

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βαρέα μέταλλα και άλλα τοξικά χημικά στοιχεία στο είδος
Holothuria tubulosa του Παγασητικού κόλπου

Νταλαμάγκα Νικολέτα

ΒΟΛΟΣ 2010

<<Βαρέα μέταλλα και άλλα τοξικά χημικά στοιχεία στο είδος *Holothuria tubulosa* του Παγασητικού Κόλπου>>

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1. Κωνσταντίνος Σκόρδας**, Λέκτορας Π.Θ., Περιβαλλοντική Γεωχημεία
Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή
Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπων*,
- 2. Δημήτριος Βαφείδης**, Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ., Βιοποικιλότητα των
Θαλάσσιων Βενθικών Ασπονδύλων και άμεση - έμμεση χρησιμότητά τους,
Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή
Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*,
- 3. Νικόλαος Νεοφύτου**, Λέκτορας Π.Θ., Υδατοκαλλιέργειες και
Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος,
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.

*Στους γονείς μου Δημήτριο, Ειρήνη
και στη γιαγιά μου Νικολέτα.*

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που συνέβαλλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, τον Λέκτορα Π.Θ. κ. Κωνσταντίνο Σκόρδα, όπως και τον Αναπληρωτή Π.Θ. κ. Δημήτριο Βαφείδη, για την πολύτιμη βοήθειά τους και τη διαρκή υποστήριξή τους, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τον Λέκτορα Π.Θ. κ. Νικόλαο Νεοφύτου που ως μέλος της εξεταστικής επιτροπής μου, με συμβούλευσε και με καθοδήγησε καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την συμφοιτήτρια και πάνω από όλα φίλη μου, Κυρατσώ Κυριακούλη, τον Γεώργιο Καζανίδη, καθώς επίσης τον υποψήφιο διδάκτορα Αλέξιο Λόλα για την αμέριστη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου και ιδιαίτερα το διάστημα διεκπεραίωσης της παρούσας προπτυχιακής εργασίας.

Περίληψη

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκαν οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των χημικών στοιχείων (Cu, Pb, Ni, Zn) στα ιζήματα και στο βενθικό οργανισμό *Holothuria tubulosa* με σκοπό τη μελέτη της συσσώρευσης των μετάλλων στον Παγασητικό κόλπο. Μελετήθηκαν οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στα επιφανειακά ιζήματα, ο βαθμός σημαντικότητας των διακυμάνσεων των μετάλλων στα σωματικά τοιχώματα των προς μελέτη οργανισμών, μέσα στο χρονικό διάστημα των δεκατεσσάρων μηνών που διήρκησε η έρευνα και τέλος, συγκρίθηκαν οι τιμές των συγκεντρώσεων των μετάλλων μεταξύ των τμημάτων του σώματος του ολοθουρίου.

Με αυτόνομη κατάδυση ελήφθησαν σε μηνιαία βάση δείγματα επιφανειακού ιζήματος από δύο σταθμούς του Παγασητικού κόλπου και δείγματα του είδους *H. tubulosa*. Με τη μέθοδο της Φασματομετρίας Ατομικής Απορρόφησης μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στους ιστούς των ολοθουρίων, στα περιβάλλοντα ιζήματα, καθώς επίσης και στο εντερικό ίζημα.

Τα απαραίτητα για τη ζωή μέταλλα χαλκός (Cu) και ψευδάργυρος (Zn) βρέθηκαν σε υψηλότερα επίπεδα στα εσωτερικά όργανα των ατόμων σε σύγκριση με το σωματικό τοίχωμα. Η υψηλότερη συγκέντρωση του χαλκού (Cu) σημειώθηκε στο πεπτικό σύστημα, ενώ του ψευδαργύρου (Zn) στο αιματικό σύστημα με τιμές 40,5 μg/g ξηρού βάρους και 5,7μg/g ξηρού βάρους, αντίστοιχα. Τέλος, οι συγκεντρώσεις του χαλκού (Cu), του ψευδαργύρου (Zn) και του νικελίου (Ni), στα σωματικά τοιχώματα του είδους *H. tubulosa* ανέδειξαν στατιστικώς σημαντικές εποχιακές διαφοροποιήσεις.

Λέξεις κλειδιά: *Holothuria tubulosa*, ολοθουροειδή, βαρέα μέταλλα, χημικά στοιχεία

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ -----	1
1.1. Ρύπανση του περιβάλλοντος -----	1
1.1.1. Ρυπαντές του περιβάλλοντος-----	2
1.1.2. Βαρέα μέταλλα -----	2
1.2. Βαρέα μέταλλα στους θαλάσσιους οργανισμούς-----	3
1.3. Βιολογία του είδους <i>Holothuria tubulosa</i> -----	5
1.4. Περιοχή μελέτης -----	8
1.5. Σκοπός της παρούσας μελέτης -----	9
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ -----	10
2.1. Δειγματοληψίες-----	10
2.2. Προετοιμασία δειγμάτων -----	12
2.2.1. Ιζήματα -----	12
2.2.2. Βιολογικό δείγμα-----	12
2.3. Πέψη-----	14
2.3.1. Υγρή πέψη με μικροκύματα -----	14
2.3.2. Επεξεργασία δειγμάτων-----	14
2.4. Μέθοδος ανάλυσης -----	15
2.4.1. Ατομοποίηση με φλόγα -----	15
2.5. Στατιστική επεξεργασία δεδομένων-----	17
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ -----	18
3.1. Αβιοτικές παράμετροι του νερού -----	18
3.2. Ξηρό βάρος σωματικού τοιχώματος -----	19
3.3. Ξηρό βάρος των διαφόρων τμημάτων του σώματος-----	21
3.4. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο σωματικό τοίχωμα του ολοθουρίου ----	22

3.5. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα διάφορα τμήματα του σώματος-----	32
3.6. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα ιζήματα περιοχής και εντέρου -----	32
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ -----	35
4.1. Κατανομή των μετάλλων στο είδος <i>H.tubulosa</i> -----	35
4.1.1. Γενικά-----	35
4.1.2. Κατανομή των μετάλλων Ni, Pb και Cu στο σωματικό τοίχωμα -----	35
4.1.3. Κατανομή των μετάλλων Zn και Cu στους ιστούς τμηματικά -----	38
4.2. Κατανομή των μετάλλων στα ιζήματα περιοχής και εντέρου -----	39
Συμπεράσματα-----	40
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ -----	42
6. ABSTRACT -----	49

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας η βιομηχανική επανάσταση του 18^{ου} αιώνα έχει γίνει μέρος της καθημερινότητας μας, τη βιώνουμε και την εξελίσσουμε. Κάθε καινοτομία όμως ακολουθείται από θετικές και αρνητικές συνέπειες. Η σημαντικότερη αρνητική επίπτωση είναι η οικολογική κρίση. Τα κύρια αίτια της οικολογικής κρίσης είναι ο υπερπληθυσμός, η αστυφιλία, η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων της γης και τέλος η ρύπανση του περιβάλλοντος (Fotopoulos 2007).

Τα τελευταία χρόνια η σύγχρονη βιομηχανική ανάπτυξη, οδήγησε στο σχηματισμό επικίνδυνων χημικών ουσιών που απελευθερώθηκαν στο περιβάλλον, λόγω άγνοιας ή ανευθυνότητας. Οι ουσίες αυτές είναι γνωστές με τους όρους χημικοί ρυπαντές ή χημικοί επιμολυντές και αποτελούν αντικείμενο πολλών επιστημονικών ερευνών, αφού μέσω του εδάφους, του αέρα και του ύδατος περνάνε στους ζώντες οργανισμούς (φυτά, ζώα, υδρόβιους οργανισμούς, κ.ά.) και ακολούθως στην τροφική αλυσίδα (Papagiannis et al. 2004, Nimmo et al. 1998).

1.1. Ρύπανση του περιβάλλοντος

Σύμφωνα με το Εθνικό Συμβούλιο Ερευνών των Η.Π.Α., ως ρύπανση του περιβάλλοντος ορίζεται η ανεπιθύμητη μεταβολή των φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του αέρα, του εδάφους και των υδάτων. Η ανεξέλεγκτη αυτή μεταβολή των φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος, οφείλεται στην εισαγωγή ανεπιθύμητων ουσιών σε ένα οικοσύστημα, που έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της ικανότητάς του να αντιδρά ή να θέτει σε λειτουργία τους μηχανισμούς επιδιόρθωσης, ανακύκλωσης και αναπαραγωγής (Berner 1967).

Η ρύπανση του περιβάλλοντος οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες (ηφαίστεια, πυρκαγιές, βιολογικές δραστηριότητες κ.α.) όσο και σε ανθρωπογενείς

δραστηριότητες (βιομηχανικές, μεταλλευτικές και γεωργικές δραστηριότητες, παραγωγή ενέργειας, θέρμανση κ. α.) (Elewa et al. 1990, Ramiro et al. 2004).

1.1.1. Ρυπαντές του περιβάλλοντος

Οι ρυπαντές του περιβάλλοντος μπορούν να ταξινομηθούν σε ομάδες, ανάλογα με την χημική τους δομή, την τοξική τους δράση ή τη συμπεριφορά τους στον περιβαλλοντικό τους χώρο. Οι κυριότερες από τις ομάδες των χημικών που προκαλούν ρύπανση του περιβάλλοντος είναι: 1) τα βαρέα μέταλλα (Hg, Pb, Cd, Zn κ.ά.), 2) τα παρασιτοκτόνα (DDT, Aldrin, HCH, Parathion, Zineb κ.α.), 3) οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (Benzo(a)pyrene, κ.ά.), 4) το πετρέλαιο και τα παράγωγά του, 5) τα απορρυπαντικά 6) οι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες (Χλωρο-φόρμιο, Τετραχλωράνθρακας κ.τ.λ.), 7) τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB's) 8) τα τοξικά αέρια (H₂S, CO, HCN κ.ά.), 9) διάφορες άλλες χημικές ουσίες (Bryan 1967).

1.1.2. Βαρέα μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα, είναι ίσως οι σημαντικότεροι ρυπαντές του περιβάλλοντος και αποτελούν, πολύ σημαντική μορφή ρύπανσης, ιδιαίτερα για το θαλάσσιο περιβάλλον, εξαιτίας της τοξικότητάς τους. Με τον όρο βαρέα μέταλλα εννοούμε εκείνα τα χημικά στοιχεία που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο του σιδήρου (Fe) και κυρίως το μόλυβδο (Pb), τον υδράργυρο (Hg), το χαλκό (Cu), το κάδμιο (Cd), το χρώμιο (Cr) κ.ά. Η προέλευση των βαρέων μετάλλων στην υδρόσφαιρα οφείλεται τόσο σε φυσικές όσο και σε ανθρωπογενείς πηγές (Somers 1974, Wittmann 1979, Nimmo et al. 1998, Κελεπερτζής 2000, Papagiannis et al. 2004).

Η διάβρωση των πετρωμάτων, η έκπλυση των εδαφών και τα προϊόντα της ηφαιστειακής δραστηριότητας, που είναι πλούσια σε ορυκτά που περιέχουν βαρέα μέταλλα, αποτελούν τις κυριότερες φυσικές πηγές ρύπανσης και καταλήγουν στη

θάλασσα μέσω του υδρογραφικού δικτύου (ποτάμια κ.ά.), αλλά και μέσω του αέρα (Bryan 1976). Όμως οι ανθρώπινες δραστηριότητες αποτελούν την κυριότερη πηγή ρύπανσης της θάλασσας σε βαρέα μέταλλα (Bryan & Langston 1992).

1.2. Βαρέα μέταλλα στους θαλάσσιους οργανισμούς

Η είσοδος των μετάλλων στους θαλάσσιους οργανισμούς γίνεται κυρίως με την απορρόφηση από το νερό μέσω επιφανειών του σώματος τους, της αναπνευστικής οδού ή μέσω του πεπτικού συστήματος. Οι ενεργειακές τους ανάγκες και η θέση τους στην τροφική αλυσίδα παίζουν καθοριστικό ρόλο στο μηχανισμό πρόσληψης μετάλλων (Baudo 1985, Varanasi & Markey 1987, Bryan 1976).

Στα υδάτινα οικοσυστήματα η διαθεσιμότητα και η πρόσληψη των μετάλλων από τους οργανισμούς εξαρτάται από φυσικοχημικούς αλλά και βιολογικούς παράγοντες (Forstner & Wittmann 1981). Οι φυσικοχημικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν όχι μόνο τη διαθεσιμότητα αλλά και τη φυσική και χημική μορφή του ίδιου του ρύπου (Brown et al. 1974, Manson 1981). Σύμφωνα με τους Manson (1981), Forstner και Witman (1983) η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την πρόσληψη βαρέων μετάλλων, σε αντίθεση με την αύξηση της ενεργού οξύτητας (pH) και της σκληρότητας του.

