




Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
ΔΠΜΣ Ωκεανογραφίας και Διαχείρισης Θαλάσσιου Περιβάλλοντος  
Τομέας Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ



«Μελέτη της Τροφικής  
Οικολογίας και της  
Βιοσυσσώρευσης Υδραργύρου στο  
είδος *Raja clavata* των Ελληνικών  
Θαλασσών»

Λεοντάρη Χριστιάννα

Αθήνα, Νοέμβριος 2021

*«Οι προκλήσεις είναι εκείνες  
που κάνουν τη ζωή ενδιαφέρουσα.  
Το να τις ξεπερνάς είναι εκείνο  
που της δίνει νόημα...»  
Joshua J. Marine*

*Στους γονείς μου και στην κόρη μου...*

### Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

1. **Περσεφόνη Μεγαλοφώνου**, Καθηγήτρια, Τομέας Ζωολογίας - Θαλάσσιας Βιολογίας, Τμήμα Βιολογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
2. **Εμμανουήλ Δασενάκης**, Ομότιμος Καθηγητής, Τομέας Ανόργανης Χημείας, Ανόργανης Χημικής Τεχνολογίας και Περιβαλλοντικής Χημείας (3ος Τομέας), Εργαστήριο Χημείας Περιβάλλοντος Τμήμα Χημείας , Σχολή Θετικών Επιστημών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
3. **Ευγενία Λευκαδίτου**, Ερευνήτρια Β', Ινστιτούτο Θαλάσσιων Βιολογικών Πόρων & Εσωτερικών Υδάτων, Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ), Αθήνα

## Περιεχόμενα

<i>Ευχαριστίες</i> .....	6
<i>Περίληψη</i> .....	7
<i>Summary</i> .....	9
<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>10</b>
<b>2. Γεωγραφική εξάπλωση</b> .....	<b>13</b>
<b>3. Σκοπός της μελέτης</b> .....	<b>14</b>
<b>4. Τροφική Οικολογία – Διατροφή</b> .....	<b>14</b>
4.1 Σημασία της γνώσης της διατροφής των ψαριών.....	14
4.2 Υλικά και Μέθοδοι .....	16
4.2.1 Δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη διατροφής.....	16
4.2.2 Περιγραφή αλιευτικού εργαλείου.....	16
4.2.3 Εργαστηριακή ανάλυση δειγμάτων .....	18
4.2.4 Ανάλυση δεδομένων στομαχικού περιεχομένου.....	18
4.2.5 Στατιστική επεξεργασία .....	21
4.3 Αποτελέσματα .....	22
4.3.1 Σύνθεση δειγμάτων- Σχέση μήκους-βάρους ατόμων .....	22
4.3.2 Κατανομές μεγεθών - Σχέση μήκους βάρους ατόμων .....	22
4.3.3 Δείκτης κενότητας.....	26
4.3.4 Βαθμός πληρότητας.....	26
4.3.5 Δείκτης πληρότητας.....	29
4.3.6 Δείκτης σχετικής σημασίας (IRI) .....	31
4.3.7 Ειδικός δείκτης σημασίας λείας (Pi)-Εύρος τροφικού θώκου (niche Breadth,B).....	36
4.3.8 Δείκτης ποικιλότητας .....	37
4.3.9 Τροφικό επίπεδο .....	37
<b>5. Συζήτηση</b> .....	<b>38</b>
<b>6. Βαρέα μέταλλα (Hg)</b> .....	<b>41</b>
6.2 Εισαγωγή.....	41
6.2.1 Πηγές και Μηχανισμοί εισόδου βαρέων μετάλλων στο θαλάσσιο περιβάλλον	
42	
6.2.2 Τα βαρέα μέταλλα στους θαλάσσιους οργανισμούς. Βιομεγέθυνση και Βιοσυσσώρευση .....	43
6.2.3 Ο Υδράργυρος.....	43
6.3 Τα ψάρια ως οργανικοί δείκτες .....	45
6.4 Επιπτώσεις υδραργύρου στον ανθρώπινο οργανισμό .....	46
<b>7. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</b> .....	<b>47</b>
<b>8. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	<b>49</b>
8.1 Παραλαβή και προκατεργασία δειγμάτων.....	49

8.2	Έλεγχος αξιοπιστίας μετρήσεων .....	50
8.2.1	Γενικές αρχές Φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS).....	51
8.2.2	Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης Ψυχρών Ατμών (Cold Vapour Atomic Absorption Spectroscopy (CVAAS)) .....	53
8.3	Στατιστική επεξεργασία.....	54
8.3.1	Δείγματα που συμπεριλήφθηκαν στις χημικές αναλύσεις.....	54
<b>9</b>	<b>Αποτελέσματα .....</b>	<b>55</b>
9.1	Έλεγχος αξιοπιστίας των χημικών αναλύσεων .....	55
9.2	Περιγραφική στατιστική .....	55
9.2.1	Φύλο .....	55
9.2.2	Στάδιο ωριμότητας.....	56
9.2.3	Περιοχή & Εποχή δειγματοληψίας.....	57
9.3	Κατανομή Συχνοτήτων .....	58
9.3.1	Ολικό μήκος - TL(mm) .....	58
9.3.2	Ολικό Βάρος - RW(g) .....	59
9.3.3	Συντελεστής Ευρωστίας (K).....	59
9.3.4	Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg).....	60
9.3.5	Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg) .....	60
9.3.6	Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg).....	61
9.3.7	Συγκεντρωτική παρουσίαση υδραργύρου στους ιστούς .....	61
9.3.8	Περιγραφικά στατιστικά με βάση το φύλο .....	62
<b>10</b>	<b>Ανάλυση Κανονικότητας.....</b>	<b>65</b>
<b>11</b>	<b>ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ.....</b>	<b>68</b>
11.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ.....	68
11.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ .....	72
11.2.1	Μύες .....	73
11.2.2	Βράγχια.....	77
11.2.3	Ήπαρ.....	81
<b>12</b>	<b>Συζήτηση .....</b>	<b>85</b>
	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>88</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I.....</b>	<b>95</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II .....</b>	<b>98</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III.....</b>	<b>99</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV .....</b>	<b>99</b>

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τους γονείς και φίλους μου για τη στήριξη και την όποια βοήθεια παρείχαν στη συλλογή και μεταφορά των αλιευμάτων.

Ευχαριστώ τον αποθανόν κ. Καπίρη Κωνσταντίνο για τη πολύτιμη βοήθεια και το χρόνο του στην αναγνώριση των Καρκινοειδών της μελέτης.

Ευχαριστώ το ευγενικό προσωπικό της Ιχθυόσκαλας Κερατσινίου για την υπομονή και τη βοήθειά τους στη συλλογή των προς μελέτη ειδών.

Ευχαριστώ την κα Σακελλάρη Αικατερίνη (Ε.ΔΙ.Π Χημεία Περιβάλλοντος) για τις οδηγίες της όσον αφορά το πρωτόκολλο που ακολουθήθηκε στο προσδιορισμό του υδραργύρου.

Ευχαριστώ το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών & Πόρων (ΕΛ.Κ.Ε.ΘΕ) για τη λυοφιλίωση (ξήρανση) των προς μελέτη δειγμάτων μου.

Ευχαριστώ το φίλο μου Παύλο για τη μέτρηση απορρόφησης των δειγμάτων μου επί τη ευκαιρία της δικής του έρευνας στο εργαστήριο του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας καθώς ήταν δύσκολη η πρόσβαση μου στο ΕΚΠΑ εν μέσω καραντίνας.

Ευχαριστώ το κ. Γεωργίου Σάββα (Top Statistic Hellas) για την καθοδήγησή του στη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα Μεγαλοφώνου Περσεφόνη της διπλωματικής μου εργασίας για την υπομονή, τη βοήθεια και τη στήριξή της όλα αυτά τα χρόνια.

## Περίληψη

Η γνώση της διατροφής των ανώτερων θαλάσσιων θηρευτών, όπως πολλοί από τους χονδριχθύες, είναι εξαιρετικής σημασίας για την κατανόηση του τροφικού πλέγματος και της λειτουργία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, ώστε να μπορέσει να εφαρμοστεί στο μέλλον η οικοσυστημική προσέγγιση για τη διαχείριση των θαλάσσιων αλιευτικών πόρων. Ειδικότερα, οι διατροφικές αλλαγές άφθονων χονδριχθύων, όπως ο καλκανόβατος *Raja clavata*, αντικατοπτρίζουν σε μεγάλο βαθμό τις διαχρονικές αλλαγές στην κατάσταση των θαλάσσιων βιοκοινωνιών που συνιστούν τα κρίσιμα ενδιαιτήματά τους, και γι' αυτό μπορούν να παράσχουν χρήσιμες πληροφορίες για τις επιδράσεις των περιβαλλοντικών αλλαγών αλλά και της αλευτικής πίεσης. Τόσο λόγω των βιολογικών χαρακτηριστικών του είδους που το καθιστούν ευάλωτο, όσο και της όλο και ευρύτερης κατανάλωσης του είδους στην Ελλάδα, επιβάλλεται ο έγκαιρος έλεγχος της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στους ιστούς του, για την πρόληψη τυχόν επιπτώσεων στους πληθυσμούς του καλκανόβατου αλλά και τους καταναλωτές, κάτι που μέχρι σήμερα ελάχιστα έχει απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκαν για πρώτη φορά η τροφική οικολογία του καλκανόβατου *Raja clavata* στα Ελληνικά νερά, καθώς επίσης και η συγκέντρωση υδραργύρου σε ιστούς μυών, ήπατος και βραγχίων. Τα δείγματα καλκανόβατου που χρησιμοποιήθηκαν, είχαν αλιευθεί από εμπορικά αλιευτικά σκάφη με τράτα βυθού στο Βόρειο Ευβοϊκό και στο Σαρωνικό Κόλπο, το χειμώνα και την άνοιξη του 2019. Η μελέτη της διατροφής βασίστηκε σε 132 άτομα καλκανόβατου (70 θηλυκά και 62 αρσενικά) συνολικού μήκους από 37.9 έως 88 cm (TL), από τα οποία τα 124 (93.3%) περιείχαν τροφή. Τόσο η ποιοτική όσο και η ποσοτική σύνθεση του στομαχικού περιεχομένου εξετάστηκαν σε σχέση με το φύλο, το μέγεθος και τη γεννητική ωριμότητα των ατόμων του καλκανόβατου ενώ διερευνήθηκαν τυχόν διαφοροποιήσεις με την εποχή/περιοχή δειγματοληψίας. Για τον προσδιορισμό της λειτουργικής ομάδας στην οποία ανήκει ο καλκανόβατος, υπολογίστηκε το κλασματικό επίπεδο (TROPH), ανά φύλο για τις κλάσεις μεγέθους ανώριμων και ώριμων ατόμων. Οι καλκανόβατοι στις περιοχές μελέτης τρέφονται κυρίως με, Καρκινοειδή, Οστεϊχθύες και Κεφαλόποδα, ενώ περιστασιακά καταναλώνουν Γαστερόποδα και Πολύχαιτους. Τα Καρκινοειδή αποτελούσαν την πλειοψηφία των θηραμάτων και για τα δύο φύλα (IRI%: 49.04 για τα αρσενικά και 53,46 για τα θηλυκά) ακολουθούμενα από τους Οστεϊχθύες, οι οποίοι παρουσίασαν σχετικά μεγαλύτερο ποσοστό στη διατροφή των αρσενικών ατόμων. Τα Καρκινοειδή αποτέλεσαν το μεγαλύτερο μέρος των λειών στα πιο νεαρά άτομα ενώ οι Οστεϊχθύες και τα Κεφαλόποδα αυξάνονταν σε σημασία με την ανάπτυξη του καλκανόβατου. Η ποικιλομορφία των θηραμάτων



αυξήθηκε με το μέγεθος. Μεγαλύτερα σε μέγεθος είδη θηραμάτων βρέθηκαν πιο συχνά στη διατροφή των μεγαλύτερων ατόμων. Η σύνθεση της διαίτας έδειξε μικρές εποχιακές διακυμάνσεις. Τα αποτελέσματα των ποσοτικών αναλύσεων υποδεικνύουν ότι η *Raja clavata* είναι ένας γενικευμένος σαρκοφάγος θηρευτής, με τροφικό επίπεδο που κυμαίνεται μεταξύ 3,65-3,99 και αυξάνεται με το μέγεθος των ατόμων-, όπως έχει παρατηρηθεί και σε άλλες περιοχές της Μεσογείου και του Β.Α Ατλαντικού-. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης υδραργύρου σε ιστούς μυών, ήπατος και βραγχίων, πραγματοποιήθηκε σε 95 άτομα (52 αρσενικά, 43 θηλυκά). Όλα τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία με το πρόγραμμα SPSS και εντοπίστηκαν οι κυριότερες στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις σε σχέση με τη συγκέντρωση υδραργύρου στους ιστούς. Γενικά, παρατηρήθηκαν υψηλά επίπεδα υδραργύρου στο προς μελέτη είδος με υψηλότερες συγκεντρώσεις υδραργύρου στους ιστούς των μυών που ήταν πιο αυξημένα στα μεγαλύτερα σε μέγεθος και στα πιο ώριμα άτομα. Στους Χονδριχθύες, η συσσώρευση Hg στο μυ αυξάνεται περισσότερο λόγω κάποιων ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του όπως είναι το υψηλό τροφικό επίπεδο, η μακροβιότητα και η αργή αύξηση.

## Summary

Knowledge of the diet of marine top predators, such as many of the chondrichthyans, is extremely important for understanding the food web and the functioning of marine ecosystems, so that the ecosystem approach to the management of marine fisheries resources can be applied in the future. In particular, the dietary changes of abundant chondrichthyans, such as the monkfish *Raja clavata*, largely reflect the temporal changes in the state of the marine biocommunities that constitute their critical habitats, and therefore can provide useful information on the effects of environmental change as well as of grinding pressure. Due to the biological characteristics of the species that make it vulnerable, as well as the increasingly widespread consumption of the species in Greece, the timely control of the concentration of heavy metals in its tissues is required, to prevent any effects on the populations of the crucian carp as well as consumers, which until now has hardly concerned the scientific community. In the context of this diploma thesis, the food ecology of the flatfish *Raja clavata* in Greek waters was studied for the first time, as well as the concentration of mercury in muscle, liver and gill tissues. The turbot samples used were caught by commercial bottom trawlers in the North Evoiko and Saronic Gulfs in the winter and spring of 2019. The diet study was based on 132 individuals (70 females and 62 males) with a total length of 37.9 to 88 cm (TL), of which 124 (93.3%) contained food. Both the qualitative and quantitative composition of the stomach contents were examined in relation to the sex, size and reproductive maturity of the falcon individuals, while any variations with the season/region of sampling were investigated. To determine the functional group to which the calcaneal belongs, the fractional level (TROPH) was calculated, per sex, for the size classes of immature and mature individuals. Thornback rays in the study areas feed mainly on Crustaceans, Osteichthyes and Cephalopods, while they occasionally consume Gastropods and Polychaetes. Crustaceans constituted the majority of the prey for both sexes (IRI%: 49.04 for males and 53.46 for females) followed by Osteichthyes, which presented a relatively higher percentage in the diet of male individuals. Crustaceans made up most of the prey in the youngest individuals, while Osteichthyes and Cephalopods increased in importance with the development of the thornback ray. Prey diversity increased with size. Larger prey species were found more frequently in the diet of larger individuals. Diet composition showed minor seasonal variations. The results of the quantitative analyzes indicate that *Raja clavata* is a generalized carnivorous predator, with a trophic level ranging between 3.65-3.99 and increasing with the size of individuals-, as has been observed in other Mediterranean and B .A Atlantic-. The determination of mercury concentration in muscle, liver and gill tissues was carried out in 95 subjects (52 males, 43 females). All the collected data were subjected to statistical processing with the SPSS program and the main statistically significant correlations were identified in relation to the mercury concentration in the tissues. In general, high levels of mercury were observed in the study species with higher concentrations of mercury in muscle tissues being more elevated in larger and more mature individuals. In Chondrichthyes, the accumulation of Hg in muscle increases more due to some special characteristics of it such as high trophic level, longevity and slow growth.

## 1. Εισαγωγή

Οι Χονδριχθύες έχουν μια φυλογενετική πορεία που ξεπερνά τα 350.000.000 χρόνια. Είναι από τους πιο διαδεδομένους κατοίκους της θάλασσας και λόγω των συνηθειών τους ζουν σε όλα ή σχεδόν σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη, στα οποία και έχουν προσαρμοστεί. Υπάρχουν σχεδόν 950 αρτίγονα είδη από τα οποία τα μισά ανήκουν στις ράγιες(>500) ενώ τα υπόλοιπα έχουν αντιπροσώπους από όλες τις τάξεις.

Οι ράγιες και τα σαλάχια αποτελούν μια μεγάλη ομάδα ψαριών (τάξη), τα Ραγιόμορφα (*Rajiformes*), που περιλαμβάνει τα αληθινά σαλάχια και ομάδες ραγιών όπως η μουδιάστρα, η τρυγόνα, οι αετοί, οι μάντες, οι διάβολοι και τα πριονόψαρα. Η τάξη των *Rajiformes* είναι μια από τις σημαντικότερες τάξεις των Ελασμοβραγχίων κυρίως για την ποικιλότητα των ειδών αλλά και για την οικονομική και εμπορική της αξία (Farias *et al*,2005).

Ειδικότερα, οι εκπρόσωποι της οικογένειας Rajidae είναι πολύ γνωστοί χονδριχθύες σε όλες τις θάλασσες του κόσμου και αποτελούν σημαντικό κρίκο στις τροφικές σχέσεις των βενθικών κοινοτήτων. Συγκαταλέγονται ανάμεσα στους κορυφαίους καταναλωτές θηραμάτων στα θαλάσσια οικοσυστήματα, για αυτό επηρεάζονται από αυτούς οι πληθυσμοί των ψαριών και των ασπονδύλων των κατώτερων τροφικών επιπέδων (Morato *et al*,2003). Αφ'ενός καταναλώνουν εμπορικά για την αλιεία είδη και αφ'ετέρου αποτελούν τα ίδια εμπορικό είδος. Ακόμα κι έτσι όμως παραμένουν οι λιγότερο μελετημένοι οργανισμοί συγκριτικά με άλλους ελασμοβράγχιους οργανισμούς.

Στις ελληνικές θάλασσες απαντούν 14 από τα 67 είδη της οικογένειας Rajidae. Ένα από τα πιο κοινά είδη είναι και το προς μελέτη είδος *Raja clavata* (Linnaeus,1758), με το κοινό όνομα καλκανόβατος. Αν και αποτελεί εμπορικό για την αλιεία είδος ενώ η εμπορική και οικονομική του σημασία αυξάνεται συνεχώς (Sanmartin *et al*,2000), στην Ελλάδα δεν έχει καθοριστεί ιδιαίτερη εμπορική ονομασία, αλλά καταγράφεται μαζί με άλλα συμπατρικά είδη σαν «είδος βάτου (*Raja spp*)» (Απόφαση 1750/32219/25-3-2015,ΦΕΚ475Β').

### 1.2 Συστηματική κατάταξη και Βιολογικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη είδους

Οι Χονδριχθύες χωρίζονται σε δύο υφομοταξίες.

- ✦ Τους Ελασματοβράγχιους, οι οποίοι περιλαμβάνουν 51 οικογένειες 188 γένη και 1152 είδη.
- ✦ Τους Ολοκέφαλους (δηλ.τις χίμαιρες), οι οποίοι περιλαμβάνουν 3 οικογένειες 6 γένη και 50 είδη.

Τα είδη της οικογένειας *Rajidae* ανήκουν στους Χονδριχθύες. Αναλυτικά η συστηματική τους κατάταξη έχει ως εξής:

Πίνακας 1: Συστηματική κατάταξη των ειδών της οικογένειας *Rajidae*

Ταξινομική κατηγορία	Κατάταξη
Βασίλειο	Animalia (Ζώα)
Φύλο	Chordota (Χορδωτά)
Ομάδα	Craniota (Κρανιωτά)
Υπόφυλο	Vertebrata (Σπονδυλόζωα)
Υπερομοταξία	Gnathostoma (Γναθόστομα)
Ομοταξία	Chondrichthyes (Χονδριχθύες)
Υφομοταξία	Elasmobranchii (Ελασματοβράγχιοι)
Τάξη	Rajiformes (Ραγιόμορφα)
Υπόταξη	Rajoidei/Batoidei
Οικογένεια	Rajidae
Γένος	<i>Raja</i>
Είδος	<i>Raja sp.</i>

Το είδος το οποίο μελετήθηκε στη παρούσα εργασία είναι το ***Raja clavata***. Ο καλκανόβατος ή βάτος σγούρος, όπως αναφέρεται στην ελληνική, είναι μια συνηθισμένη ράσσα των ελληνικών θαλασσών. Χαρακτηρίζεται από έναν εντυπωσιακό χρωματισμό που περιλαμβάνει κηλίδες, λωρίδες και μπαλώματα, σκουρόχρωμα ή πιο ανοιχτά, διαφόρων μεγεθών. Χαρακτηριστική είναι η ουρά του που εναλλάσσεται με σκούρες και ανοιχτόχρωμες λωρίδες. Το όνομά του προέρχεται από το σχεδόν απόλυτα ρομβοειδές σχήμα του που μοιάζει με ασπίδα («καλκάν» στα τουρκικά).

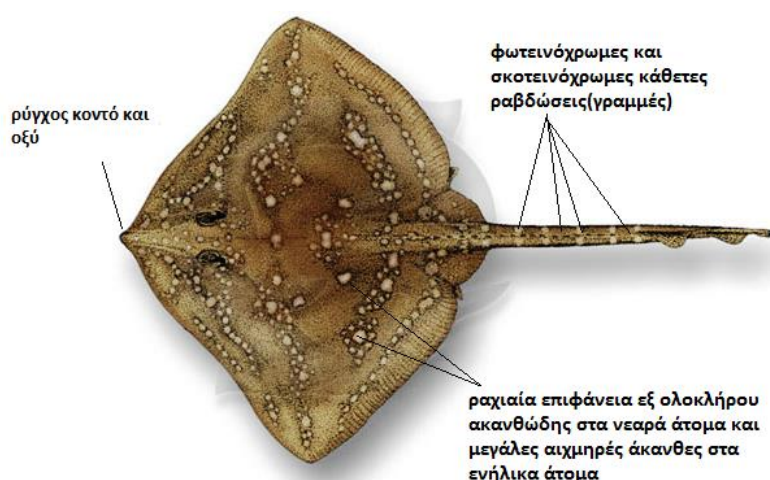
Το ρύγχος είναι κοντό και οξύ. Τα άκρα των πλευρικών πτερυγίων σχηματίζουν γωνία αρκετά τονισμένη. Η κοιλιακή όψη του δίσκου εμφανίζεται με μπορντούρα γκριζα στο οπίσθιο μέρος. Παρουσιάζονται σκοτεινόχρωμες κηλίδες και αισθητός αριθμός μεγάλων ραχιαίων ακάνθων στα ενήλικα άτομα, περισσότερα και μεγαλύτερα στα θηλυκά άτομα, που μερικές φορές έχουν και στην κοιλιακή πλευρά. Σειρά μεσοραχιαίων μεγάλων ακάνθων στα νεαρά άτομα, περιορισμένος

αριθμός στα θηλυκά ενήλικα και μόνο στην ουρά στα αρσενικά ενήλικα άτομα. Το χρώμα στη ράχη είναι γκριζό ή καφέ ανοιχτό, μερικές φορές ομοιόμορφο, αλλά τις περισσότερες φορές με μικρές σκοτεινόχρωμες κηλίδες, ενωμένες ή όχι, σε ελικοειδείς γραμμές και μεγαλύτερες υποκίτρινες ακανόνιστες κηλίδες. Κάποιες φορές υπάρχουν δύο μεγάλες ανοιχτόχρωμες οφθαλμοειδείς κηλίδες, με γκριζό κύκλο στα ενήλικα άτομα. Στα νεαρά άτομα απαντούν μικρές, πολύ σκούρες κηλίδες. Τα δόντια τους είναι μικρά τοποθετημένα σε κάθετες σειρές και αυξάνονται με την ηλικία του ψαριού.

Το μέγιστο δημοσιευμένο ολικό μήκος είναι για τα αρσενικά τα 105cm και για τα θηλυκά τα 120cm (McEachran & Dunn,1998) ενώ το βάρος είναι τα 18Kg (Εικόνα 1).

Είναι ωτόκο ψάρι και τα αυγά του έχουν μοναδικό σχήμα. Γεννά μεγάλα καφεπράσινα αυγά που προστατεύονται από ένα κεράτινο τετράγωνο κέλυφος, με ένα νήμα σε κάθε γωνία ώστε να υπάρχει η δυνατότητα αγκίστρωσης σε διάφορα φυτά του βυθού και έτσι να μη παρασύρονται από τα θαλάσσια ρεύματα ([www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)). Ζευγαρώνει την άνοιξη ενώ η περίοδος αναπαραγωγής του διαρκεί από το Φεβρουάριο έως το Σεπτέμβριο. Ένα και μόνο θηλυκό άτομο μπορεί να εναποθέσει από 52 έως 170 αυγά το χρόνο. Τα γονιμοποιημένα αυγά εκκολάπτονται για 4-5 μήνες και στη συνέχεια βγαίνουν από τις κάψες σχηματισμένοι βάτοι με πλάτος δίσκου περίπου 8cm (Ellis & Shackley,1995).

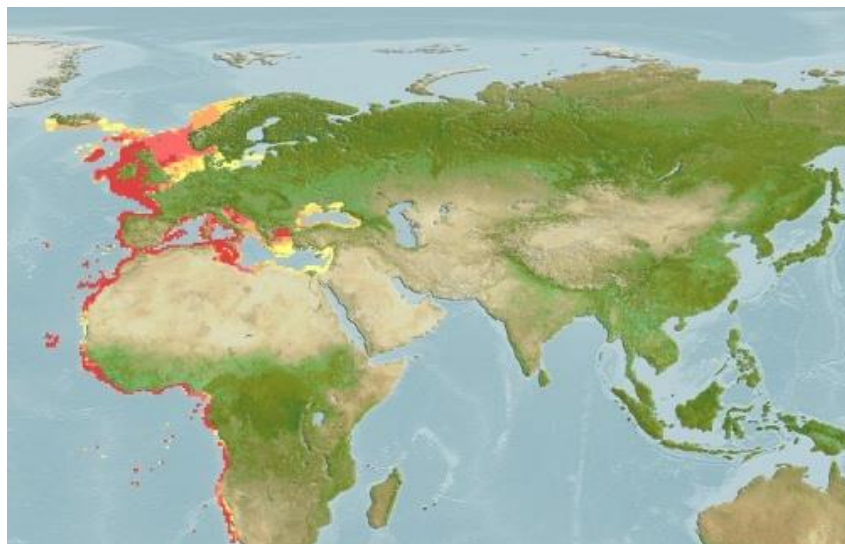
Τρέφεται με διάφορα είδη του ζωοβένθους κυρίως με καρκινοειδή, αλλά και του νηκτού((Ajayi, 1982; Daan et al., 1991; Morato et al., 2003; Demirhan et al., 2005; Barria et al., μεταξύ άλλων που αναφέρονται σε πίνακα της Fishbase).



