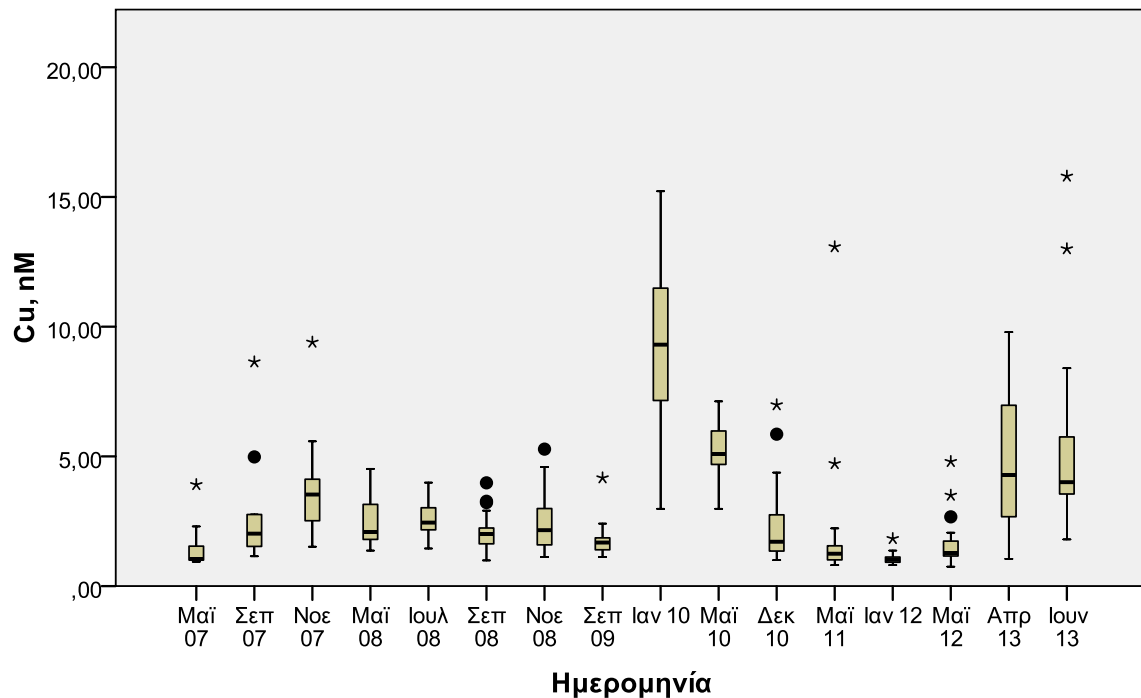
Εικόνα 3.3.2 Διακύμανση των τιμών των συγκεντρώσεων του καδμίου (nM) στην περιοχή της καλντέρας κατά τη διάρκεια των 16 περιόδων δειγματοληψίας



Εικόνα 3.3.3 Διακύμανση των τιμών των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου (nM) στην περιοχή της καλντέρας κατά τη διάρκεια των 16 περιόδων δειγματοληψίας

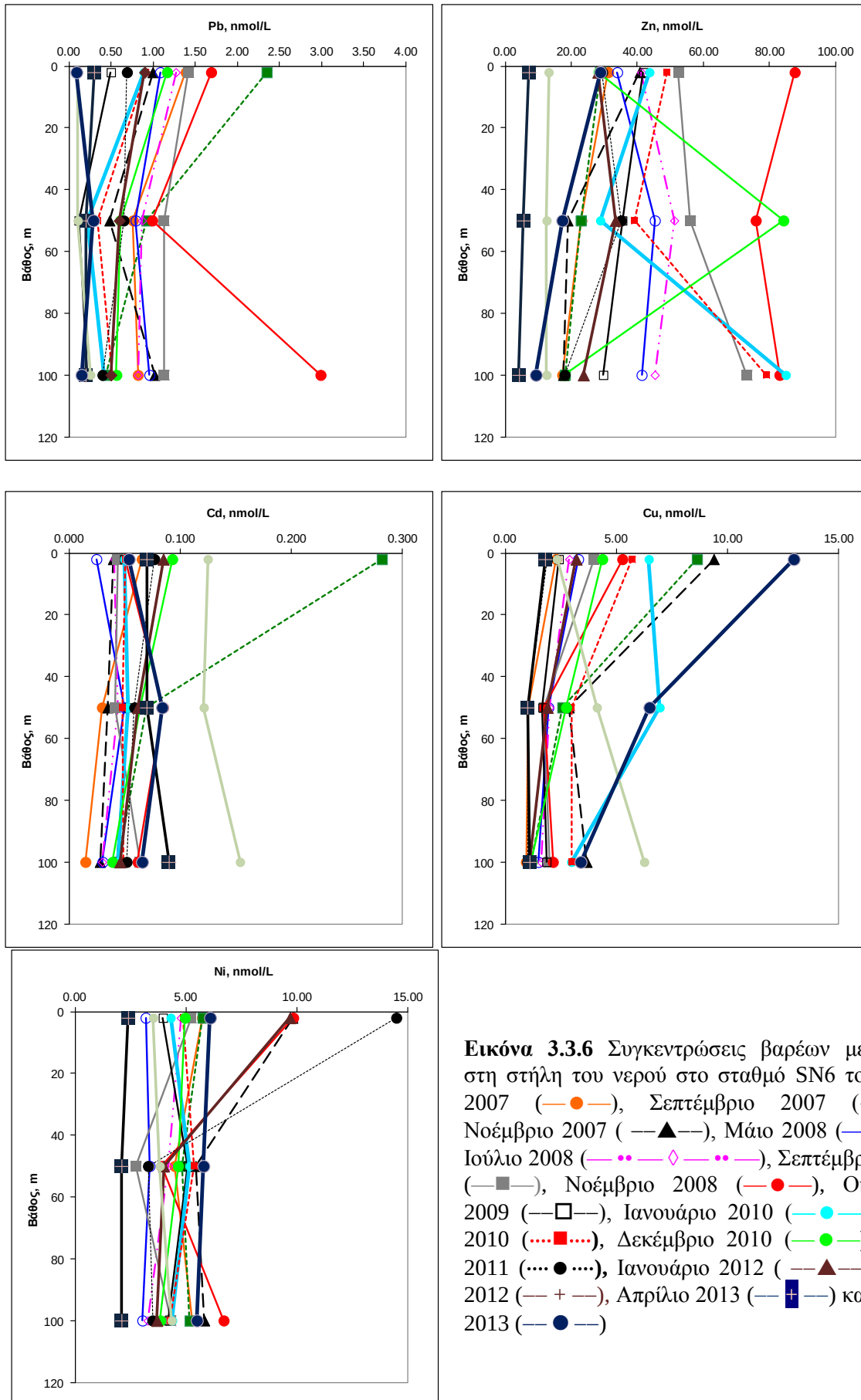


Εικόνα 3.3.4 Διακύμανση των τιμών των συγκεντρώσεων του νικελίου (nM) στην περιοχή της καλντέρας κατά τη διάρκεια των 14 περιόδων δειγματοληψίας



Εικόνα 3.3.5 Διακύμανση των τιμών των συγκεντρώσεων του χαλκού (nM) στην περιοχή της καλντέρας κατά τη διάρκεια των 14 περιόδων δειγματοληψίας

Στην εικόνα 3.3.6 δίνονται οι κατανομές των βαρέων μετάλλων στη στήλη του νερού στο σταθμό του ναυαγίου SN6 τις 16 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).



3.4 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ, ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ

Ι. Χατζηανέστης, Α. Παπαγεωργίου

3.4.1 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).