Πολύ σημαντικός παράγοντας ως προς την πρόσληψη των βαρέων μετάλλων από τους οργανισμούς, είναι ο τρόπος λήψης τροφής, ιδίως για ανώτερους οργανισμούς, όπως ψάρια και θηλαστικά (Heath 1990). Τρεις διεργασίες συμβάλουν στην κατηγοριοποίηση των οργανισμών σε σχέση με τη διατροφική τους συμπεριφορά και τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που λαμβάνουν: η βιοσυγκέντρωση, η βιοσυσσώρευση και η βιομεγένθυση (Dallinger et al. 1987, Λυκάκης 1996).

Σύμφωνα με τους Baudo (1981) και Dallinger et al. (1987) **βιοσυγκέντρωση ή συγκέντρωση** νοείται η συσσώρευση των μετάλλων στους οργανισμούς μόνο από το νερό. Ο όρος αποκλείει τη συσσώρευση διαμέσου της τροφής. Ως **βιοσυσσώρευση ή συσσώρευση** αναφέρεται η ικανότητα των υδρόβιων οργανισμών να συσσωρεύουν τα βαρέα μέταλλα από το περιβάλλον με οποιονδήποτε τρόπο. Τέλος ως **βιομεγέθυνση** καλείται η αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου από τα κατώτερα προς τα ανώτερα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας.

Η πρόσληψη μετάλλων από το περιβάλλον μπορεί να προκαλέσει τοξικές επιδράσεις στους οργανισμούς. Η τοξικότητα των μεταλλικών ιόντων και των ενώσεων τους οφείλεται στη δράση τους σε κυτταρικό και μοριακό επίπεδο μετά την απορρόφηση τους από τον οργανισμό. Η δράση τους συνήθως είναι ανταγωνιστική έναντι των ζωτικών ιόντων και μορίων σε κυτταρικές λειτουργίες του μεταβολισμού. Ο βαθμός οξειδωσης των μεταλλικών ιόντων πριν εισέλθουν στον οργανισμό αλλά και μετά την εισροή τους, καθώς και η χημική τους συγγένεια με ορισμένα ζωτικά στοιχεία και ομάδες στο κύτταρο, παίζουν σημαντικό ρόλο στην τοξική τους δράση, η οποία μπορεί να αποβεί ακόμα και μη αντιστρεπτή (Bryan et al. 1987).

Παρόλα αυτά ορισμένα μέταλλα αποτελούν απαραίτητα στοιχεία στο μεταβολικό κύκλο των οργανισμών. Παράδειγμα αποτελεί ο χαλκός (Cu), ο οποίος είναι συστατικό της αιμοκυανίνης στα ασπόνδυλα και συμμετέχει σε πολλά ένζυμα, όπως ο σίδηρος (Fe) και ο ψευδάργυρος (Zn), που αποτελούν επίσης συστατικό πολλών ενζύμων. Μπορούν ακόμα να αποτελούν και δομικά στοιχεία όπως ο ψευδάργυρος (Zn) στις γνάθους των πολύχαιτων *Nereis virens* (Furness & Rainbow 1990, Schmidt-Nielsen 1995).

Κάθε είδος οργανισμού έχει διαφορετική συμπεριφορά απέναντι στη βιολογική δράση του κάθε μετάλλου, η οποία καθορίζει και τις συγκεντρώσεις των

μετάλλων στους ιστούς του. Η συμπεριφορά αυτή σχετίζεται με τους μηχανισμούς απορρόφησης, πρόσληψης και αποθήκευσης ή/και αποβολής των μετάλλων. Οι θαλάσσιοι οργανισμοί έχοντας μηχανισμούς δέσμευσης, μεταφοράς και χρησιμοποίησης των ζωτικών μετάλλων γίνονται περισσότερο ανθεκτικοί σε αυξημένες συγκεντρώσεις των ιδίων των μετάλλων. Στις περιπτώσεις όπου οι συγκεντρώσεις των στοιχείων είναι αυξημένες προκαλούνται φαινόμενα τοξικότητας, ακόμα και αν τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για τον οργανισμό, και οι μηχανισμοί αυτοί εμφανίζουν δυσλειτουργίες ή παύουν να λειτουργούν (Furness & Rainbow 1990).

1.3. Βιολογία του είδους *Holothuria tubulosa*

Το ολοθούριο *Holothuria tubulosa* Gmelin, 1788 (Echinodermata: Holothuroidea) είναι από τα πιο κοινά είδη ολοθουρίων που απαντώνται στη Μεσόγειο και στον Ατλαντικό ωκεανό (Koukouras et al. 2007), και είναι πολύ γνωστό στις ελληνικές θάλασσες. Εμφανίζει μεγάλους πληθυσμούς κυρίως στην



υποπαραλιακή ζώνη, αλλά έχει εντοπιστεί και σε βάθη έως 100 μέτρων (Simunovic & Grubelic 1998).

Είναι ένας επιβενθικός, ιζηματοφάγος οργανισμός, ο οποίος τρέφεται με μη οργανικά θρύμματα και μικροοργανισμούς που βρίσκονται στο ίζημα (Amon & Herndl 1991). Γύρω από το στόμα του εμφανίζει διακλαδισμένους πλόκαμους με τους οποίους προωθεί το ίζημα στο στόμα ή προσλαμβάνει το οργανικό υλικό (Castro & Huber 1999).

Μορφολογικά είναι ακόμα μία παραλλαγή του προτύπου δομής των εχινόδερμων (Castro & Huber 1999). Το σώμα του έχει σακκοειδή μορφή και είναι αμφίπλευρα συμμετρικό. Το επίπεδο συμμετρίας του περνάει από το στόμα και την έδρα που βρίσκονται στα δύο άκρα. Το σώμα του είναι μαλακό, μυώδες και γλοιώδες, χωρίς άκανθες. Μέσα στο δέρμα του υπάρχουν μικροί ασβεστολιθικοί σκληρίτες (Λαζαρίδου & Δημητριάδου 1991).

Η συστηματική κατάταξη του είδους είναι η εξής :

Βασίλειο	Animalia		Kingdom
Φύλο	Echinodermata (Klein, 1734)	Εχινόδερμα	Phylum
Κλάση	Holothuroidea (Blainville, 1834)	Ολοθουροειδή	Class
Τάξη	<u>Aspidochirotea</u> (Brandt, 1835)		Order
Οικογένεια	Holothuriidae (Ludwig, 1894)		Family
Γένος	<i>Holothuria</i> (Linnaeus, 1758)		Genus
Είδος	tubulosa (Gmelin, 1788)		Species

(Intergraded Taxonomic Information System, IT IS, 2010)

Εξωτερικά στο σώμα ξεχωρίζουν οι υδροφορικοί σωλήνες, από τους οποίους τρεις διατρέχουν κατά μήκος την κοιλιακή επιφάνεια με την οποία τα ζώα αυτά είναι ξαπλωμένα, ενώ δύο διατρέχουν τη νωτιαία, κάπως κυρτότερη επιφάνεια. Τα βαδιστικά πόδια εξέρχονται από αυτούς τους σωλήνες. Τα κοιλιακά βαδιστικά πόδια φέρουν μυζητικό δίσκο για την προσκόλληση, ενώ τα νωτιαία που είναι μικρότερα, λειτουργούν ως αισθητήρια φύματα. Το στόμα περιβάλλεται από στοματικές κεραιές που μπορούν να αποτραβιούνται μέσα στο σώμα. Κοντά στην πιο κοντινή κεραία βρίσκεται η γεννητική οπή (Λαζαρίδου & Δημητριάδου 1991).

Τα διάφορα συστήματα: Ο πεπτικός σωλήνας γύρω από τον φάρυγγα φέρει ένα δακτύλιο από ασβεστιτικές πλάκες. Το έντερο, μετά από μία αναδίπλωση, καταλήγει στην κλοάκη, όπου καταλήγει ένα ζεύγος υδροφόρων πνευμόνων που παίζουν το ρολό βραγχίων. Το πεπτικό σύστημα εκτοξεύεται όταν το ζώο ενοχληθεί. Στην περίπτωση αυτή έχει την ικανότητα να το αναγεννήσει σε μερικές μέρες.

Το **υδροφορικό σύστημα** αποτελείται από ένα σύστημα κλειστών σωλήνων που βρίσκονται στο εσωτερικό του σώματος και συγκοινωνούν με το θαλασσινό νερό δια μέσου της μαδρεπορικής πλάκας (Λαζαρίδου 1984). Η πλάκα αυτή βρίσκεται κάτω από το φάρυγγα, στην άκρη του πετρώδη σωλήνα. Ένας κυκλικός σωλήνας περιβάλλει το πρόσθιο τμήμα του πεπτικού σωλήνα. Ο τελευταίος φέρει 1 -50 πέντε αποφύσεις οι οποίες ονομάζονται *κύστεις του Poli*. Τέλος, από τον κυκλικό σωλήνα εκφύονται πέντε ακτινωτοί σωλήνες, από τους οποίους προκύπτουν οι περιστοματικές κεραίες και τα πλευρικά σωληνάκια, συνέχεια των οποίων είναι τα βαδιστικά πόδια (Brusca & Brusca 2003).

Το **αιματικό σύστημα** είναι πολύ ανεπτυγμένο. Η γενική οργάνωσή του είναι όμοια με εκείνη των άλλων εχινόδερμων. Ένας αιματικός δακτύλιος και ακτινωτοί αιματικοί κόλποι είναι παράλληλοι με τον κυκλικό σωλήνα και τους ακτινωτούς σωλήνες του υδροφορικού συστήματος. Το αιματικό σύστημα των ολοθουροειδών χρησιμοποιείται για τη μερική μεταφορά των αερίων και μάλλον παίζει κάποιο ρόλο στην απορρόφηση ή τη μεταφορά τροφής, αλλά η ακριβής λειτουργική του σημασία παραμένει ακόμα αβέβαιη (Carney 2007).

Στη Μεσόγειο το είδος *Holothuria tubulosa* χρησιμοποιείται ως δόλωμα ή ως εξαγόμενο προϊόν προς κατανάλωση. Σε αντίθεση, σε Ασιατικές χώρες, όπως στην Ιαπωνία, θεωρείται γαστρονομική λιχουδιά, αλλά και χρησιμοποιείται ακόμα στην παραδοσιακή και σύγχρονη φαρμακευτική επιστήμη. Γενικά, ακόμη μελετάται η

βιολογική δράση του με ενθαρρυντικά αποτελέσματα για τη θεραπεία φλεγμονωδών παθήσεων. Στο Αιγαίο εκμεταλλεύεται εμπορικά από κάποιες χώρες της Τουρκίας, σε αντίθεση με την Ελλάδα όπου είναι ένα είδος το οποίο δεν έχει διερευνηθεί ιδιαίτερα. Ο μόνος τρόπος χρήσης του είναι ως δόλωμα με αποτέλεσμα την αισθητή μείωση του πληθυσμού στο νότιο τμήμα του Αιγαίου (Kazanidis et al. 2010).

Επειδή εμφανίζει μικρή κινητικότητα, μεγάλους πληθυσμούς, ευκολία στη συλλογή του και κυρίως επειδή είναι ιζηματοφάγο έχει αναφερθεί κατάλληλος ως βιοδείκτης, σε συνδυασμό με το φανερόγαμο *Posidonia oceanica* και τον αχινό *Paracentrotus lividus*, σύμφωνα με το μοντέλο πολλαπλών ειδών βιοδεικτών (Warnau et al. 2006).

1.4. Περιοχή μελέτης

Ο Παγασητικός κόλπος επηρεάζεται ως προς τη ρύπανση σε μεγάλο βαθμό από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και ιδιαίτερα οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στη βιομηχανική πόλη του Βόλου. Οι κύριες πηγές ρύπανσης του Παγασητικού κόλπου είναι οι γεωργικές καλλιέργειες που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή και τα βιομηχανικά ή αστικά λήμματα (Sawidis et al. 2001).

Στην ευρύτερη περιοχή έρευνας γίνεται εντατική καλλιέργεια σιτηρών και βαμβακιού και η χρήση μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων, που είναι πλούσια σε θειούχες και φωσφορικές ενώσεις, επιβαρύνουν τον Παγασητικό κόλπο. Επίσης μία άλλη απομακρυσμένη πηγή ρύπανσης είναι τα νερά της λίμνης Κάρλας που κατά τη διάρκεια του αποστραγγιστικού έργου μεταφέρθηκαν μέσω καναλιών στον κόλπο. Ο σταθμός επεξεργασίας αποβλήτων και η βιομηχανική περιοχή του Βόλου η οποία βρίσκεται 5 km δυτικά της πόλης, αποτελούν σημαντικές πηγές ρύπανσης του Παγασητικού κόλπου (Triantafyllou et al. 2001). Ακόμα και ο τουρισμός, παρά τη θετική του επίδραση στην οικονομία της περιοχής, επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στο

θαλάσσιο περιβάλλον και ενισχύει σε συνδιασμό με όλα τα παραπάνω τη ρύπανση του Παγασητικού κόλπου (Sawidis et al. 2001).