Εικόνα 1: Τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά του καλκανόβατου *Raja clavata* (Linnaeus,1758)

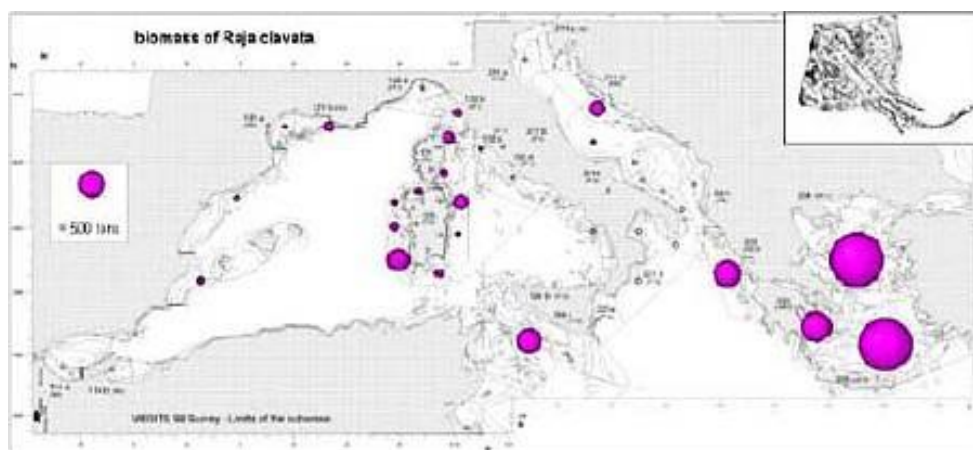
## 2. Γεωγραφική εξάπλωση

Ο καλκανόβατος είναι ένα βενθοπελαγικό ψάρι που απαντάται από τον ανατολικό Ατλαντικό μέχρι τη Νορβηγία, στη Μεσόγειο, τη Μαύρη Θάλασσα και τις ελληνικές θάλασσες σε βάθη από 20 μέχρι 300μ (Stehmann *et al*,1990). Αναφορές παρουσίας έχουν υπάρξει και στη νότια Αφρική και το νοτιοδυτικό Ινδικό ωκεανό (Morato *et al*,2003) (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Γεωγραφική εξάπλωση του καλκανόβατου (<http://www.efsa.co.uk>)

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα MEDITS (Serena *et al*,2000), το 64% της συνολικής βιομάζας του βάτου στη Μεσόγειο βρίσκεται στο Αιγαίο ενώ η μέση πυκνότητά του σε όλη τη Μεσόγειο ανέρχεται στα 27,3Kg/km<sup>2</sup> (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Κατανομή βιομάζας του καλκανόβατου *Raja clavata* (Linnaeus,1758) στη Μεσόγειο (Πηγή:Serena *et al*,2000)

### 3. Σκοπός της μελέτης

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της τροφικής οικολογίας του καλκανόβατου *Raja clavata* για πρώτη φορά στα Ελληνικά νερά. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκε τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά η σύνθεση της διατροφής του είδους σε περιοχές του δυτικού Αιγαίου (Ευβοϊκό και Σαρωνικό κόλπο) σε σχέση με το φύλο, την ωριμότητα και την εποχή δειγματοληψίας. Επιπλέον, υπολογίστηκε το κλασματικό τροφικό επίπεδο από το οποίο προσδιορίστηκε η λειτουργική ομάδα στην οποία ανήκουν.

Λόγω ελλιπούς βιβλιογραφίας όσον αφορά τη μελέτη βαρέων μετάλλων στα είδη του γένους *Raja* στις Ελληνικές Θάλασσες, έγινε επίσης και προσδιορισμός της συγκέντρωσης υδραργύρου στους ιστούς μυών, ήπατος και βραγχίων σε αντιπροσωπευτικό αριθμό ατόμων από τις δύο περιοχές μελέτης, στις οποίες καταλήγουν τόσο αστικά όσο και βιομηχανικά απόβλητα.

### 4. Τροφική Οικολογία – Διατροφή

#### 4.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

Σύμφωνα με τον Wootton (1990) η ποσότητα και η σύνθεση της τροφής αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την αύξηση, τη γεννητική ωρίμανση και τη θνησιμότητα των ψαριών. Μέσα από κατάλληλα αλιευτικά μοντέλα εκτιμάται η βιομάζα που καταναλώνεται από τους θηρευτές και κατ' επέκταση η θνησιμότητα από τη θήρευση σε σχέση με τη θνησιμότητα από την αλιεία χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τις τροφικές συνήθειες των ψαριών που περιγράφονται μέσω της ανάλυσης του στομαχικού περιεχομένου (Jennings *et al.* 2001). Επιπλέον, η ανάλυση της διατροφής παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τον καταμερισμό των διατροφικών πόρων (ενδοειδικός, διαειδικός), για την επιλογή της λείας, τις σχέσεις μεγέθους λείας-θηρευτή, τη γεωγραφική κατανομή των τροφικών τύπων, την επιλογή ενδιαιτήματος, την εισβολή ξενικών ειδών, την αφθονία μεσοπελαγικών ειδών που συλλαμβάνονται σπάνια από αλιευτικά εργαλεία και τέλος για την εκτίμηση του τροφικού επιπέδου με απώτερο σκοπό τη σωστή διαχείριση των υδάτινων πόρων.

Το τροφικό επίπεδο του είδους είναι σημαντικό γιατί δίνει πληροφορίες για τη θέση του στο τροφικό πλέγμα ενός οικοσυστήματος επιτρέποντας έτσι την ακριβή εκτίμηση της απαιτούμενης πρωτογενούς παραγωγής για τη στήριξη της αλιείας, την αναγνώριση του φαινομένου της «αλιευτικής ταπείνωσης», δηλαδή της μείωσης του μέσου τροφικού επιπέδου αλιευμάτων, δεδομένου ότι η αλιεία αφαιρεί κυρίως τα μεγαλόσωμα άτομα και είδη με υψηλότερο τροφικό επίπεδο με

αποτέλεσμα να μειώνεται το ποσοστό συμμετοχής τους στην αλιευτική παραγωγή με την πάροδο των χρόνων, τη σύγκριση των «τροφικών αποτυπωμάτων» των αλιευτικών εργαλείων και τέλος τη χωρική ή χρονική παρακολούθηση ειδών ή οικοσυστημάτων.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1940, διατυπώθηκε η θεωρία του τροφικού επιπέδου, σύμφωνα με την οποία στο πρώτο τροφικό επίπεδο ανήκουν τα φυτά και τα οργανικά θρύμματα, στο δεύτερο επίπεδο οι φυτοφάγοι οργανισμοί (καταναλωτές 1<sup>ης</sup> τάξης), στο τρίτο επίπεδο οι 1<sup>ης</sup> τάξης σαρκοφάγοι οργανισμοί (καταναλωτές 2<sup>ης</sup> τάξης) κ.ο.κ. (Lindeman 1942). Σύμφωνα με τον Cortes (1999), οι καρχαρίες κατέχουν τροφικά επίπεδα παρόμοια με εκείνα των θαλάσσιων θηλαστικών και υψηλότερα των θαλάσσιων πτηνών.



## 4.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 4.2.1 Δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη διατροφής

Στην παρούσα μελέτη συλλέχθηκαν και μελετήθηκαν 132 άτομα (70 θηλυκά και 62 αρσενικά) του είδους *Raja clavata* από το Β.Ευβοϊκό και το Σαρωνικό κόλπο την Άνοιξη και το Χειμώνα του 2019 με μηχανότρατα βυθού, τα οποία παραλάβαμε από την Ιχθυόσκαλα Κερατσινίου.

### 4.2.2 Περιγραφή αλιευτικού εργαλείου

Η αλιεία των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με μηχανότρατα βυθού σε βάθη από 90-365μ. Η μηχανότρατα ανήκει στα σκάφη της μέσης μηχανοκίνητης αλιείας και ψαρεύει σέρνοντας δίχτυα στο βυθό. Οι μηχανότρατες είναι σκάφη ξύλινα ή ατσάλινα. Έχουν μήκος 25-45 μέτρα και πλάτος 6.5-8 μέτρα. Το εκτόπισμά τους είναι συνήθως 250-300 τόνους και η ιπποδύναμή τους 200-800.

Η πλώρη είναι υπερυψωμένη και το σκάφος το οποίο είναι εφοδιασμένο με το βίντσι της τράτας και τις εγκαταστάσεις για το πέρασμα των συρματόσχοινων. Οι μηχανότρατες είναι επίσης εφοδιασμένες με ηλεκτρονικές συσκευές για μεγάλα ταξίδια και εύρεση ψαριών. Σε γενικές γραμμές αποτελείται από ένα μεγάλο δίχτυ που καταλήγει σ' ένα μακρύ σάκο. Αυτός σύρεται από δύο συρματόσχοινα δεμένα σε δύο πλάκες, τους υδραετούς (ή πόρτες) που ακουμπούν στον πυθμένα και κρατούν το δίχτυ ανοιχτό.

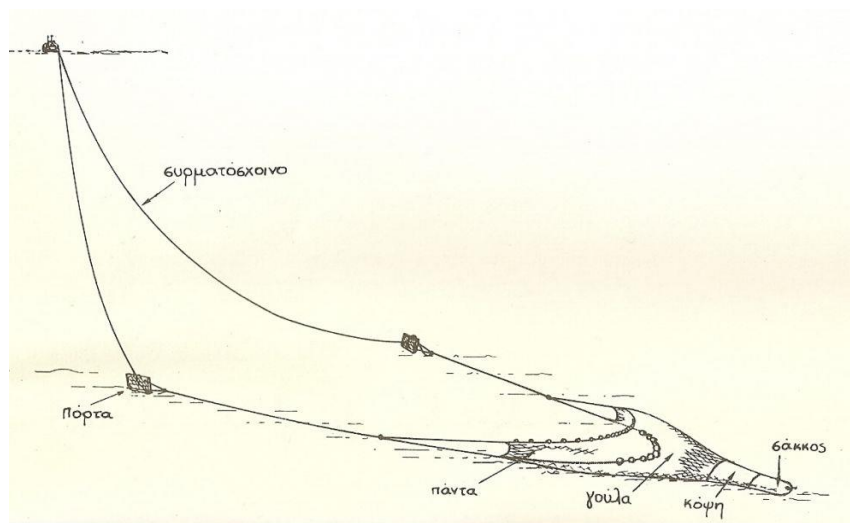
Ο αλιευτικός εξοπλισμός μιας μηχανότρατας είναι (Εικόνα 4):

- τα συρματόσχοινα,
- οι πόρτες,
- τα σχοινιά
- η τράτα (δίχτυα και σάκος)

Όλη η τράτα την ώρα του ψαρέματος έχει μήκος 40 ως 60 μέτρα. Ο σάκος μόνος του έχει μήκος περίπου 5 μέτρα. Η τράτα έχει σχήμα κώνου. Στη βάση αυτού του κώνου υπάρχουν οι πόρτες, οι οποίες είναι δυο σιδερένιες ορθογώνιες κατασκευές, που σέρνονται στο βυθό κρατώντας την κυκλική βάση του κώνου ανοιχτή. Το δίχτυ στη βάση του νοητού κώνου, που δημιουργείται, στο κάτω μέρος του έχει βαρίδια για να σέρνεται στο βυθό, ενώ στο πάνω μέρος έχει φελλούς. Μ' αυτόν τον τρόπο (τις πόρτες δηλαδή δεξιά και αριστερά και τους φελλούς και τα βαρίδια πάνω και κάτω) η τράτα διατηρείται ανοιχτή και σέρνεται στο βυθό, πιάνοντας τα ψάρια που βρίσκονται εκεί.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, η μηχανότρατα επιτρέπεται να ψαρεύει σε βάθη μεγαλύτερα των 50 m, ή απόσταση μεγαλύτερη των 3 ναυτικών μιλίων από την ακτή, ενώ σύμφωνα με την ισχύουσα αλιευτική νομοθεσία στην Ελλάδα η αλιεία με μηχανότρατα σταματά από τις 22 Μαΐου μέχρι τις 30 Σεπτεμβρίου. Στα ρηχότερα νερά πιάνει τις γαρίδες και τα δεύτερα ψάρια (σαυρίδια, κοκκοβιούς και άλλα μικρά), ενώ στα βαθιά πιάνει την καραβίδα, το μπακαλιάρο, τα μπαρμπούνια, τις κουτσομούρες, τις πεσκανδρίτσες, τους μοσχιούς κ.ά. Σε γενικές γραμμές, με την μηχανότρατα βυθού συλλέγονται τα βενθικά είδη, δηλαδή αυτά που ζουν πάνω ή κοντά στον πυθμένα και μέσα σ'αυτά βρίσκονται οι ράγιες και τα σαλάχια.

Κατά τη διάρκεια του ψαρέματος η μηχανότρατα κινείται περίπου με ταχύτητα 3 μιλίων την ώρα. Ειδικότερα, η τράτα μπορεί να αλιεύει είτε στον πυθμένα, είτε στα μεσόνερα. Το βάθος αλίευσης ρυθμίζεται από το μήκος των συρματόσχοινων έλξης, σε σχέση με την ταχύτητα αλίευσης. Με συρματόσχοινα μεγαλύτερου μήκους και μικρότερη ταχύτητα, η τράτα βυθίζεται. Με κοντύτερα συρματόσχοινα και μεγαλύτερη ταχύτητα, η τράτα ανεβαίνει.



Εικόνα 4: Σχηματική παράσταση του αλιευτικού εξοπλισμού της μηχανότρατας όπου απεικονίζεται ο σάκος, τα συρματόσχοινα και οι πόρτες που κρατάνε ανοιχτό το σάκο ([www.psarema.net](http://www.psarema.net))



Εικόνα 5: Μηχανότρατες στην Ιχθυόσκαλα Χαλκίδας (φωτογραφίες από Λεοντάρη Χριστιάνα στην Ιχθυόσκαλα Χαλκίδας).

### 4.2.3 Εργαστηριακή ανάλυση δειγμάτων

Τα άτομα που συλλέχθηκαν διατηρήθηκαν στην κατάψυξη (-20°C) μέχρι την ανατομή τους. Μετά την απόψυξη των δειγμάτων, για κάθε άτομο καταγράφηκε, η ημερομηνία και η περιοχή αλίευσης του, το συνολικό και το καθαρό βάρος με ακρίβεια γραμμαρίου, το ολικό μήκος με ακρίβεια χιλιοστού, το φύλο και το στάδιο γεννητικής ωριμότητας. Στη συνέχεια, από κάθε άτομο, αφαιρέθηκε το στομάχι και τοποθετήθηκε σε φορμόλη 4%, για τουλάχιστον 15 μέρες πριν την εξέταση του στομαχικού περιεχομένου.

Το κάθε στομάχι τοποθετήθηκε σε διηθητικό χαρτί για απομάκρυνση της υγρασίας, εκκενώθηκε και ζυγίστηκε το περιεχόμενό του με ακρίβεια 0,0001g. Έπειτα εξετάστηκε σε στερεοσκόπιο Nikon SMZ-2T και οι λείες αναγνωρίστηκαν στο κατώτερο δυνατό ταξινομικό επίπεδο με τη βοήθεια κλειδών προσδιορισμού των οργανισμών. Για την ποσοτική ανάλυση της διατροφής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του βάρους (Hyslop 1980) κατά την οποία κάθε τροφικό αντικείμενο ζυγίστηκε ξεχωριστά σε ηλεκτρονικό ζυγό αναγνωσιμότητας 0,0001g (Adventurer, Ohaus). Επίσης, έγινε καταμέτρηση του αριθμού κενών στομαχιών και της παρουσίας πλαστικών αντικειμένων.

### 4.2.4 Ανάλυση δεδομένων στομαχικού περιεχομένου

Για την ανάλυση του στομαχικού περιεχομένου των ειδών ποιοτικά και ποσοτικά εκτιμήθηκαν οι ακόλουθοι δείκτες:

- ✿ **Δείκτης Κενότητας (VI)** σύμφωνα με την εξίσωση  $VI = \frac{E}{T} \times 100$ , όπου T είναι ο συνολικός αριθμός στομαχιών που εξετάστηκαν και E ο αριθμός κενών στομαχιών (Hureau 1969). Προσδιορίζεται σε όλο τον πληθυσμό.
- ✿ **Βαθμός Πληρότητας (IF)** ο οποίος αποδίδει την πληρότητα του στομάχου και επηρεάζεται από τον ανταγωνισμό για τροφή, την αφθονία της λείας, τη φυσική κατάσταση του ψαριού καθώς και αβιοτικούς παράγοντες. Επίσης αποτελεί δείκτη των συνθηκών διαβίωσης στον οικολογικό θώκο.  
Σύμφωνα με τους Fungi *et al* (1996), στο κάθε ψάρι αποδίδεται βαθμός σχετικής πληρότητας (IF):
  - 0: κενό στομάχι
  - 1: σχεδόν άδειο στομάχι (<25%)
  - 2: μισογεμάτο στομάχι (25-75%)
  - 3: γεμάτο στομάχι (75-100%)
- ✿ **Δείκτης Πληρότητας (FI)** σύμφωνα με την εξίσωση  $FI = \frac{S}{B} \times 100$ , όπου S είναι το βάρος του στομαχικού περιεχομένου και B το καθαρό βάρος του ψαριού, ώστε να αποφευχθεί η επίδραση της κατάστασης ωριμότητας των γονάδων (Hureau 1969). Προσδιορίζεται σε όλο τον πληθυσμό.

- ✿ **Συχνότητα παρουσίας λείας(%F)** σύμφωνα με την εξίσωση

$$\%F = \frac{\text{αριθμός στομαχιών που περιείχαν μια ομάδα λείας}}{\text{συνολικός αριθμός μη άδειων στομαχιών}} \times 100$$

- ✿ **Αριθμητική αφθονία λείας(%N)** σύμφωνα με την εξίσωση

$$\%N = \frac{\text{αριθμός ατόμων μια ομάδας λείας στα μη άδεια στομάχια}}{\text{αριθμός όλων των λειών στα μη άδεια στομάχια}} \times 100$$

- ✿ **Σταθμική αφθονία λείας(%W)** σύμφωνα με την εξίσωση

$$\%W = \frac{\text{βάρος μιας ομάδας λείας στα μη άδεια στομάχια}}{\text{βάρος όλων των λειών στα μη άδεια στομάχια}} \times 100$$

Εκτιμάται με αυτούς τους τρεις τύπους η ένταση της διατροφής.

- ✿ **Δείκτης Σχετικής Σημασίας (Index of Relative Importance-IRI)** σύμφωνα με την εξίσωση  $IRI = \%F(\%W + \%N)$ , όπου F είναι η συχνότητα εμφάνισης, W το βάρος και N ο αριθμός της λείας και ουσιαστικά είναι ένας δείκτης αφθονίας-βάρους που περιγράφει τη σχετική σημασία κάθε κατηγορίας λείας που περιέχεται στο σύνολο των στομαχιών (Pinkas *et al.*, 1971). Λόγω του ότι ο IRI δεν εκφράζεται σε ποσοστό, η τιμή του ανάγεται σε ποσοστό της τιμής του στο σύνολο των κατηγοριών λείας ώστε να διευκολύνεται η σύγκριση ανάμεσα στους διαφορετικούς τύπους τροφής καθώς και ανάμεσα σε διαφορετικές διατροφικές μελέτες του είδους (Cortes 1997).

Η τιμή ανάγεται σύμφωνα με την εξίσωση  $\%IRI = 100 \times IRI / \sum IRI_i$

- ✿ **Εύρος τροφικού θώκου(niche Breadth, B)** σύμφωνα με την εξίσωση  $B = 1 / \sum_i^n p_i^2$ , όπου  $p_i$  η σταθμική ή αριθμητική αφθονία μιας λείας  $i$  στη διατροφή και  $n$  ο αριθμός διαφορετικών λειών που βρέθηκαν στον πληθυσμό. Αντανακλά το εύρος των τροφικών πόρων που ένα είδος εκμεταλλεύεται στο οικοσύστημα. Είδη που εκμεταλλεύονται μικρό αριθμό ειδών από τους διαθέσιμους χαρακτηρίζονται ως στενοφάγα ενώ σε αντίθετη περίπτωση χαρακτηρίζονται ως ευρυφάγα. Ο δείκτης υποδεικνύει αν ένα είδος είναι ευαίσθητο σε μια πιθανή μείωση της κυρίαρχης λείας στο περιβάλλον του(στενοφάγο) ή όχι (ευρυφάγο).

- ✿ **Ειδικός Δείκτης Αφθονίας Λείας (Pi)** σύμφωνα με την εξίσωση  $P_i = \frac{\sum Si}{\sum St_i} \times 100$ , όπου  $\sum Si$  είναι το άθροισμα της λείας  $i$  στα στομάχια που υπήρχε και  $\sum St_i$  είναι το άθροισμα όλων των λειών που περιέχονταν στα στομάχια που υπήρχε η λεία. Ο δείκτης εκφράζει τη σπουδαιότητα μιας ομάδας λείας ανάμεσα στις άλλες ομάδες, στα στομάχια που η λεία ήταν παρούσα μόνο και προσδιορίζεται σε όλο το πληθυσμό.

- ✿ **Δείκτης ποικιλότητας Shannon-Wiener (H')** σύμφωνα με την εξίσωση  $H' = -\sum_{j=1}^n p_j \ln p_j$ , όπου  $p_j$  είναι η αναλογία του τροφικού αντικειμένου  $i$  και  $n$  είναι ο συνολικός αριθμός τροφικών αντικειμένων που συμμετέχουν στη διατροφή ενός είδους (Morato *et al.* 2003). Ο υπολογισμός έγινε λαμβάνοντας

υπόψη τις αναλογίες (Cw/100) συμμετοχής των τροφικών αντικειμένων στη διατροφή κάθε είδους.

🍷 **Τροφικό επίπεδο (TL)** σύμφωνα με την εξίσωση (Cortés 1999)

$TL_k = 1 + (\sum_{j=1}^n P_j * TL_j)$  , όπου  $TL_k$ : το τροφικό επίπεδο του είδους  $k$ ,  $P_j$ : το ποσοστό της λείας (τροφικού αντικειμένου)  $j$  στη διατροφή του είδους  $k$ ,  $n$ : ο αριθμός κατηγοριών λείας (τροφικών αντικειμένων) και  $TL_j$ : το τροφικό επίπεδο της λείας  $j$ .

Το ποσοστό κάθε λείας στη διατροφή των ειδών εκτιμάται από τη σχέση (Cortés 1999):  $P_j = \sum_{i=1}^n (P_{ij} * Ni) / \sum_{j=1}^n * \sum_{i=1}^n (P_{ij} * Ni)$ , όπου  $P_i$ : το ποσοστό της κάθε λείας  $j$ ,  $N_i$ : ο αριθμός στομαχιών που περιλάμβαναν το αντικείμενο  $i$ ,  $n$ : ο αριθμός των αντικειμένων,  $j$ : ο συνολικός αριθμός των κατηγοριών λείας (αντικειμένων) και  $\sum_{j=1}^n$ .

Από τις τιμές που πήρε ο δείκτης  $TL_k$  εκτιμήθηκε η λειτουργική τροφική ομάδα (functional trophic group) στην οποία ανήκει το προς μελέτη είδος.

Σύμφωνα με τους Stergiou & Karrouzi (2002) οι λειτουργικές τροφικές ομάδες είναι **φυτοφάγα**, **παμφάγα με προτίμηση στα φυτά** ( $2,1 < TL_k < 2,9$ ), **παμφάγα με προτίμηση στα ζώα** ( $2,9 < TL_k < 3,7$ ), **σαρκοφάγα με προτίμηση στα Δεκάποδα και τους Οστεϊχθύες** ( $3,7 < TL_k < 4,0$ ) και **σαρκοφάγα με προτίμηση στους Οστεϊχθύες και τα Κεφαλόποδα** ( $4,0 < TL_k < 4,5$ ) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Κατηγορίες λείας για τον υπολογισμό του τροφικού επιπέδου βατοειδών (Ebert D.A & Bizzarro J.J 2007)

Κωδικός ομάδας	Περιγραφή	Τροφικό επίπεδο
INVERT	Άλλα ασπόνδυλα και ασπόνδυλα άγνωστα	2,5
POLY	Πολύχαιτοι και άλλα θαλάσσια σκουλήκια	2,60
MOLL	Μαλάκια (εκτός Κεφαλοπόδων) και άγνωστα	2,1
SQUID	Καλαμάρια	3,2
CEPH	Χταπόδια, σουπιές και άγνωστα Κεφαλόποδα	3,2
AMPH	Αμφίποδα και Ισόποδα	3,18
EUPH	Ευφασεώδη και Μυσιδώδη	2,25
DECA	Δεκάποδα Καρκινοειδή	2,52
OCRUST	Καρκινοειδή και άγνωστα καρκινοειδή	2,4
CHOND	Χονδριχθύες	3,65
FISH	Τελεόστεοι και άγνωστοι τελεόστεοι	3,24

#### 4.2.5 Στατιστική επεξεργασία

Η ποσοτική και ποιοτική ανάλυση του στομαχικού περιεχομένου πραγματοποιήθηκε για το συνολικό πληθυσμιακό δείγμα. Η στατιστική επεξεργασία έγινε με τη βοήθεια των προγραμμάτων IBM SPSS Statistics 28.0.0.0 , Excel 2013 και Past 3.

Οι δείκτες εκτίμησης του στομαχικού περιεχομένου υπολογίστηκαν ξεχωριστά ανά φύλο, στάδιο γεννητικής ωρίμανσης ( $L_{50}$ ) και εποχή δειγματοληψίας όπου ήταν εφικτό.

Η εκτίμηση του μήκους που το 50 % των ατόμων είναι γεννητικά ώριμα ( $L_{50}$ ) έγινε με τη χρήση της εμπειρικής σχέσης

$$L_{50} = 10^{-0,1246+0,9924*\log(L_{max})} \text{ (Binohlan C. and Froese R.,2009).}$$

Η δοκιμασίας  $\chi^2$  (Chi-square test, Zar 1999) εφαρμόστηκε για τη σύγκριση των τιμών του δείκτη κενότητας μεταξύ των φύλων, των ανώριμων και ώριμων ατόμων. Για τη σύγκριση του δείκτη πληρότητας μεταξύ των δύο φύλων, των ανώριμων και ώριμων ατόμων καθώς και για την εποχική διαφοροποίηση εφαρμόστηκε η δοκιμασία Mann-Whitney (Mann & Whitney 1947). Η διαφοροποίηση του δείκτη TROPH σχετικά με το φύλο, την ωριμότητα και την εποχή ελέγχθηκε με τη δοκιμασία t (Student's t-test, Sokal & Rohlf 1987).

### 4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 4.3.1 Σύνθεση δειγμάτων- Σχέση μήκους-βάρους ατόμων

Η παρούσα μελέτη βασίστηκε σε 132 άτομα (70 θηλυκά και 62 αρσενικά) του είδους *Raja clavata*, τα οποία αλιεύθηκαν με μηχανότρατα την άνοιξη και το χειμώνα του 2019 από το Β.Ευβοϊκό και το Σαρωνικό κόλπο αντίστοιχα. Το μεγαλύτερο σε μέγεθος θηλυκό ήταν 88cm(TL) και βάρος 2,24Kg και το αρσενικό 82cm και βάρος 2,87Kg. (Πίνακας 3).