3.4.2. Αποτελέσματα και συζήτηση

Οι % περιεκτικότητες σε κύρια στοιχεία των επιφανειακών ιζημάτων δίνονται στον πίνακα 3.4.1. Όπως φαίνεται όλα τα δείγματα έχουν παρόμοια σύσταση και το στοιχείο που κυριαρχεί είναι το πυρίτιο με ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 22.2 και 27.5 %. Ακολουθούν το αργίλιο (7.0 – 9.3%), το ασβέστιο (4.3 – 7.2%), ο σίδηρος (3.8 – 4.3%) και το νάτριο (2.9 - 3.4%).

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων και λοιπόν ιχνοστοιχείων δίνονται στον πίνακα 3.4.2. 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.

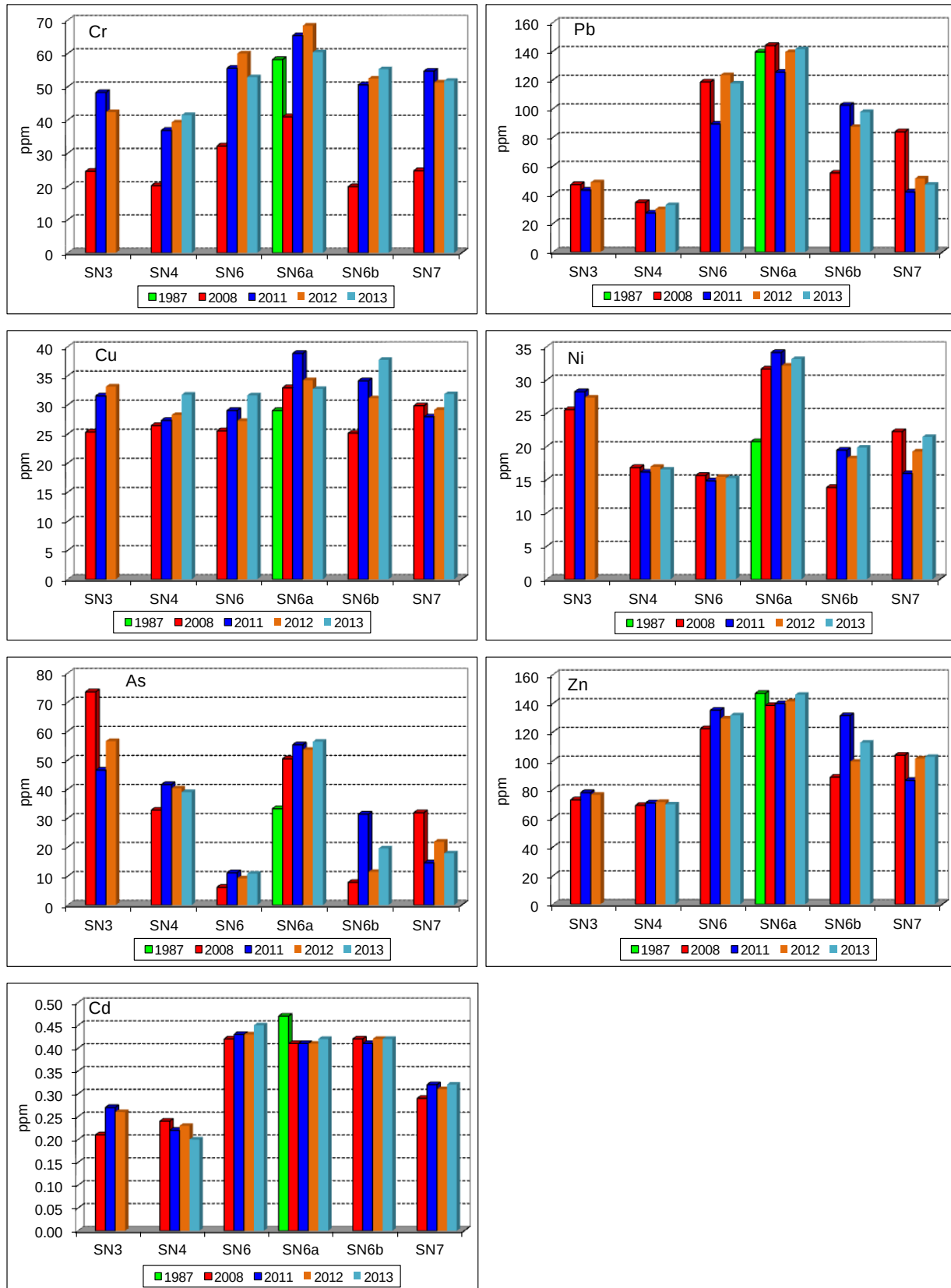
Πίνακας 3.4.1. % περιεκτικότητες κύριων στοιχείων στα δείγματα των ιζημάτων και οι αντίστοιχες τιμές του μέσου φλοιού (crust) και του μέσου σχιστόλιθου (shale)

Δείγμα	Al (%)	Ca (%)	Fe (%)	K (%)	Mg (%)	Na (%)	P (%)	Si (%)	Ti (%)
SN1	9.32	6.34	3.88	1.19	1.89	2.98	0.08	24.56	0.49
SN3	6.69	7.21	4.08	1.45	1.31	2.97	0.07	22.21	0.33
SN4	7.04	5.59	4.03	1.44	1.34	3.29	0.08	23.98	0.37
SN6	7.87	4.31	4.11	1.51	1.32	2.89	0.07	27.53	0.45
SN6a	7.74	5.21	4.31	1.58	1.39	3.13	0.05	23.87	0.47
SN6b	7.79	5.01	4.12	1.62	1.31	2.94	0.07	25.43	0.42
SN7	7.17	4.73	3.78	1.65	1.21	3.42	0.07	26.22	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 3.4.2. 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	99.1	44.3	869	6.1	14.2	13.4	0.25	8.7
SN3	113.6	42.3	2879	8.3	27.3	33.1	0.26	8.5
SN4	112.4	39.2	2298	6.9	16.9	28.2	0.23	7.7
SN6	102.0	59.9	1647	7.1	15.4	27.2	0.43	9.2
SN6a	133.9	68.3	3978	7.9	32.1	34.2	0.41	9.5
SN6b	107.4	52.4	1904	7.0	18.2	31.1	0.42	9.1
SN7	83.1	51.2	1322	4.7	19.2	29.1	0.31	11.3
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	69.8	31.6	23.4	322.1	134.1	256.7	3.9	16.5
SN3	76.2	56.5	113.4	488.3	157.7	271.6	6.3	48.5
SN4	71.2	40.2	134.2	317.2	171.2	254.6	6.6	29.9
SN6	129.3	9.2	45.1	223.1	192.1	313.3	5.3	123.2
SN6a	141.2	53.5	102.4	278.3	171.5	281.5	7.2	139.2
SN6b	99.3	11.4	84.5	243.1	204.3	313.8	6.8	87.2
SN7	101.4	21.8	72.4	247.2	214.7	279.7	5.9	51.2
Μέσος φλοιός (crust)	75	1.5		370	190	500	1.5	14
Μέσος σχιστόλιθος (shale)	95	13		140	160	580	2.6	20



Εικόνα 3.4.1 Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά ιζήματα στην περιοχή της Καλντέρας το 1987, 2008, 2011, 2012 και 2013.

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 3.4.1 δίνονται για λόγους σύγκρισης οι τιμές των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά ιζήματα της Καλντέρας που μετρήθηκαν το 2008, το 2011, το 2012 και το 2013 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.