1.5. Σκοπός της παρούσας μελέτης

Η παρούσα μελέτη έχει σαν κύριο στόχο να συμβάλει στην καταγραφή και την κατανόηση της κατανομής των βαρέων μετάλλων στον Παγασητικό κόλπο, στο ίζημα του ενδιαιτήματος και ιδιαίτερα στο βενθικό είδος *H.tubulosa*. Σκοπός της έρευνας είναι τόσο η καταγραφή των συγκεντρώσεων όσο και η μελέτη των μεταβολών των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων λαμβάνοντας υπ' όψιν τοπικές και χρονικές παραμέτρους.

Πέραν αυτού η εργασία δεν επιδιώκει να καταγράψει τα επίπεδα επιβάρυνσης στην περιοχή μελέτης, αλλά να ανιχνεύσει τον πιθανό βαθμό συσσώρευσης των μετάλλων στον οργανισμό και στα επί μέρους τμήματά του, με αντικείμενο μελέτης έναν οργανισμό λιγότερο «δημοφιλή» και ελάχιστα «μελετημένο» από άλλους βενθικούς ασπόνδυλους οργανισμούς.

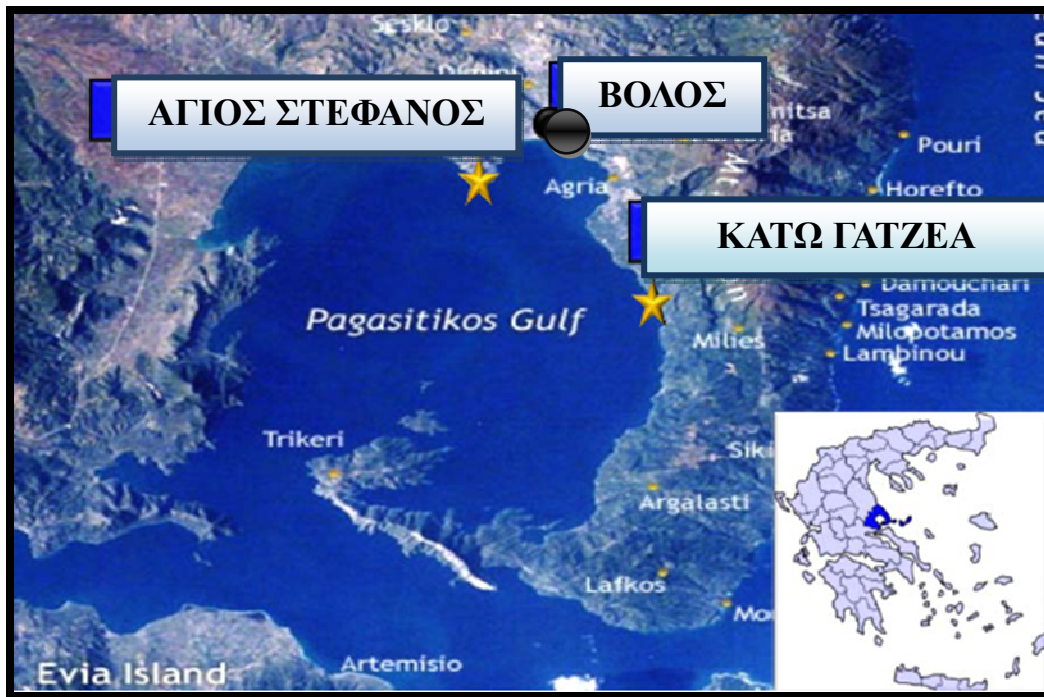
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Δειγματοληψίες

Για την επιλογή των σταθμών δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε μελέτη των περιοχών της ακτογραμμής του Παγασητικού κόλπου. Έγινε επισκόπηση των περιοχών ως προς τους πληθυσμούς του είδους και της μορφολογίας του εδάφους, με αυτόνομη κατάδυση.

Με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν ορίστηκαν δύο σημεία δειγματοληψίας. Η περιοχή Άγιος Στέφανος που βρίσκεται κοντά στην πόλη του Βόλου και στη βιομηχανική περιοχή της με αποτέλεσμα να γίνεται αποδέκτης βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Ακόμη επιλέχθηκε η περιοχή Κάτω Γατζέα που βρίσκεται σε απόσταση 18 χιλιομέτρων, νοτιοανατολικά του πολεοδομικού συγκροτήματος του Βόλου, αλλά βρίσκεται κοντά σε γεωργικές καλλιέργειες και τις θερινές περιόδους αποτελεί τουριστικό θέρετρο, με συνέπεια την αύξηση των αστικών και γεωργικών αποβλήτων. Και οι δύο σταθμοί ήταν εύκολα προσβάσιμοι, με παρόμοιο ανάγλυφο βυθού και μεγάλους πληθυσμούς του είδους. Οι θέσεις των σταθμών δειγματοληψίας παρουσιάζονται στο χάρτη της ευρύτερης περιοχής (Εικ. 2.1.).

Πραγματοποιήθηκαν 14 μηνιαίες δειγματοληψίες (Ιανουάριος 2009 – Φεβρουάριος 2010) με αυτόνομη κατάδυση (SCUBA), σε βάθη από 1 μέχρι 6 μέτρα. Σε κάθε δειγματοληψία και από κάθε σταθμό συλλέχθηκαν 6 τυχαία άτομα του είδους *Holothuria tubulosa* από τον πληθυσμό. Ακόμα συλλέχθηκαν τρία δείγματα επιφανειακού ιζήματος από την ευρύτερη περιοχή. Μετά τη συλλογή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε μέτρηση *in situ* των χαρακτηριστικών του νερού όπως η αλατότητα, η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο και η ενεργός οξύτητα, με τη χρήση αυτογραφικού οργάνου CTD της εταιρείας Sea – bird (Εικ. 2.2.).



Ει

κόνα 2.1. Οι θέσεις των σταθμών δειγματοληψίας παρουσιάζονται στο χάρτη της ευρύτερης περιοχής



Εικόνα 2.2. Αυτογραφικό όργανο CTD

Το αποτέλεσμα των μετρήσεων ήταν κάθετες σημειακές τομές των παραπάνω παραμέτρων. Το όργανο συνδέθηκε με ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου μεταφέρθηκαν τα αρχεία των μετρήσεων για περαιτέρω διόρθωση, ανάλυση και επεξεργασία, (<http://biomon-net.web.auth.gr/gr/object.htm>).

2.2. Προετοιμασία δειγμάτων

2.2.1. Ιζήματα

Από κάθε σταθμό και σε κάθε δειγματοληψία, συλλέχθηκαν 3 υποδείγματα ιζήματος σε βάθος 2 εκατοστών από την επιφάνεια με τη βοήθεια πλαστικών πυρηνοδειγματοληπτών. Τοποθετήθηκαν μέσα σε πλαστικές σακούλες (πλυμένες με διάλυμα 10% νιτρικού οξέος). Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο μέσα σε φορητά ψυγεία με πάγο, για να αποφευχθούν τυχόν αλλοιώσεις, και επεξεργάστηκαν άμεσα. Τα τρία επιμέρους δείγματα αναμίχθηκαν και αποξηράθηκαν στους 50 °C για 48 h. Μετά την ξήρανση κονιορτοποιήθηκαν με πορσελάνινο γουδί 2 - 3 gr ξηρού ιζήματος και κοσκινίστηκαν με κόσκινο, με άνοιγμα οπής 0,47μm. Τέλος αποθηκεύτηκαν σε πλαστικά, αριθμημένα δοχεία (πλυμένα με διάλυμα 10% νιτρικού οξέος).

2.2.2. Βιολογικό δείγμα

Από κάθε σταθμό και σε κάθε δειγματοληψία, συλλέχθηκαν 6 τυχαία άτομα. του είδους από τον πληθυσμό. Η μεταφορά τους στο χώρο επεξεργασίας, έγινε σε κλειστό δοχείο σταθερού όγκου 35 l γεμάτο με θαλασσινό νερό και η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε εντός 3 h από τη δειγματοληψία.

Από το κάθε άτομο απομονώθηκαν τρία μέρη του σώματος του: το σωματικό τοίχωμα, το πεπτικό και το αιματικό σύστημα (Εικ. 2.3.).



Εικόνα 2.3. Α) ολόκληρο άτομο με εκτεθειμένα τα εσωτερικά του όργανα Β) σωματικό τοίχωμα Γ) πεπτικό σύστημα (διακρίνεται το αιματικό σύστημα του ατόμου) Δ) αιματικό σύστημα

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην απομόνωση του ιζήματος από το έντερο, έτσι ώστε να μην παραμείνουν υπολείμματα ιζήματος στον ιστό. Το ίζημα του εντέρου αποξηράνθηκε και επεξεργάστηκε όπως το ίζημα περιοχής. Από κάθε μέρος του σώματος, του κάθε ατόμου, μετρήθηκε το υγρό βάρος, σε ζυγό ακριβείας. Τα δείγματα αποξηράνθηκαν στους 100°C για 48 h. Μετά τη ξήρανση μετρήθηκε ξανά το βάρος τους (ξηρό βάρος) για υπολογισμό του ποσοστού υγρασίας. Τα δείγματα κονιορτοποιήθηκαν με πορσελάνινο γουδί και κοσκινίστηκαν με κόσκινο, με άνοιγμα

οπής 0, 47 μ m. Στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν σε προπλυμένα με 10% διάλυμα νιτρικού οξέος, πλαστικά αριθμημένα δοχεία.

2.3. Πέψη

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η θέρμανση με μικροκύματα σε κλειστά δοχεία, με πυκνά οξέα, τόσο για το οργανικό όσο και για το ανόργανο υλικό.

2.3.1. Υγρή πέψη με μικροκύματα

Η πέψη με μικροκύματα σε κλειστά δοχεία είναι μία από τις πιο σύγχρονες μεθόδους. Η διαλυτοποίηση οργανικών και μη οργανικών δειγμάτων επιτυγχάνεται με χρήση πυκνών οξέων, όπως HCl και HNO₃, σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 180 °C και σε πιέσεις 60 με 180 bar. Τα μικροκύματα θερμαίνουν μόνο το υγρό διάλυμα των δοχείων ενώ οι ατμοί που δημιουργούνται, βρίσκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το υγρό διάλυμα και συμπυκνώνονται στα τοιχώματα των δοχείων. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι **α)** η επίτευξη χώνευσης και στα πιο δύσκολα δείγματα **β)** δε χρειάζονται μεγάλες ποσότητες δείγματος, **γ)** δεν επιμολύνονται τα δείγματα λόγω απομόνωσης από το περιβάλλον του εργαστηριακού χώρου και **δ)** δε χάνονται τα ιχνοστοιχεία (Bettinelli et al. 2000).

2.3.2. Επεξεργασία δειγμάτων

2.3.2.1. Ιζήματα και Ιστοί

Για την επεξεργασία των δειγμάτων επιλέχθηκε η μέθοδος της υγρής χώνευσης με μικροκύματα. Ζυγίστηκαν 0,5 g από το κάθε δείγμα ιζήματος και ιστού, τοποθετήθηκαν σε κλειστά δοχεία και στη συνέχεια προστέθηκαν 9 ml πυκνού νιτρικού οξέος HNO₃ (65%) και 3 ml πυκνού υδροχλωρικού οξέος HCl (37%) σύμφωνα με τη μέθοδο EPA 3051^a για τα ιζήματα. Για τους ιστούς, σε κάθε δοχείο, προστέθηκαν 9 ml πυκνού υδροχλωρικού οξέος HNO₃ (65%) και 4 ml πυκνού υδροχλωρικού οξέος HCl (37%) σύμφωνα με τη μέθοδο EPA 3052^a, της Επιτροπής

Προστασίας Περιβάλλοντος της Αμερικής (Environmental Protection Agency,) Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε κατάλληλη εργαστηριακή μονάδα (Microwave 3000, Sample Preparation System, Anton Paar, Microwave Reaction System Perkin Elmer) του Τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Εικ. 2.4.).

Η διαδικασία της χώνευσης πραγματοποιήθηκε για το σωματικό τοίχωμα των ατόμων κάθε εποχής, ενώ για το αιματικό και πεπτικό σύστημα έγινε χώνευση μόνο στα άτομα που συλλέχθηκαν την άνοιξη του 2009, όπως και στα ιζήματα περιοχής και εντέρου που συλλέχθηκαν την ίδια περίοδο.

Τα δείγματα των ιζημάτων και των ιστών δέχθηκαν περαιτέρω επεξεργασία. Μετά το πέρας της χώνευσης τα εναπομείναντα διαλύματα μεταφέρθηκαν σε ποτήρια ζέσεως (πλυμένα με διάλυμα 10% νιτρικού οξέος), των 50 ml. Στη συνέχεια αραιώθηκαν μέχρι τον επιθυμητό όγκο (50 ml) με διπλά αποσταγμένο νερό. Τα αραιωμένα δείγματα διηθήθηκαν με φίλτρα σύριγγας με άνοιγμα πόρου 0,45μm, για να αποφευχθεί η παραμονή υπολειμμάτων στο διάλυμα. Στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν μέσα σε πλαστικά φιαλίδια, των 50 ml, τύπου Falcon και διατηρήθηκαν σε ψυγείο, στους 4 °C.