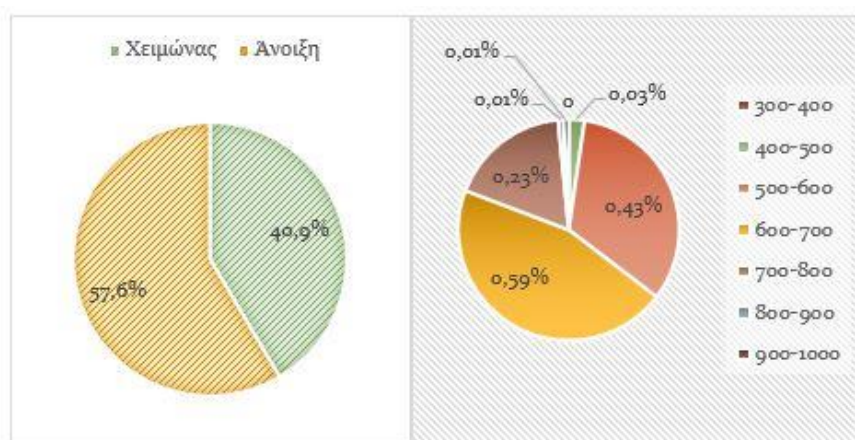
Πίνακας 3: Ολικό μήκος (TL) και Ολικό βάρος (TW) των ατόμων που συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη της διατροφής του είδους *Raja clavata*

Φύλο	N	TL(mm)			TW(g)		
		M.T	T.A	Εύρος τιμών	M.T	T.A	Εύρος τιμών
Θ	70	546	79,02	387-880	1028	471,98	258-2240
Α	62	536	77,16	379-820	927	478,59	225-2878
Σύνολο	132	541	77,81	379-880	981	475,96	225-2878

TL: Ολικό μήκος, TW: Ολικό βάρος, N: αριθμός ατόμων, M.T: Μέση τιμή, T.A: Τυπική απόκλιση

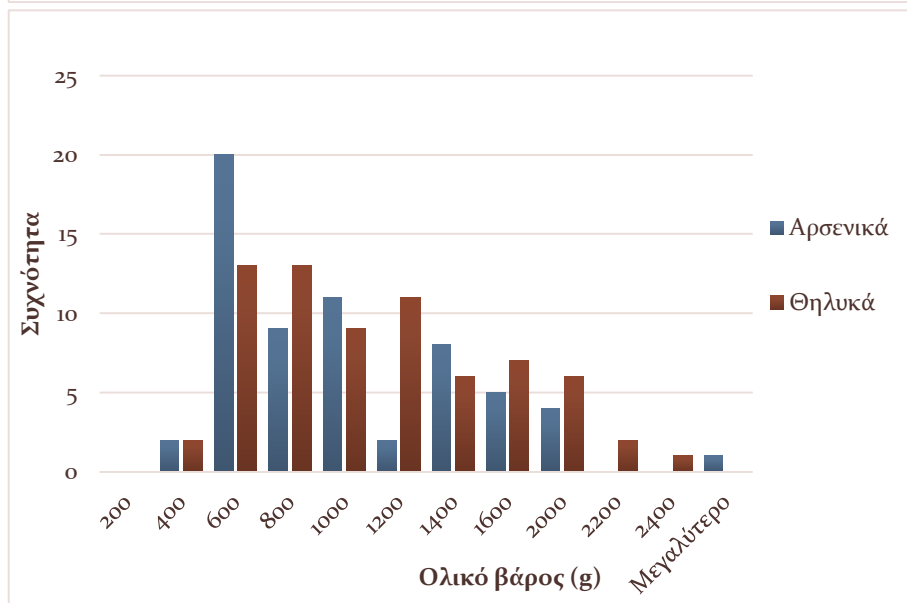
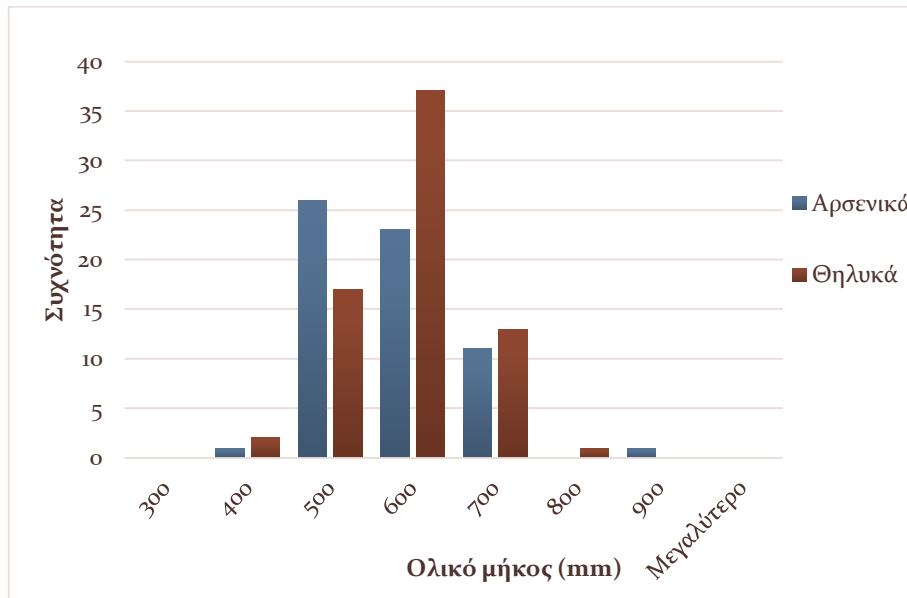
#### 4.3.2 Κατανομές μεγεθών - Σχέση μήκους βάρους ατόμων

Στα παρακάτω κυκλικά διαγράμματα παρουσιάζονται η κατανομή των ατόμων και η διαφοροποίησή τους ανάλογα με την εποχή δειγματοληψίας και την κλάση ολικού μήκους(mm) (Εικόνα 6). Όπως φαίνεται, την Άνοιξη αλιεύθηκαν πιο πολλά άτομα και τα περισσότερα άτομα της δειγματοληψίας είχαν ολικό μήκος 60-70cm.



Εικόνα 6: Κατανομή ατόμων *R. clavata* ανά εποχή και κλάση μήκους(mm) σε ποσοστιαία αναλογία

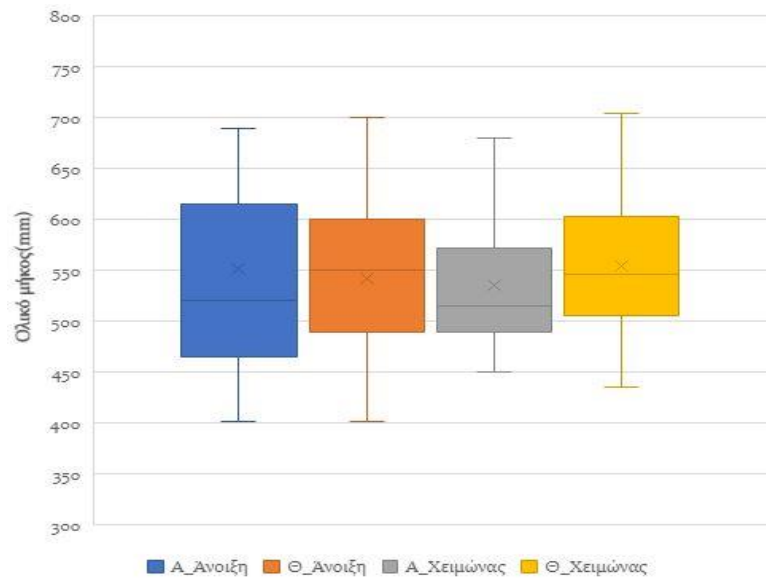
Δημιουργήθηκαν ραβδογράμματα για την κατανομή των κλάσεων μήκους και βάρους ανά φύλο(Εικόνα 7). Παρατηρείται πως τα θηλυκά υπερτερούν στις μεγαλύτερες (ώριμα άτομα) κλάσεις μεγέθους συγκριτικά με τις μικρότερες.



Εικόνα 7: Κατανομή μήκους και βάρους του *R.clavata* ανά φύλο

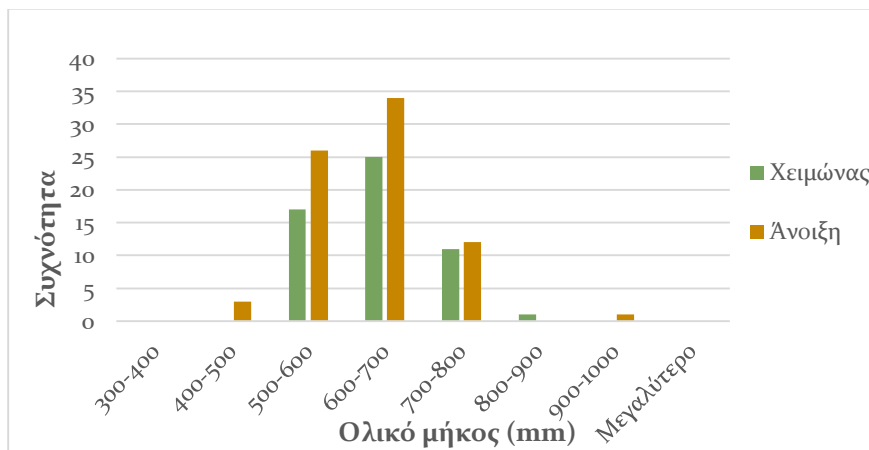


Εν συνεχεία, δημιουργήθηκε θηκόγραμμα ανά φύλο και εποχή για να έχουμε μια πρώτη εικόνα για τα περιγραφικά χαρακτηριστικά του δείγματος (Εικόνα 8).



Εικόνα 8: Θηκόγραμμα ολικού μήκους σε σχέση με το φύλο και την εποχή (A\_: Αρσενικά, Θ\_: Θηλυκά)

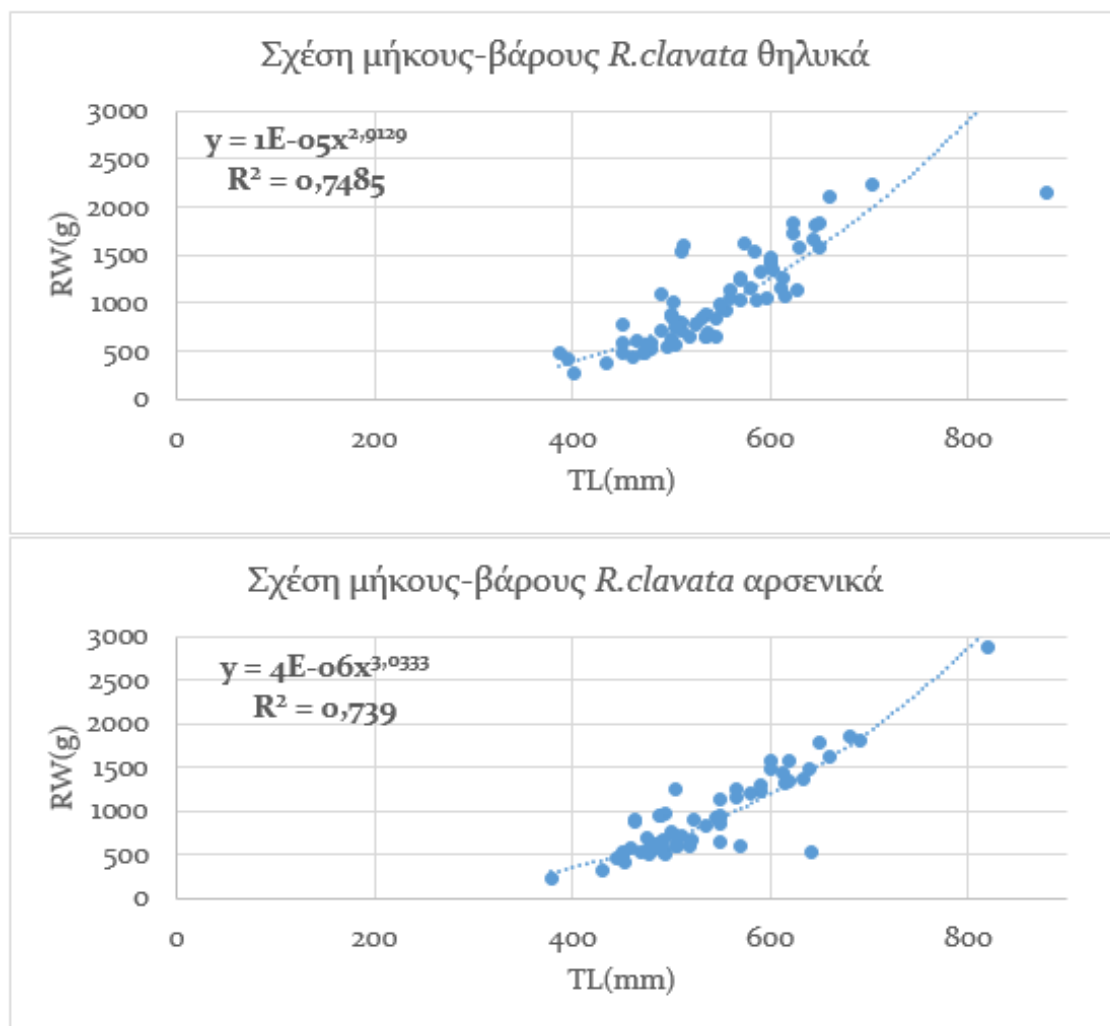
Από την Εικόνα 9 παρατηρούμε πως την Άνοιξη συγκεντρώνονται τα περισσότερα άτομα με τα μεγαλύτερα ολικά μήκη.



Εικόνα 9: Εποχιακή κατανομή του *R. clavata*

Παρακάτω δίνονται τα στικτογράμματα διασποράς του ολικού βάρους (Εικόνα 10) συναρτήσει του ολικού μήκους. Το ολικό μήκος (TL) και το ολικό βάρος (RW) χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση παλινδρόμησης για την εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης ( $r$ ) του μήκους και του βάρους των ατόμων και για τον προσδιορισμό της εξίσωσης  $RW = a TL^b$ , όπου το  $a$  και το  $b$  είναι σταθερές.

Εφαρμόζοντας την **ανάλυση παλινδρόμησης** βρέθηκε θετική συσχέτιση ανάμεσα στο ολικό μήκος και βάρος των ατόμων του είδους.



Εικόνα 10: Συσχέτιση ολικού μήκους και βάρους ανά φύλο του βάτου *R. clavata*

Από την εμπειρική σχέση  $L50 = 10^{-0,1246+0,9924*\log(Lmax)}$  (Binohlan C & Froese R, 2009) εκτιμήθηκε πως το μήκος της πρώτης ωρίμανσης (L50) για τα θηλυκά άτομα ήταν 62,7cm και για τα αρσενικά άτομα 58,5cm.

Συνολικά βρέθηκαν 32 ώριμα θηλυκά άτομα από τα 70 (45,7%) και 17 ώριμα αρσενικά άτομα από τα 62 (27,4%).

### 4.3.3 Δείκτης κενότητας

Η δοκιμασία  $\chi^2$  έδειξε ότι ο δείκτης κενότητας (VI%) δε διέφερε στατιστικά σημαντικά ως προς κανένα εξεταζόμενο παράγοντα ( $P\chi^2 > 0.05$  σε όλες τις περιπτώσεις)(Πίνακας 4).

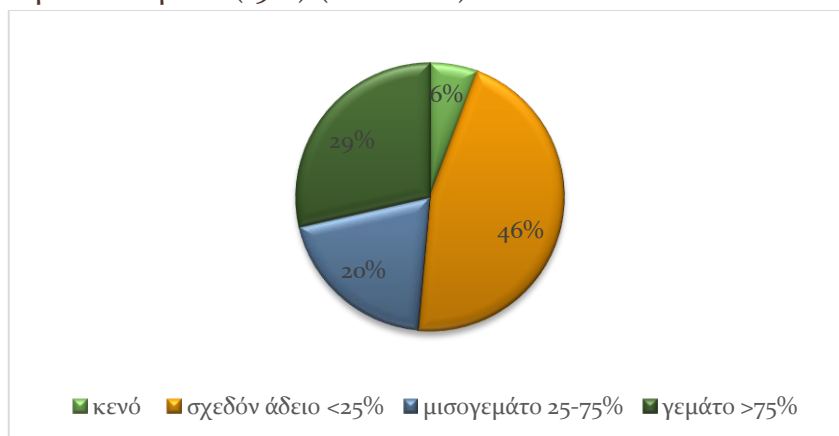
Πίνακας 4: Μέση τιμή του Δείκτη Κενότητας (VI%) ανά φύλο, κατάσταση ωρίμανσης και εποχή. Η  $P\chi^2$  πιθανότητα αντιστοιχεί στη δοκιμασία  $\chi^2$ .

	Παράγοντας	T	E	VI %	$P\chi^2$
<b>Φύλο</b>	A	62	4	6,45	0,8675
	Θ	70	4	5,71	$\chi^2 = 0,0278$
<b>L<sub>50</sub></b>	A < L <sub>50</sub>	27	3	11,11	0,2208
	A > L <sub>50</sub>	35	1	2,86	$\chi^2 = 1,4992$
	Θ < L <sub>50</sub>	40	3	7,50	0,4814
	Θ > L <sub>50</sub>	30	1	0,00	$\chi^2 = 0,4957$
<b>ΕΠΟΧΗ</b>	Άνοιξη	76	3	3,33	0,4865
	Χειμώνας	56	1	1,79	$\chi^2 = 0,4841$
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>132</b>	<b>8</b>	<b>6,06</b>	

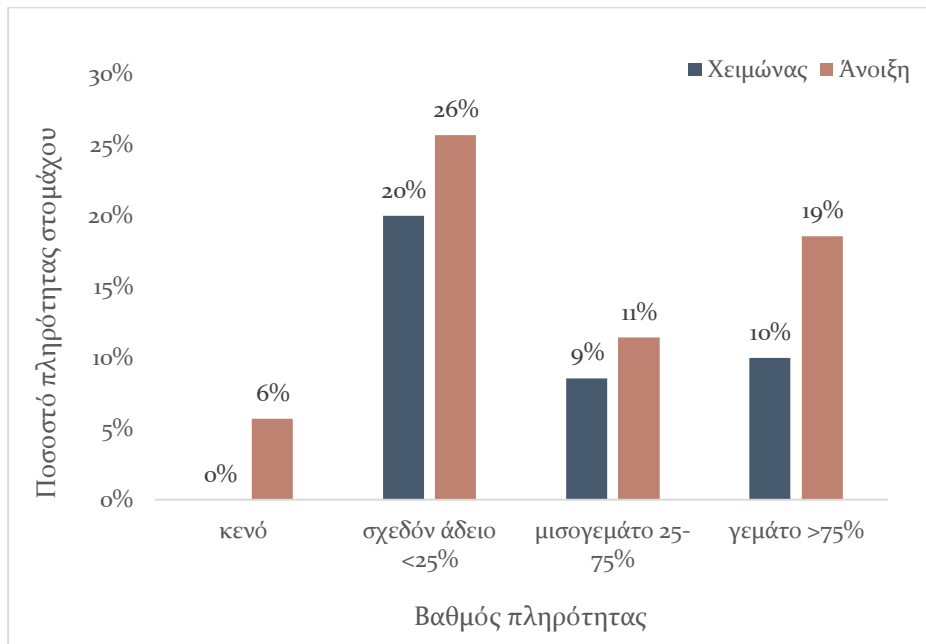
A: αρσενικά, Θ: θηλυκά, L<sub>50</sub>: μήκος πρώτης γεννητικής ωρίμανσης, T: σύνολο εξεταζόμενων στομαχιών, E: σύνολο κενών στομαχιών

### 4.3.4 Βαθμός πληρότητας

Έγινε μακροσκοπική παρατήρηση για να υπάρξει μια περιγραφική αποτύπωση της πληρότητας των στομαχιών. Όπως βλέπουμε από την Εικόνα 11, στα θηλυκά άτομα το 49% ήταν γεμάτο κατά το ήμισυ και πάνω ενώ το 52% είχε μικρή πληρότητα. Επίσης, παρατηρήθηκε μεγαλύτερη πληρότητα την Άνοιξη (30%) συγκριτικά με το Χειμώνα (19%) (Εικόνα 12).



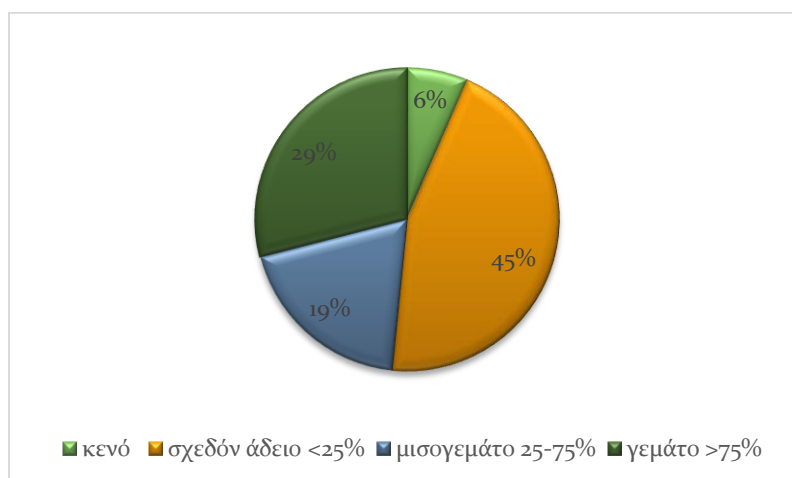
Εικόνα 11: Ποσοστό πληρότητας στομαχιών θηλυκών ατόμων *R. clavata*



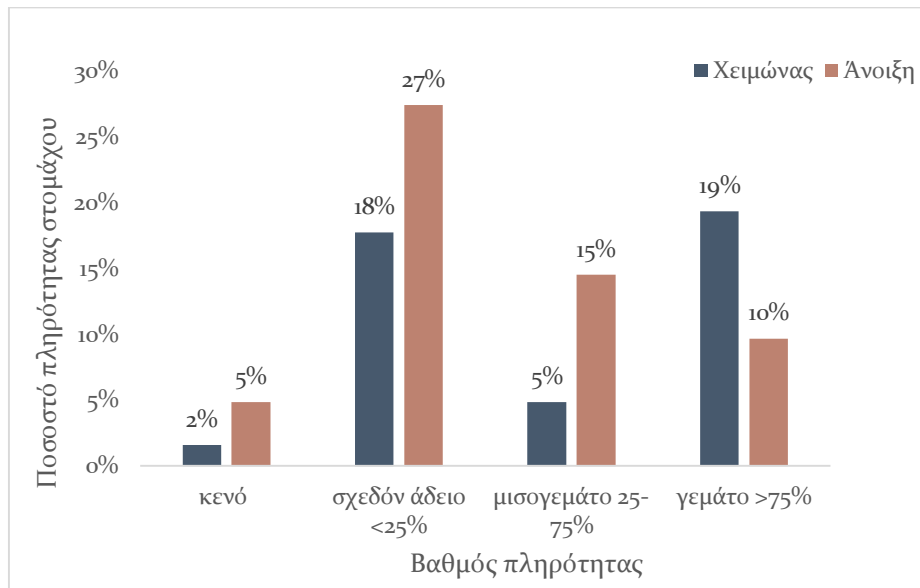
Εικόνα 12: Βαθμός πληρότητας στομάχου ανά εποχή σε θηλυκά *R. clavata*

Στα αρσενικά άτομα και πάλι το μεγαλύτερο ποσοστό (51%) είχε μικρή πληρότητα ενώ το 48% είχε πληρότητα πάνω από το ήμισυ (Εικόνα 13). Την Άνοιξη φαίνεται να υπάρχει ελαφρώς μεγαλύτερη- σχεδόν ίδια- πληρότητα (25%) με το Χειμώνα (24%) (Εικόνα 14).

Και στα δύο φύλα παρατηρήθηκε μεγαλύτερη πληρότητα την Άνοιξη σε σχέση με το Χειμώνα προφανώς λόγω μεγαλύτερης ανάγκης τροφοληψίας για την έναρξη της αναπαραγωγικής περιόδου (θηλυκά Χ -39%, Α-56%, αρσενικά Χ-42%, Α-52%) (Εικόνες 12, 14).



Εικόνα 13: Ποσοστό πληρότητας στομαχιών αρσενικών *R. clavata*



Εικόνα 14: Βαθμός πληρότητας στομάχου ανά εποχή σε αρσενικά *R.clanata*

#### 4.3.5 Δείκτης πληρότητας

Φαίνεται πως τα αρσενικά άτομα είχαν μεγαλύτερη πληρότητα στομάχου από τα θηλυκά. Παρατηρούμε πως τα ανώριμα αρσενικά είχαν επίσης μεγαλύτερη πληρότητα από τα αντίστοιχα θηλυκά αλλά τα ώριμα θηλυκά παρουσίασαν μεγαλύτερη πληρότητα από τα ώριμα αρσενικά. Την Άνοιξη, επίσης, η πληρότητα ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με το Χειμώνα (Πίνακας 5, Εικόνα 15).

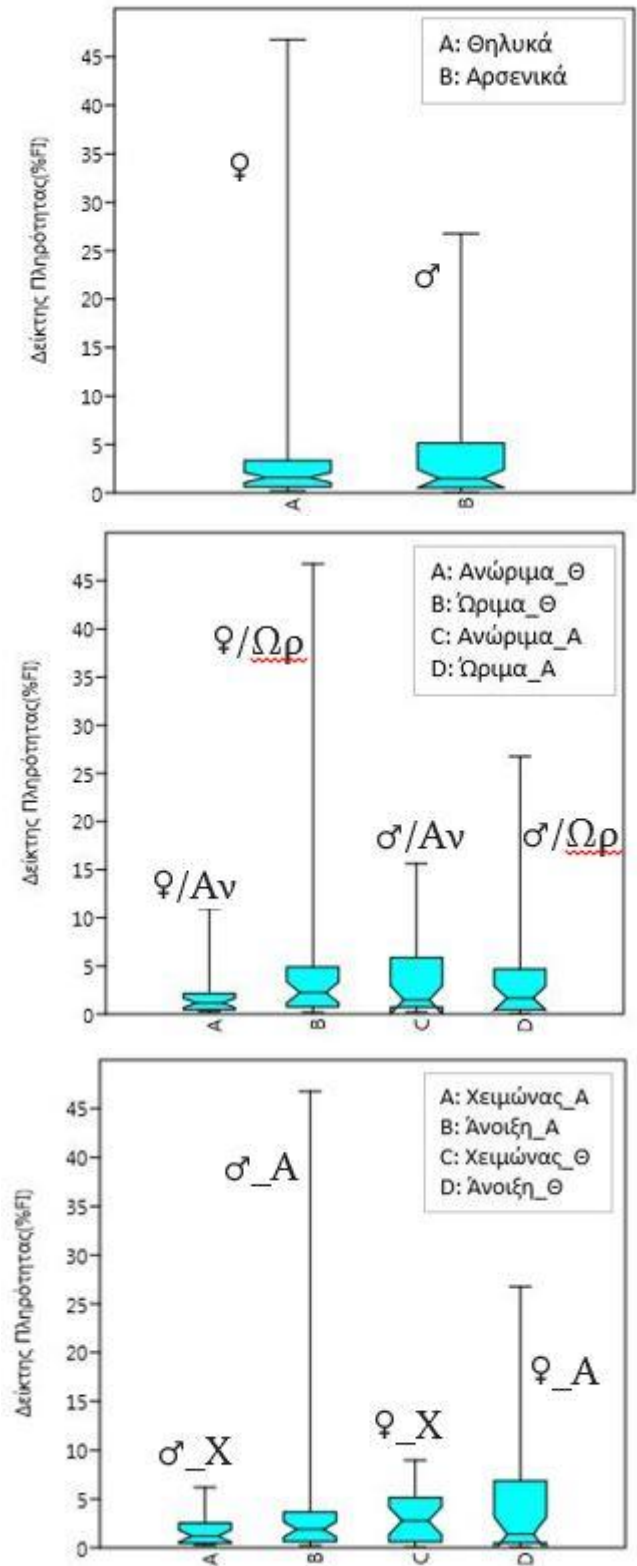
Η δοκιμασία Mann-Whitney έδειξε ότι ο δείκτης πληρότητας (FI%) διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων ( $P_w=0,0013<0.05$ ) με τα αρσενικά άτομα να έχουν υψηλότερη τιμή δείκτη. Δε διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ ανώριμων και ώριμων ατόμων και στα δύο φύλα ούτε και ως προς την εποχή δειγματοληψίας ( $P_w>0.05$ ).