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

Όπως προαναφέρθηκε όλοι οι κλωβοί με τα μύδια που τοποθετήθηκαν στις 9 Απριλίου 2013 τόσο στο σημείο του ναυαγίου (δέθηκαν επάνω στο πλωτό φράγμα) όσο και στα σημεία Θηρασιά και Ημεροβίγλι δεν υπήρχαν στις θέσεις τους όταν επιχειρήθηκε η ανάσυρσή τους στις 10 Ιουνίου 2013, ούτε βρέθηκαν στη γύρω περιοχή. Ως εκ τούτου δεν ήταν δυνατή η μελέτη της βιοσυσσώρευσης των ρύπων κατά τη διάρκεια του 2013. Στην εικόνα 3.4.1 φαίνεται χαρακτηριστικός κλωβός με μύδια που τοποθετήθηκε στην περιοχή.



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

Πρέπει να σημειωθεί ότι σε αντίστοιχες περιπτώσεις τοποθέτησης κλωβών μυδιών την τελευταία δεκαετία από το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας για τη μελέτη της βιοσυσσώρευσης τα ποσοστά αποτυχίας (μη ανεύρεσης των κλωβών) είναι μικρότερα από 5%.

3.6. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΖΩΟΒΕΝΘΙΚΕΣ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

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

3.6.1 Μέθοδοι και Υλικά

Η δειγματοληψία της έβδομης φάσης παρακολούθησης των επιπτώσεων του ναυαγίου “Sea Diamond” στο ζωοβένθος της καλντέρας της Σαντορίνης έγινε στις 9 Απριλίου 2013 με το Ω/Κ ΦΙΛΙΑ του ΕΛΚΕΘΕ. Χρησιμοποιήθηκε δειγματολήπτης βένθους Van Veen δειγματοληπτικής επιφάνειας 0.1 m^2 .

Με βάση τα αποτελέσματα της μέχρι τώρα παρακολούθησης εξαιρέθηκαν από την παρούσα δειγματοληψία ο σταθμός SN1 με λειβάδι Ποσειδωνίας όπου ο βιότοπος ήταν τελείως διαφορετικός από τους σταθμούς του εσωτερικού της καλντέρας. Επίσης ο σταθμός SN3 είχε θεωρηθεί σταθμός αναφοράς για την περιοχή του εσωτερικού της καλντέρας και λόγω του ότι υπάρχει ήδη διαθέσιμη χρονοσειρά για τον σταθμό αυτό δεν επαναλήφθηκε η δειγματοληψία στο σημείο αυτό.

Σε κάθε σταθμό συλλέχθηκαν δύο δείγματα. 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 ($N/0.2 \text{ m}^2$).

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) και την κατασκευή της συσσωρευτικής καμπύλης των ειδών

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	Γ. Μήκος	Γ. Πλάτος	Βάθος (m)	Υπόστρωμα
SN4	Ακρωτήρι	25°22.002'E	36°22.755'N	281	Αμμόλασπη με φυτικά υπολείμματα <i>Posidonia</i>
SN6	Ναυάγιο	25°25.291'E	36°23.403'N	282	Αδρό χαλίκι με πέτρες
SN7	Θήρα	25°24.494'E	36°25.594'N	359	Αμμόλασπη κοκκινωπή με άμμος και χαλίκια

3.6.2 Αποτελέσματα

Α) ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Συνολικά από τους τρεις σταθμούς προσδιορίστηκαν 53 είδη βενθικών οργανισμών (36 Πολύχαιτοι, 4 Καρκινοειδή, 3 Εχινόδερμα, 2 Μαλάκια και 8 Διάφορα μικρότερα φύλα) και καταμετρήθηκαν 194 άτομα (92 Πολύχαιτοι, 5 Καρκινοειδή, 3 Εχινόδερμα, 81 Μαλάκια και 13 Διάφορα μικρότερα φύλα).

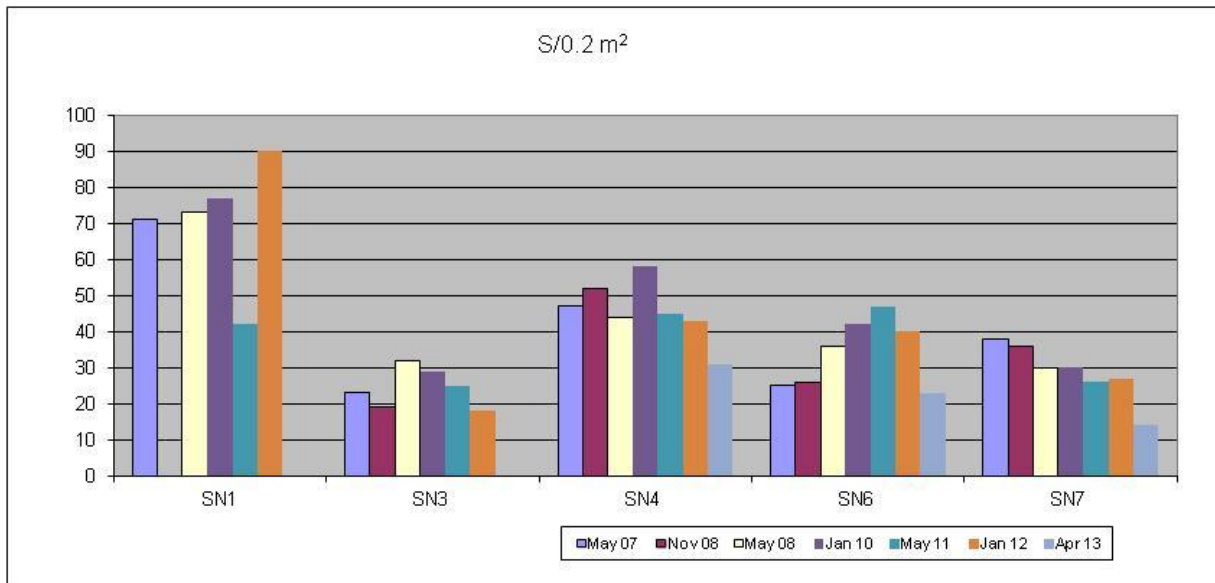
Όσον αφορά τον αριθμό των ειδών (S), κατά τη δειγματοληψία του Απριλίου 2013 σε όλους τους σταθμούς ο αριθμός ειδών μειώθηκε στους σταθμούς SN3, SN4, SN6 σε σχέση με τη προηγούμενη δειγματοληψία του Ιανουαρίου 2012 στην οποία είχε ήδη παρατηρηθεί πτώση σε σχέση με αυτή του Μαΐου 2011 στους περισσότερους σταθμούς. Ωστόσο στον σταθμό του ναυαγίου (SN6) ο αριθμός των ειδών (23) είναι συγκρίσιμος με αυτόν του σταθμού αναφοράς SN3 κατά τις προηγούμενες περιόδους: 24 κατά μέσο όρο με ελάχιστη τιμή 18 και μέγιστη 32. Την ίδια τάση ακολουθεί και ο αριθμός των ατόμων (N) σε όλους τους σταθμούς. Όσον αφορά τον δείκτη ποικιλότητας (H), αυτός μειώθηκε στον σταθμό SN4 σε σχέση με την προηγούμενη εποχή, λόγω της υποχώρησης της υψηλής αφθονίας ενός είδους τρηματοφόρου που ήταν πολύ αυξημένο τον Ιανουάριο 2012. Στους σταθμούς SN4 και SN6 μειώθηκε επίσης λόγω μείωσης του αριθμού των ειδών ενώ στον SN7 η ποικιλότητα

παρέμεινε σταθερή στα ίδια επίπεδα με τον Ιανουάριο 2012. Ο δείκτης ομοιομορφίας αντίθετα αυξήθηκε σε όλους τους σταθμούς και ειδικά στους SN4 και SN7 λόγω της υποχώρησης κάποιων υψηλών επικρατήσεων ειδών (πχ. *Prionospio ehlersi* & *Foraminifera* στον SN4).