2.4. Μέθοδος ανάλυσης

2.4.1. Ατομοποίηση με φλόγα

Η φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης (ΦΑΑ) βασίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης ακτινοβολίας χαρακτηριστικού μήκους κύματος από ελεύθερα ουδέτερα άτομα ενός στοιχείου που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση. Η διέγερση των ατόμων γίνεται με απορρόφηση ακτινοβολίας, η οποία παράγεται από μία εξωτερική πηγή και διαβιβάζεται μέσα από το νέφος των ατόμων. Η ενέργεια που παρέχεται αντιστοιχεί σε αυτή που απαιτείται για μία ηλεκτρονική μετάπτωση από τη

θεμελιώδη κατάσταση σε μία διεγερμένη κατάσταση. Στη ΦΑΑ ενδιαφέρει ο αριθμός των ατόμων στη θεμελιώδη κατάσταση, ο οποίος αντιπροσωπεύει την πλειονότητα των ατόμων μέσα στη φλόγα (Παπαδογιάννης 1994).

Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης του οίκου Perkin Elmer AAnalyst 400 με φλόγα αέρα ακετυλενίου, του Τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Εικ. 2.5.).



Εικόνα 2.4. Microwave 3000, Sample Preparation System, Anton Paar, Microwave Reaction System Perkin Elmer
<http://www.anton-paar.com>



Εικόνα 2.5. Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης του οίκου Perkin Elmer AAnalyst 400 με φλόγα αέρα ακετυλενίου
<http://las.perkinelmer.com/>

Η ανάλυση των βαρέων μετάλλων μολύβδου (Pb), χαλκού (Cu) και νικελίου (Ni) πραγματοποιήθηκε για το σωματικό τοίχωμα των ατόμων κάθε εποχής, ενώ για το αιματικό και πεπτικό σύστημα των ατόμων που συλλέχθηκαν την άνοιξη του 2009 έγινε ανάλυση των μετάλλων ψευδαργύρου (Zn) και χαλκού (Cu), για κάθε μήνα, όπως και για το σωματικό τοίχωμα των ατόμων, τα ιζήματα περιοχής και εντέρου εκείνης της εποχής.

2.5. Στατιστική επεξεργασία δεδομένων

Οι μετρήσεις από κάθε δειγματοληψία καταχωρήθηκαν σε φύλλα του λογιστικού προγράμματος Microsoft Excel 2007 ενώ για την περαιτέρω στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SPSS17.

Για τη σύγκριση της κατανομής των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων ανάμεσα στις πέντε διαφορετικές χρονικές περιόδους που διήρκεσε η μελέτη (χειμώνας 2009, άνοιξη 2009, καλοκαίρι 2009, φθινόπωρο 2009 και χειμώνας 2010) χρησιμοποιήθηκε η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (oneway Anova) ενώ για τις επιμέρους συγκρίσεις μεταξύ των εποχών χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία Tukey (Zar 1996).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Αβιοτικές παράμετροι του νερού

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των αβιοτικών παραμέτρων του νερού, για κάθε έναν από τους σταθμούς δειγματοληψίας Άγιος Στέφανος (Σ1) και Κάτω Γατζέα (Σ2), παρουσιάζονται, στους Πίνακες 3.1. και 3.2. αντίστοιχα.

Πίνακας 3.1.: Αποτελέσματα των μετρήσεων των αβιοτικών παραμέτρων του νερού στο σταθμό Σ1.

Σ1	Θερ (°C)	Αλατ.(psu)	Δ.Ο.(mg/l)	pH
Μέγιστο	28,28	38,34	6,84	8,43
Ελάχιστο	13,27	36,12	2,04	8,26
Μέση τιμή	19,10	37,34	4,71	8,31
Τυπική απόκλιση	5,20	0,77	1,65	0,05

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιηθήκαν στο σταθμό Σ1, η ελάχιστη θερμοκρασία (13,27 °C) καταγράφηκε το μήνα Φεβρουάριο και η μέγιστη (28,28 °C) τον Αύγουστο, ενώ η αλατότητα και το διαλυμένο οξυγόνο εμφάνισαν τις μέγιστες τιμές τους (38,34 psu – 6,84 mg/l) το Φεβρουάριο και τις ελάχιστες (36,12 psu – 2,04 mg/l) τον Ιούλιο. Το pH είχε κατώτερη τιμή (8,26) τον Ιούνιο και τον Ιούλιο και ανώτερη τον Ιανουάριο (8,43).

Πίνακας 3.2.: Αποτελέσματα των μετρήσεων των αβιοτικών παραμέτρων του νερού στο σταθμό Σ2.

Σ2	Θερ (°C)	Αλατ.(psu)	Δ.Ο.(mg/l)	pH
Μέγιστο	27,92	38,46	7,02	8,41
Ελάχιστο	13,13	36,18	2,41	8,23
Μέση τιμή	19,42	37,34	4,38	8,30
Τυπική απόκλιση	5,04	0,80	1,63	0,06

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιηθήκαν στο σταθμό Σ2, η ελάχιστη θερμοκρασία (13,13 °C) καταγράφηκε το μήνα Ιανουάριο και η μέγιστη (27,92 °C) τον Αύγουστο. Η αλατότητα εμφάνισε μέγιστη τιμή το Μάρτιο, (38,46 psu) και ελάχιστη τιμή τον Ιούλιο (36,18 psu) Το διαλυμένο οξυγόνο εμφάνισε μέγιστη τιμή (7,02 mg/l) τον Ιανουάριο και ελάχιστη τιμή (2,41 mg/l) το μήνα Ιούλιο. Το pH παρουσίασε κατώτερη τιμή (8,23) τον Ιούλιο και το Φεβρουάριο ανώτερη τιμή (8,41)

3.2. Ξηρό βάρος σωματικού τοιχώματος

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μέσων τιμών του ξηρού βάρους των σωματικών τοιχωμάτων του ολοθουρίου *H. tubulosa*, εποχικά και ανά σταθμό δειγματοληψίας, όπως και η περιεκτικότητα του νερού παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3..

Η υψηλότερη περιεκτικότητα νερού στο σωματικό τοίχωμα ήταν 86,5 % και σημειώθηκε το φθινόπωρο 2009, ενώ η ελάχιστη που σημειώθηκε ήταν 82,6 % το φθινόπωρο του 2009 και το χειμώνα του 2010. Και οι δύο ακραίες τιμές παρατηρήθηκαν στο σταθμό δειγματοληψίας Σ1.

Πίνακας 3.3.: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μέσων τιμών του ξηρού βάρους των σωματικών τοιχωμάτων του ολοθουρίου *H. tubulosa*, εποχικά και ανά σταθμό δειγματοληψίας, όπως και η περιεκτικότητα του νερού στα σωματικά τοιχώματα (βάρος g).

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΕΥΡΟΣ	%ΝΕΡΟ
ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2009	(Σ1)*	16,6±3,9	24,33	11,9	12,4	84,2 ±1,4
	(Σ2)*	14,2±2,9	18,85	9,97	8,8	83,2±2,1
ΑΝΟΙΞΗ 2009	(Σ1)*	15,8±4	23,06	10,04	13	84,6±2
	(Σ2)*	14,8±6,2	23,82	4,58	19,2	86,1±1,8
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 2009	(Σ1)*	16,4±3,1	22,88	12,35	10,5	85,1±2,9
	(Σ2)*	15,8±3,1	20,16	11,48	8,7	86,3±2,2
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ 2009	(Σ1)*	17,9±3,2	25,64	15,35	10,3	82,6±3,1
	(Σ2)*	14,6±3,3	20,51	9,51	11	86,5±2,5
ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2010	(Σ1)*	15,3±2,8	20,51	10,65	9,9	82,6±1,5
	(Σ2)*	19,2±5,2	26,8	8,33	18,5	85,4±3,2
*Όπου (Σ1) = ΑΓΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ & (Σ2)= ΚΑΤΩ ΓΑΤΖΕΑ						

3.3. Ξηρό βάρος των διαφόρων τμημάτων του σώματος

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μέσων τιμών του ξηρού βάρους των τμημάτων του σώματος του ολοθουρίου *H. tubulosa*, μηνιαία και ανά σταθμό δειγματοληψίας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η ποσοστιαία περιεκτικότητα του νερού όπως υπολογίστηκε σε κάθε τμήμα.

Η μέγιστη τιμή της περιεκτικότητας νερού στο σωματικό τοίχωμα ήταν 86,4%, ενώ του πεπτικού συστήματος ήταν 94,6% και του αιματικού συστήματος 91,7%. Η υψηλότερη τιμή περιεκτικότητας σε νερό που παρατηρήθηκε ήταν στο πεπτικό σύστημα τους μήνες Μάρτιο και Μάιο, στα σημεία δειγματοληψίας Σ2 και Σ1 αντίστοιχα.

Τα άτομα με το μεγαλύτερο ξηρό βάρος σωματικού τοιχώματος παρατηρήθηκαν το μήνα Μάρτιο στο Σ1 σταθμό δειγματοληψίας, με μέση τιμή 17,2 g, ενώ τα άτομα με μικρότερο ξηρό βάρος σωματικού τοιχώματος παρατηρήθηκαν το μήνα Απρίλιο, στο Σ1 σταθμό δειγματοληψίας με μέση τιμή 10,9g. Τα άτομα με το μεγαλύτερο ξηρό βάρος αιματικού συστήματος παρατηρήθηκαν το μήνα Μάρτιο, στο Σ1 σταθμό δειγματοληψίας, με μέση τιμή 2,6 g, ενώ τα άτομα με μικρότερο ξηρό βάρος σωματικού τοιχώματος παρατηρήθηκαν το μήνα Απρίλιο, στο Σ1 σταθμό δειγματοληψίας με μέση τιμή 0,6 g. Το μέγιστο βάρος πεπτικού συστήματος με μέση τιμή 0,8g παρατηρήθηκε το μήνα Μάρτιο, στο Σ1 σταθμό δειγματοληψίας, ενώ το ελάχιστο σημειώθηκε στο Σ2 σταθμό δειγματοληψίας, το μήνα Απρίλιο.

Πίνακας 3.4.: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μέσων τιμών του ξηρού βάρους των τμημάτων του σώματος του ολοθουρίου *H. tubulosa*, μηνιαία και ανά σταθμό δειγματοληψίας, όπως και η περιεκτικότητα του νερού σε κάθε τμήμα του σώματος (ξηρό βάρος (g) των τμημάτων του σώματος (νερό%) (n=6)).

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΣΩΜΑΤΙΚΟ ΤΟΙΧΩΜΑ	ΑΙΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΠΕΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ
ΜΑΡΤΙΟΣ 2009	(Σ1)*	17,2±5.7(84,8±1.0)	2,6±2,4(88,8±5,3)	0,8±0,3(91,9±2,9)
	(Σ2)*	14,1±5,3(86,4±2,4)	1,2±0,9(90,2±3,4)	0,6±0,1(94,6±0,9)
ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2009	(Σ1)*	10,9±1,5(85,4±2,1)	0,6±0,1(89,9±1,7)	0,5± 0,4(92,2±5,1)
	(Σ2)*	14, 4±5, 5(85, 8±3, 2)	1, 1± 0, 3(90, 6±5, 1)	0, 4±0, 1(91±1, 5)
ΜΑΙΟΣ 2009	(Σ1)*	16, 7±3, 3(85, 6±0, 5)	0, 7± 0, 1(91, 7±0, 8)	0, 42± 0, 2(94, 6±2, 2)
	(Σ2)*	14, 2±2, 5(84, 7±1, 3)	1, 2± 0, 5(84, 7±3, 7)	0, 46±0, 1(92, 8±1, 0)
*Όπου (Σ1) = ΑΓΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ & (Σ2)= ΚΑΤΩ ΓΑΤΖΕΑ				

3.4. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο σωματικό τοίχωμα του ολοθουρίου

Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων μολύβδου (Pb), χαλκού (Cu) και νικελίου (Ni) στα διάφορα τμήματα του σώματος του *H. tubulosa*, εποχικά και ανά σταθμό δειγματοληψίας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5..