Πίνακας 5: Μέση τιμή του δείκτη πληρότητας (FI) ανά φύλο, κατάσταση ωρίμανσης και εποχή δειγματοληψίας. Οι πιθανότητες  $p_w$  αντιστοιχούν στις δοκιμασίες Mann'-Whitney

	Παράγοντας	N	FI %±SD	$P_w$
Φύλο	A	58	4.26±7.47	<b>0,0013</b>
	Θ	66	3.48±6.92	(z=-3.225)
L50	A<L50	32	4.67±8.64	0,9442
	A>L50	26	3.76±5.65	(z=0.066)
	Θ<L50	42	2.06±2.08	0.64552
	Θ>L50	24	5.95±10.70	(z=-0.461)
Εποχή	Άνοιξη	71	4.80±9.12	0,5854
	Χειμώνας	53	2.57±2.36	(z=-0.545)
ΣΥΝΟΛΟ		124		

A: αρσενικά, Θ:θηλυκά, L50: μήκος πρώτης γεννητικής ωρίμανσης,

N: σύνολο μη κενών στομαχιών



Εικόνα 15: Θηκογράμματα (Box plot) του δείκτη πληρότητας (FI%) ανά φύλο, κατάσταση ωρίμανσης και εποχή

#### 4.3.6 Δείκτης σχετικής σημασίας (IRI)

Ο δείκτης αυτός συνδυάζει τη συχνότητα παρουσίας λείας(%F), την αριθμητική(%N) και τη σταθμική(%W) αφθονία μιας λείας στη συνολική διαίτα του ψαριού. **Όσο μεγαλύτερος είναι τόσο πιο ισχυρή είναι η προτίμηση του ψαριού για τη λεία αυτή.**

Συνολικά 50 ταξινομικές ομάδες αναγνωρίστηκαν στο περιεχόμενο 124 μη κενών στομαχιών του είδους *R. clavata*. Συγκεκριμένα, αναγνωρίστηκαν είδη που ανήκαν σε 21 οικογένειες Τελεόστεων, 13 οικογένειες Καρκινοειδών, 5 οικογένειες Μαλακίων, Ισόποδα, Ευφασεώδη, Πολύχαιτοι και Γαστερόποδα. Οι σημαντικότερες ομάδες ήταν τα Καρκινοειδή(52%) ,οι Τελεόστεοι(44%) και τα Μαλάκια(4%) ενώ οι υπόλοιπες ομάδες παρουσίασαν αμελητέα συνεισφορά για αυτό και δε συμπεριλήφθηκαν στα διαγράμματα (Πίνακας 6, Εικόνα 16 & 17).

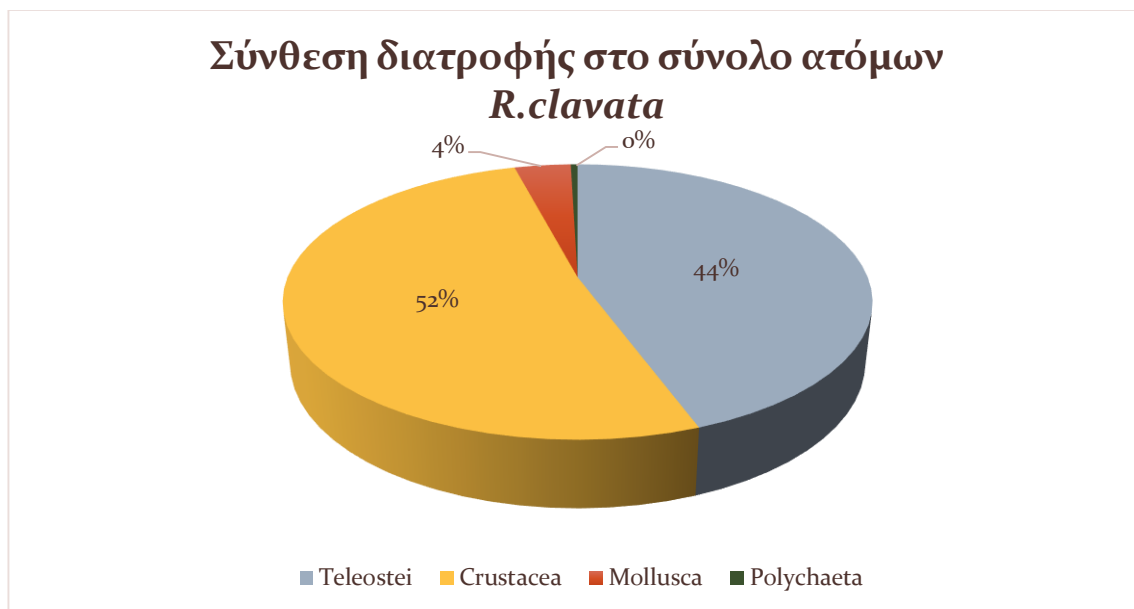
Πίνακας 6: Σύνθεση διατροφής του είδους *Raja clavata*, %F συχνότητα παρουσίας λείας, %N αριθμητική αφθονία λείας, %W σταθμική αφθονία λείας, IRI δείκτης σχετικής σημασίας λείας

<b>Taxon</b>	<b>Species</b>	<b>% F</b>	<b>% N</b>	<b>% W</b>	<b>IRI</b>	<b>%IRI</b>
<b>Teleostei</b>	<i>Indet.</i>	10,48	20	0,13	211,06	5,29
<b>Triglidae</b>	<i>Lepidotrigla sp.</i>	2,42	4,62	0,02	11,21	0,28
<b>Argentinidae</b>	<i>Argentina sphyraena</i>	3,23	6,15	0,03	19,95	0,50
<b>Beloidae</b>	<i>Belone belone</i>	1,61	3,08	0,01	4,97	0,12
<b>Carangidae</b>	<i>Trachurus sp.</i>	8,87	16,92	0,17	151,66	3,80
<b>Centracanthidae</b>	<i>Spicara smaris</i>	2,42	4,62	0,01	11,19	0,28
	<i>Spicara sp.</i>	0,81	1,54	0,01	1,25	0,03
<b>Citharinidae</b>	<i>Citharus sp.</i>	1,61	3,08	0,03	5,01	0,13
<b>Clupeidae</b>	<i>Sardina pilchardus</i>	4,03	7,69	0,08	31,36	0,79
	<i>Sprattus sprattus</i>	2,42	4,62	0,06	11,31	0,28
	<i>Sardinella aurita</i>	0,81	1,54	0,04	1,27	0,03
<b>Congridae</b>	<i>Conger conger</i>	0,81	1,54	0,03	1,26	0,03
<b>Engraulidae</b>	<i>Engraulis encrasicolus</i>	2,42	4,62	0,01	11,19	0,28
<b>Gadidae</b>	<i>Merlangius merlangus</i>	0,81	1,54	0,03	1,27	0,03
	<i>Gadiculus argenteus</i>	2,42	4,62	0,04	11,25	0,28
	<i>Micromesistius poutassou</i>	3,23	6,15	0,08	20,11	0,50
<b>Gobiidae</b>	<i>Gobius sp.</i>	2,42	4,62	0,02	11,22	0,28
<b>Macrouridae</b>	<i>Hymenocephalus italicus</i>	0,81	1,54	0	1,24	0,03
<b>Merlucciidae</b>	<i>Merluccius merluccius</i>	5,65	10,77	0,13	61,5	1,54

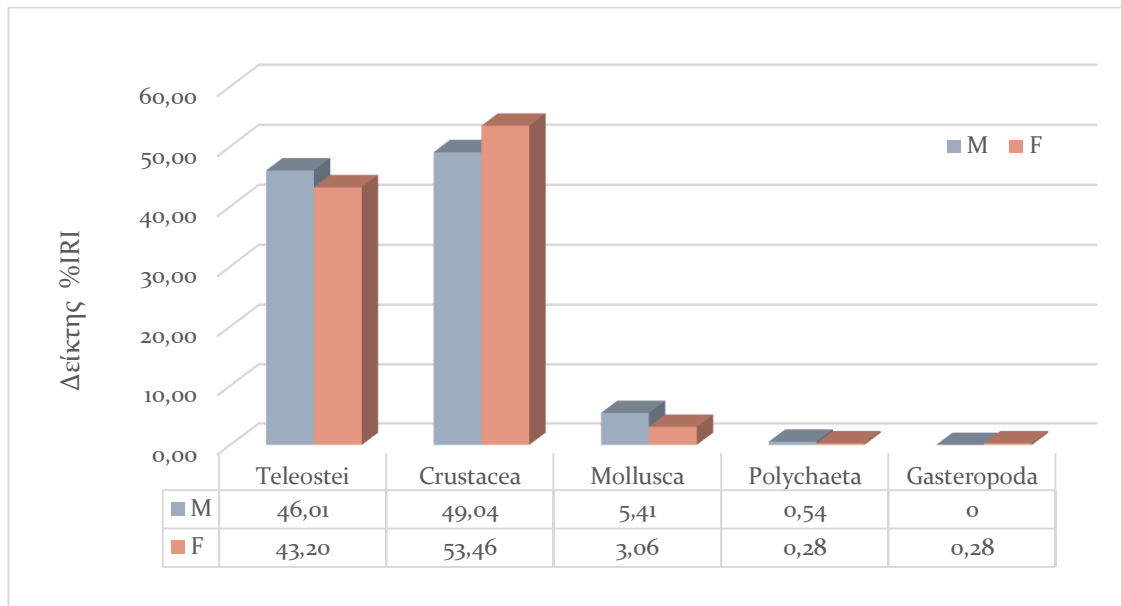


<b>Mullidae</b>	<i>Mullus surmuletus</i>	3,23	6,15	0,09	20,13	0,50
	<i>Mullus barbatus</i>	2,42	4,62	0,06	11,31	0,28
<b>Paralepididae</b>	<i>Paralepis sp.</i>	4,03	7,69	0,1	31,4	0,79
<b>Physidae</b>	<i>Physis blennoides</i>	0,81	1,54	0	1,24	0,03
<b>Scombridae</b>	<i>Scomber scombrus</i>	0,81	1,54	0,04	1,27	0,03
<b>Sebastidae</b>	<i>Helicolenus dactylopterus</i>	1,61	3,08	0,02	4,99	0,13
<b>Scorpaenidae</b>	<i>Scorpaena sp.</i>	2,42	4,62	0,08	11,35	0,28
<b>Serranidae</b>	<i>Serranus sp.</i>	4,84	9,23	0,08	45,03	1,13
<b>Soleidae</b>	<i>Solea sp.</i>	6,45	12,31	0,07	79,84	2,00
<b>Sparidae</b>	<i>Pagellus erythrinus</i>	1,61	3,08	0,02	5	0,13
	<i>Pagrus pagrus</i>	1,61	3,08	0,04	5,02	0,13
	<i>Boops boops</i>	8,87	16,92	0,24	152,27	3,82
	<i>Dentex dentex</i>	0,81	1,54	0,03	1,26	0,03
	<i>Diplodus sp.</i>	4,03	7,69	0,09	31,36	0,79
	<i>Lithognathus mormyrus</i>	0,81	1,54	0,03	1,26	0,03
	<i>Dentex sp.</i>	1,61	3,08	0,04	5,03	0,13
<b>Crustacea</b>	<i>Καρκινοειδή undent.</i>	27,42	52,31	0,66	1452,21	36,42
<b>Stomatopoda Squillidae</b>	<i>Squilla mantis</i>	3,23	6,15	0,09	20,15	0,51
<b>Decapoda Reptantia</b>						
<b>Portunidae</b>	<i>Liocarcinus sp.</i>	10,48	20	0,17	211,47	5,30
<b>Polybiidae</b>	<i>Bathynectes sp.</i>	11,29	21,54	0,13	244,61	6,14
<b>Munididae</b>	<i>Munida sp.</i>	16,94	32,31	0,45	554,76	13,91
<b>Paguridae</b>	<i>Pagurus sp</i>	0,81	1,54	0,02	1,25	0,03
<b>Eriphiidae</b>	<i>Eriphia verrucosa</i>	1,61	3,08	0,04	5,03	0,13
<b>Decapoda Natantia</b>						
<b>Alpheidae</b>	<i>Alpheus glaber</i>	3,23	6,15	0,09	20,13	0,50
<b>Solenoceridae</b>	<i>Solenocera sp.</i>	2,42	4,62	0,08	11,35	0,28
<b>Crangonidae</b>	<i>Crangon crangon</i>	0,81	1,54	0,03	1,26	0,03
<b>Penaeidae</b>	<i>Parapenaeus longirostris</i>	6,45	12,31	0,09	79,96	2,01
	<i>Penaeus sp.</i>	2,42	4,62	0,07	11,33	0,28
	<i>Penaeus kerathurus</i>	8,06	15,38	0,2	125,66	3,15
	<i>Metapenaeus monoceros</i>	2,42	4,62	0,04	11,26	0,28

	<i>Trachypenaeus curvirostris</i>	1,61	3,08	0	4,97	0,12
<b>Aristeidae</b>	<i>Aristaeomorpha foliacea</i>	5,65	10,77	0,02	60,91	1,53
<b>Lophogastridae</b>	<i>Lophogaster typicus</i>	4,03	7,69	0,08	31,33	0,79
<b>Nephropidae</b>	<i>Nephrops norvegicus</i>	0,81	1,54	0,01	1,25	0,03
<b>Decapoda</b>	<i>Indet.</i>	4,03	7,69	0,09	31,38	0,79
<b>Cephalopods</b>	<i>Κεφαλόποδα undent.</i>	0,81	1,54	0	1,24	0,03
<b>Octopodidae</b>	<i>Octopus vulgaris</i>	1,61	3,08	0,01	4,97	0,12
<b>Eledonidae</b>	<i>Eledone moschata</i>	2,42	4,62	0,05	11,29	0,28
<b>Loligelinidae</b>	<i>Loligo sp.</i>	5,65	10,77	0,08	61,22	1,54
<b>Ommastrephidae</b>	<i>Todarodes sp.</i>	0,81	1,54	0,01	1,25	0,03
	<i>Illex coindetii</i>	0,81	1,54	0,01	1,25	0,03
<b>Sepiolidae</b>	<i>Sepiolinae indet.</i>	2,42	4,62	0,03	11,23	0,28
<b>Isopoda</b>	<i>Ισόποδα undent.</i>	3,23	6,15	0	19,87	0,50
<b>Euphausiacea</b>	<i>Ευφασεώδη undent.</i>	0,81	1,54	0	1,24	0,03
<b>Polychaeta</b>	<i>Πολύχαιτοι undent.</i>	1,61	3,08	0	4,97	0,12
<b>Gasteropoda</b>	<i>Harlostyleus sp.</i>	0,81	1,54	0,01	1,25	0,03



Εικόνα 16: Σύνθεση διατροφής στο σύνολο ατόμων *R. clavata*



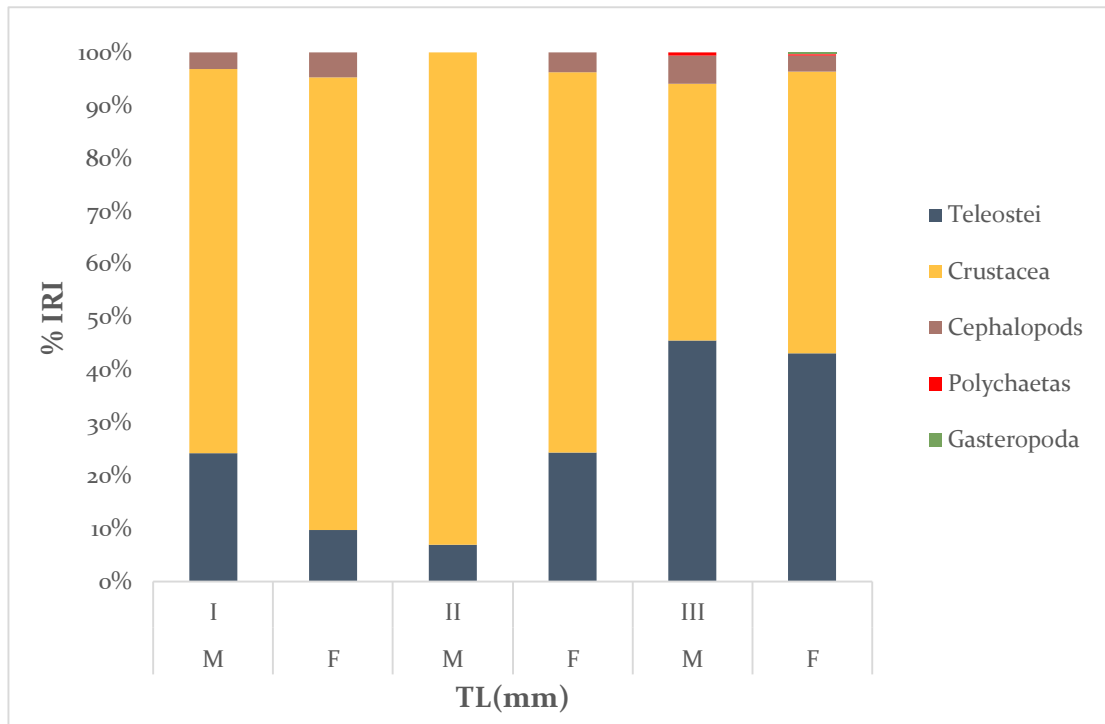
Εικόνα 17: Σύνθεση διατροφής ανά φύλο στο *R.clavata*

Σχετικά με το στάδιο ωριμότητας και το φύλο, ο δείκτης IRI έδειξε πως τα Καρκινοειδή φαίνεται να είναι η κυρίαρχη ομάδα λείας για τα ανώριμα άτομα ενώ σταδιακά αντικαθίστανται από Οστεϊχθύες με την ανάπτυξη (Πίνακας 7, Εικόνα 18).

Πίνακας 7: Πίνακας του δείκτη σχετικής σημασίας λείας των γενικότερων ταξινομικών ομάδων των λειών ανά στάδιο γεννητικής ωριμότητας και ανά φύλο

	A	Θ	A	Θ	A	Θ
	I		II		III	
<b>Teleostei</b>	24,20	4,94	6,96	24,45	46,01	43,20
<b>Crustacea</b>	72,68	43,56	93,04	72,39	49,04	53,46
<b>Cephaloda</b>	3,11	2,39	0,00	3,68	5,41	3,06
<b>Polychaeta</b>	0	0	0	0	0,54	0,28
<b>Gasteropoda</b>	0	0	0	0	0	0,28

A:αρσενικά, Θ:θηλυκά, I,II,III στάδιο ωρίμανσης



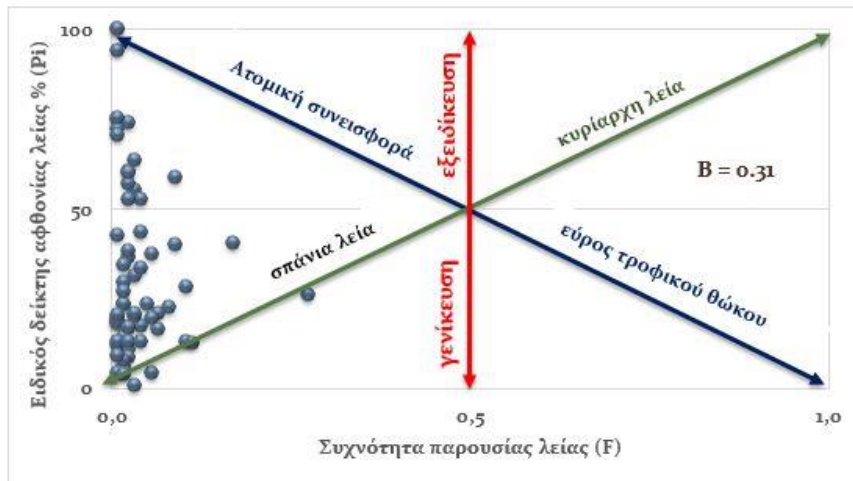
Εικόνα 18: Ποσοστό του δείκτη σχετικής σημασίας (%IRI) της συνεισφοράς των διαφόρων ταξινομικών ομάδων στη διατροφή του είδους *Raja clavata* ανά φύλο και στάδιο ωρίμανσης

#### 4.3.7 Ειδικός δείκτης σημασίας λείας (Pi)-Εύρος τροφικού θώκου (niche Breadth, B)

Η **κάθετη** διαγώνιος (σημείο με 50% συχνότητα λείας-δηλ. ο μισός πληθυσμός) εξηγεί τη διατροφική στρατηγική ( με όρους: εξειδίκευση, γενίκευση)

Η **διαγώνιος (κάτω αριστερά-πάνω δεξιά)** εξηγεί τη σπουδαιότητα της λείας στη δίαιτα ( με όρους: κυρίαρχη, σπάνια λεία)

Η **διαγώνιος (πάνω αριστερά-κάτω δεξιά)** εξηγεί την ατομική συνεισφορά στο εύρος του τροφικού θώκου του ψαριού.



Εικόνα 19: Ειδικός δείκτης αφθονίας λείας (Pi) στο σύνολο των δειγμάτων *R. clavata*

Σύμφωνα με το παραπάνω σημειακό διάγραμμα (Εικόνα 19), τα σημεία-λείες που βρίσκονται **κάτω αριστερά** καταναλώνονται σπάνια από ελάχιστα άτομα του πληθυσμού είναι δηλαδή σπάνιες στο διαιτολόγιο (χαμηλή F και χαμηλό Pi).

Τα σημεία-λείες που βρίσκονται **πάνω αριστερά** (που εδώ είναι ελάχιστα) υποδεικνύουν θηρευτές όπου τα διαφορετικά άτομα εξειδικεύονται σε διαφορετικά είδη λείας (υψηλό Pi) όμως οι διαφορετικές λείες καταναλώνονται από μικρό αριθμό ατόμων (χαμηλή F) (ενδοειδικές διαφορές). Αυτό δείχνει ισχυρή εξειδίκευση των ατόμων του πληθυσμού για διαφορετικές λείες και υψηλή συνεισφορά αυτών των λειών στο εύρος του τροφικού θώκου του πληθυσμού. Τέλος, δεν υπήρξε καμία σημαντική συνεισφορά των ατομικών διαφορών στο εύρος τροφικού θώκου του *R. clavata* που ήταν στενό ( $B=0,31$ ). Σύμφωνα με τον κάθετο άξονα, τα περισσότερα σημεία-λείες βρίσκονται στο **κάτω μέρος** που υποδεικνύει πως καταναλώνονται περιστασιακά (γενίκευση) από λίγα άτομα οπότε η *Raja clavata* θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως **γενικός θηρευτής**.

#### 4.3.8 Δείκτης ποικιλότητας

Ο δείκτης ποικιλότητας Shannon-Wiener ( $H'$ ) κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων του προς μελέτη είδους. Τα ώριμα άτομα φαίνεται να παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές του δείκτη συγκριτικά με τα ανήλικα άτομα. Τα ανώριμα θηλυκά είχαν μεγαλύτερη τιμή δείκτη από τα ανώριμα αρσενικά. Την Άνοιξη ο δείκτης ήταν διπλάσιος συγκριτικά με το Χειμώνα (Πίνακας 8).

Πίνακας 8: Δείκτης ποικιλότητας Shannon-Wiener( $H'$ )

	A	Θ	A<L <sub>50</sub>	A>L <sub>50</sub>	Θ<L <sub>50</sub>	Θ>L <sub>50</sub>	ΑΝΟΙΞΗ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ
<b>H'</b>	1,54	1,30	1,69	2,52	2,40	2,68	5,38	2.32

A: αρσενικά, Θ:θηλυκά, L<sub>50</sub>: μήκος πρώτης γεννητικής ωρίμανσης

#### 4.3.9 Τροφικό επίπεδο

Από τον Πίνακα 9 διαπιστώνεται ότι ο δείκτης TROPH διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ των φύλων, των ώριμων και ανώριμων ατόμων και της εποχής ( $Pt < 0.05$  σε όλες τις περιπτώσεις).

Πίνακας 9: Κλασματικό τροφικό επίπεδο(TROPH) ανά φύλο, γεννητική ωρίμανση και εποχή. Η πιθανότητα Pt αντιστοιχεί στη δοκιμασία t

	Παράγοντας	N	TROPH±SD	Pt
<b>Φύλο</b>	A	58	3.99±0,007	<b>p&lt;0.00001</b> <b>(t=-9.80069)</b>
	Θ	66	3.98±0,007	
<b>L<sub>50</sub></b>	A<L <sub>50</sub>	30	3,65±0,008	<b>p=0.0006</b> <b>(t=3.27479)</b>
	A>L <sub>50</sub>	28	3,96±0,005	
	Θ<L <sub>50</sub>	30	3,79±0,005	
	Θ>L <sub>50</sub>	31	3,91±0,004	
<b>ΕΠΟΧΗ</b>	ΑΝΟΙΞΗ	67	3.87±0,003	<b>p&lt;0.00001</b> <b>(t=-7.1177)</b>
	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	53	3.96±0,325	
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			3.86±0,001	

A: αρσενικά, Θ:θηλυκά, L<sub>50</sub>: μήκος πρώτης γεννητικής ωρίμανσης,

N: σύνολο ατόμων

## 5. Συζήτηση

Ερευνήθηκαν η τροφική οικολογία και η στρατηγική διατροφής του είδους *Raja clavata*, από τις περιοχές του Βόρειου Ευβοϊκού και του Σαρωνικού Κόλπου. Το στομαχικό περιεχόμενο 132 ατόμων, συνολικού μήκους (TL) 37.9-85.5 cm, συλλέχθηκαν από επαγγελματικές τράτες.