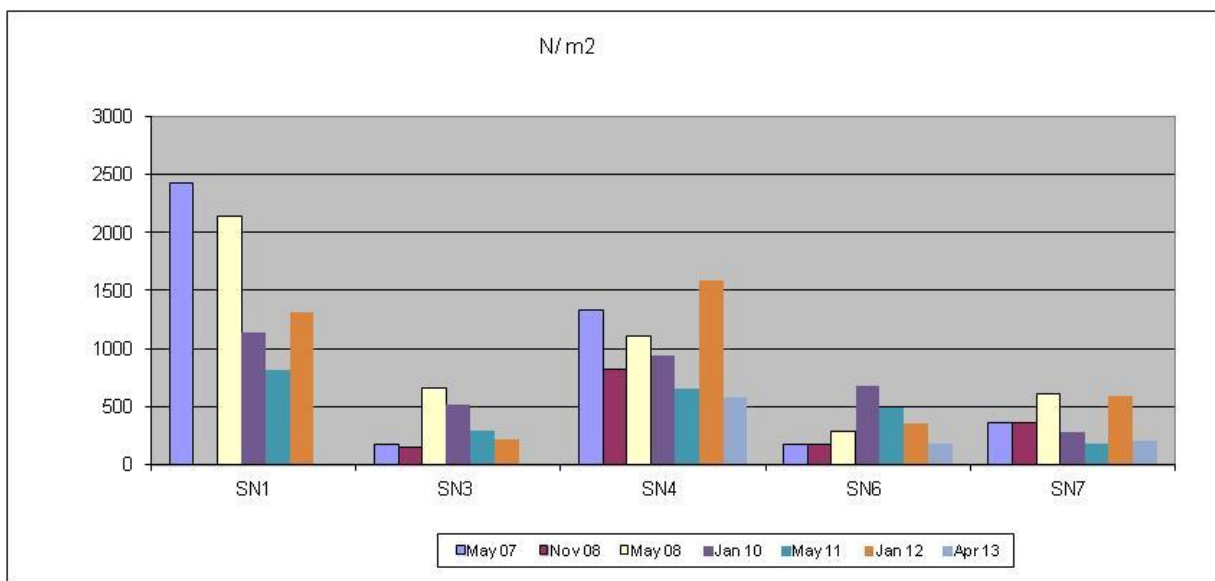
Κατά την περίοδο δειγματοληψίας του Απριλίου 2013 επίσης ο δείκτης οικολογικής κατάστασης Bentix μειώθηκε σε όλους τους σταθμούς σε σχέση με τον Ιανουάριο 2012 όπου ήταν υψηλή. Οι τιμές του δείκτη τον Απρίλιο 2013 στους σταθμούς 4 και 6 αντιστοιχούν στην καλή οικολογική κατάσταση και στον 7 στην υψηλή οικολογική κατάσταση. Ωστόσο η μείωση του δείκτη οικολογικής ποιότητας σε όλους του σταθμούς οφείλεται εν πολλοίς στην υποχώρηση συγκεκριμένων ταξονομικών μονάδων που ήταν πολυπληθείς όπως τα Τρηματοφόρα (4,7) και τα Οστρακώδη στον σταθμό 6 που ταξινομούνται στην κατηγορία των ευαίσθητων ειδών και όχι σε αύξηση ανθεκτικών ειδών αφού τα τελευταία παρέμειναν σταθερά ή και μειώθηκαν. Τα παραπάνω "ευαίσθητα" είδη σχετίζονται με τις συνθήκες του υποστρώματος (συσσωματώματα ασβεστολιθικά, σκληρό υπόστρωμα περιαργιλιτίδας κλπ.) και η ανεύρεσή τους υπόκειται και σε τυχαιότητα στην δειγματοληψία.

Πίνακας 3.6.2. Τιμές βιολογικών δεικτών στους σταθμούς μελέτης κατά τη δειγματοληψία του Απριλίου 2013.

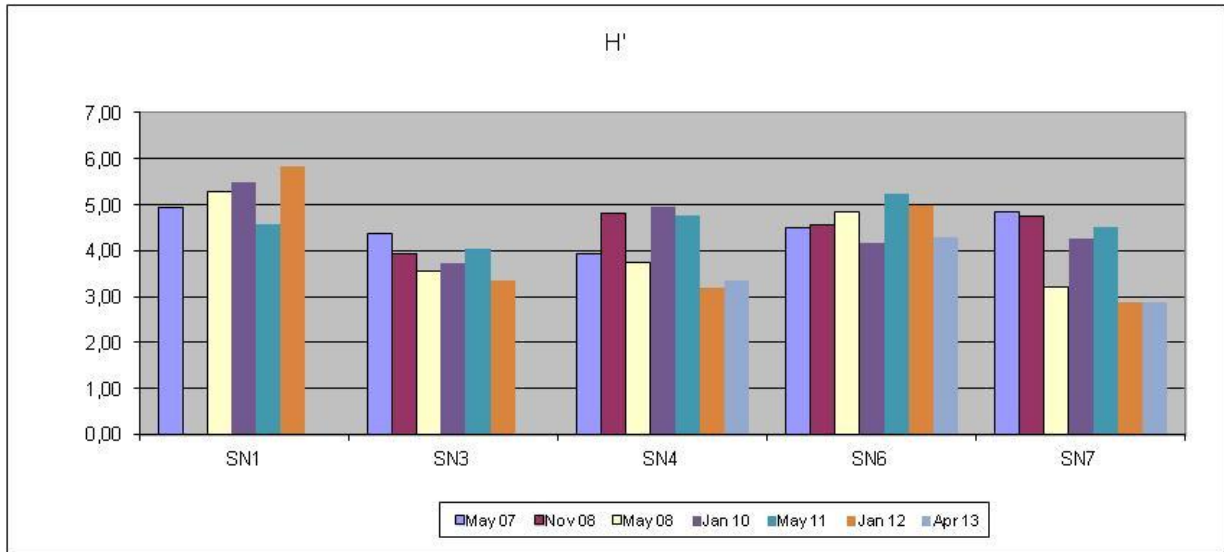
Σταθμοί	S/0.2m ²	N/m ²	H'	J	Bentix	Οικολογική κατάσταση	Αθροισμα Ευαίσθητων ειδών	Αθροισμα ανθεκτικών ειδών
SN4	31	575	3,35	0,68	4,30	ΚΑΛΗ	330	245
SN6	23	185	4,30	0,95	4,00	ΚΑΛΗ	95	85
SN7	14	210	2,89	0,76	4,81	ΥΨΗΛΗ	150	55