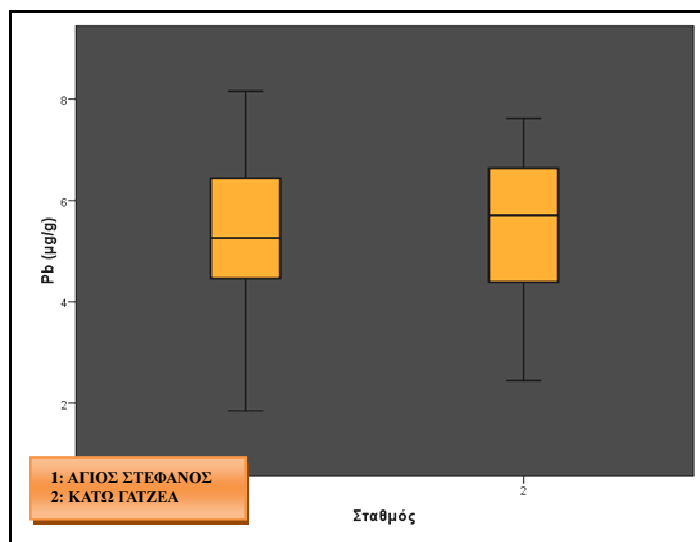
Πίνακας 3.5.: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων Ψευδαργύρου (Zn) και Cu στα διάφορα τμήματα του σώματος του ολοθουρίου *H. tubulosa*, εποχικά και ανά σταθμό δειγματοληψίας ((ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ \pm ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ, $\mu\text{g} / \text{g}$ ξηρού βάρους) στο σωματικό τοίχωμα του *H.tubulosa*)).

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	Pb	Cu	Ni
ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2009	(Σ1)*	4,8 \pm 1,4	3,6 \pm 0,7	2,3 \pm 0,7
	(Σ2)*	5,5 \pm 1,6	3,1 \pm 1,2	3 \pm 0,8
ΑΝΟΙΞΗ 2009	(Σ1)*	5,7 \pm 2,1	4,5 \pm 2,4	2,7 \pm 0,9
	(Σ2)*	4,5 \pm 1,3	3 \pm 1,6	2,4 \pm 0,9
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 2009	(Σ1)*	6,3 \pm 2,7	4,6 \pm 2,2	3,7 \pm 1,6
	(Σ2)*	4,9 \pm 1,2	2,9 \pm 1,5	3,2 \pm 0,9
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ 2009	(Σ1)*	4,6 \pm 0,8	3,4 \pm 1,5	4,8 \pm 1,6
	(Σ2)*	6,8 \pm 1,9	2,8 \pm 1,4	3,1 \pm 0,4
ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2010	(Σ1)*	6,3 \pm 1,2	4,5 \pm 1,8	3,2 \pm 0,7
	(Σ2)*	6,5 \pm 0,7	4,2 \pm 1,8	3,8 \pm 0,4
*Όπου (Σ1) = ΑΓΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ & (Σ2)= ΚΑΤΩ ΓΑΤΖΕΑ				

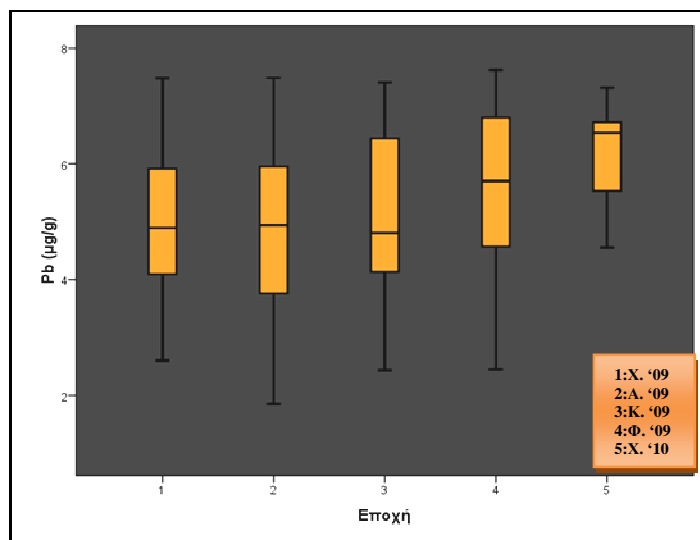
Τα άτομα με την υψηλότερη μέση τιμή **συγκέντρωσης μολύβδου (Pb)**, στο σωματικό τους τοίχωμα, παρατηρήθηκαν στο σταθμό δειγματοληψίας Σ2 το

φθινόπωρο 2009, με μέση τιμή 6,8 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους και τη χαμηλότερη τιμή 4,5 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους την άνοιξη, στο Σ2.

Το Σχήμα 3.1. παρουσιάζει τις συγκεντρώσεις του μολύβδου (Pb) ομαδοποιημένες σύμφωνα με το σταθμό δειγματοληψίας. Παρατηρείται ότι, μεταξύ των συγκεντρώσεων που ανιχνεύτηκαν, δεν εμφανίστηκε διαφοροποίηση μεταξύ των δύο σημείων δειγματοληψίας. Αντίθετα τα ομαδοποιημένα δεδομένα ως προς την εποχή δειγματοληψίας, του Σχήματος 3.2. έδωσαν μία ευκρινή διαφοροποίηση μεταξύ των εποχών που παρακάτω εξετάζεται κατά πόσο στατιστικώς σημαντική ήταν αυτή η διαφοροποίηση που προέκυψε.



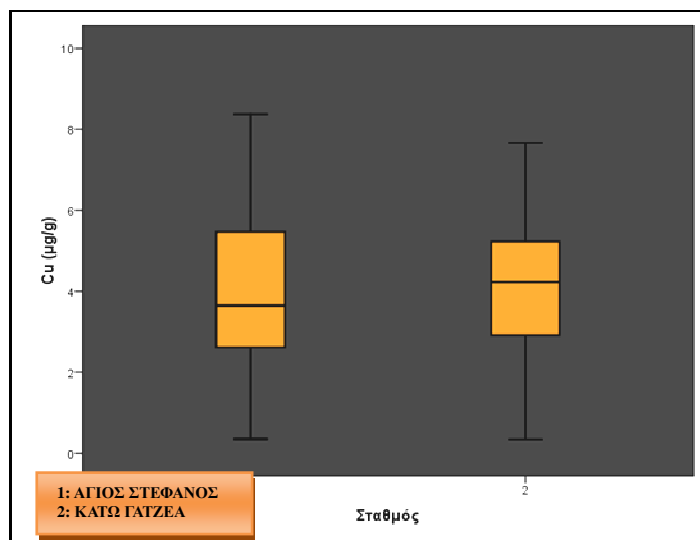
Σχήμα 3.1: Θηκόγραμμα της συγκέντρωσης του Pb ($\mu\text{g/g}$) για κάθε σταθμό δειγματοληψίας.



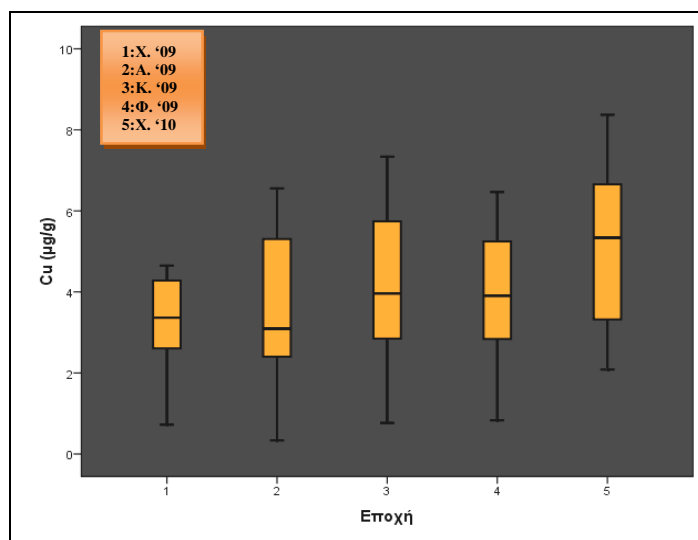
Σχήμα 3.2.: Θηκόγραμμα της συγκέντρωσης του Pb (µg/g) για κάθε εποχή.

Τα άτομα με την υψηλότερη μέση τιμή **συγκέντρωσης χαλκού (Cu)**, στο σωματικό τους τοίχωμα, παρατηρήθηκαν στο σταθμό δειγματοληψίας Σ1 το καλοκαίρι 2009, με μέση τιμή 4,6 µg/g ξηρού βάρους και τη χαμηλότερη τιμή 2,8 µg/g ξηρού βάρους το φθινόπωρο, στο Σ2.

Το Σχήμα 3.3. παρουσιάζει τις συγκεντρώσεις του χαλκού (Cu) ομαδοποιημένες σύμφωνα με το σταθμό δειγματοληψίας. Εύκολα παρατηρείται ότι, μεταξύ των συγκεντρώσεων που ανιχνεύτηκαν, δεν εμφανίστηκε διαφοροποίηση μεταξύ των δύο σημείων δειγματοληψίας. Αντίθετα τα ομαδοποιημένα δεδομένα ως προς την εποχή δειγματοληψίας, του Σχήματος 3.4. έδωσαν μία ευκρινή διαφοροποίηση μεταξύ των εποχών που παρακάτω εξετάζεται κατά πόσο στατιστικώς σημαντική ήταν αυτή η διαφοροποίηση που προέκυψε.



Σχήμα 3.3.: Θηκόγραμμα της συγκέντρωσης του Cu (µg/g) για κάθε σταθμό δειγματοληψίας.

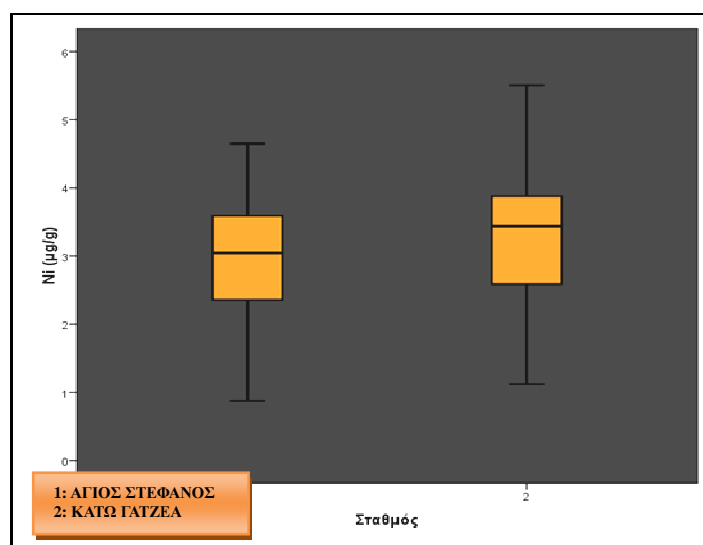


Σχήμα 3.4.: Θηκόγραμμα της συγκέντρωσης του Cu (µg/g) για κάθε εποχή.

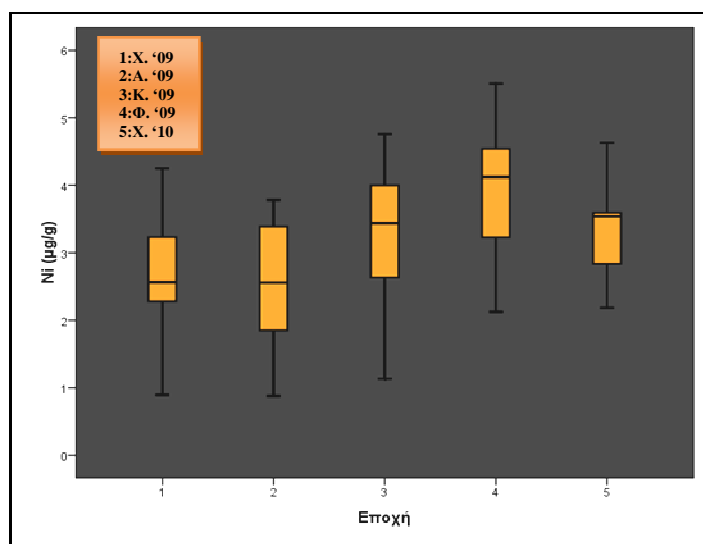
Τα άτομα με την υψηλότερη μέση τιμή **συγκέντρωσης νικελίου (Ni)**, στο σωματικό τους τοίχωμα, παρατηρήθηκαν στο σταθμό δειγματοληψίας Σ1 το φθινόπωρο 2009, με μέση τιμή 4,8 µg/g ξηρού βάρους και τη χαμηλότερη τιμή 2,3 µg/g ξηρού βάρους το χειμώνα 2009, στο Σ1.

Το Σχήμα 3.5. παρουσιάζει τις συγκεντρώσεις του νικελίου (Ni) ομαδοποιημένες σύμφωνα με το σταθμό δειγματοληψίας. Εύκολα παρατηρείται ότι,

μεταξύ των συγκεντρώσεων που ανιχνεύτηκαν, δεν εμφανίστηκε διαφοροποίηση μεταξύ των δύο σημείων δειγματοληψίας. Αντίθετα τα ομαδοποιημένα δεδομένα ως προς την εποχή δειγματοληψίας, του Σχήματος 3.6. έδωσαν μία ευκρινή διαφοροποίηση μεταξύ των εποχών που παρακάτω εξετάζεται κατά πόσο στατιστικώς σημαντική ήταν αυτή η διαφοροποίηση που προέκυψε.



Σχήμα 3.5.: Θηκόγραμμα της συγκέντρωσης του Ni (μg/g) για κάθε σταθμό δειγματοληψίας



Σχήμα 3.6.: Θηκόγραμμα της συγκέντρωσης του Ni (μg/g) για κάθε εποχή.