Από τα αποτελέσματά μας παρατηρήθηκε πως τα περισσότερα άτομα αλιεύθηκαν την Άνοιξη(57,6%). Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός πως οι καλκανόβατοι διαχειμάζουν σε βαθύτερα στρώματα λόγω του ότι είναι πιο ζεστά (Chevrolat *et al*,2006) και υπάρχει περισσότερη διαθέσιμη τροφή συγκριτικά με τα επιφανειακά νερά (Skjaeraasen & Bergstad, 2000). Μια άλλη πιθανή εξήγηση είναι πως λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών το χειμώνα υπάρχει λιγότερη αλιευτική προσπάθεια και έτσι αλιεύονται λιγότερα ψάρια.

Τα περισσότερα άτομα της δειγματοληψίας είχαν ολικό μήκος 60-70cm. Βάσει βιβλιογραφίας (Serena *et al*,2000) τα 50cm θεωρούνται το «κατώφλι» ωριμότητας και οδηγούν στην αναπαραγωγική περίοδο. Για αυτό το λόγο η ύπαρξη ατόμων μεγαλύτερων μηκών την Άνοιξη είναι λογική και οφείλεται στην εμφάνιση γεννητόρων. Επιπλέον, την Άνοιξη λόγω αυξημένης θερμοκρασίας και διαθεσιμότητας τροφής αυξάνεται ο μεταβολισμός των ατόμων και κατ' επέκταση ο ρυθμός ανάπτυξης των ατόμων.

Στη μελέτη που διεξήγαγαν οι Whittamore & McCarthy(2005), συμπερασματικά αναφέρουν ότι τα θηλυκά *R.clavata* φτάνουν στην ωρίμανση στα 70cm ενώ τα αρσενικά στα 58,8cm. Επίσης σύμφωνα με τους Gallagher *et al* (2004), τα θηλυκά *R.clavata* ωριμάζουν στα 71,8cm και τα αρσενικά στα 65,7cm. Τέλος, στην πιο πρόσφατη μελέτη των Saglam & Orhan(2010), χρησιμοποιώντας λογιστική ανάλυση αναφέρουν μήκη ωρίμανσης για τα θηλυκά του είδους 74,6cm και για τα αρσενικά 71,8cm. Σε παλαιότερες μελέτες αναφέρονται μήκη από 60cm μέχρι και 97cm για τα θηλυκά άτομα και από 60cm μέχρι 70cm για τα αρσενικά άτομα του είδους *R.clavata*. Στην παρούσα εργασία στα θηλυκά *R.clavata* η ωρίμανση φτάνει στα 62,7cm και στα αρσενικά φτάνει στα 58,5cm, που επιβεβαιώνεται κυρίως από την εργασία των Sifner *et al*(2009) όπου το L50 για τα θηλυκά άτομα ήταν 61.2cm και για τα αρσενικά ήταν 59.3cm.

Καθώς τα άτομα ωριμάζουν ο ρυθμός ανάπτυξής τους μικραίνει. Επίσης, τα αρσενικά άτομα φτάνουν στην ωριμότητα σε μικρότερη ηλικία και μικρότερο μέγεθος από τα θηλυκά. Αυτό συμβαίνει λόγω της αναπαραγωγικής στρατηγικής που παρουσιάζουν τα θηλυκά, τα οποία πρέπει να είναι κατάλληλα προετοιμασμένα γιατί αναγκάζονται να ξοδέψουν μεγάλα ποσά ενέργειας για την ανάπτυξη και την εναπόθεση των ωαρίων. Όσο πιο μεγάλα λοιπόν σε μέγεθος τόσο καλύτερα ανταποκρίνονται στα «μητρικά» τους καθήκοντα (Ivory *et al*

2005). Επίσης σύμφωνα με τον Dodd(1983), όσο μεγαλύτερο είναι το σώμα του θηλυκού τόσο πιο γόνιμο είναι και όπως αναφέρει ο Stearns (2000), η καθυστερημένη ωριμότητα είναι στενά συνυφασμένη με την περαιτέρω ανάπτυξη για την επίτευξη μεγαλύτερων μεγεθών της κοιλιακής κοιλότητας, η οποία οδηγεί σε αύξηση της γονιμότητας και μεγαλύτερη ποιότητα και μέγεθος των απογόνων. Αξιοσημείωτη είναι η εργασία που διεξήγαγαν οι Gallagher *et al* (2004) στη θάλασσα της Ιρλανδίας σε είδη ράγιας, οι οποίοι παρατήρησαν ότι οι μεγαλύτερες ράγιες, όπως η *R.clavata* και η *R.brachyura*, φτάνουν στην ωριμότητα σε μεγαλύτερα μήκη και ηλικίες και παρουσιάζουν μικρότερο ρυθμό ανάπτυξης από μικρότερες ράγιες, όπως η *R.montagui* και η *R.naevus*.

Οι λείες που εντοπίστηκαν στα στομάχια ανήκουν σε 7 μεγάλες ομάδες: τα Καρκινοειδή, τους Τελεόστεους, τα Μαλάκια, τα Ισόποδα, τα Ευφασεώδη, τους Πολύχαιτοι και τα Γαστερόποδα. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως οι πληθυσμοί του είδους *R.clavata* που ζουν στο Β.Ευβοϊκό και το Σαρωνικό Κόλπο είναι σε μεγάλο βαθμό θηρευτές ειδών επιβενθικών (ή της βενθικής μεγαπανίδας). Το περιεχόμενο του στομάχου φαίνεται να αντικατοπτρίζει καλά τα πρότυπα κατανομής πολλών βενθικών ειδών που κατοικούν σε μαλακά ιζήματα. Τα Δεκάποδα (πχ *A.glaber*, *Liocarcinus* sp.) οι Τελεόστεοι (πχ *Solea* sp.) και τα Κεφαλόποδα είναι κοινά σε αμμόδεις - λασπώδεις πυθμένες. Τα είδη που διαθέτουν χηλοπόδια (1<sup>ο</sup> βαδιστικό πόδι) όπως το *A.glaber* που βρέθηκαν στο στομαχικό περιεχόμενο δείχνουν ότι το *R.clavata* είναι σε θέση να πιάσει αυτές τις λείες από αυτά τα εξαρτήματα στο ίζημα το οποίο μετακινεί με τα πτερύγια του. Κάποια πελαγικά (όπως το *S.pilchardus*) και βενθοπελαγικά είδη ψαριών (όπως το *Gadiculus argenteus* και το *T.trachurus*) που βρέθηκαν στο περιεχόμενο του στομάχου υποδεικνύουν ότι οι δραστηριότητες τροφοληψίας των *R.clavata* δεν περιορίζονται αποκλειστικά στο βένθος αλλά εξαπλώνονται σε όλη τη στήλη του νερού. Τέλος, η μη ύπαρξη πλαστικών αντικειμένων στο στομαχικό περιεχόμενο των υπό εξέταση ειδών φανερώνει τη μη σαρωτική αλλά επιλεκτική τροφική του συμπεριφορά. Τα Καρκινοειδή ήταν η κυρίαρχη ομάδα(52%) λείας στη διατροφή ακολουθούμενη από τους Τελεόστεους(44%) - που όμως ήταν η σημαντικότερη ομάδα στα μεγαλύτερα άτομα του είδους - και τα Κεφαλόποδα(4%). Αυτό το αποτέλεσμα της κυριαρχίας των Καρκινοειδών (κυρίως Δεκαπόδων) επιβεβαιώνεται και από τις πρόσφατες μελέτες των Kabaskal(2002) στην ανατολική Μεσόγειο και Saglam & Bascinar(2008) στη Μαύρη Θάλασσα. Εν αντιθέσει, οι Morato *et al.*(2003), Dolgon(2005) και Kadri *et al.*(2014) ανέφεραν κυριαρχία των Τελεόστεων μεταξύ των θηραμάτων στις Αζόρες και τον κόλπο Gabes (Τυνησία, νότια κεντρική Μεσόγειος).

Ο δείκτης κενότητας όπου φάνηκε πως ελάχιστα άτομα ήταν με εντελώς άδεια στομάχια (7% αρσενικά και 6% θηλυκά) συμφωνεί με την εργασία των



Santic *et al*(2012) που βρέθηκε ένα 7,6% άδειων στομαχιών. Αυτό δείχνει μια συνεχή προσπάθεια τροφοληψίας από μέρους τους είδους.

Η ένταση της διατροφής σε αρκετούς ιχθύες επηρεάζεται κατά τον Jardas I(1996), από τις μεταβολές της φυσιολογίας που σχετίζονται με την αναπαραγωγή. Πιθανόν για αυτό τα **ώριμα** θηλυκά παρουσίασαν μεγαλύτερο δείκτη πληρότητας ( $5.95 \pm 10.70$ ) από τα ώριμα αρσενικά ( $3.76 \pm 5.65$ ). Γενικά όμως υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ως προς το φύλο με τα αρσενικά να παρουσιάζουν υψηλότερο δείκτη πληρότητας. Από το βαθμό πληρότητας φάνηκε πως τα θηλυκά άτομα τρέφονται περισσότερο την Άνοιξη και αυτό προφανώς θα οφείλεται στις αυξημένες ανάγκες των ατόμων εφόσον ξεκινάει μια ιδιαίτερα κοστοβόρα ενεργειακά αναπαραγωγική περίοδος.

Όσον αφορά τη σύνθεση ανά είδος, η διατροφή των *R. clavata* χαρακτηρίστηκε από μια ποικιλία λειών, διαφορετικού μεγέθους και μορφολογίας, περισσότερο περιστασιακές και κάποιες σπάνιες. Η σύνθεση της διατροφής έδειξε πως ο καλκανόβατος *Raja clavata* αποτελεί έναν γενικευμένο θηρευτή που τρέφεται με μεγάλο εύρος τροφικών αντικειμένων – πολλά με μικρή σχετική σημασία -, επαληθεύοντας τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών όπως των Santic *et al*(2012) και Jardas(1972) στην Αδριατική Θάλασσα που είχαν ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα γενικευμένης διατροφής. Επίσης, η σύνθεση διατροφής έδειξε μικρή εποχιακή παραλλαγή. Τα Καρκινοειδή κυριάρχησαν και στις δύο εποχές(& περιοχές) δειγματοληψίας όπου υπήρξε υψηλή διαιτητική ομοιότητα μεταξύ τοποθεσιών δειγματοληψίας προφανώς επειδή η βενθική βιοκοινωνία σε λασπώδη-αμμώδη ιζήματα δε διαφέρει και πολύ κατά τον Jardas(1996). Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και το ότι η τροφική συμπεριφορά καθορίζεται από την αλληλεπίδραση των φύλων, τον ανταγωνισμό για τροφή, την αφθονία της διαθέσιμης λείας, την κατάσταση υγείας του ψαριού καθώς και τους αβιοτικούς παράγοντες (Berg 1979).

Η γνώση του τροφικού επιπέδου των χονδριχθύων είναι εξαιρετικής σημασίας ώστε να κατανοήσουμε τη θέση τους στο οικοσύστημα και το ρόλο που διαδραματίζουν σε αυτό(Cortes,1999). Το τροφικό επίπεδο του είδους εκτιμήθηκε στο 3,86 και επιβεβαιώνεται από την πρόσφατη μελέτη των Jacobsen IP & Bennett MB (2013) που εκτιμήθηκε στο 3,8, κατατάσσοντας το είδος στα σαρκοφάγα με προτίμηση στα Δεκάποδα και τους Οστεϊχθύες ( $3.7 < TLk < 4.0$ ), επιβεβαιώνοντας τον κρίσιμο ρόλο που διαδραματίζουν ως κορυφαίοι θηρευτές στο τροφικό πλέγμα. Βεβαίως αυτή είναι μια προκαταρκτική μελέτη που έδωσε τις πρώτες πληροφορίες για τη διατροφή του είδους. Ο περιορισμός της δειγματοληψίας σε μία εποχή ανά περιοχή, η έλλειψη πληροφορίας για το βάθος που ψαρεύτηκε κάθε άτομο και γενικότερα της εποχιακής δομής και κατανομής των πληθυσμών στο Β. Ευβοϊκό και το Σαρωνικό απαιτεί περαιτέρω έρευνα.

Η μελέτη της διατροφής του προς μελέτη είδους είναι σημαντική επειδή είναι ένα άφθονο είδος και οι όποιες διατροφικές αλλαγές είναι καλοί δείκτες αλλαγών στην κατάσταση των οικοσυστημάτων και ειδικότερα τη σύνθεσης των βενθικών βιοκοινωνιών, λόγω της επίδρασης της αλιείας.. Πληροφορίες σχετικά με τη στρατηγική διατροφής του είδους συνεισφέρουν στην καλύτερη κατανόηση του τροφικού πλέγματος και της δυναμικής του έτσι ώστε να μπορέσει να εφαρμοστεί στο μέλλον η οικοσυστημική προσέγγιση για τη διαχείριση των αλιευτικών δραστηριοτήτων.

## 6. Βαρέα μέταλλα (Hg)

### 6.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η θάλασσα εμπλουτίζεται συνεχώς από βαρέα μέταλλα είτε από φυσικές πηγές (που συμβαίνουν δηλαδή φυσιολογικά) είτε από τεχνητές πηγές (για τις οποίες υπεύθυνος είναι αποκλειστικά ο άνθρωπος).

Οι θαλάσσιοι οργανισμοί προσλαμβάνουν ποσότητες μετάλλων από το περιβάλλον είτε με τη τροφή είτε απευθείας από το νερό. Η σχέση μεταξύ πρόσληψης και αποβολής ενός μετάλλου καθορίζει τη στρατηγική συσσώρευσης που ακολουθεί ο οργανισμός και οι πιο εξελιγμένοι οργανισμοί διαθέτουν την ικανότητα πλήρους ή μερικής ρύθμισης (Bryan,1987). Οι λιγότερο εξελιγμένοι υιοθετούν την τακτική της αδρανοποίησης με αποθήκευση.

*Σύμφωνα με την ομάδα ειδικών του UNEP, «θαλάσσια ρύπανση είναι η άμεση ή έμμεση προσθήκη από τον άνθρωπο στο θαλάσσιο περιβάλλον ουσιών ή ενέργειας, η οποία έχει αρνητικά αποτελέσματα όπως βλάβες στους ζωντανούς οργανισμούς, δυσάρεστες επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, παρεμπόδιση των θαλάσσιων δραστηριοτήτων όπως το ψάρεμα και η γενικότερη υποβάθμιση της ποιότητας του θαλασσινού νερού».*

Μερικά από τα αποτελέσματα της τοξικότητας των βαρέων μετάλλων (κυρίως Hg, Pb, Cd) στους θαλάσσιους οργανισμούς είναι νευροφυσιολογικές διαταραχές, αλλοιώσεις των κυττάρων και μεταλλάξεις, τερατογένεση και καρκινογένεση, επιδράσεις στην ενζυμική και ορμονική δραστηριότητα και την αναπαραγωγή.

Τα τελευταία 25 χρόνια άρχισε να γίνεται ιδιαίτερα εμφανής η σημασία της περιβαλλοντικής μεθυλίωσης. Κατά τη διαδικασία αυτή, τα διάφορα μέταλλα και οι ενώσεις τους μετατρέπονται στο περιβάλλον με τη συμβολή μικροοργανισμών

στις οργανικές τους μορφές, οι οποίες καθίστανται ακόμα πιο τοξικές επειδή μπορούν να διαπεράσουν ευκολότερα τους βιολογικούς ιστούς.

Υπάρχει λοιπόν έντονη η ανάγκη για ποιοτικό και ποσοτικό έλεγχο της παρουσίας των μετάλλων κυρίως σε είδη ψαριών και οστρακοειδών που καταναλώνονται ευρέως (Carron,1990). Η πρόσληψη μετάλλων από τα θαλασσινά αποτελεί εν δυνάμει κίνδυνο γι'αυτό απαιτείται τακτικός έλεγχος κυρίως σε περιοχές που δέχονται έντονες ανθρωπογενείς πιέσεις και θεωρούνται ρυπασμένες, σε περιοχές που αλιεύονται εντατικά και σε περιοχές όπου λειτουργούν ιχθυοκαλλιέργειες.

Η θέσπιση επιτρεπτών ορίων συγκεντρώσεων ενός ρυπαντή κυρίως στα ψάρια (και τα οστρακοειδή) που καταναλώνονται σκοπό έχει τη προστασία της δημόσιας υγείας και πρέπει να στηρίζεται στο συνδυασμό της τοξικότητας των μετάλλων και της ποσότητας τροφής που καταναλώνεται, σύμφωνα με το Reilly(1990).

#### 6.2.1 Πηγές και Μηχανισμοί εισόδου βαρέων μετάλλων στο θαλάσσιο περιβάλλον

Οι πηγές εισόδου βαρέων μετάλλων στις θάλασσες διακρίνονται σε φυσικές και τεχνητές με τις τελευταίες να προκαλούν τη ρύπανση.

**Φυσικές πηγές** εισόδου βαρέων μετάλλων αποτελούν η διάβρωση των ακτών, τα ιζήματα, η μεταφορά φερτού υλικού από τη χέρσο, η υποθαλάσσια ηφαιστειακή δραστηριότητα, η ατμοσφαιρική κατακρήμνιση και η σκόνη που μεταφέρει σωματίδια μετάλλων. Έτσι, περιοχές με έντονη ύπαρξη αυτών των παραγόντων, αυξάνουν το επίπεδο συγκεντρώσεων των μετάλλων.

**Τεχνητές πηγές** εισόδου αποτελούν οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως είναι τα ναυπηγεία, τα χυτήρια, η βιομηχανία αυτοκινήτων, μπαταριών, χρωμάτων, τα διυλιστήρια, η παραγωγή ηλεκτρικών συσκευών, οργάνων, καταλυτών, παρασιτοκτόνων κλπ. Τα αστικά απόβλητα και η ύπαρξη απορρυπαντικών στα αστικά λύματα προκαλούν και αυτά αύξηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων.

Οι μορφές με τις οποίες εισέρχονται τα μέταλλα στη θάλασσα είναι **διαλυμένα ως ιόντα ή ανόργανες ενώσεις**, διαλυμένα ως **οργανικές ενώσεις**, μέσα σε **στερεά βιολογικά υλικά** και μέσα σε **κρυσταλλικές δομές ορυκτών**.

Με την είσοδό τους στο θαλάσσιο οικοσύστημα, τα μέταλλα συμμετέχουν σε πολύπλοκες χημικές διεργασίες και η τύχη τους εξαρτάται από παραμέτρους που καθορίζουν τη συγκέντρωσή τους στο νερό όπως το pH, η αλατότητα, η θερμοκρασία και η παρουσία άλλων ιόντων ή ενώσεων. Εφόσον εισέλθουν στο

νερό μπορεί να υποστούν διάλυση, διασπορά, καθίζηση, προσρόφηση και απορρόφηση.

### **6.2.2 Τα βαρέα μέταλλα στους θαλάσσιους οργανισμούς. Βιομεγέθυνση και Βιοσυσσώρευση**

Για τη διαβίωσή τους, η πλειοψηφία των οργανισμών χρειάζονται ίχνη βαρέων μετάλλων όπως ο χαλκός, το μαγγάνιο, ο σίδηρος, το κοβάλτιο, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο, το σελήνιο και το μολυβδαίνιο. Τα περισσότερα από τα ιχνοστοιχεία είναι συστατικά των ενζύμων και άλλων πρωτεϊνών που είναι σημαντικά για τις μεταβολικές διαδικασίες. Σε υψηλές συγκεντρώσεις όμως τα βαρέα μέταλλα μπορούν να γίνουν τοξικά γιατί εναντιθέσει με τις οργανικές ουσίες, τα βαρέα μέταλλα δεν αποικοδομούνται αλλά συσσωρεύονται στο περιβάλλον με αποτέλεσμα μέρος αυτών να καταλήγει μέσω της βιολογικής τροφικής αλυσίδας στον άνθρωπο, στον οποίο προκαλούν χρόνιες ή οξείες βλάβες. Τα βαρέα μέταλλα, παρουσιάζουν αυξημένη ικανότητα για βιοσυσσώρευση, φαινόμενο κατά το οποίο οι ρύποι αυτοί έχουν την ιδιότητα να συσσωρεύονται αυξητικά στους διάφορους ιστούς των οργανισμών της τροφικής αλυσίδας. Η ποσότητα του χημικού ρύπου μπορεί να προσλαμβάνεται από τους οργανισμούς, είτε απευθείας από το περιβάλλον (βιοσυγκέντρωση), είτε από την τροφή (διαιτητική συσσώρευση). Όσο περισσότερο βιοδιαθέσιμος είναι ένας χημικός ρύπος τόσο μεγαλύτερη είναι η βιοσυσσώρευση του και τόσο πιο σοβαρές οι τοξικές του επιδράσεις. Η βιοδιαθεσιμότητα επηρεάζεται από το είδος του χημικού ρύπου και από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του περιβάλλοντος μέσω του οποίου και ρυθμίζεται η πρόσληψη του χημικού ρύπου.

Τα βαρέα μέταλλα μέσω του τροφικού πλέγματος (food web) καταλήγουν στους θαλάσσιους οργανισμούς όπου και συσσωρεύονται. Για τη συγκέντρωση των μετάλλων στους ιστούς σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με το περιβάλλον έχει υιοθετηθεί ο όρος «βιοσυσσώρευση» (ή «βιοαπορρόφηση» ή «βιοσυγκέντρωση»). Με τον όρο «βιομεγέθυνση» εννοούμε την απορρόφηση των μετάλλων μέσω της τροφής και την αυξανόμενη συγκέντρωσή τους καθώς ανεβαίνουμε τροφικό επίπεδο (Σκούλλος Μ, 2008).

### **6.2.3 Ο Υδράργυρος**

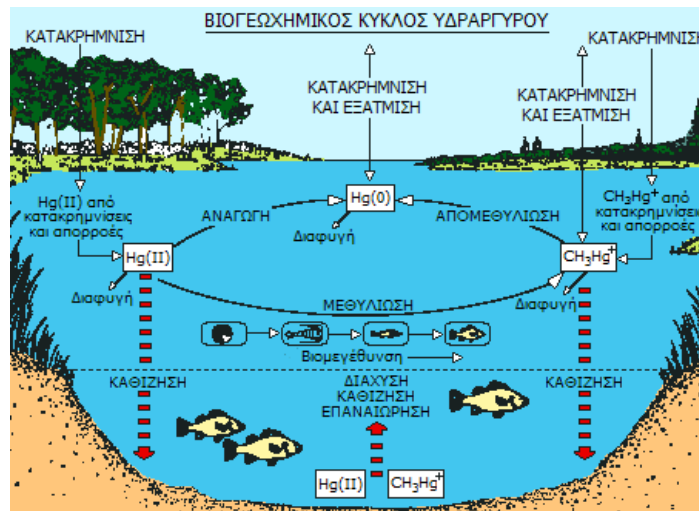
Ο υδράργυρος είναι ένα μέταλλο γνωστό από την αρχαιότητα. Ποσότητες του έχουν βρεθεί σε Αιγυπτιακούς τάφους του 1500 π.Χ. Από τον Αριστοτέλη (350 π.Χ.) αναφέρεται ως "χυτός άργυρος" και από τον Διοσκουρίδη (50 μ.Χ) ονομάστηκε "υδράργυρος". Οι λατινικές ονομασίες του είναι "hydrargyrum" (από

την οποία προέρχεται και το σύμβολό του) και "mercurius", επειδή συνδεόταν από τους αλχημιστές με τον πλανήτη Ερμή. Οι αρχαίοι Έλληνες τον χρησιμοποιούσαν στις αλοιφές και οι Ρωμαίοι στα καλλυντικά. Συχνά θεωρείται ως το μόνο υγρό μέταλλο, ωστόσο τα σπανιότατα μέταλλα καίσιο (σ.τ. 28,4°C) και γάλλιο (σ.τ. 29,8°C) μπορούν να είναι υγρά σε θερμοκρασία δωματίου σε κατάσταση υπέρτηξης.

Το ότι ο υδράργυρος είναι ένα υγρό σε θερμοκρασία δωματίου και όχι ένα στερεό δεν έχει διευκρινισθεί πλήρως. Μια εξήγηση προέρχεται από τη θεωρία της σχετικότητας του Einstein. Ο υδράργυρος είναι ένα μέταλλο με ατομικό αριθμό 80 και ατομικό βάρος 200,59. Έχει πυκνότητα 13,55 g/cm<sup>3</sup>, χρώμα λευκό του κασσίτερου και στερεοποιείται στους -38,9°C σε κρυστάλλους ενώ το σημείο ζέσεως του βρίσκεται στους 356,8°C. Είναι μέταλλο ημιευγενές, προσβάλλεται από το θείο και τις θειούχες ενώσεις, που μαυρίζουν την αστραφτερή και ανακλαστική του επιφάνεια. Διαλύει πολλά μέταλλα (π.χ. Au, Ag, Zn, Sn, Cu, Pb, Cd) σχηματίζοντας αμαλγάματα (υγρά ή στερεά διαλύματα μετάλλων σε υδράργυρο). Δεν σχηματίζει αμάλαμα με τον σίδηρο και για τον λόγο αυτό μεγάλες ποσότητες του φυλάσσονται και μεταφέρονται με ασφάλεια σε δοχεία από σίδηρο. Διαλύεται σε πολικά και μη πολικά διαλύματα. Λόγω της υψηλής πτητικότητας και της τοξικότητάς του πρέπει να φυλάσσεται σε καλά πωματισμένο δοχείο. Σε χαμηλές θερμοκρασίες κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα.

Ο υδράργυρος, όπως και τα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα, χαρακτηρίζεται από μεγάλη διάρκεια παραμονής στο περιβάλλον και από την τάση να βιοσυσσωρεύεται στους ιστούς ζώων και φυτών. Για αυτό το λόγο, θεωρείται ως ένας πολύ επικίνδυνος ρύπος. Μέρος του καταλήγει μέσω της τροφικής αλυσίδας στον άνθρωπο, προκαλώντας (χρόνιες και/ή οξείες) βλάβες σαν αυτές που προαναφέρθηκαν.

Οι μεγαλύτερες ποσότητες υδραργύρου στο έδαφος, στα ιζήματα και στα επιφανειακά ύδατα προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Μετά την εναπόθεσή του στην επιφάνεια της γης υφίσταται δυναμικές βιοχημικές διεργασίες στο μικροπεριβάλλον του άνω φλοιού της γης που αποτελείται από πετρώματα, χώμα, νερό, αέρα και ζωντανούς οργανισμούς. Αυτές οι βιοχημικές διεργασίες επηρεάζουν τη μορφή του υδραργύρου και κατά συνέπεια την διαλυτότητα, την κινητικότητα, τη βιοδιαθεσιμότητα και την τοξικότητά του(Εικόνα 20).