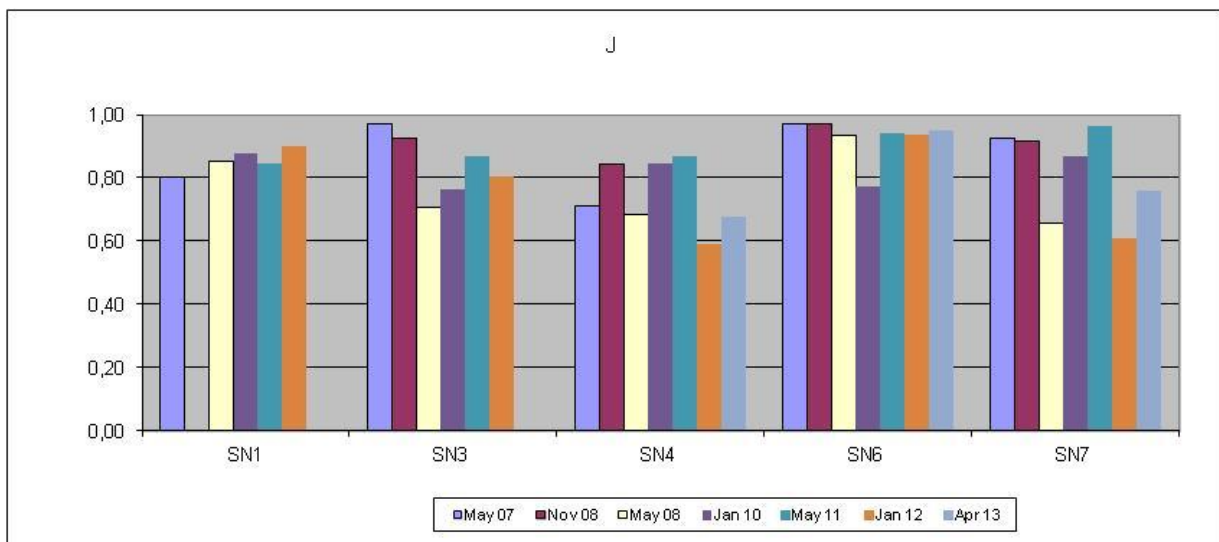
Εικόνα 3.6.1. Χρονική εξέλιξη των δείκτη αφθονίας ειδών στους σταθμούς μελέτης (Μάιος, Νοέμβριος 2007, Μάιος 2008, Ιανουάριος 2010, Μάιος 2011, Ιανουάριος 2012, Απρίλιος 2013).



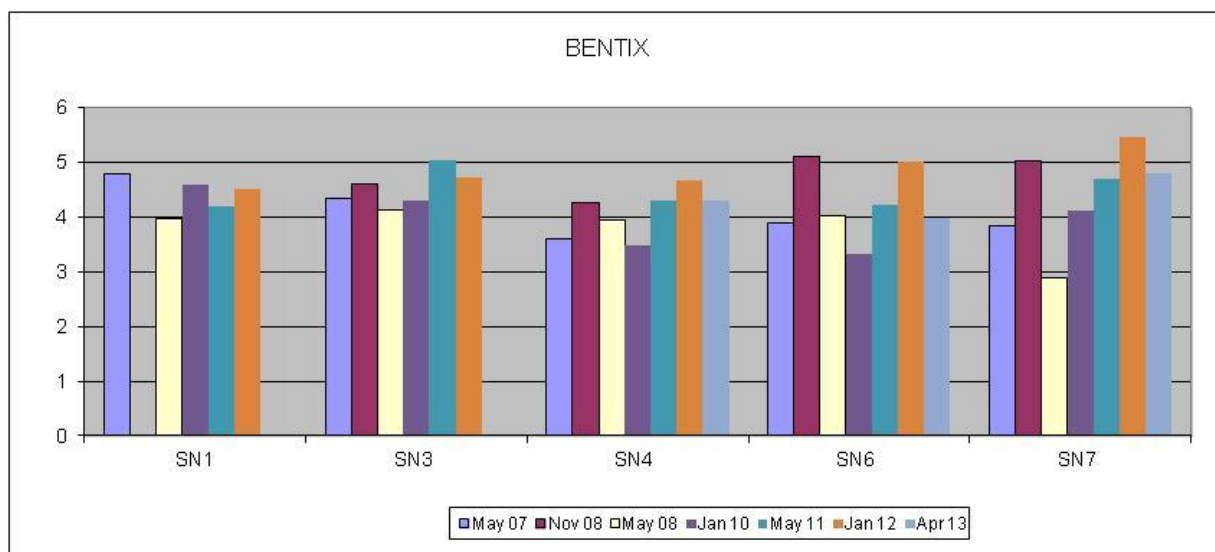
Εικόνα 3.6.2. Χρονική εξέλιξη των δείκτη αφθονίας ατόμων στους σταθμούς μελέτης (Μάιος, Νοέμβριος 2007, Μάιος 2008, Ιανουάριος 2010, Μάιος 2011, Ιανουάριος 2012, Απρίλιο 2013).



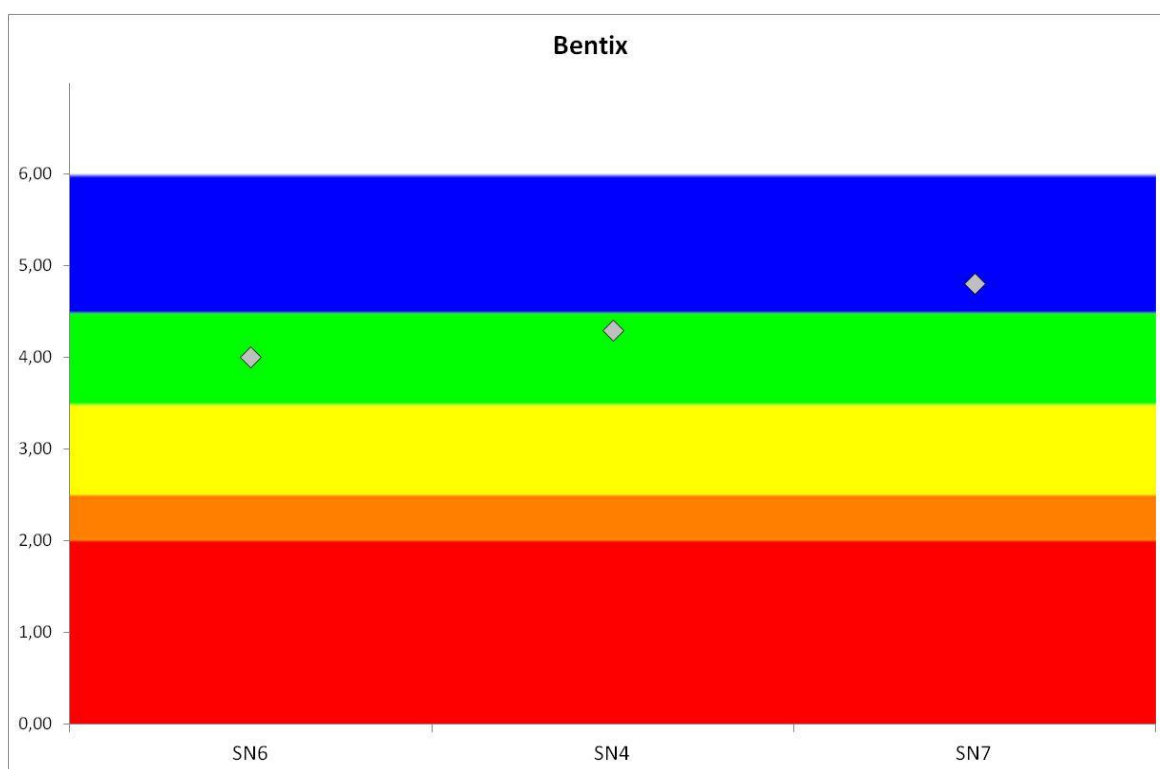
Εικόνα 3.6.3. Χρονική εξέλιξη των δείκτη ποικιλότητας στους σταθμούς μελέτης (Μάιος, Νοέμβριος 2007, Μάιος 2008, Ιανουάριος 2010, Μάιος 2011, Ιανουάριος 2012, Απρίλιος 2013).