Η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης, που εφαρμόστηκε στις τιμές συγκέντρωσης μολύβδου (Pb) στο σωματικό τοίχωμα του *H. tubulosa*, δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις πέντε εποχές που εξετάστηκε (Πιν. 3.6.).

Πίνακας 3.6. Μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA) των συγκεντρώσεων του Pb στο σωματικό τοίχωμα για τις πέντε εποχές μελέτης.

Συγκέντρωση		Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Λόγος (F)	Πιθανότητα (P)
Pb	Μεταξύ ομάδων	22,360	4	5,590	0,113
	Εντός ομάδων	231,662	80	2,896	
	Σύνολο	254,023	84		

Η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης, που εφαρμόστηκε στις τιμές συγκέντρωσης χαλκού (Cu) στο σωματικό τοίχωμα του *H. tubulosa*, ανέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις πέντε εποχές που εξετάστηκε (Πιν. 3.7.).

Πίνακας 3.7. Μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA) συγκεντρώσεων του Cu στο σωματικό τοίχωμα για τις πέντε εποχές μελέτης.

Συγκέντρωση		Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Λόγος (F)	Πιθανότητα (P)
Cu	Μεταξύ ομάδων	37,806	4	9,451	0,016
	Εντός ομάδων	233,906	80	2,924	
	Σύνολο	271,712	84		

Η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης, που εφαρμόστηκε στις τιμές συγκέντρωσης νικελίου (Ni) στο σωματικό τοίχωμα του *H. tubulosa*, ανέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις πέντε εποχές που εξετάστηκε (Πιν. 3.8.).

Πίνακας 3.8. Μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA) των συγκεντρώσεων του Ni στο σωματικό τοίχωμα για τις πέντε εποχές μελέτης.

Συγκέντρωση		Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Λόγος (F)	Πιθανότητα (P)
Ni	Μεταξύ ομάδων	26,087	4	6,453	0,000
	Εντός ομάδων	80,851	80		
	Σύνολο	106,938	84		

Με τη χρήση της μεθόδου ανάλυσης διασποράς (one-way ANOVA, Tukey HSD-test) ερευνήθηκε η σημαντικότητα των διαφορών μεταξύ των εποχών για κάθε μέταλλο. Το νικέλιο (Ni) έδειξε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ του χειμώνα του 2009 και του φθινοπώρου του 2009, της άνοιξης του 2009 και του καλοκαιριού του 2009 και τέλος μεταξύ της άνοιξης του 2009 και του φθινοπώρου του 2009. Ο χαλκός (Cu) έδειξε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των εποχικών περιόδων του χειμώνα του 2009 με το χειμώνα του 2010 και της άνοιξης του 2009 με το χειμώνα του 2010. Τέλος ο μόλυβδος (Pb) δεν έδειξε στατιστικώς σημαντικές διαφορές (Πιν. 3.9.).

Πίνακας 3.9. Πολλαπλές παραμετρικές συσχετίσεις κατά τη δοκιμασία Tukey μεταξύ των εποχών (χειμώνας 2009, άνοιξη 2009, καλοκαίρι 2009, φθινόπωρο 2009) για κάθε μέταλλο.
*. Οι διαφορές ισχύουν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.05$

Tukey HSD				
	ΕΠΟΧΗ	ΕΠΟΧΗ	Πιθανότητα(P)	
Ni	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2009	ΑΝΟΙΞΗ	ΜΣ*	
		ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΜΣ*	
		ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	0,003	
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2010	ΜΣ*	
	ΑΝΟΙΞΗ 2009	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	0,042	
		ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	0,000	
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2010	ΜΣ*	
	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 2009	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	ΜΣ*	
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2010	ΜΣ*	
	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ 2009	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2010	ΜΣ*	
	Cu	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2009	ΑΝΟΙΞΗ	ΜΣ*
			ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΜΣ*
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ			ΜΣ*	
ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2010			0,0015	
ΑΝΟΙΞΗ 2009		ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΜΣ*	
		ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	ΜΣ*	
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2010	0,033	
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 2009		ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	ΜΣ*	
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2010	ΜΣ*	
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ 2009		ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2010	ΜΣ*	
*Όπου (ΜΣ) = Μη Σημαντικό				

3.5. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα διάφορα τμήματα του σώματος

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μέσων τιμών των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων ψευδαργύρου (Zn) και χαλκού (Cu) στα διάφορα τμήματα του σώματος του ολοθουρίου *H. tubulosa*, μηνιαία και ανά σταθμό δειγματοληψίας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.10..

Τα άτομα με την υψηλότερη μέση τιμή **συγκέντρωσης ψευδαργύρου (Zn)**, στο σωματικό τους τοίχωμα, παρατηρήθηκαν στο σταθμό δειγματοληψίας Σ1 το Μάιο με μέση τιμή 18,1 μg/g ξηρού βάρους και τη χαμηλότερη τιμή 14,8 μg/g ξηρού βάρους το Μάρτιο, στο Σ2. Με την υψηλότερη τιμή 40,5 μg/g ξηρού βάρους στο αιματικό τους σύστημα παρατηρήθηκαν άτομα το Μάιο, στο Σ1 και τη χαμηλότερη το Μάρτιο, στο Σ1, με μέση τιμή συγκέντρωσης 22,4 μg/g. Στο πεπτικό σύστημα παρατηρήθηκαν και οι δύο ακραίες μέσες τιμές το μήνα Απρίλιο, με μέγιστη 25,7 μg/g ξηρού βάρους και ελάχιστη 35,7 μg/g, στα Σ2 και Σ1 αντίστοιχα.

Τα άτομα με την υψηλότερη μέση τιμή **συγκέντρωσης χαλκού (Cu)**, στο σωματικό τους τοίχωμα, παρατηρήθηκαν στο σταθμό δειγματοληψίας Σ1 το Μάρτιο με μέση τιμή 1,4 μg/g ξηρού βάρους και τη χαμηλότερη τιμή 3,6 μg/g ξηρού βάρους το Μάρτιο, στο Σ2. Με την υψηλότερη τιμή 4,4 μg/g ξηρού βάρους στο αιματικό τους σύστημα παρατηρήθηκαν άτομα το Μάρτιο, στο Σ2 και τη χαμηλότερη το Μάιο, στο Σ2, με μέση τιμή συγκέντρωσης 3,2 μg/g. Στο πεπτικό σύστημα παρατηρήθηκαν και οι δύο ακραίες μέσες τιμές στο Σ1, με μέγιστη 5,7 μg/g ξηρού βάρους και ελάχιστη 3,7 μg/g, τον Απρίλιο και το Μάιο αντίστοιχα.

Πίνακας 3.10.: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μέσων τιμών των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων Zn και Cu στα διάφορα τμήματα του σώματος του ολοθουρίου *H. tubulosa*, μηνιαία και ανά σταθμό δειγματοληψίας (ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ±ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ, μg /g ξηρού βάρους).

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	Zn	Cu
<u>A. ΣΩΜΑΤΙΚΟ ΤΟΙΧΩΜΑ</u>			
ΜΑΡΤΙΟΣ 2009	(Σ1)*	15,6±3	1,4±0,2
	(Σ2)*	14,8±2,4	3,6±0,1
ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2009	(Σ1)*	15,3±3,9	3,5±0,4
	(Σ2)*	16,4±2,2	2,7±0,4
ΜΑΙΟΣ 2009	(Σ1)*	18,1±0,4	2,6±1,1
	(Σ2)*	17,5±1,3	2,1±0,3
<u>B. ΑΙΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ</u>			
ΜΑΡΤΙΟΣ 2009	(Σ1)*	22,4±1,1	4±1,4
	(Σ2)*	32,7±6,9	4,4±0,8
ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2009	(Σ1)*	32±4,2	3,7±0,1
	(Σ2)*	30, 1±6, 4	3, 5±0, 3
ΜΑΙΟΣ 2009	(Σ1)*	40, 5±0, 2	3, 4±0, 9
	(Σ2)*	36, 7±5, 3	3, 2±0, 7
<u>Γ. ΠΕΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ</u>			
ΜΑΡΤΙΟΣ 2009	(Σ1)*	29, 3±1, 2	4, 6±1, 2
	(Σ2)*	33, 4±2, 9	4, 2±1
ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2009	(Σ1)*	35, 7±1, 1	5, 7±1, 6
	(Σ2)*	25, 7±1, 1	5±0, 2
ΜΑΙΟΣ 2009	(Σ1)*	28,7±3,3	3,7±1,4
	(Σ2)*	30,7±4,6	4±1,1
*Όπου (Σ1) = ΑΓΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ & (Σ2)= ΚΑΤΩ ΓΑΤΖΕΑ			

3.6. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα ιζήματα περιοχής και εντέρου

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μέσων τιμών των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων ψευδαργύρου (Zn) και χαλκού (Cu) στα περιεχόμενα στο έντερο και στα περιβάλλοντα ιζήματα, εποχικά και ανά σταθμό δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.11..

Πίνακας 3.11.: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων Zn και Cu στα περιεχόμενα στο έντερο και στα περιβάλλοντα ιζήματα, εποχικά και ανά σταθμό δειγματοληψίας (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ \pm ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ, $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους).

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	Zn	Cu
A. ΙΖΗΜΑ ΤΟΥ ΕΝΤΕΡΟΥ			
ΜΑΡΤΙΟΣ 2009	(Σ1)*	32,7 \pm 0,4	14,9 \pm 0,9
	(Σ2)*	29,9 \pm 7,3	14,5 \pm 3,6
ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2009	(Σ1)*	26,2 \pm 3,8	14,4 \pm 0,5
	(Σ2)*	41,8 \pm 18,3	14,3 \pm 3,5
ΜΑΙΟΣ 2009	(Σ1)*	27,3 \pm 5	13,9 \pm 0,5
	(Σ2)*	38,6 \pm 12,7	16,6 \pm 1,7
B. ΙΖΗΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ			
ΜΑΡΤΙΟΣ 2009	(Σ1)*	37,4 \pm 5,1	17,1 \pm 0,7
	(Σ2)*	37,1 \pm 2,7	18,6 \pm 0,4
ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2009	(Σ1)*	38,9 \pm 3,5	16,8 \pm 1
	(Σ2)*	42,2 \pm 2,4	18,4 \pm 0,7
ΜΑΙΟΣ 2009	(Σ1)*	33,8 \pm 1,6	16,1 \pm 0,3
	(Σ2)*	39,5 \pm 5,1	17,9 \pm 0,2
* Όπου (Σ1) = ΑΓΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ & (Σ2) = ΚΑΤΩ ΓΑΤΖΕΑ			

Τα ιζήματα εντέρου με την υψηλότερη συγκέντρωση ψευδαργύρου (Zn), παρατηρήθηκαν στο σταθμό δειγματοληψίας Σ2 το Μάιο, με μέση τιμή 41,8 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους και τη χαμηλότερη τιμή 26,2 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους τον Απρίλιο, στο Σ1. Τα ιζήματα περιβάλλοντος με την υψηλότερη μέση τιμή συγκέντρωσης χαλκού (Cu), παρατηρήθηκαν στο σταθμό δειγματοληψίας Σ1 το Μάιο, με μέση τιμή 16,6 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους και τη χαμηλότερη τιμή 13,9 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους το Μάιο, στο Σ1.

Τα ιζήματα περιοχής με την υψηλότερη μέση τιμή συγκέντρωσης ψευδαργύρου (Zn), παρατηρήθηκαν στο σταθμό δειγματοληψίας Σ2 τον Απρίλιο, με

μέση τιμή 42,2 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους και τη χαμηλότερη τιμή 33,8 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους το Μάιο, στο Σ1. Τα ιζήματα με την υψηλότερη μέση τιμή συγκέντρωσης χαλκού (Cu), παρατηρήθηκαν στο σταθμό δειγματοληψίας Σ2 το Μάρτιο, με μέση τιμή 18,6 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους και τη χαμηλότερη τιμή 16,1 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους το Μάιο, στο Σ1.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Κατανομή των μετάλλων στο είδος *H.tubulosa*

4.1.1. Γενικά

Οι βενθικοί οργανισμοί παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανομή, την τύχη και τη συμπεριφορά των βαρέων μετάλλων στο θαλάσσιο περιβάλλον (Bryan 1968, Furness & Rainbow 1990). Η μελέτη των βενθικών οργανισμών ως δείκτες του βαθμού επιβάρυνσης στο βενθικό οικοσύστημα είναι υψίστης σημαντικότητας (Berner et al. 1990).

Τα βενθικά ασπόνδυλα αποτελούν το ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ ιζήματος και οργανισμών-θηρευτών, όπως είναι τα ψάρια. Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στους ιστούς τους μπορεί να αντανakλούν την κατάσταση στο ίζημα περιοχής και συγχρόνως να είναι διαθέσιμες στους ανώτερους οργανισμούς στην τροφική αλυσίδα (Becker et al. 1990).