Εικόνα 20: Ο βιογεωχημικός κύκλος του Hg είναι πολύπλοκος. Η μία μορφή του μετατρέπεται στην άλλη. Ιδιαίτερα ενδιαφέρει η μορφή του  $CH_3Hg^+$  που είναι η τοξικότερη και υπόκειται σε βιομεγέθυνση. Τελικά ο Hg καταλήγει στα ιζήματα, στα ψάρια και σε άλλους οργανισμούς

### 6.3 ΤΑ ΨΑΡΙΑ ΩΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

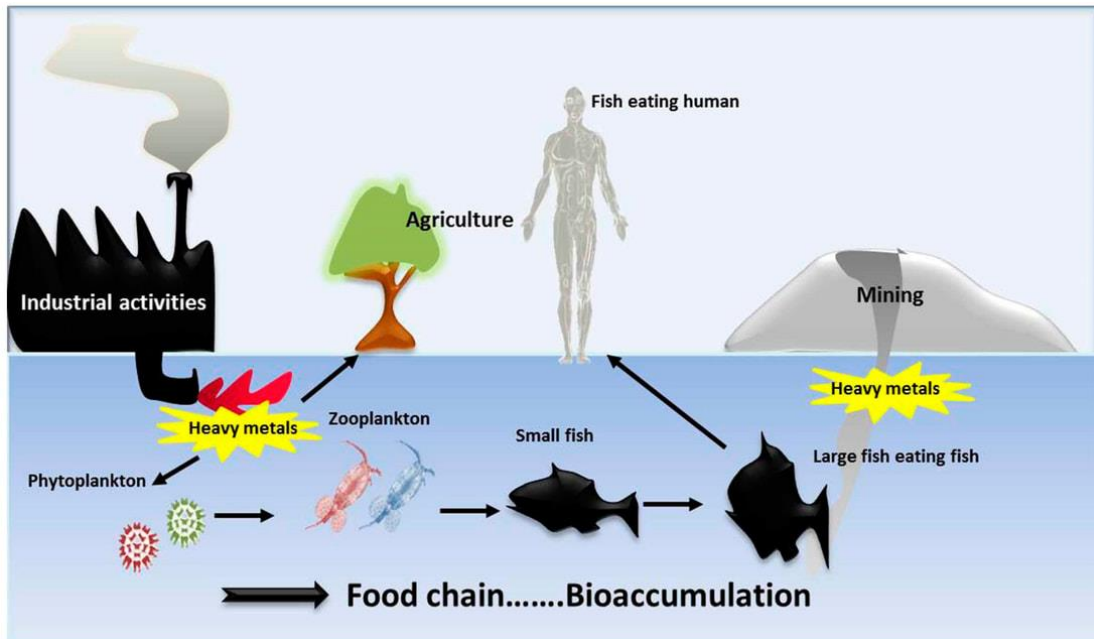
Τα ψάρια είναι από τους πλέον κατάλληλους οργανισμούς για την παρακολούθηση της ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον (Marks *et al*, 1980) καθότι βρίσκονται στο τέλος της τροφικής αλυσίδας άρα έχουν και υψηλά επίπεδα υδραργύρου που προέρχονται από βιοσυσσώρευση και βιομεγέθυνση και γι' αυτό κατέχουν σημαντικό ρόλο σε παρόμοιες μελέτες με αυτή (Εικόνα 22).

Τα επίπεδα υδραργύρου στα ψάρια καθορίζονται από:

- ✨ Τις πηγές υδραργύρου, όπως οι ατμοσφαιρικές εκπομπές από τη καύση άνθρακα
- ✨ Την αποδοτικότητα μεθυλίωσης, η οποία ελέγχεται από ορισμένα βιολογικά, χημικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά.

Χαρακτηριστικό των βενθοπελαγικών ψαριών όπως είναι το προς μελέτη είδος *Raja clavata*, είναι η περιορισμένη μετακίνησή τους συγκριτικά με τα πελαγικά και μεταναστευτικά ψάρια. Επιπλέον, έχουν στενή τροφική σχέση με το πυθμένα πράγμα που τα καθιστά πιο εξαρτημένα και σε άμεση σχέση με την ύπαρξη βαρέων μετάλλων σε αυτόν.

Πρέπει να αναφερθεί ότι το επίπεδο υδραργύρου στα ψάρια εξαρτάται από το είδος του ψαριού, τη διατροφή του, την ηλικία του, το μέγεθος και την περιοχή από την οποία προέρχεται (Αλεξανδρόπουλος, 1993).



Εικόνα 21: Συσσώρευση υδραργύρου στη τροφική αλυσίδα (<https://www.biodiversitygr.org>)

#### 6.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

Οι οργανικές ενώσεις υδραργύρου προσλαμβάνονται με μεγάλη ευκολία από τον ανθρώπινο οργανισμό και συσσωρεύονται στο ήπαρ, τα νεφρά, στους μύες και το νευρικό σύστημα(εγκέφαλος). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό βρίσκονται υπό τη μορφή μεθυλο-υδραργύρου( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ), ο οποίος αποτελεί συσσωρευτικό τοξικό στοιχείο. Ως λιποδιαλυτή ουσία, διαθέτει την ικανότητα διαπερατότητας της μεμβράνης που διαχωρίζει τα αιμοφόρα αγγεία από τον εγκέφαλο και συσσωρεύεται σε αυτόν (Βασιλικιώτης, 1989).

Η απορρόφηση ανόργανων αλάτων υδραργύρου από τη τροφή μέσω πεπτικού συστήματος για τον άνθρωπο είναι περίπου 7% ενώ του μεθυλο-υδραργύρου είναι 90-95%.

Η κύρια πηγή έκθεσης των ανθρώπων σε υδράργυρο είναι η κατανάλωση ψαριών. Τα τοξικά συμπτώματα που παρουσιάζονται στο κεντρικό νευρικό σύστημα είναι αϋπνία, τρεμούλιασμα, μούδιασμα στο στόμα, τα χείλη και τα άκρα, δυσκολία στην κατάποση, αδυναμία, δυσκολία συγκέντρωσης, απώλεια ακοής και όρασης, κώμα και θάνατος (Σαμαρτζή & Μεθενίτου, 2004).

Η δηλητηρίαση από την έκθεση σε υδράργυρο διακρίνεται στην οξεία και τη χρόνια δηλητηρίαση.

Η **οξεία** περιλαμβάνει την έκθεση υδραργύρου σε υψηλές δόσεις για μικρό χρονικό διάστημα. Τα συμπτώματα αναπτύσσονται μέσα σε λίγες ώρες και περιλαμβάνουν μούδιασμα στα άκρα, στοματικές πληγές, εγκαύματα στο λαιμό και το στομάχι, ναυτία, εμετό, διάρροια, πονοκέφαλο, απώλεια όρεξης, σύγχυση, δύσπνοια, βήχα, θωρακική πίεση, βρογχίτιδα, καρδιαγγειακή κατάρρευση, πνευμονία και νεφροπάθεια.

Η **χρόνια** προκύπτει από τη μακροπρόθεσμη έκθεση εισπνοής ή την επανειλημμένη κατανάλωση μολυσμένης τροφής ή νερού. Μετά από αρκετά έτη μπορεί να εμφανιστούν αναπαραγωγικές και νευρολογικές επιπτώσεις, διαταραχή οργάνων, ψυχιατρικά προβλήματα λόγω διαταραχών του ύπνου, της διάθεσης και της οξυθυμίας (Ζήκου, 2007)(Εικόνα 22).

Εικόνα 22: Η ασθένεια Minamata-Niigata (1965) στη περιοχή Agano της Ιαπωνίας) από δηλητηρίαση υδραργύρου από την κατανάλωση ψαριών



## 7. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο Βόρειος Ευβοϊκός κόλπος είναι ένας σχετικά κλειστός κόλπος με ουσιαστικά μοναδικό διάυλο επικοινωνίας με το Αιγαίο Πέλαγος, το διάυλο των Ωρεών στη βόρεια πλευρά του. Αυτό το γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό του έχει μια συγκεκριμένη δομή και φυσική σύσταση στις θαλάσσιες μάζες του κόλπου.

Έτσι η αλατότητα των νερών διατηρείται αρκετά σταθερή περί το 37,4ppt και η θερμοκρασία έχει ένα φάσμα από 12°C έως και άνω των 26°C (Σύμπουρα *N et al*,1998). Οι χαμηλές τιμές αλατότητας καθ'όλη τη διάρκεια του έτους οφείλονται στο ότι ο κόλπος τροφοδοτείται κατά τη θερινή περίοδο με θαλάσσιες μάζες χαμηλής αλατότητας από τα επιφανειακά στρώματα του Βορειοδυτικού Αιγαίου. Οι χαμηλές θερμοκρασίες σε όλη τη στήλη του νερού (~12°C) κατά τη χειμερινή περίοδο συντηρούνται εξ αιτίας της περιορισμένης εισόδου νερού του Βορείου Αιγαίου (θερμοκρασία μεγαλύτερη από 13°C) κατά τη χειμερινή περίοδο(Εικόνα 23). Η περιοχή δέχεται ρυπαντικό φορτίο εξαιτίας της ύπαρξης εργοστασίου εκμετάλλευσης σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων και ιχθυοκαλλιεργειών.

Ο Σαρωνικός κόλπος αποτελεί εγκόλπωση του Αιγαίου που ορίζεται βόρεια από τις ακτές του νομού Αττικής, βορειοδυτικά και δυτικά από τις ακτές της Μεγαρίδας, του νομού Κορινθίας και νοτιοδυτικά από τις ακτές του νομού Αργολίδος. Οι άκρες του οριοθετούνται από τη νοητή γραμμή των ακρωτηρίων Σουνίου (βόρεια) και Σκύλλαιο της Τροιζήνας (νότια), η οποία έχει μήκος

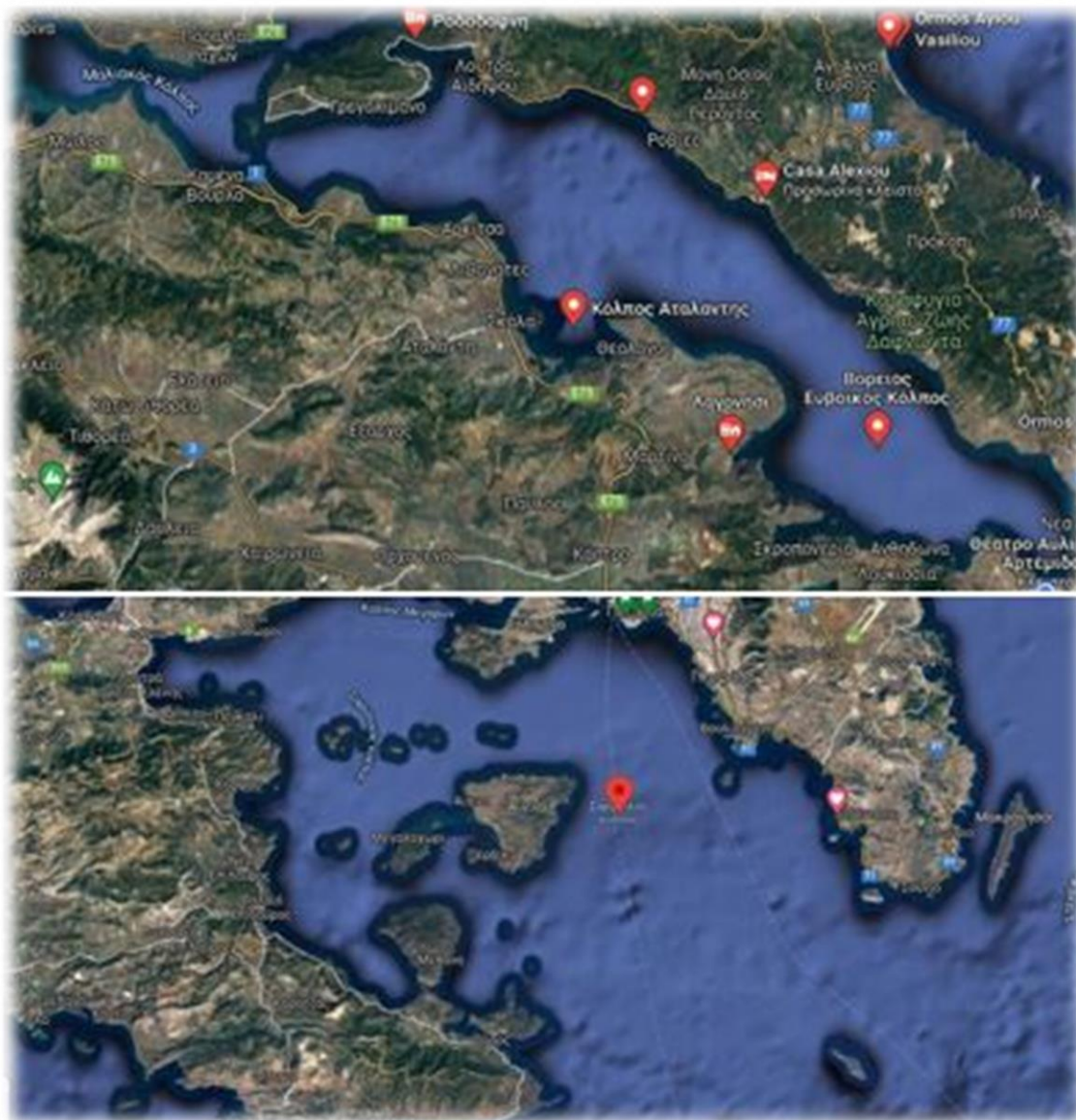


περίπου 27 ναυτικά μίλια. Στα βορειοδυτικά, ο Σαρωνικός επικοινωνεί μέσω της διώρυγας της Κορίνθου, η οποία ολοκληρώθηκε το 1893, με τον Κορινθιακό κόλπο(Εικόνα 23).

Ο Σαρωνικός Κόλπος δεχόταν και συνεχίζει να δέχεται πολύ σημαντικό ρυπαντικό φορτίο και ήταν η πρώτη θαλάσσια περιοχή που εμφάνισε έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα λόγω της ραγδαίας βιομηχανικής και οικιστικής ανάπτυξης στην Αθήνα, τον Πειραιά και την Αττική γενικότερα. Αξίζει να σημειωθεί ότι γύρω από τις ακτές του Σαρωνικού έχει συγκεντρωθεί περίπου το 40% του ελληνικού πληθυσμού καθώς και μεγάλος αριθμός βιομηχανικών και λιμενικών δραστηριοτήτων μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται διυλιστήρια πετρελαίου, ναυπηγεία, χυτήρια, βιομηχανίες τσιμέντου, χημικές βιομηχανίες, μονάδες γαλακτοκομικών προϊόντων κ.α.

Τον Ιανουάριο (Χειμώνας) που συλλέχθηκαν δείγματα από το Β.Ευβοϊκό, υπήρχε πλήρης ανάδευση της στήλης του νερού και συνεπώς έντονη κατακόρυφη κυκλοφορία με θερμοκρασία 12-13°C και αλατότητα 37,4ppt.

Το Μάρτιο (Άνοιξη), που συλλέχθηκαν τα δείγματα μας από το Σαρωνικό, είχαμε πλήρη ομογενοποίηση της στήλης του νερού με σταθερές τιμές θερμοκρασίας (~12,5°C) και αλατότητας (~37.4ppt). Επιφανειακά υπάρχει μια άνοδος της θερμοκρασίας ως ένδειξη της έναρξης της θερινής περιόδου.



Εικόνα 23: Χάρτης Β.Ευβοϊκού (πάνω) και Σαρωνικού κόλπου (κάτω) όπου αλιεύθηκαν τα προς μελέτη ψάρια σύμφωνα με πληροφορίες από τους αλιείς. Ακριβείς συντεταγμένες δεν υπάρχουν καθώς δεν είχαν καταγραφεί([www.googlemaps.com](http://www.googlemaps.com))

## 8. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 8.1 ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΚΑΙ ΠΡΟΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Ελήφθησαν ιστολογικά δείγματα μυός από τη βάση της ουράς, ήπαρ και βράγχια των υπό μελέτη ειδών, τοποθετήθηκαν σε δοχεία με αναγραφόμενους τους

κωδικούς των ατόμων, ζυγίστηκαν σε ζυγό ακρίβειας 0,0001g (Adventurer, Ohaus) και καταψύχθηκαν (-20°C) μέχρι την επεξεργασία τους.

Η προκατεργασία των δειγμάτων ακολούθησε τις εξής διεργασίες:

### 1. Ξήρανση

Έγινε λυοφιλίωση, δηλαδή απομακρύνθηκε η υγρασία από τον παγωμένο ιστό μέσω της εξάχνωσης, χωρίς να υπάρχει απώλεια υδραργύρου λόγω της πτητικότητάς του και με τον τρόπο αυτό έγινε αλλαγή φάσης από στερεή σε αέρια με λυοφιλιοποιητή Freeze Dry System/Freezone 4.5 (LABCONCO) για 48 ώρες στους 60°C. Εν συνεχεία, μετρήθηκαν τα βάρη των λυοφιλιομένων δειγμάτων σε ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων.

### 2. Λυοτρίβηση-Κονιοποίηση

Τα αποξηραμένα πλέον δείγματα υπέστησαν λυοτρίβηση σε πορσελάνινο ιγδίο με μύλο (Moulinex) ώστε να διευκολυνθεί η προσχώρηση των αντιδραστηρίων χώνευσης εντός των ιστών.

### 3. Χώνευση

Ζυγίστηκαν 0,2g-0.3g από κάθε κονιοποιημένο δείγμα με ζυγό ακριβείας Adventurer, Ohaus απευθείας σε δοχείο Teflon και προσθήκη 5ml HNO<sub>3</sub>. Στη συνέχεια τα δείγματα παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου στον απαγωγό για 1 ώρα. Μετά το πέρας της 1 ώρας, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε θερμαντική πλάκα ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας όπου παρέμειναν για 3 ώρες στους 80°C (βλ. Εικόνα 41 Παράρτημα II).

Εφόσον ολοκληρώθηκε η χώνευση, τα δείγματα ψύχθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου, μεταφέρθηκαν σε πλαστικά δοχεία με διαβαθμίσεις, αραιώθηκαν με υπερκάθαρο απεσταγμένο νερό (Milli Q) μέχρι την ένδειξη 25ml και τοποθετήθηκαν στο ψυγείο μέχρι να μετρηθεί η απορρόφηση (A) (βλ. Εικόνα 42 Παράρτημα II).

Η συγκέντρωση υδραργύρου προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της Φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης Ψυχρών Ατμών (Cold Vapor Atomic Absorption Spectroscopy, CVAAS) η οποία αποτελεί την πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο για τον προσδιορισμό του Hg (Clevenger *et al*, 1997), στο εργαστήριο του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (βλ. Παράρτημα II).

## 8.2 ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα μαζί με τα δείγματα χωνεύθηκαν και «**τυφλά**» δείγματα ελέγχου ποιότητας που έδωσαν μηδενικές τιμές καθώς και «**πιστοποιημένα**» δείγματα αναφοράς (Certified Reference Material, CRM) των

οποίων οι τιμές των μετρήσεων πιστοποιούνται και συγκρίνονται με αυτές άλλων εργαστηρίων. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε μυϊκός ιστός τόννου IAEA-436 (International Atomic Energy Agency, IAEA Nucleus). Ζυγίστηκαν και χωνεύθηκαν περίπου 0,2 g ανά δείγμα. Τα δείγματα των τυφλών και των CRM υποβλήθηκαν στην ίδια διαδικασία όξινης χώνευσης με αυτά του μυϊκού ιστού. Οι πιστοποιημένες τιμές Hg για το CRM στη βιβλιογραφία είναι  $4,26 \pm 0,36$  mg /Kg ξηρού βάρους ιστού.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο συντελεστής ανάκτησης που καταδεικνύει την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα της αναλυτικής μεθόδου που εφαρμόστηκε. Η ακρίβεια αναφέρεται στην απόκλιση της θεωρητικής τιμής Hg από τη πειραματική τιμή που προκύπτει ενώ η επαναληψιμότητα αφορά αποτελέσματα που λαμβάνονται από επαναλαμβανόμενες αναλύσεις από τον ίδιο αναλυτή, με το ίδιο όργανο και τα ίδια αντιδραστήρια.

Ο συντελεστής ανάκτησης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\% \text{ Ανάκτηση} = 100\% \times (\text{Πειραματική τιμή} / \text{Θεωρητική τιμή})$$

Στην παρούσα μελέτη ο συντελεστής ανάκτησης κυμάνθηκε από 78% έως 98%.

Ο υπολογισμός των αποτελεσμάτων γίνεται με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$[\text{Hg}] (\mu\text{g/g}) = C_{\text{Hg}} (\mu\text{g/L}) \times V\delta (\text{L}) / m\delta (\text{g}),$$

όπου  $m\delta$ : η μάζα του δείγματος,

$V\delta$ : ο όγκος του χωνευμένου δείγματος (25mL) και

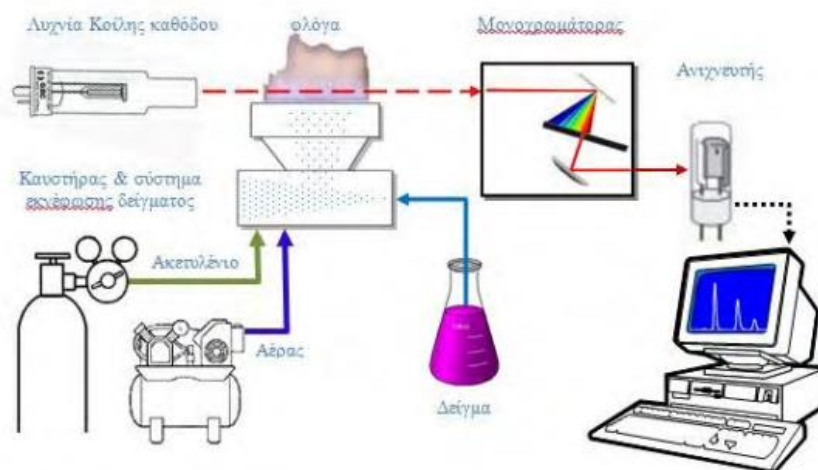
$C_{\text{Hg}}$ : η προσδιοριζόμενη συγκέντρωση Hg ( $\mu\text{g/L}$ ) στο τελικό διάλυμα του χωνευμένου δείγματος.

Το τελικό αποτέλεσμα δίνεται σε mg/Kg (ppm) ξηρού βάρους.

### 8.2.1 Γενικές αρχές Φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS)

Η φασματομετρία ατομικής απορρόφησης συγκαταλέγεται στις οπτικές μεθόδους ανάλυσης όπως η φασματοσκοπία ακτίνων-X φθορισμού κ.α.

Η αρχή της μεθόδου περιλαμβάνει τη μέτρηση της απορροφούμενης ακτινοβολίας από άτομα στη θεμελιώδη κατάσταση για το στοιχείο που εξετάζουμε. Η διάταξη της μεθόδου περιλαμβάνει μια πηγή ακτινοβολίας, ένα κελί ατομοποίησης του δείγματος και έναν ανιχνευτή μονοχρωμάτορα (Εικόνα 24)



Εικόνα 24: Διάταξη μεθόδου Ατομικής Απορρόφησης (Μαυρομάτης 2003)

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη λυχνία είναι η ακτινοβολία που απαιτείται για να ιονιστούν τα άτομα που παράγονται στο καυστήρα (ατομοποίηση). Για να επιτευχθεί αυτό, το υγρό δείγμα αναρροφάται στον εκνεφωτή λαμβάνοντας τη μορφή σταγονιδίων τα οποία εισέρχονται στη φλόγα. Τα άτομα που σχηματίζονται στη φλόγα, απορροφούν την ακτινοβολία που απαιτείται για τη μετάπτωση από τη θεμελιώδη κατάσταση στη διεγερμένη. Η απορρόφηση είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ατόμων του προς ανίχνευση στοιχείου και ακολουθεί το Νόμο του Lambert-Beer σύμφωνα με τον οποίο:

$$A = \log \frac{P_0}{P} = -\log T = \varepsilon * b * c$$

όπου

A: απορρόφηση ακτινοβολίας

P<sub>0</sub>: ισχύς της εξερχόμενης ακτινοβολίας που προσπίπτει στο νέφος των ατμών

P: ισχύς της εξερχόμενης ακτινοβολίας μετά τη διόδο από το νέφος

T: διαπερατότητα

b: απόσταση που διανύει η δέσμη ακτινοβολίας

ε: μοριακή απορροφητικότητα

c: συγκέντρωση

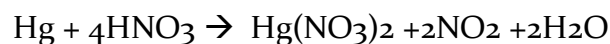
### 8.2.2 Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης Ψυχρών Ατμών (Cold Vapour Atomic Absorption Spectroscopy (CVAAS))

Η μέθοδος φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης ψυχρών ατμών είναι ευρέως διαδεδομένη και είναι η πρότυπη μέθοδος προσδιορισμού του υδραργύρου (Hg) σε πολλά περιβαλλοντικά δείγματα. Χρησιμοποιείται επειδή δε σχηματίζει υδρίδια αλλά ατομοποιημένους ατμούς, οι οποίοι εισάγονται στη κυψελίδα χωρίς αυτή να θερμαίνεται. Αποτελεί παραλλαγή της κλασσικής φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης με ατομοποίηση (δηλ μετατροπή των μορίων σε άτομα) χωρίς φλόγα που εφαρμόζεται αποκλειστικά στον προσδιορισμό του Hg.

Ουσιαστικά, η μέθοδος βασίζεται στη μετατροπή του υδραργύρου από άλλες μορφές σε ένα υγρό δείγμα, σε δισθενή(Hg<sup>2+</sup>) με οξείδωση και μετά σε στοιχειακό Hg με αναγωγή. Ο στοιχειακός υδράργυρος(Hg) εκλύεται με απαέρωση του διαλύματος και δίνει μονοατομικούς ατμούς (ατομοποίηση), οι οποίοι απορροφούν σε μήκος κύματος 253,65nm. Με τη διαδικασία αυτή, οι ατμοί υδραργύρου τοποθετούνται σε κυψελίδα συνεχούς ροής και έτσι μετράται η απορρόφηση. Με τη συνεχή ροή, δείγμα και υγρά αντιδραστήρια αντλούνται μαζί, αναμιγνύονται και προστίθεται τέλος το φέρον αέριο (Ar ή N<sub>2</sub>). Η μέθοδος χαρακτηρίζεται δυναμική αφού περιλαμβάνει συνεχή μεταφορά μάζας ατμών υδραργύρου από την υγρή στην αέρια φάση σε σχέση με το χρόνο και το χώρο της συσκευής.

Στη συνέχεια το δείγμα οδηγείται στο διαχωριστή υγρής-αέριας φάσης, όπου τα υγρά απομακρύνονται ως απόβλητα ενώ τα αέρια με το στοιχείο που μας αφορά οδηγούνται στη κυψελίδα με υποβοήθηση ρεύματος αργού ή αζώτου. Η **ακτινοβολία που απορροφάται** στο συγκεκριμένο μήκος κύματος είναι ανάλογη της **συγκέντρωσης** του στοιχείου στο δείγμα.

Το νιτρικό οξύ που προστέθηκε στα δείγματα επιτυγχάνει την οξείδωση του υδραργύρου προς τη δισθενή μορφή του.



### 8.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η στατιστική ανάλυση των δειγμάτων έγινε στο λογισμικό Excel 2013, στο IBM SPSS Statistics 28.0.0.0 και στο Past 3.

Η στατιστική επεξεργασία περιλαμβάνει διαγράμματα συχνότητας, αναλύσεις συσχετίσεων και ανάλυση διασποράς προκειμένου να διαπιστωθούν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις παραμέτρους.