Εικόνα 3.6.4. Χρονική εξέλιξη των δείκτη ομοιομορφίας στους σταθμούς μελέτης (Μάιος, Νοέμβριος 2007, Μάιος 2008, Ιανουάριος 2010, Μάιος 2011, Ιανουάριος 2012, Απρίλιος 2013).



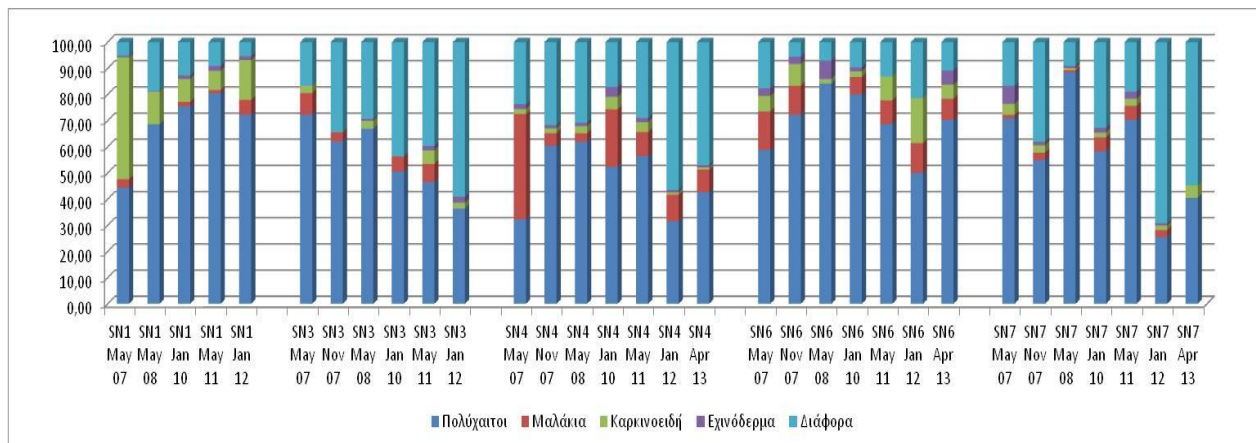
Εικόνα 3.6.5. Χρονική εξέλιξη των δείκτη BENTIX στους σταθμούς μελέτης (Μάιος, Νοέμβριος 2007, Μάιος 2008, Ιανουάριος 2010, Μάιος 2011, Ιανουάριος 2012, Απρίλιος 2013).



Εικόνα 3.6.6 Οικολογική κατάσταση στους σταθμούς δειγματοληψίας τον Απρίλιο 2013.

Β) ΣΥΝΘΕΣΗ ΟΜΑΔΩΝ

Η εικόνα 3.6.7 παρουσιάζει την σύνθεση της βενθικής πανίδας σε κάθε σταθμό ανάλογα με την συμμετοχή των κυριότερων βενθικών ομάδων στην συνολική αφθονία των ατόμων.



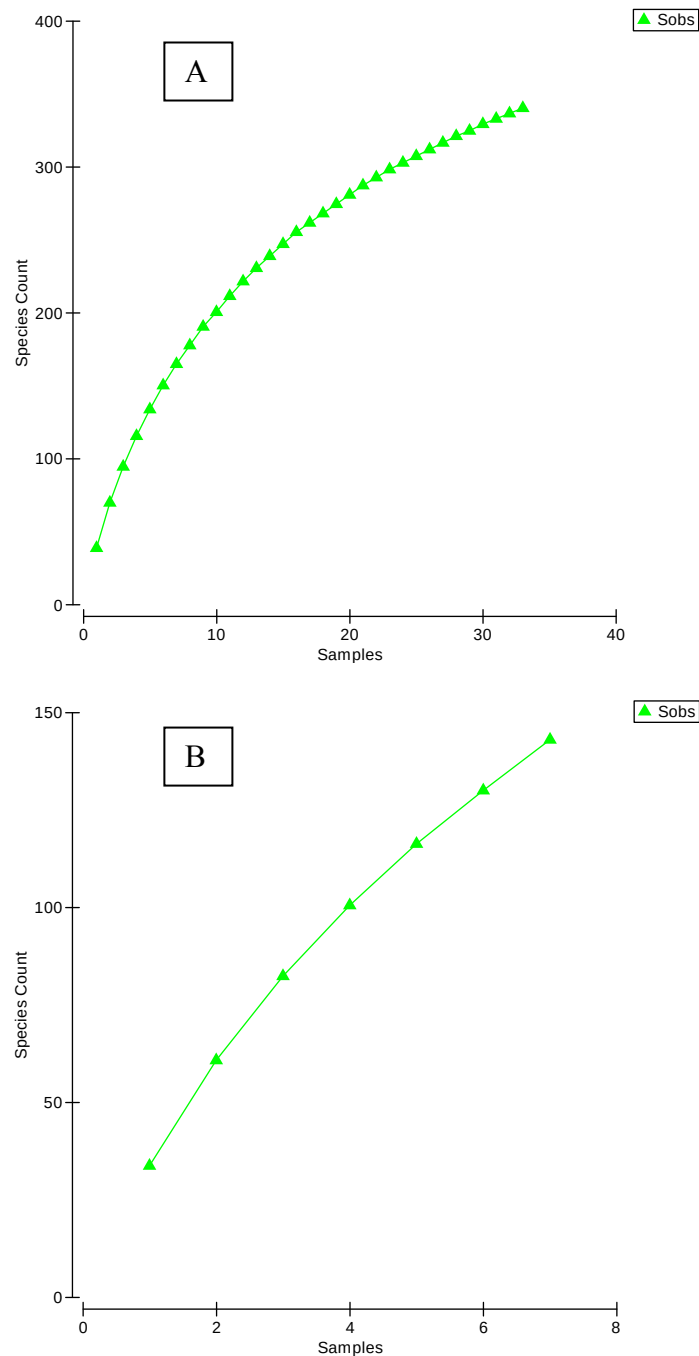
Εικόνα 3.6.7. Ποσοστά αφθονίας των κυριότερων βενθικών ομάδων σε όλους τους σταθμούς και εποχές δειγματοληψίας.

Γενικά στους τρεις σταθμούς που ελέγχθηκαν αυξήθηκε αναλογικά η ομάδα των πολυχαίτων. Ωστόσο ειδικά στον σταθμό του ναυαγίου εμφανίσθηκαν τα εχινόδερμα που έλειπαν τις δύο τελευταίες περιόδους. Επίσης στο σταθμό 7 λείπουν τα μαλάκια και τα εχινόδερμα σε σχέση με τον Ιανουάριο 2012. Σημειώνεται ότι η ομάδα των πολυχαίτων 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 Απριλίου 2013 βρέθηκαν συνολικά στην περιοχή της καλντέρας της Σαντορίνης 3 νέα είδη: δύο πολύχαιτοι και ένα εχινόδερμο (που δεν είχαν βρεθεί στην περιοχή από την αρχή του προγράμματος παρακολούθησης) από τα οποία το εχινόδερμο (*Echinocardium*) μόνο στο σημείο του ναυαγίου. Τα άλλα είδη είναι ο ιλύόφιλος πολύχαιτος *Amaea trilobata* που βρέθηκε στο σταθμό 4 με αμμόλασπη και ο πολύχαιτος *Dodecaceria concharum* που χαρακτηρίζει σκιάφιλες βιοκοινωνίες σκληρού υποστρώματος στην υπο-και περαιγιαλίτιδα ζώνη. Την περίοδο του Ιανουαρίου 2012 είχαν βρεθεί στην περιοχή της καλντέρας 21 επιπλέον νέα είδη από τα οποία το 1 (*Ostracoda*) μόνο στο σημείο του

ναυαγίου. Τα περισσότερα από τα νέα αυτά είδη ωστόσο είχαν βρεθεί στο σταθμό 1 με την Ποσειδωνία που δεν επαναλήφθηκε αυτή τη φορά. 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).