Διαπιστώθηκε ότι οι μηχανισμοί ρύθμισης των μετάλλων σε βενθικά ασπόνδυλα μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση των συγκεντρώσεων μέσα στην τροφική αλυσίδα (Nott & Nicolaidou, 1990). Η ευρεία εξάπλωση ορισμένων βενθικών ειδών στα θαλάσσια οικοσυστήματα σε συνδυασμό με τη μειωμένη δυνατότητα μετακίνησης επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ περιοχών αλλά και μεταξύ χρονικών περιόδων ως προς το βαθμό επιβάρυνσης από βαρέα μέταλλα (Bryan 1984).

4.1.2. Κατανομή των μετάλλων Ni, Pb και Cu στο σωματικό τοίχωμα

Η μελέτη της ετήσιας μεταβολής της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων νικελίου (Ni), μολύβδου (Pb) και χαλκού (Cu) στα σωματικά τοιχώματα των ολοθουρίων *Holothuria tubulosa* κατά τη διάρκεια της έρευνας έδειξε ότι υπάρχουν

εποχικές διαφοροποιήσεις. Το φθινόπωρο παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του μολύβδου (Pb) και του νικελίου (Ni), με μέσες μέγιστες τιμές 6,8 μg/g ξηρού βάρους και 4,8 μg/g ξηρού βάρους, αντίστοιχα. Αντιθέτως ο χαλκός (Cu) εμφάνισε τη χαμηλότερη μέση τιμή συγκέντρωσης το φθινόπωρο, 2,8 μg/g ξηρού βάρους. Ενώ παρατηρήθηκαν οι χαμηλότερες μέσες τιμές των συγκεντρώσεών τους την άνοιξη για το μόλυβδο (Pb) και το χειμώνα για το νικέλιο (Ni) Η μέγιστη τιμή του χαλκού (Cu) παρατηρήθηκε το καλοκαίρι.

Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων όπου υπολογίστηκε η εποχική διαφοροποίηση των μετάλλων. Ο μόλυβδος (Pb) δεν παρουσίασε εποχική διαφοροποίηση. Στη μελέτη του νικελίου (Ni) υπήρχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, στις συγκεντρώσεις του μετάλλου στους ιστούς των ολοθουρίων, μεταξύ του χειμώνα 2009 και του φθινοπώρου 2010. Η άνοιξη 2009 εμφάνισε διαφορές με το καλοκαίρι 2009 και το φθινόπωρο 2010 ενώ ο χειμώνας 2010 δεν παρουσίασε διαφορές με καμία άλλη εποχή. Ο χαλκός (Cu) παρουσίασε διαφοροποίηση μεταξύ του χειμώνα 2009 και του χειμώνα 2009, όπως και μεταξύ της άνοιξης 2009 και του χειμώνα 2010.

Η εποχική διακύμανση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα ολοθούρια μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, οι οποίοι δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν στα πλαίσια μίας αναγνωριστικής έρευνας. Οι παράγοντες οι οποίοι εύκολα παρατηρούνται είναι οι φυσικοχημικοί, οι οποίοι μπορούν να αλλάξουν ακόμα και τη φυσικοχημική σύσταση του ρύπου (Manson 1981). Από διάφορες μελέτες έχει δειχτεί ότι η πρόσληψη βαρέων μετάλλων επηρεάζεται από τη θερμοκρασία (Jackson 1988, Ramiro et al. 2003).

Στο υδάτινο περιβάλλον η θερμοκρασία σε συνδυασμό με το διαλυμένο οξυγόνο, επηρεάζει καθοριστικά τη διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων εξαιτίας

οξειδο-αναγωγικών διαδικασιών που διενεργούνται στην περιοχή μεταξύ ιζήματος και στήλης νερού. Επίσης η ενεργός οξύτητα (pH) του νερού είναι, μία ακόμα, πολύ σημαντική φυσικοχημική παράμετρος, η οποία επηρεάζει την απελευθέρωση μετάλλων στο υδάτινο περιβάλλον (Fostner & Wittman 1983). Επομένως μία πιθανή αιτία της εποχικής διακύμανσης των αναλυθέντων τιμών των βαρέων μετάλλων, είναι οι φυσικοχημικοί παράγοντες.

Οι φυσικοχημικοί παράγοντες ανάλογα με τις εποχιακές τους διακυμάνσεις, επηρεάζουν σωματικές λειτουργίες των οργανισμών με αποτέλεσμα την αυξημένη πρόσληψη βαρέων μετάλλων. Παράδειγμα αποτελεί η περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο, η οποία, μειώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία με αποτέλεσμα τα ψάρια να αυξάνουν τις απαιτήσεις τους σε νερό και να περνούν από τα βράγχιά τους μεγάλες ποσότητες νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση πρόσληψης μετάλλων (Norstrom et al. 1976).

Μελέτες σε ψάρια έχουν δείξει ότι ο αναπαραγωγικός τους κύκλος είναι αυτός ο οποίος καθορίζει την εποχική διαφοροποίηση στις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων (Parageorgiou 1997). Αντίστοιχες μελέτες δεν υπάρχουν στα ολοθούρια ή γενικά στα είδη που ανήκουν στο φύλο των εχινοδέρμων.

Εκτός από την εποχική διακύμανση των τιμών των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων ερευνήθηκε η διακύμανση μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικά περιοχών. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων παρουσίασαν μία σαφή ομοιότητα των συγκεντρώσεων μεταξύ των δύο περιοχών. Πιθανώς το ρυπαντικό φορτίο σε μέταλλα που δέχονται τα δύο σημεία δειγματοληψίας, Άγιος Στέφανος και Κάτω Γατζέα, κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα τιμών, ανεξάρτητα από τις πηγές ρύπανσης που επηρεάζουν το κάθε σημείο.

Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκαν τα ακόλουθα βαρέα μέταλλα, ο μόλυβδος

(Pb), ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn) και το νικέλιο (Ni), δημιουργώντας ανισοτικές σχέσεις μεταξύ τους οι οποίες οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ο ψευδάργυρος (Zn) έχει υψηλότερες συγκεντρώσεις από όλα τα άλλα μέταλλα με μέγιστη μέση τιμή **18,1 µg/g** ξηρού βάρους. Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του μολύβδου (Pb) ήταν υψηλότερες από εκείνες του ψευδαργύρου (Zn) και του νικελίου (Ni). Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου (Zn) ήταν υψηλότερες από εκείνες του νικελίου (Ni), ενώ ο χαλκός (Cu) παρουσίασε τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις.

Οι τιμές των αναλυθέντων μετάλλων στο σωματικό τοίχωμα των οργανισμών έδειξαν την παρακάτω φθίνουσα σειρά: $Pb > Zn > Ni > Cu$. Σε παρόμοια μελέτη των ολοθουρίων οι Warnau et al. (1998), επιβεβαιώνουν την παραπάνω σχέση.

4.1.3. Κατανομή των μετάλλων Zn και Cu στους ιστούς τμηματικά

Η μέγιστη τιμή ψευδαργύρου (Zn) 40,5 µg ανά ξηρό βάρος παρατηρήθηκε στο αιματικό σύστημα και η ελάχιστη 14,8 µg/g στο σωματικό τοίχωμα. Στο χαλκό (Cu) η μέγιστη 5,7 µg/g παρατηρείται στο πεπτικό σύστημα και η ελάχιστη 1,4 µg/g στο σωματικό τοίχωμα.

Οι Temara et al. (1997), Warnau et al. (1998a), Warnau et al. (2006b) σε μελέτες για τα εχινόδερμα (*Asterias rubens* L., *P. lividus*, *H. tubulosa*) οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ανιχνεύθηκαν στα εσωτερικά όργανα. Συγκεκριμένα στο *H. tubulosa*, οι Warnau et al. (1998), αναφέρονται στις μέγιστες συγκεντρώσεις που σημειώνονται στο αιματικό σύστημα.

Το πεπτικό και το αιματικό σύστημα είναι δομές αρχέγονες των ολοθουροειδών που εκτελούν διαφορετικές λειτουργίες όπως είναι η μεταφορά των θρεπτικών, ο οξειδωτικός μεταβολισμός και η απέκκριση. Ιδιαίτερα το αιματικό σύστημα συμβάλλει στη δημιουργία γλυκοπρωτεϊνών. Αυτό το χαρακτηριστικό,

κυρίως, προσδιορίζει απολύτως το λόγο για τον οποίο οι υψηλές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων απαντώνται στο αιματικό και στο πεπτικό σύστημα. Είναι γνωστό ότι τα βαρέα μέταλλα έλκονται ιδιαίτερα από ιστούς οι οποίοι είναι πλούσιοι σε γλυκοσαμινογλυκάνες (Miramand et al. 1980).

4.2. Κατανομή των μετάλλων στα ιζήματα περιοχής και εντέρου

Η μελέτη της κατανομής των συγκεντρώσεων των μετάλλων στα ιζήματα περιοχής αποτελεί σημαντική προσέγγιση για την εκτίμηση του βαθμού επιβάρυνσης ενός θαλάσσιου οικοσυστήματος. Ειδικότερα στις παράκτιες περιοχές, όπου οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ νερού και ιζήματος είναι εντονότερες, η μελέτη των ιζημάτων έχει μεγαλύτερη σημασία. Στα παράκτια συστήματα το ίζημα παίζει πιο σημαντικό ρόλο στο κύκλο ροής των μετάλλων και του οργανικού υλικού (Klinkhammer 1980).

Η υψηλότερη συγκέντρωση ψευδαργύρου (Zn) που παρατηρήθηκε στα ιζήματα του Παγασητικού κόλπου ήταν 42,2 μg/g και η χαμηλότερη τιμή 33,8 μg/g. Η υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης χαλκού (Cu) ήταν 18,2 μg/g και η χαμηλότερη τιμή ήταν 16,1 μg/g.

Οι συγκεντρώσεις του χαλκού (Cu) στα ιζήματα (< 63μm) του Παγασητικού κόλπου βρέθηκαν υψηλότερες από του Ευβοϊκού, όπου οι τιμές του χαλκού (Cu) φθάνουν έως 15,3 μg/g dw, ενώ του ψευδαργύρου (Zn) κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα (Scullos & Dassenaki 1983). Επίσης η διακύμανση των συγκεντρώσεων των μετάλλων ψευδαργύρου (Zn) και χαλκού (Cu) στα ιζήματα του κόλπου της Καβάλας ήταν 10,4-15,9 και 0,7-1,7 μg/g dw, πολύ χαμηλότερες από του Παγασητικού κόλπου. Χαμηλότερη η τιμή του ψευδαργύρου (Zn) βρέθηκε και στα ιζήματα του Θερμαϊκού, όπου οι τιμές του ψευδαργύρου (Zn) έφθαναν έως 28,2 μg/g dw (Fytianos & Vasilikiotis 1982). Στον Πατραϊκό κόλπο οι τιμές των συγκεντρώσεων των μετάλλων

χαλκού (Cu) και ψευδαργύρου (Zn) στα επιφανειακά ιζήματα έφθασαν τα 43 και 90 $\mu\text{g/g dw}$, πολύ υψηλότερες σε σύγκριση με του Παγασητικού κόλπου (Voutsinou-Talliadouri & Satssmadjis 1983).

Τέλος η υψηλότερη συγκέντρωση ψευδαργύρου (Zn) στο ίζημα εντέρου, ήταν 41,8 $\mu\text{g/g}$ και η χαμηλότερη τιμή 26,2 $\mu\text{g/g}$. Η υψηλότερη συγκέντρωση χαλκού (Cu) στο ίζημα εντέρου, ήταν 16,6 $\mu\text{g/g}$ και η χαμηλότερη τιμή 13,9 $\mu\text{g/g}$. Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στα ιζήματα εντέρου έδωσαν παρόμοιες συγκεντρώσεις με τα ιζήματα περιοχής.

Συμπεράσματα

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων μολύβδου (Pb), νικελίου (Ni) και χαλκού (Cu) παρουσίασαν εποχική διαφοροποίηση στο σωματικό τοίχωμα των ατόμων. Πιθανή αιτία αυτής της διαφοροποίησης είναι οι διακυμάνσεις που εμφανίζονται μεταξύ των εποχών στις αβιοτικές παραμέτρους (θερμοκρασία, pH, διαλυμένο οξυγόνο, αλατότητα) με αποτέλεσμα τα μέταλλα να εμφανίζουν διαφορετικές τιμές μεταξύ των εποχών.

Μεταξύ των τμημάτων του σώματος των ατόμων παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις στις συγκεντρώσεις των μετάλλων ψευδαργύρου (Zn) και χαλκού (Cu). Το αιματικό και πεπτικό σύστημα στα μέταλλα ψευδάργυρο (Zn) και χαλκό (Cu), παρουσίασαν μέγιστες συγκεντρώσεις, σε σχέση με το σωματικό τοίχωμα. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα ολοθουροειδή, μάλλον, σημειώνουν μέγιστες συγκεντρώσεις στα εσωτερικά τους όργανα όπως και τα ψάρια.