Αρχικά υπολογίστηκε κατά το Williams (2000) ο Συντελεστής Ευρωστίας σύμφωνα με την εξίσωση:

$$K = 100000 * \frac{RW}{TL^3}$$

όπου  $RW$ : βάρος σώματος σε  $g$  και  $TL$ : ολικό μήκος σε  $mm$

#### 8.3.1 Δείγματα που συμπεριλήφθηκαν στις χημικές αναλύσεις

Αναλύθηκαν 95 ιστολογικά δείγματα μυός, ήπατος και βραγχίων, τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν ανά φύλο, ανά περιοχή (και εποχή), ανά γεννητική ωρίμανση και ανάλογα με το συντελεστή ευρωστίας ( $K$ ).

Ο λόγος που αναλύθηκαν 3 διαφορετικοί ιστοί είναι η διαφορετική ικανότητα βιοσυσσώρευσης των μετάλλων σε αυτούς.

Ο **μυς** αποτελεί έναν από τους τελικούς αποδέκτες μετάλλων μέσω των λειτουργιών πρόσληψης - αφομοίωσης - ρύθμισης και αποβολής των μετάλλων (Evans, 1993). Θεωρείται ως η «μνήμη» του οργανισμού για μεγάλο χρονικό διάστημα έχοντας μικρή μεταβολική δραστηριότητα και παράλληλα είναι εδωδιμος ιστός.

Τα **βράγχια** μπορεί να μη έχουν καμία εμπορική αξία αλλά αντικατοπτρίζουν πιο άμεσα την κατάσταση στο περιβάλλον και αποτυπώνουν τις έντονες ή όχι διακυμάνσεις των ρυπαντών σε αυτό (Zia S *et al*, 1994).

Τέλος, το **ήπαρ** είναι το όργανο όπου αποθηκεύονται και μεταβολίζονται τα βαρέα μέταλλα τα οποία οδηγούνται στους νεφρούς προς απέκκριση (Evans *et al*, 1993).

## 9 Αποτελέσματα

### 9.1 ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Για τη βαθμονόμηση του φασματοφωτόμετρου παράλληλα με τα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν «τυφλά» δείγματα ελέγχου ποιότητας, δηλαδή δείγματα χωρίς ιστό που αναμενόταν να δώσουν μηδενικές τιμές απορρόφησης, εκτός κι αν υπήρχαν επιμολύνσεις, και “πιστοποιημένα” δείγματα αναφοράς (Certified Reference Material, CRM) με γνωστή συγκέντρωση ώστε να γίνει σύγκριση και να ελεγχθεί η αξιοπιστία των μετρήσεων. Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το δείγμα αναφοράς μυϊκού ιστού τόννου IAEA-436A (International Atomic Energy Agency) με πιστοποιημένες τιμές Hg  $4.26 \pm 0.36$  mg/Kg ξηρού βάρους ιστού.

### 9.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

#### 9.2.1 Φύλο

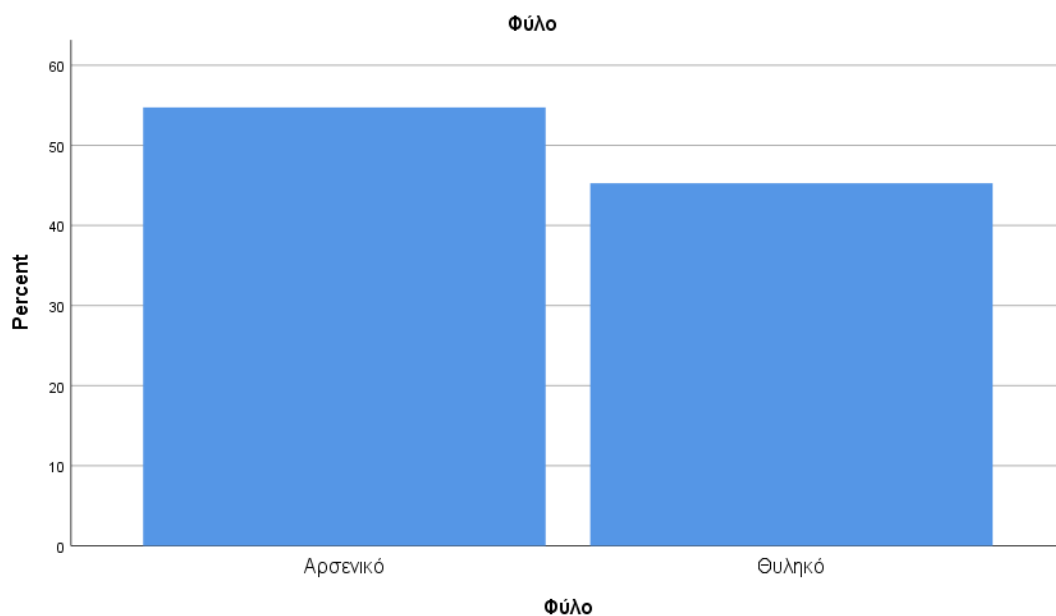
Πίνακας 10: Ανάλυση συχνοτήτων Φύλου

Φύλο		Συχνότητα	Ποσοστό %	Έγκυρο Ποσοστό %	Αθροιστικό Ποσοστό %
Έγκυρα	Αρσενικό	52	54,7	54,7	54,7
	Θηλυκό	43	45,3	45,3	45,3
	Σύνολο	95	100,0	100,0	

Από την εξέταση του ανωτέρω πίνακα προκύπτει ότι από τα 95 υπό εξέταση άτομα, τα 52 ήταν αρσενικά (ποσοστό 54,7%) και τα 43 θηλυκά (Ποσοστό 45,3%).

Το αποτέλεσμα αυτό απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα (Εικόνα 25)





Εικόνα 25: Διάγραμμα συχνοτήτων φύλου

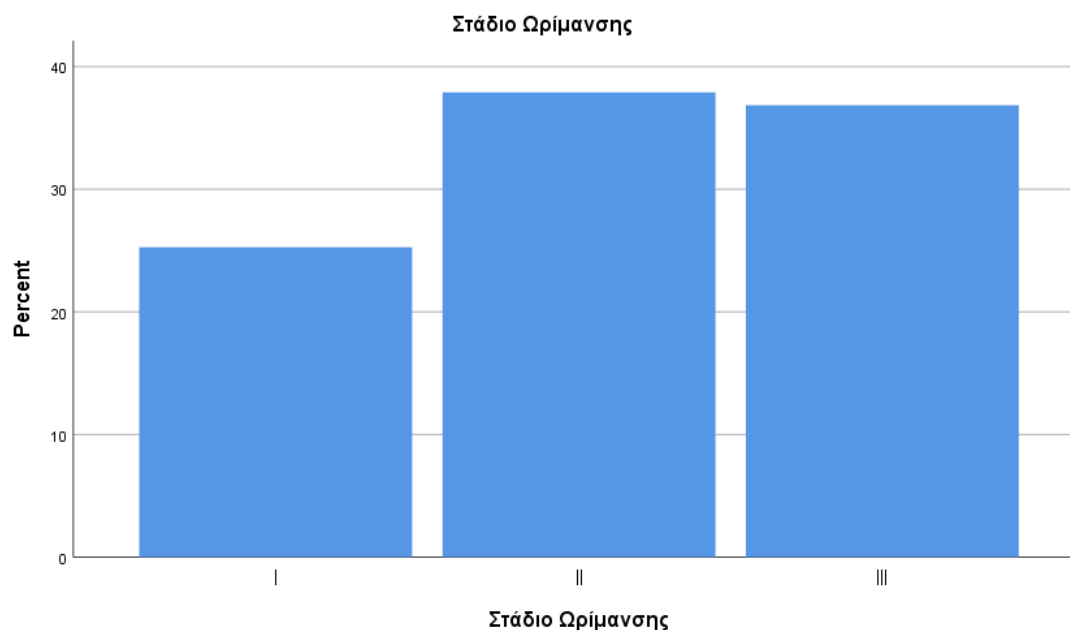
### 9.2.2 Στάδιο ωριμότητας

Πίνακας 11: Ανάλυση συχνοτήτων σταδίου ωρίμανσης

Στάδιο Ωρίμανσης		Συχνότητα	Ποσοστό %	Έγκυρο Ποσοστό %	Αθροιστικό Ποσοστό %
Έγκυρα	I	24	25,3	25,3	25,3
	II	36	37,9	37,9	63,2
	III	35	36,8	36,8	100,0
	Σύνολο	95	100,0	100,0	

Όπως φαίνεται από τον ανωτέρω πίνακα από το συνολικό δείγμα των 95 ατόμων, τα 24 (ποσοστό 25,3%) ήταν σταδίου ωριμότητας I, τα 36 (ποσοστό 37,9%) ήταν σταδίου II και τα 35 (ποσοστό 36,8%) ήταν ώριμα άτομα σταδίου III και πάνω.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και στο ακόλουθο διάγραμμα (Εικόνα 26).



Εικόνα 26: Διάγραμμα συχνοτήτων σταδίου ωρίμανσης

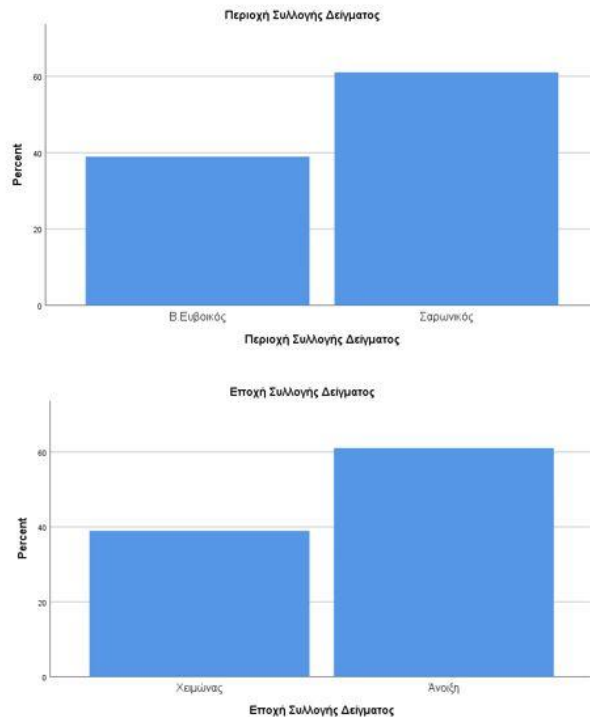
### 9.2.3 Περιοχή & Εποχή δειγματοληψίας

Πίνακας 12: Ανάλυση συχνοτήτων περιοχής (& εποχής) δειγματοληψίας

Περιοχή Συλλογής Δείγματος		Συχνότητα	Ποσοστό %	Έγκυρο Ποσοστό %	Αθροιστικό Ποσοστό %
Έγκυρα	Β.Ευβοϊκός (Χειμώνας)	37	38,9	38,9	38,9
	Σαρωνικός (Άνοιξη)	58	61,1	61,1	100,0
	Σύνολο	95	100,0	100,0	

Από τον ανωτέρω πίνακα προκύπτει ότι από τα 95 υπό εξέταση άτομα, τα 37 αλιεύθηκαν το χειμώνα στο Β.Ευβοϊκό κόλπο (ποσοστό 38,9%) και τα 58 την άνοιξη στο Σαρωνικό Κόλπο (ποσοστό 61,1%).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα (Εικόνα 27)

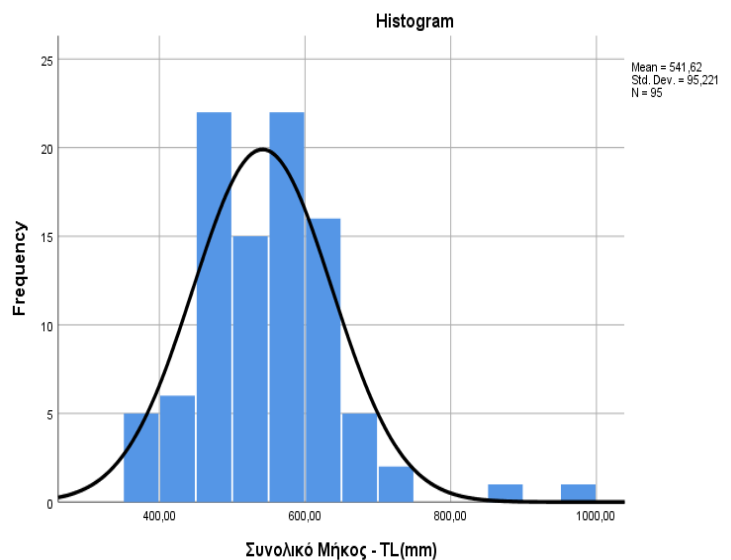


Εικόνα 27: Διάγραμμα συχνοτήτων περιοχής και εποχής δειγματοληψίας

### 9.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

#### 9.3.1 Ολικό μήκος - TL(mm)

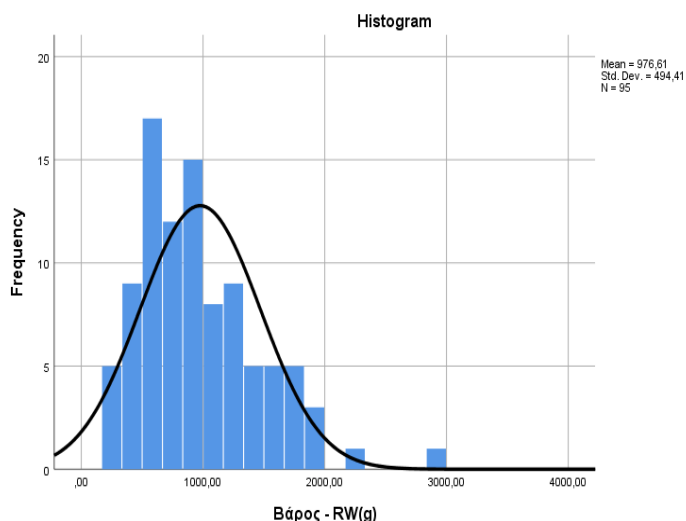
Συνολικό Μήκος - TL(mm)		
N	Έγκυρα	95
	Άκυρα	0
Μέσος		541,6211
Διάμεσος		545,0000
Τυπική Απόκλιση		95,22070
Διακύμανση		9066,983
Ελάχιστο		370,00
Μέγιστο		952,00



Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα ο μέσος όρος του ολικού μήκους ατόμων *R. clavata* ήταν 541.62 και η τυπική απόκλιση ήταν 95,22. Η κατανομή των μηκών παρουσιάζεται στο ανωτέρω ιστόγραμμα.

### 9.3.2 Ολικό Βάρος - RW(g)

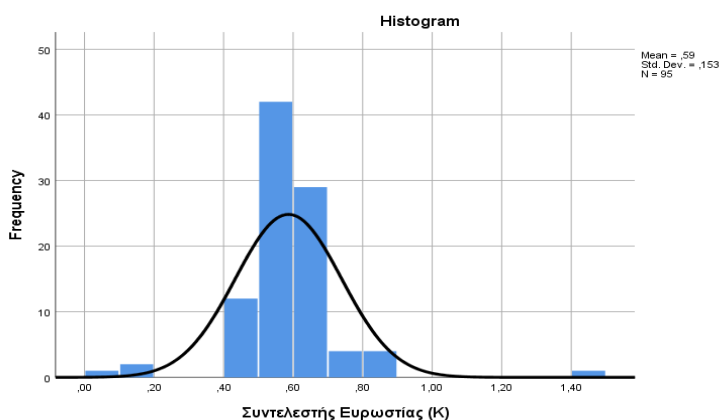
Ολικό Βάρος - RW(g)		
N	Έγκυρα	95
	Άκυρα	0
Μέσος		976,6105
Διάμεσος		885,0000
Τυπική Απόκλιση		494,41029
Διακύμανση		244441,538
Ελάχιστο		220,00
Μέγιστο		2878,00



Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα ο μέσος όρος του ολικού βάρους ατόμων *R. clavata* ήταν 976,61 και η τυπική απόκλιση ήταν 494,41. Η κατανομή των βαρών παρουσιάζεται στο ανωτέρω ιστόγραμμα.

### 9.3.3 Συντελεστής Ευρωστίας (K)

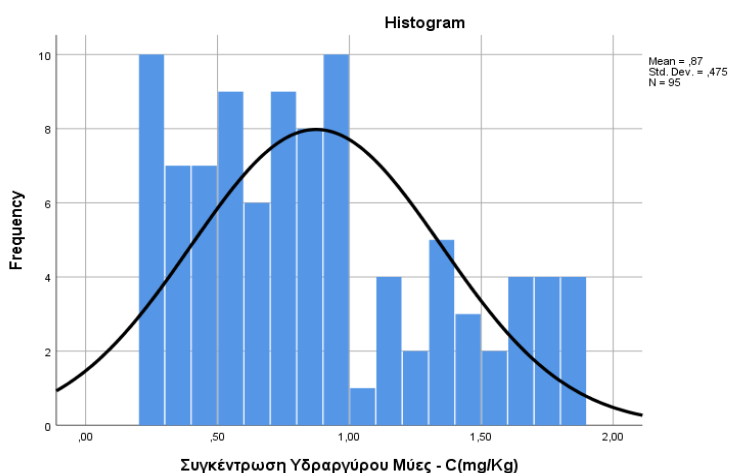
Συντελεστής Ευρωστίας (K)		
N	Έγκυρα	95
	Άκυρα	0
Μέσος		,5866
Διάμεσος		,5778
Τυπική Απόκλιση		,15253
Διακύμανση		,023
Ελάχιστο		,09
Μέγιστο		1,49



Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα ο μέσος όρος του Συντελεστή Ευρωστίας (K) ήταν 0,58 και η τυπική απόκλιση ήταν 0,15. Η κατανομή του παρουσιάζεται στο ανωτέρω ιστόγραμμα.

### 9.3.4 Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)

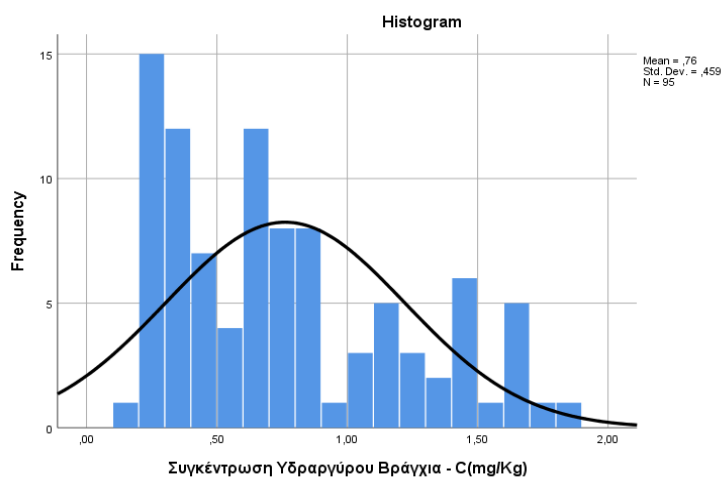
Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)		
N	Έγκυρα	95
	Άκυρα	0
Μέσος		,8740
Διάμεσος		,7900
Τυπική Απόκλιση		,47498
Διακύμανση		,226
Ελάχιστο		,23
Μέγιστο		1,85



Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα ο μέσος όρος της συγκέντρωσης υδραργύρου στους μύες (mg/Kg) ήταν 0,87 και η τυπική απόκλιση ήταν 0,47. Η κατανομή του παρουσιάζεται στο ανωτέρω ιστόγραμμα.

### 9.3.5 Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)

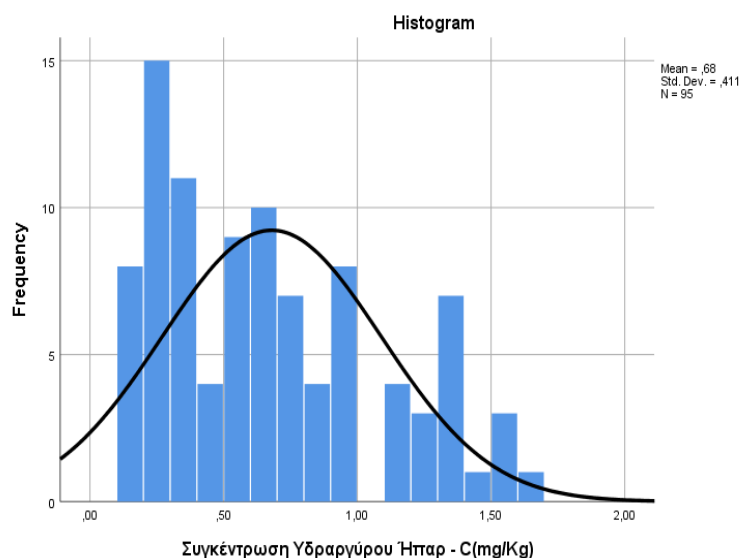
Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)		
N	Έγκυρα	95
	Άκυρα	0
Μέσος		,7618
Διάμεσος		,6800
Τυπική Απόκλιση		,45946
Διακύμανση		,211
Ελάχιστο		,19
Μέγιστο		1,84



Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα ο μέσος όρος της συγκέντρωσης υδραργύρου στα βράγχια (mg/Kg) ήταν 0,76 και η τυπική απόκλιση ήταν 0,45. Η κατανομή του παρουσιάζεται στο ανωτέρω ιστόγραμμα.

### 9.3.6 Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)

Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)		
N	Έγκυρα	95
	Άκυρα	0
Μέσος		,6797
Διάμεσος		,6100
Τυπική Απόκλιση		,41064
Διακύμανση		,169
Ελάχιστο		,18
Μέγιστο		1,63



Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα ο μέσος όρος της συγκέντρωσης υδραργύρου στο ήπαρ (mg/Kg) ήταν 0,68 και η τυπική απόκλιση ήταν 0,41. Η κατανομή του παρουσιάζεται στο ανωτέρω ιστόγραμμα.

### 9.3.7 Συγκεντρωτική παρουσίαση υδραργύρου στους ιστούς

Από τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 13) η συγκέντρωση Hg είναι υψηλότερη στο μυ συγκριτικά με τα βράγχια και το ήπαρ.

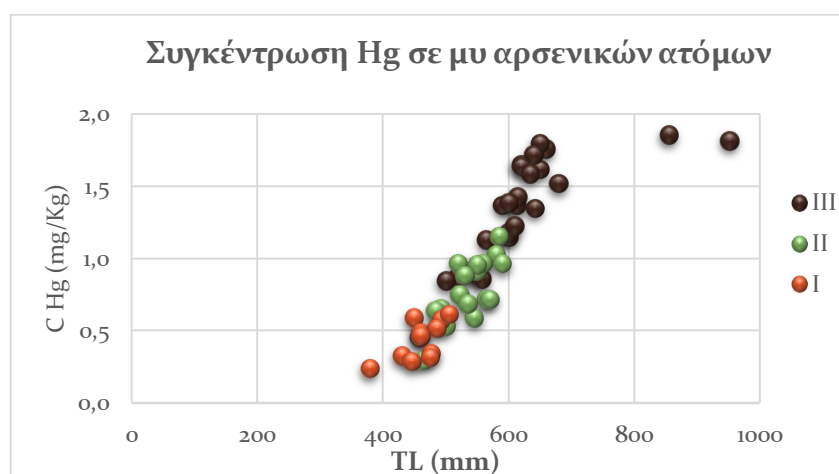
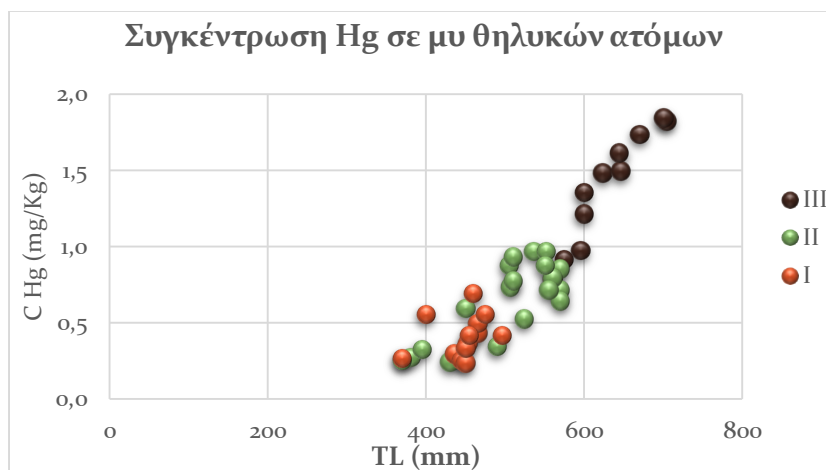
Πίνακας 13: Περιγραφικά στατιστικά της συγκέντρωσης Hg στους 3 υπό μελέτη ιστούς

	[Hg](mg/Kg) μυ	[Hg](mg/Kg) βράγχια	[Hg](mg/Kg) ήπαρ
Μέσος	0,87	0,76	0,67
Τυπικό σφάλμα	0,05	0,05	0,04
Εύρος	1,62	1,65	1,45
Ελάχιστο	0,23	0,19	0,18
Μέγιστο	1,85	1,84	1,63
Άθροισμα	83,56	72,37	64,57
Πλήθος	95	95	95

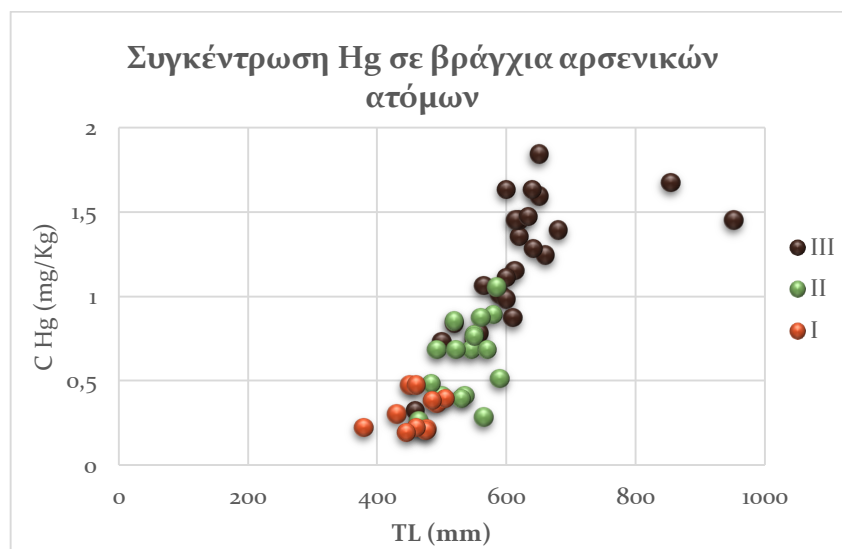
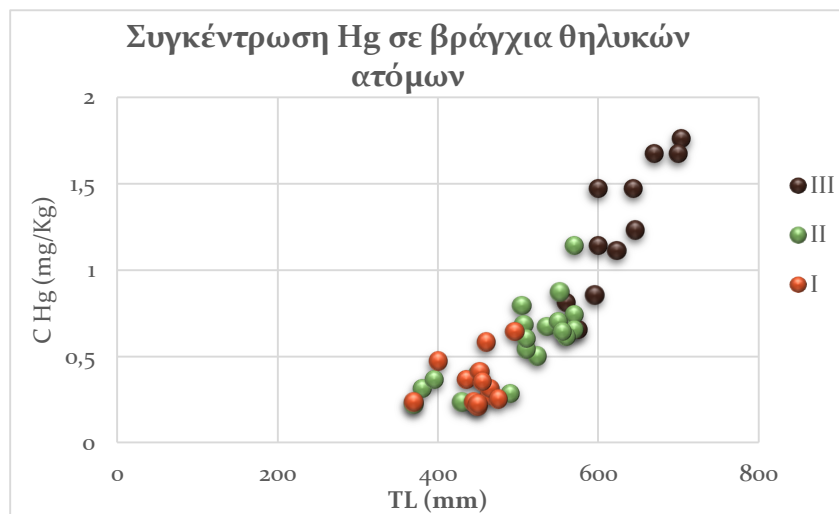
### 9.3.8 Περιγραφικά στατιστικά με βάση το φύλο

#### 9.3.8.1 Σχέση μήκους- συγκέντρωσης υδραργύρου στους ιστούς ανά φύλο και στάδιο ωριμότητας

Παρατηρούμε πως αυξανόμενου του σταδίου ωρίμανσης αυξάνεται και η συγκέντρωση υδραργύρου στους ιστούς των ατόμων κάτι το οποίο αποδεικνύεται παρακάτω και από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων(Εικόνες 28,29,30).