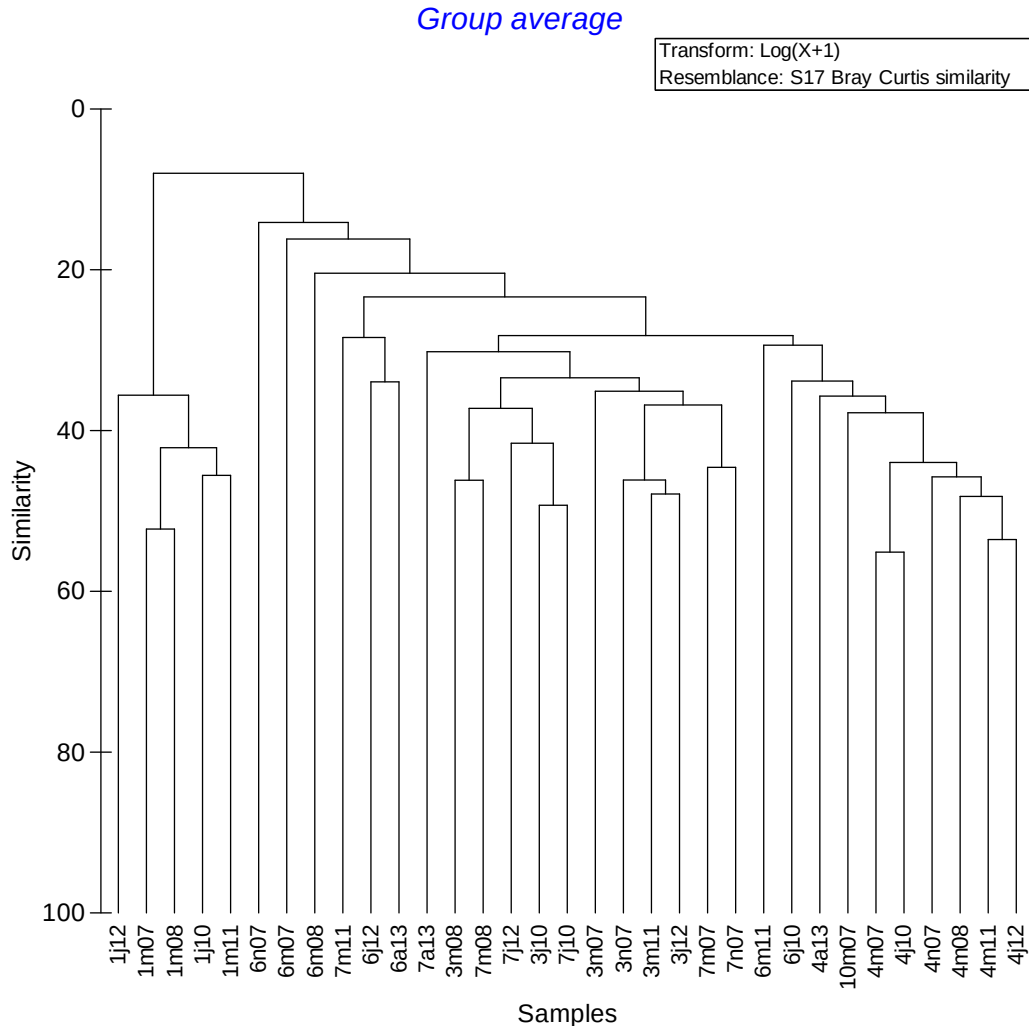
Εικόνα 3.6.8. Καμπύλη συσσωρευτικής αύξησης των ειδών με την πρόοδο της παρακολούθησης και της δειγματοληπτικής προσπάθειας. Α. Στο σύνολο των σταθμών και Β. Στον σταθμό του ναυαγίου.

Στην εικόνα 3.6.8 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 τείνει προς τη σταθεροποίηση ενώ η δεύτερη δείχνει αυξητική τάση.

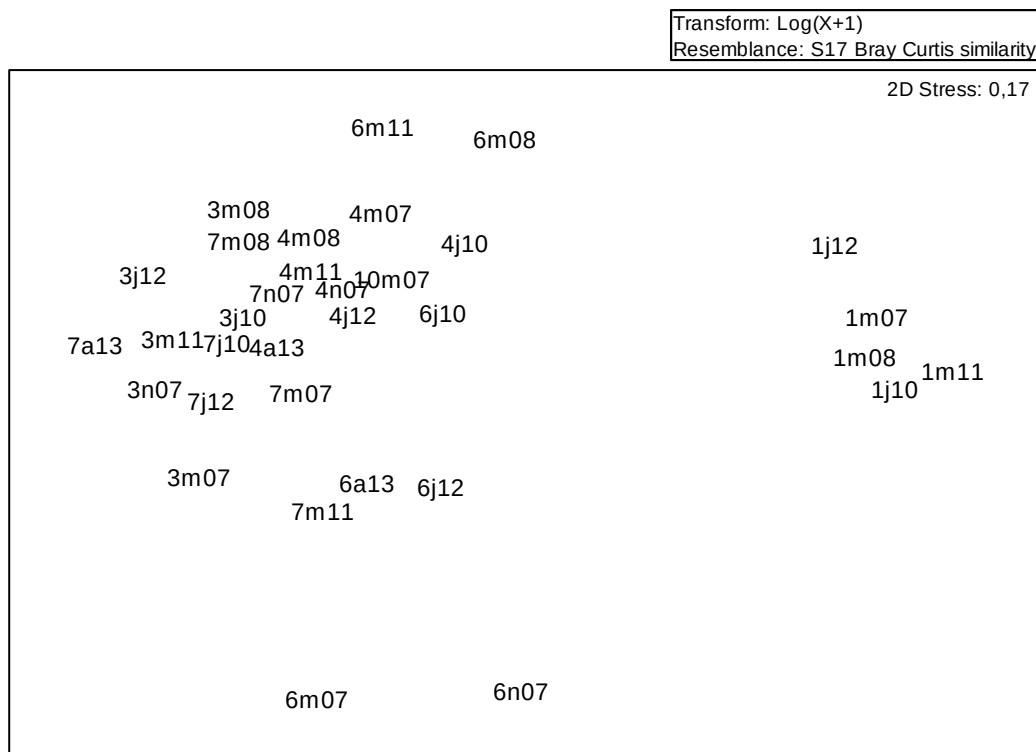
Δ) ΠΟΛΥΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα διαγράμματα της εικόνας 3.6.9 (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.

Σε συνέχεια της εξέλιξης στις σχέσεις ομοιότητας μεταξύ των σταθμών που είχε περιγραφεί την προηγούμενη περίοδο παρατηρούμε ότι ο σταθμός του ναυαγίου SN6 ομαδοποιείται στενά με τον αντίστοιχο σταθμό τον Ιανουάριο 2012 και σε στενή ομοιότητα με τον σταθμό SN7 του Μαΐου 2011. Στην προηγούμενη δειγματοληψία του Ιανουαρίου 2012 (ΕΛΚΕΘΕ, 2012) ο σταθμός του ναυαγίου είχε ομαδοποιηθεί στο δενδρόγραμμα μαζί με τον αντίστοιχο του Μαΐου 2011 σε στενή σχέση ομοιότητας με τους υπόλοιπους βαθείς σταθμούς της καλντέρας. Δηλαδή παρατηρούμε στην παρούσα κατάσταση αύξηση της ομοιότητας του σταθμού του ναυαγίου με τον σταθμό SN7 με υψηλή οικολογική κατάσταση μετά το 2011.