Οι επιστημονικές γνώσεις μας σχετικά με τους λόγους που συντελούν στα παραπάνω αποτελέσματα είναι ακόμα ελλείψεις. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να διεξαχθούν περαιτέρω μελέτες για την απόκτηση μιας πιο σφαιρικής άποψης σε ότι αφορά τα βαρέα μέταλλα στα ολοθούρια. Για να επιτευχθεί αυτό είναι αναγκαίο να

διεξαχθούν παράλληλες μελέτες στη φυσιολογία του είδους για να δοθούν διασταυρωμένες ερμηνείες και συσχετίσεις ανάμεσα στις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων και στις εποχές ή στα διάφορα μέρη του σώματος των ολοθουροειδών *H. tubulosa*.

Τέλος τα ιζήματα έδειξαν σε ότι αφορά τα μέταλλα ψευδάργυρο (Zn) και χαλκό (Cu), ότι οι συγκεντρώσεις στον Παγασητικό κόλπο ήταν υψηλότερες από εκείνες του Ευβοϊκού της Καβάλας και του Θερμαϊκού κόλπου, ενώ πολύ χαμηλότερες ήταν από εκείνες του Πατραϊκού κόλπου.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Amon R.M.W. and Herndl G.J. (1991) Deposit feeding and sediment: I. Interrelationship between *Holothuria tubulosa* (Holothuroidea, Echinodermata) and the sediment microbial community. *ICES Journal of Marine Ecology*, 12:163–174
- Baudo R. (1985) Transfer of trace elements, along the aquatic food chain. *Mem. 1st. Ital. Indrobiol.*, 43:281-309
- Berner R.A. (1967) Thermodynamic stability of sedimentary iron sulfides. *American Journal of Science*, 265: 773-785
- Bettinelli M., Beone G.M., Spezia S., Baffib C. (2000) Determination of heavy metals in soils and sediments by microwave-assisted digestion and inductively coupled plasma optical emission spectrometry analysis. *Analytica Chimica Acta*, 424: 289–296
- Brown, V.M., Ahaw, T.L., Shurben, D.G. (1974) Aspects of water quality and toxicity of copper to rainbow trout. *Water Res*, 8:797-803
- Brusca R.C., Brusca G.J. (2003) *Invertebrates. Second Edition.* MA: Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 22: 531-570
- Bryan G.W. (1976) Heavy metal concentration in the sea. In: RJohnston (ed.), *Marine Pollution*, Academic Press, London and N.Y., p. 185-302
- Bryan G.W., Langston W.J. (1992) Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to U.K. estuaries: a review. *Environmental Pollution*, 76:89-131

- Castro H. and Huber M.E. (1999) Θαλάσσια Ασπόνδυλα. στο: Θαλάσσια Βιολογία, University Press Studio, Θεσσαλονίκη, p. 143-184
- Dallinger R. and Kautzky H., (1985) The importance of contaminated food for the uptake of heavy metals by rainbow trout (*Salmo gairdneri*) a field study. *Oecologia* (Berlin), 67: 82-89
- Elewa A.A. and Mahdi H. (1991) Some limnological studies on the Nile water at Cairo. Egypt, Bull. National Institute Oceanography & Fishery, A.R.E. 17: 97-109
- Forstner U. and Wittman G.T.W. (1983) Metal pollution in the aquatic environment. Springer, 486
- Furness R.W., Rainbow P.P.S. (1990). Heavy metals in the marine environment. CRC Press, p. 255
- Fytianos K., Vasilikiotis G.S (1982) Concentration of heavy metals in sea-water and sediments from the northern Aegean Sea. Greece. VI Journes Etud. Pollutions, Cannes, CIESM
- Harte J., Holdren C., Scheider R., Shirley C. (1991) Toxics A to Z, A Guide to Everyday Pollution Hazards. University of California Press, Oxford, England, p. 478
- Heath A.G. (1990) Water pollution and fish physiology. CRC Press, p. 245
- Jackson T.A. (1987) Accumulation of mercury by plankton and benthic invertebrates in riverine lakes of northern Manitoba (Canada): importance of regionally and seasonally varying environmental factors. *Can. J. Fish. Aquat. Science* 45:1744-1757

- Jackson T.A. (1988) Accumulation of mercury by placton and benthic invertebrates in riverine lakes of northern Manitoba (Canada): importance of regionally and seasonally varying environmental factors. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44:1744-1757
- Kazanidis G. Antoniadou C., Lolas A. P., Neofitou N., Vafidis D., Chintiroglou C. and Neofitou C (2010) Population dynamics and reproduction of *Holothuria tubulosa* (Holothuroidea, Echinodermata) in the Aegean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90:895–901
- Klinkhammer G. (1980) Early diagenesis in sediments from the eastern equatorial Pacific. 2. Pore water metal results. *Earth Planet Science Lett.*, 49:81-101
- Koukouras A., Sinis A.I., Bobori D., Kazantzidis S. and Kitsos M.S. (2007) The echinoderm (Deuterostomia) fauna of the Aegean Sea, and comparison with those of the neighbouring seas. *Journal of Biological Research*, 7:67–92.
- Manson C.F. (1981) *Biology of freshwater pollution*. Longman Inc., New York, 250
- Martins R.J.E., Pardo R., Boaventura R.A.R. (2003) Cadmium(II) and zinc(II) adsorption by the aquatic moss *Fontinalis antipyretica*: effect of temperature, pH and water hardness. *Water Research*, 38:693–699
- Miramand P.P., Guary J.C., Fowler S.W. (1980) Vanadium transfer in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Mar. Biol.*, 56: 281-293
- Miramand L., Fowler S.W., Guary J.C. (1982) Comparative study of vanadium biokinetics in three species of echinoderms. *Mar. Biol.*, 67:127-134
- Nimmo D.R., Willox M.J., Lafrancois T.D., Chapman P.P.L., Brinkman S.F., and Grene J.C. (1998) Effects of metal mining and milling on boundary waters of Yellowstone National Park. *Environmental Management*, 22: 913-926

- Norstrom R.J., Mckinnon A.E. and Defreitas A.S.W. (1976) A bio-energetics-based model of pollutant accumulation by fish. Simulation of PCB and methylmercury residue levels in Ottawa River yellow perch (*Perca flavescens*). J. Fish. Res. Board Can., 33:248-267
- Nott J.A., Nicolaidou A. (1990) Transfer of metal detoxification along marine food chains. J. mar. biol. Ass. U.K., 70:905-912
- Papageorgiou N.K. (1977) Fecundity and reproduction of perch (*Perca fluviatilis* L.) in lake Agios Vasilikos Greece. Freshwater Biol., 7:559-350.
- Papagiannis I., Kagalou I., Leonardos J., Petridis D., Kalfakakou V. (2004) Copper and zinc in four freshwater fish species from Lake Pamvotis (Greece). Environment International, 30:357– 362
- Phillips G.R., Buhler D.R. (1978) The relative contributions of methylmercury from food or water to rainbow trout (*Salmo gairdeneri*) in a controlled laboratory environment. Trans Amer Fish Soc, 107:853-861
- Ramiro J.E.M., Rosana P.P., Rui A.R.B.(2004) Cadmium(II) and zinc(II) adsorption by the aquatic moss *Fontinalis antipyretica*: effect of temperature, pH and water hardness. Water Research, 38:693–699
- Sawidis T., Brown M.T., Zachariadis G., Stratis I. (2001) Trace metal concentrations in marine macroalgae from different biotopes in the Aegean Sea. Environment International, 27:43-47
- Schmidt-Nielsen K. (1995) Animal physiology: adaptation and environment. Cambridge University Press, p. 602
- Scoullou M., Dassenakis M. (1983) Trace metals in a tidal Mediterranean embayment. Mar. Pollut. Bull., 14:24-29

- Selda, T.O. (2008) Determination of heavy metal levels in water, sediment and tissues of tench (*Tinca tinca* L., 1758) from Beyşehir Lake (Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 145:295-302
- Simunovic A., Piccinetti C., Bartulovic M. and Grubelic I. (2000) Distribution and abundance of the species *Holothuria tubulosa* Gmelin, 1788 and *Holothuria forskali* Delle Chiaje, 1823 (Holothuria, Echinodermata) in the Adriatic Sea. *Acta Adriatica*, 41: 3–16
- Somers E., (1974) The toxic potential of trace metals in foods (Canada). *Journal of food science*, 19:215-217
- Temara M., Warnau M., Jangoux P., Dubois P.P.(1997) Factors influencing the concentrations of heavy metals in the asteroid *Asterias rubens* L (Echinodermata). *Marine Environmental Research*, 45:341-356
- Thomson-Becker E.A., Luoma S.N. (1985) Temporal fluctuations in grain size, organic materials and iron concentrations in intertidal surface sediments of San Francisco Bay. *Hydrobiologia*, 129:91-107
- Triantafyllou G., Petihakis G., Dounas C. and Theodorou A. (2001). Assessing marine ecosystem response to nutrient inputs. *Marine pollution bulletin*, 43:175-189
- Varanasi U., Markey D. (1987) Uptake and release of lead and cadmium in skin at sites near highways. *Trans Am Fish Soc*, 109:636-634
- Voutsinou-Taliadouri F., Satsmadjis J. (1983) Distribution of heavy metals in sediments of the Patraikos Gulf (Greece). *Mar. Pollut. Bull.*, 14:33-35
- Warnau M., Biondo R., Temara A., Bouquegneau J. M., Jangoux M. and Dubois P.P. (1998) Distribution of heavy metals in the echinoid *Paracentrotus lividus* from the Mediterranean *Posidonia oceanica* ecosystem: seasonal and geographical variations. *Journal of Sea Research*, 39:267-280

- Warnau M., Dutrieuxb S., Ledentc G., Rodriguezd A.M., Baenad Y., Dubois P.P. (2006) Environmental Bioindicators, Heavy Metals in the Sea Cucumber *Holothuria tubulosa* (Echinodermata) from the Mediterranean *Posidonia oceanica* Ecosystem: Body Compartment, Seasonal, Geographical and Bathymetric Variations. *Environmental Bioindicators*, 1:268-285.
- Wittmann G.T.W. (1979) Toxic metals. In: U. Foerstner and G.T.W. Wittmann (eds), *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer Verlag, Berlin, pp. 3-45
- Zar J.H, (1999) *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey, p. 663

Ελληνική βιβλιογραφία

- Κελεπερτζής Α.Ε. (2000) Ιχνοστοιχεία στο νερό και τα ιζήματα. Στο: Εφαρμοσμένη γεωχημεία, Μακεδονικές Εκδόσεις, Αθήνα, σελ. 251-256
- Λαζαρίδου-Δημητριάδου Μ. (1992) Δευτεροστόμια Επιθηλιόνευρα. Στο: Γενική Ζωολογία, Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, σελ. 307-319
- Λυκάκης Σ. (1996) Ρύπανση περιβάλλοντος. Στο: Οικολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Πάτρα, σελ. 277-398
- Παπαδογιάννης Ι.Ν. (1999) Εργαστηριακές ασκήσεις ενόργανης χημείας ανάλυσης. Εκδόσεις Α. Σίμωνη - Σ. Χατζηπάντου Ο.Ε., Θεσσαλονίκη, σελ. 85- 102

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

- Carney B. (2007) The Kingdom of the Echinoderm:
<http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/07mexico/logs/june18/june18.html>
 tml (Πρόσβαση: 8/8/2010)

Fotopoulos T. (2007) The Ecological Crisis as Part of the Present Multi-dimensional Crisis and Inclusive Democracy. The International Journal of inclusive democracy: <http://biomon-net.web.auth.gr/gr/object.htm> (09/03/2010)

http://esperia.iesl.forth.gr/~kafesaki/ModernPhysics/lectures/modern_physics5.html (Πρόσβαση: 3/3/2010)

<http://las.perkinelmer.com/> (Πρόσβαση: 22/05/2010)

http://www.ecodonet.gr/metals_heavy_sources_greek.php (Πρόσβαση: 14/9/2010)

http://www.inclusivedemocracy.org/journal/vol3/vol3_no3_takis_torino.htm (Πρόσβαση: 05/04/2010)

6. ABSTRACT

The concentrations of heavy metals in the sea cucumber *Holothuria tubulosa* and its surrounding sediment in Pagasitikos gulf.

The aim of the present study was to determine the concentrations of heavy metals (Cu, Ni, Pd & Zn) in the holothuroid *Holothuria tubulosa* and its surrounding sediment from the upper sublittoral zone in Pagasitikos gulf. Samplings were carried out by SCUBA diving from 2 locations, on a monthly basis. From each site, 6 individuals and a sample from the surrounding sediment were collected. Each individual was dissected in order to acquire the body wall, haemal system and to separate the gut from its contents. Atomic Absorption was used to determine the concentrations of the heavy metals in the different body compartments, the alimentary content and the surrounding sediment.

Keywords: *Holothuria tubulosa*, holothuroid, individuals, heavy metals