Εικόνα 3.6.9α. 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, η ένδειξη j του Ιανουαρίου, a του Απριλίου), και την ένδειξη της χρονολογίας (07, 08, 10, 11, 12, 13).



Εικόνα 3.6.9β. 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, η ένδειξη j του Ιανουαρίου, a του Απριλίου), και την ένδειξη της χρονολογίας (07, 08, 10, 11,12,13).

3.6.3 Συμπεράσματα

Γενικά αξίζει να σημειωθεί:

Η κατάσταση στην παρούσα δειγματοληψία έδειξε γενική πτώση της βιοποικιλότητας σε όλους του σταθμούς που ελέγχθηκαν. Ωστόσο αυτό δεν αντανάκλα κάποια υποβάθμιση στην καλντέρα ούτε στο σταθμό του ναυαγίου καθώς:

α) η ομοιομορφία κατανομής των ατόμων ανάμεσα στα είδη δεν μειώθηκε δηλαδή δεν υπήρξε αύξηση των επικρατήσεων ειδών που υποδηλώνει αστάθεια στις βενθικές βιοκοινωνίες

β) η πτώση του δείκτη οικολογικής ποιότητας δεν οφείλεται σε αύξηση των ανθεκτικών ειδών αλλά σε μείωση κάποιων ευαίσθητων ειδών που αντανακλούν συνθήκες του υποστρώματος και βρίσκονται σημειακά σε υψηλές αφθονίες (φαινόμενο patchiness).

Ειδικά για το σταθμό του ναυαγίου:

γ) η σύνθεση των βενθικών ομάδων δείχνει βελτίωση καθώς εμφανίσθηκε εχينوειδές που δεν υπήρξε προηγούμενα σε όλη την καλντέρα

δ) επίσης αυξήθηκε η σχέση ομοιότητας του σταθμού του ναυαγίου με το σταθμό SN7 της Θήρας με υψηλή οικολογική ποιότητα τα τελευταία χρόνια παρακολούθησης.

ε) οι καμπύλες συσσωρευτικής αύξησης του αριθμού των ειδών δείχνουν αυξητική πορεία με νέα εμφανιζόμενα είδη ειδικά στο σταθμό του ναυαγίου.

Η μείωση της βιοποικιλότητας αποδίδεται σε παράγοντες όπως α) η εναλλαγή των εποχικών κύκλων καθώς ο Απρίλιος είναι ενδιάμεσος μήνας μεταξύ θερμής (Μάιος) και ψυχρής περιόδου (Ιανουάριος) και β) παράγοντας τυχειότητας (patchiness) και αποδοτικότητας της δειγματοληψίας που εξαρτάται κατά πολύ από τις καιρικές συνθήκες την ημέρα της δειγματοληψίας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

Θαλάσσια ρεύματα

Η κατεύθυνση της ροής των ρευμάτων στην περιοχή όπου ευρίσκεται το ναυάγιο του Sea Diamond, ήταν προς τα βόρεια-βορειοδυτικά προς τη στένωση ανάμεσα στη Νέα Καμένη και τη Θήρα. Οι ταχύτητες στα πρώτα 50-60 m ήταν ~3-5 cm/sec, ενώ σημαντική εξασθένηση παρατηρήθηκε στα βαθύτερα στρώματα.

Υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ουσίες στο θαλασσινό νερό

Οι συγκεντρώσεις των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων στη στήλη του θαλασσινού νερού κατά τη διάρκεια του 2013 ήταν σε όλες τις περιπτώσεις μικρές και δεν βρέθηκαν σε κανένα σημείο στοιχεία πετρελαϊκής ρύπανσης.

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 και αντίστοιχες με αυτές που μετρώνται σε καθαρές θαλάσσιες περιοχές.

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 16 δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν τα έξη έτη μετά το ναυάγιο, δεν παρατηρήθηκε

κάποια σαφής τάση αύξησης ή μείωσης για κανένα μέταλλο. Δεν διαπιστώθηκε επίσης καμία επιβάρυνση στο σημείο του ναυαγίου σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή.

Βαρέα μέταλλα και ιγνοστοιχεία στα θαλάσσια ιζήματα

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα ιζήματα της περιοχής ήταν παρόμοιες με αυτές που προσδιορίστηκαν το 2008 και το 2012. 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

Επιπτώσεις στις ζωοβενθικές βιοκοινωνίες

Η κατάσταση στην παρούσα δειγματοληψία έδειξε γενική πτώση της βιοπικιλότητας σε όλους του σταθμούς που ελέγχθηκαν. Ωστόσο αυτό δεν οφείλεται σε αύξηση των ανθεκτικών ειδών αλλά σε μείωση κάποιων ευαίσθητων ειδών που αντανακλούν συνθήκες του υποστρώματος και βρίσκονται σημειακά σε υψηλές αφθονίες (φαινόμενο patchiness). Ειδικά για το σταθμό του ναυαγίου, η σύνθεση των βενθικών ομάδων δείχνει βελτίωση καθώς εμφανίστηκε εχινοειδές που δεν υπήρξε προηγούμενα σε όλη την καλντέρα, ενώ αυξήθηκε η σχέση ομοιότητας του σταθμού του ναυαγίου με το σταθμό SN7 της Θήρας που εμφανίζει τα τελευταία χρόνια παρακολούθησης υψηλή οικολογική ποιότητα.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τις μετρήσεις που καλύπτουν τη χρονική περίοδο των έξι ετών από το ατύχημα είναι ότι δεν υπάρχουν εμφανείς επιπτώσεις από το ναυάγιο στο θαλάσσιο οικοσύστημα της περιοχής. Παρόλο που το βυθισμένο κρουαζιερόπλοιο περιέχει ρυπογόνα φορτία που καταλήγουν στη θαλάσσια περιοχή της καλντέρας, τα αποτελέσματα των μετρήσεων δείχνουν ότι ο ρυθμός απελευθέρωσής τους στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι τέτοιος ώστε 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. Παρόλα αυτά και δεδομένου ότι σε προηγούμενες μετρήσεις για

κάποια βαρέα μέταλλα (Fe, Mn, Zn) είχαν προκύψει κάποιες ενδείξεις βιοσυσσώρευσης σε θαλάσσιους οργανισμούς (μύδια), θεωρούμε ότι είναι χρήσιμη η συνέχιση των μετρήσεων με έμφαση στη λεπτομερέστερη μελέτη τυχόν φαινομένων βιοσυσσώρευσης.

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 littorals de Mediterranee. Synthese, menaces et perspectives. Collection Patrimoines Naturels- Vol., 19, Ser. Patrimoine ecologique. *Mus. Nat. Hist. Nat.*, 246p.
- BOULOUBASSI I., 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
- CARPENTER, J. H. (1965 a). The accuracy of the Winkler method for the dissolved oxygen analysis. *Limnol Oceanogr* 10:135-140.
- CARPENTER, J. H. (1965 b). The Chesapeake Bay Institute technique for dissolved oxygen method. *Limnol Oceanogr* 10:141 -143
- 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.
- 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., PRICE-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. & VOUTSINOUS-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
- 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.
- VOYTSINOUS-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 μιάς ηφαιστειογενούς περιοχής στο Ν. Αιγαίο (Σαντορίνη). *Πρακτικά Δ' Πανελλ. Συμποσίου Ωκεανογραφίας & Αλιείας*, Ρόδος, 26-29 Απρ., 1993 σελ: 226-229