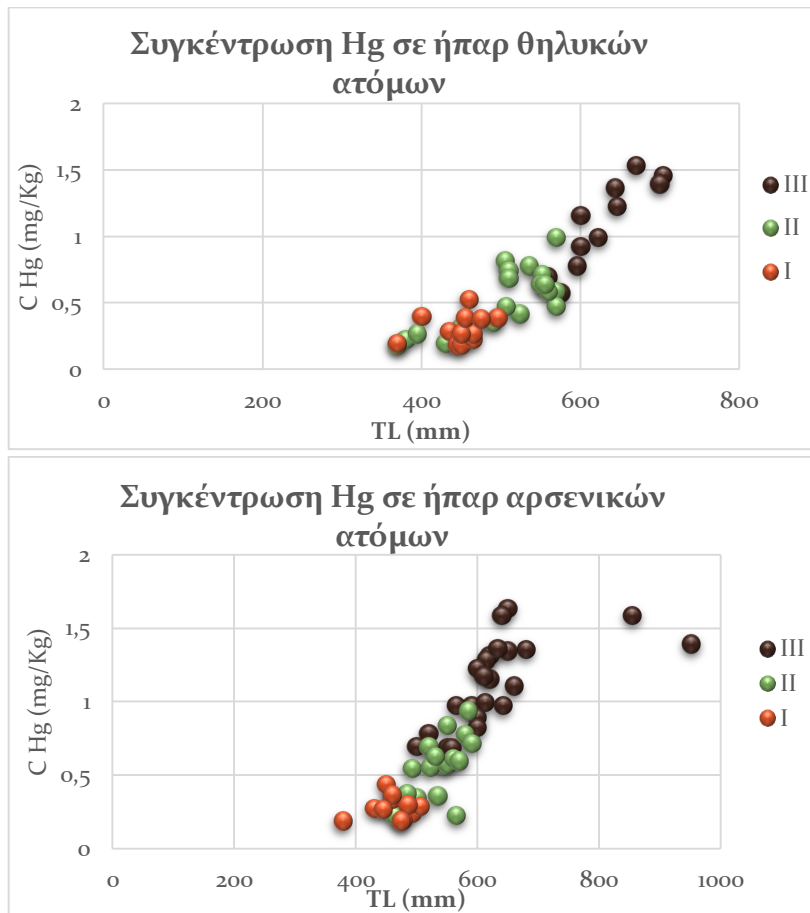


Εικόνα 28: Συγκέντρωση υδραργύρου σε μύες θηλυκών (πάνω) και αρσενικών (κάτω) ατόμων ανά στάδιο ωριμότητας



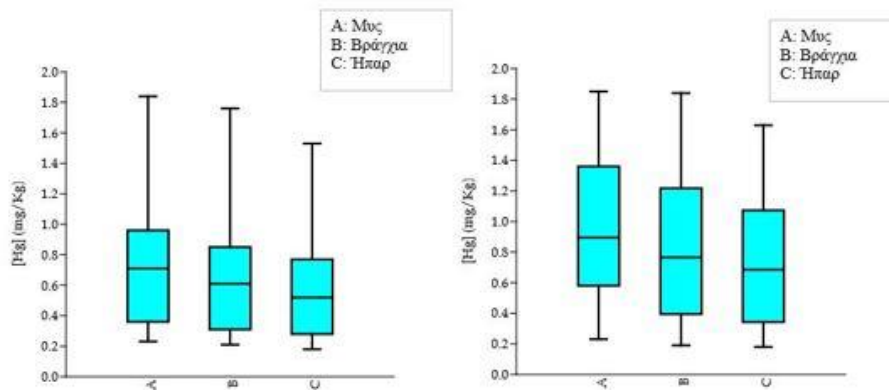
Εικόνα 29: Συγκέντρωση υδραργύρου σε βράγχια θηλυκών(πάνω) και αρσενικών(κάτω) ατόμων ανά στάδιο ωριμότητας





Εικόνα 30: Συγκέντρωση υδραργύρου σε ήπαρ θηλυκών(πάνω) και αρσενικών(κάτω) ατόμων ανά στάδιο ωριμότητας

Παρατηρούμε πως και στα δύο φύλα τη μεγαλύτερη συγκέντρωση υδραργύρου την έχουν οι μύες μετά τα βράγχια και λιγότερο το ήπαρ. Αυτό οφείλεται στο ότι το συκώτι είναι το όργανο που μεταβολίζει τα βαρέα μέταλλα τα οποία οδηγούνται εν συνεχεία στους νεφρούς προς απέκκριση (Εικόνα 31).



Εικόνα 31: Βox plot συγκέντρωσης Hg (mg/Kg) σε θηλυκά (αριστερά) και αρσενικά (δεξιά) άτομα

## 10 Ανάλυση Κανονικότητας

Πίνακας 14: Πίνακας αποτελεσμάτων από την Ανάλυση Κανονικότητας

	Skewness	Std. Error of Skewness	Kurtosis	Std. Error of Kurtosis	z SKEWNESS	z SKEWNESS NORMALITY -3.29=<ZS _Score<=3.29 CRITERIA (p=0.05) (50 < n < 300)	z KURTOSIS	z KURTOSIS NORMALITY -3.29=<ZK _Score<=3.29 CRITERIA (p=0.05) (50 < n < 300)
Φύλο	0,193	0,247	-2,005	0,490	0,782	NORMAL	-4,091	NOT NORMAL
Στάδιο Ωρίμανσης	-0,208	0,247	-1,336	0,490	- 0,839	NORMAL	-2,726	NORMAL
Ολικό Μήκος - TL(mm)	1,080	0,247	3,332	0,490	4,366	NOT NORMAL	6,799	NOT NORMAL
Ολικό Βάρος - RW(g)	1,002	0,247	1,308	0,490	4,050	NOT NORMAL	2,668	NORMAL
Περιοχή Συλλογής Δείγματος	-0,461	0,247	-1,827	0,490	- 1,861	NORMAL	-3,727	NOT NORMAL
Εποχή Συλλογής Δείγματος	-0,461	0,247	-1,827	0,490	- 1,861	NORMAL	-3,727	NOT NORMAL
Συντελεστής Ευρωστίας (K)	1,763	0,247	14,032	0,490	7,125	NOT NORMAL	28,626	NOT NORMAL
Βάρος Χώνευσης Μυών (g)	-0,508	0,247	-0,748	0,490	- 2,052	NORMAL	-1,526	NORMAL
Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)	0,546	0,247	-0,773	0,490	2,207	NORMAL	-1,577	NORMAL
Βάρος Χώνευσης Βράγχια (g)	-0,678	0,247	-0,369	0,490	- 2,739	NORMAL	-0,753	NORMAL
Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)	0,675	0,247	-0,630	0,490	2,727	NORMAL	-1,286	NORMAL
Βάρος Χώνευσης Ήπαρ (g)	-0,714	0,247	-0,249	0,490	- 2,887	NORMAL	-0,509	NORMAL

Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)	0,651	0,247	-0,644	0,490	2,631	NORMAL	-1,314	NORMAL
--	-------	-------	--------	-------	-------	--------	--------	--------

Από τον ανωτέρω πίνακα(Πίνακας 14) προκύπτει πως οι κατανομές του σταδίου ωρίμανσης, του βάρους χώνευσης των 3 διαφορετικών ιστών και της συγκέντρωσης υδραργύρου στους 3 διαφορετικούς ιστούς που θα συμμετέχουν στην επαγωγική στατιστική ανάλυση ως εξαρτημένες εμπίπτουν στο πρότυπο της κανονικής κατανομής.

Πιο συγκεκριμένα ως κανονικές μπορούν να θεωρηθούν οι ακόλουθες μεταβλητές:

- ✱ Στάδιο ωρίμανσης. Τόσο η απόλυτη τιμή z της Κύρτωσης (Kurtosis) = -0,839 όσο και της Ασυμμετρίας (Skewness) = -2,726 είναι κάτω από το όριο του 3,29 άρα η κατανομή μπορεί να θεωρηθεί ως κανονική.
- ✱ Βάρος χώνευσης μυών (g). Τόσο η απόλυτη τιμή z της Κύρτωσης (Kurtosis) = -1,526 όσο και της Ασυμμετρίας (Skewness) = -2,052 είναι κάτω από το όριο του 3,29 συνεπώς η κατανομή είναι κανονική.
- ✱ Βάρος χώνευσης βραγχίων (g). Τόσο η απόλυτη τιμή z της Κύρτωσης (Kurtosis) όσο και της Ασυμμετρίας (Skewness) είναι κάτω από το όριο του 3,29, η κατανομή μπορεί να θεωρηθεί ως κανονική.
- ✱ Βάρος χώνευσης ήπατος (g). Τόσο η απόλυτη τιμή z της Κύρτωσης (Kurtosis) όσο και της Ασυμμετρίας (Skewness) είναι κάτω από το όριο του 3,29, η κατανομή μπορεί να θεωρηθεί ως κανονική.
- ✱ Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg). Τόσο η απόλυτη τιμή z της Κύρτωσης (Kurtosis) όσο και της Ασυμμετρίας (Skewness) είναι κάτω από το όριο του 3,29, η κατανομή μπορεί να θεωρηθεί ως κανονική.
- ✱ Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg). Τόσο η απόλυτη τιμή z της Κύρτωσης (Kurtosis) όσο και της Ασυμμετρίας (Skewness) είναι κάτω από το όριο του 3,29, η κατανομή μπορεί να θεωρηθεί ως κανονική.
- ✱ Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg). Τόσο η απόλυτη τιμή z της Κύρτωσης (Kurtosis) όσο και της Ασυμμετρίας (Skewness) είναι κάτω από το όριο του 3,29, η κατανομή μπορεί να θεωρηθεί ως κανονική.

Ως μη κανονικές μπορούν να θεωρηθούν οι μεταβλητές των ακόλουθων μεταβλητών:

- ✱ Φύλο. Η απόλυτη τιμή  $z$  της Ασυμμετρίας (Skewness) = 0,782 είναι κάτω από το όριο του 3,29 αλλά εφόσον η απόλυτη τιμή  $z$  της Κύρτωσης (Kurtosis) είναι πάνω από αυτή τη τιμή η κατανομή θεωρείται μη κανονική.
- ✱ Ολικό μήκος (mm). Τόσο η απόλυτη τιμή  $z$  της Κύρτωσης (Kurtosis) όσο και της Ασυμμετρίας (Skewness) είναι σημαντικά πάνω από το όριο του 3,29 και συνεπώς η κατανομή μπορεί να θεωρηθεί ως μη κανονική.
- ✱ Ολικό βάρος(g): Η απόλυτη τιμή  $z$  της Κύρτωσης (Kurtosis) = 2,668 είναι κάτω από το όριο του 3,29 αλλά εφόσον η απόλυτη τιμή  $z$  της Ασυμμετρίας (Skewness) είναι πάνω από αυτή τη τιμή η κατανομή θεωρείται μη κανονική.
- ✱ Περιοχή (Εποχή) Δειγματοληψίας. Η απόλυτη τιμή  $z$  της Ασυμμετρίας (Skewness) = -1,861 είναι κάτω από το όριο του 3,29 ενώ η απόλυτη τιμή  $z$  της Κύρτωσης (Kurtosis) είναι πάνω από αυτό οπότε η κατανομή είναι μη κανονική.
- ✱ Συντελεστής Ευρωστίας (K). Τόσο η απόλυτη τιμή  $z$  της Κύρτωσης (Kurtosis) όσο και της Ασυμμετρίας (Skewness) είναι σημαντικά πάνω από το όριο του 3,29 οπότε η κατανομή θεωρείται μη κανονική.

Εφόσον στις παραπάνω μεταβλητές δεν υπάρχει κανονικότητα για το λόγο αυτό κάνουμε ανάλυση Spearman.

## 11 ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

### 11.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ

Πίνακας 15: Αποτελέσματα ανάλυσης συσχετίσεων μεταξύ των προς μελέτη μεταβλητών

#### Correlations

		Φύλο	Στάδιο Ωρίμανσης	Περιοχή Συλλογής Δείγματος	Εποχή Συλλογής Δείγματος
Ολικό Μήκος - TL(mm)	Correlation Coefficient	-,215*	<b>,805**</b>	-0,061	-0,061
	Sig. (2-tailed)	0,036	0,000	0,557	0,557
	N	95	95	95	95
Ολικό Βάρος - RW(g)	Correlation Coefficient	-0,148	<b>,763**</b>	-0,022	-0,022
	Sig. (2-tailed)	0,152	0,000	0,832	0,832
	N	95	95	95	95
Συντελεστής Ευρωστίας (K)	Correlation Coefficient	0,081	,211*	0,024	0,024
	Sig. (2-tailed)	0,435	0,040	0,814	0,814
	N	95	95	95	95
Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)	Correlation Coefficient	-,227*	<b>,810**</b>	-0,057	-0,057
	Sig. (2-tailed)	0,027	0,000	0,583	0,583
	N	95	95	95	95
Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)	Correlation Coefficient	-0,168	<b>,815**</b>	-0,065	-0,065
	Sig. (2-tailed)	0,104	0,000	0,532	0,532
	N	95	95	95	95

Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)	Correlation Coefficient	-0,163	<b>,805**</b>	-0,033	-0,033
	Sig. (2-tailed)	0,114	0,000	0,753	0,753
	N	95	95	95	95

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

#### Correlations

		Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)	Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)	Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)
Συνολικό Μήκος - TL(mm)	Correlation Coefficient	<b>,937**</b>	<b>,898**</b>	<b>,901**</b>
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000
	N	95	95	95
Ολικό Βάρος - RW(g)	Correlation Coefficient	<b>,854**</b>	<b>,820**</b>	<b>,804**</b>
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000
	N	95	95	95
Συντελεστής Ευρωστίας (K)	Correlation Coefficient	0,153	0,123	0,090
	Sig. (2-tailed)	0,138	0,235	0,384
	N	95	95	95
Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)	Correlation Coefficient	<b>1,000</b>	<b>,941**</b>	<b>,958**</b>
	Sig. (2-tailed)		0,000	0,000
	N	95	95	95

Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)	Correlation Coefficient	<b>,941**</b>	<b>1,000</b>	<b>,958**</b>
	Sig. (2-tailed)	0,000		0,000
	N	95	95	95
Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)	Correlation Coefficient	<b>,958**</b>	<b>,958**</b>	<b>1,000</b>
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	
	N	95	95	95

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\*. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Από τον έλεγχο συσχετίσεων (Πίνακας 15) προέκυψε ένας μεγάλος αριθμός στατιστικά σημαντικών σχέσεων μεταξύ μεταβλητών. Από αυτές παρουσιάζονται εκείνες οι οποίες βρίσκονται πιο κοντά στους ερευνητικούς στόχους της παρούσας μελέτης, δηλαδή οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις. Ένας μεγάλος αριθμός από στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις που εντοπίστηκαν ξεφεύγουν από τους στόχους της παρούσας μελέτης αλλά δύναται να αποτελέσουν έναυσμα για περαιτέρω έρευνα στο μέλλον.

Ποιο συγκεκριμένα:

- ✚ Εντοπίστηκε μια πολύ ισχυρή θετική στατιστικά σημαντική συσχέτιση Spearman ( $r_{ho}=0,805$ ,  $p<0.001$ ) ανάμεσα στο στάδιο ωριμότητας και το ολικό μήκος (TL). Με βάση τη κωδικοποίηση των μεταβλητών η συσχέτιση αυτή καταδεικνύει ότι τα ψάρια που είναι πιο ώριμα αναπαραγωγικά (μεγαλύτερου σταδίου ωριμότητας) τείνουν να έχουν σημαντικά μεγαλύτερα μήκη σώματος (TL).
- ✚ Εντοπίστηκε επίσης μια πολύ ισχυρή θετική στατιστικά σημαντική συσχέτιση Spearman ( $r_{ho}=0,763$ ,  $p<0.001$ ) ανάμεσα στο στάδιο ωριμότητας και το ολικό βάρος (RW), η οποία καταδεικνύει πως τα μεγαλύτερου σταδίου ωριμότητας άτομα τείνουν να είναι και μεγαλύτερου βάρους.
- ✚ Εντοπίστηκε μια πολύ ισχυρή θετική στατιστικά σημαντική συσχέτιση Spearman ( $r_{ho}=0,810$ ,  $p<0.001$ ) ανάμεσα στο στάδιο ωριμότητας και τη συγκέντρωση υδραργύρου στους μύες. Μια πολύ ισχυρή συσχέτιση επίσης εντοπίστηκε και στους υπόλοιπους ιστούς. Στα βράγχια ( $r_{ho}=0.815$ ,  $p<0.001$ ) και στο ήπαρ ( $r_{ho}=0.805$ ,  $p<0.001$ ). Με βάση τη κωδικοποίηση των μεταβλητών η συσχέτιση αυτή καταδεικνύει ότι τα αναπαραγωγικά πιο ώριμα

άτομα έχουν σημαντικά υψηλότερη συγκέντρωση υδραργύρου στους ιστούς τους.

- ✿ Εντοπίστηκε μια πολύ ισχυρή θετική στατιστικά σημαντική συσχέτιση Spearman ( $r_{ho}=0,937$ ,  $p<0.001$ ) ανάμεσα στο ολικό μήκος (TL) και τη συγκέντρωση υδραργύρου στους μύες. Το ίδιο ισχυρή ήταν η συσχέτιση και για τους άλλους δύο ιστούς. Για τα βράγχια ( $r_{ho}=0.898$ ,  $p<0.001$ ) και για το ήπαρ ( $r_{ho}=0.901$ ,  $p<0.001$ ). Με βάση τη κωδικοποίηση των μεταβλητών η συσχέτιση αυτή καταδεικνύει ότι τα ψάρια που έχουν μεγαλύτερα μήκη σώματος έχουν και περισσότερη συγκέντρωση υδραργύρου σε αυτό.
- ✿ Εντοπίστηκε επίσης μια πολύ ισχυρή θετική στατιστικά σημαντική συσχέτιση Spearman ( $r_{ho}=0,854$ ,  $p<0.001$ ) ανάμεσα στο ολικό βάρος (RW) και τη συγκέντρωση υδραργύρου στους μύες. Το ίδιο ισχυρή ήταν η συσχέτιση και για τους άλλους δύο ιστούς. Για τα βράγχια ( $r_{ho}=0.820$ ,  $p<0.001$ ) και για το ήπαρ ( $r_{ho}=0.804$ ,  $p<0.001$ ). Η συσχέτιση αυτή καταδεικνύει πως τα βαρύτερα ψάρια έχουν και περισσότερη συγκέντρωση υδραργύρου στο σώμα τους.
- ✿ Τέλος, εντοπίστηκε επίσης μια πολύ ισχυρή θετική στατιστικά σημαντική συσχέτιση Spearman ανάμεσα στη συγκέντρωση υδραργύρου στον έναν ιστό σε σχέση με τον άλλον. Για παράδειγμα η Spearman ( $r_{ho}=0,941$ ,  $p<0.001$ ) καταδεικνύει πως αυξημένη συγκέντρωση υδραργύρου στους μύες παρουσιάζει και αυξημένη συγκέντρωση στα βράγχια και αντίστοιχα στο ήπαρ ( $r_{ho}=0.958$ ,  $p<0.001$ ).



## 11.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Οι συσχετίσεις Pearson δείχνουν την αλληλεξάρτηση δύο μεταβλητών, δηλαδή το προς ποιά κατεύθυνση και σε ποιο βαθμό μεταβάλλονται οι τιμές της μίας μεταβλητής όταν μεταβάλλονται εκείνες της άλλης. Δεν διακρίνουν όμως ανάμεσα σε εξαρτημένη και ανεξάρτητη μεταβλητή και κατά συνέπεια μπορούν να δώσουν μια ακριβή εξίσωση με βάση την οποία οι τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής μπορούν να προβλέψουν τις τιμές της εξαρτημένης. Το κενό αυτό μπορεί να καλύψει η ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης με την οποία θα εξετασθούν όλες οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις που εντοπίστηκαν στο προηγούμενο βήμα της ανάλυσης. Μέσω της ανάλυσης αυτής προσδιορίστηκε η εξίσωση που περιγράφει τη γραμμική σχέση των μεταβλητών που είναι της μορφής:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

Όπου  $a$  η τιμή που παίρνει το  $Y$  όταν  $X_1=X_2$  και  $b_1, b_2$  οι συντελεστές που περιγράφουν τη σχετική επίδραση της κάθε αντίστοιχης ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη.

Θεωρώντας σα μηδενική υπόθεση το  $b_1=b_2=0$  και σαν εναλλακτική υπόθεση ότι τουλάχιστον ένας από τους συντελεστές διαφέρει από το 0, πραγματοποιήθηκε η δοκιμασία του F(ANOVA). Στις περιπτώσεις που η πιθανότητα να ισχύει η μηδενική υπόθεση ήταν μικρότερη του 0,05, η τιμή του F θεωρήθηκε στατιστικά σημαντική και έγινε αποδεκτή η εναλλακτική υπόθεση.

### 11.2.1 Μύες

Διενεργήθηκε μια ανάλυση απλής γραμμικής παλινδρόμησης προκειμένου να διαπιστωθεί αν το Ολικό Βάρος - RW(g) & το Ολικό Μήκος - TL(mm) μπορούν να προβλέψουν τη Συγκέντρωση Υδραργύρου στους Μύες - C(mg/Kg).

Πίνακας 16: Ανάλυση Παλινδρόμησης στους Μύες

ANOVA<sup>a</sup>

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	18,075	2	9,037	265,419	,000 <sup>b</sup>
1 Residual	3,133	92	,034		
Total	21,207	94			

a. Dependent Variable: Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)

b. Predictors: (Constant), Ολικό Βάρος - RW(g), Ολικό Μήκος - TL(mm)

Όπως φαίνεται στον ανωτέρω πίνακα(Πίνακας 16) εντοπίστηκε μια στατιστικά σημαντική εξίσωση παλινδρόμησης  $F(2,92)= 265,419$ ,  $p<0.001$ ).

Model Summary<sup>b</sup>

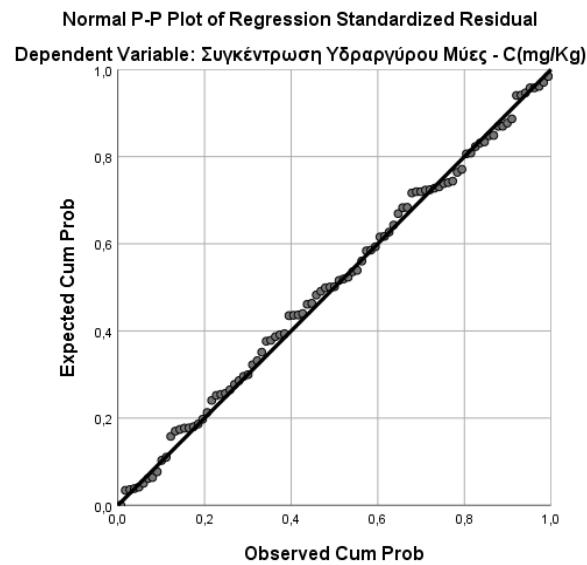
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,923 <sup>a</sup>	,852	,849	,18452	1,502

a. Predictors: (Constant), Ολικό Βάρος - RW(g), Ολικό Μήκος - TL(mm)

b. Dependent Variable: Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)

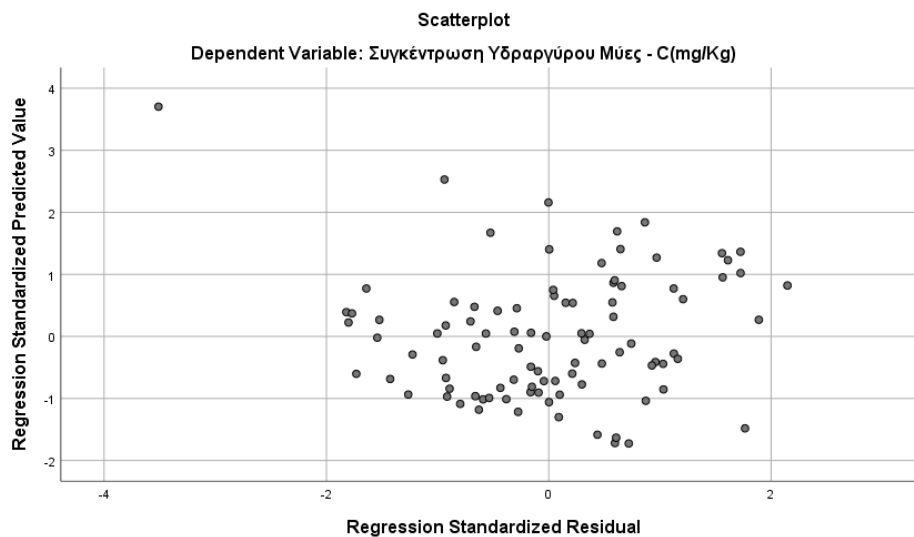
Το R (Pearson Correlation) ήταν 0,923 και το R<sup>2</sup> του μοντέλου ήταν ίσο με 0,852 το οποίο καταδεικνύει ότι ένα σημαντικό 85,2 % της διακύμανσης των τιμών της μεταβλητής Συγκέντρωση Υδραργύρου στους Μύες - C(mg/Kg) μπορούν να εξηγηθούν από τις Ολικό Βάρος - RW(g) & Ολικό Μήκος - TL(mm). Το κριτήριο Durbin-Watson ( $d=1,502$ ) είναι ανάμεσα στις κρίσιμες τιμές  $1,5<d<2,5$ , άρα μπορούμε με ασφάλεια να συμπεράνουμε ότι δεν υπάρχει πρώτης τάξης γραμμική αυτοσυσχέτιση στα δεδομένα.

Ακολουθεί η εξέταση του διαγράμματος πιθανοτήτων, του ιστογράμματος και του διαγράμματος διασποράς των κανονικοποιημένων υπολοίπων (Standardised Residuals).



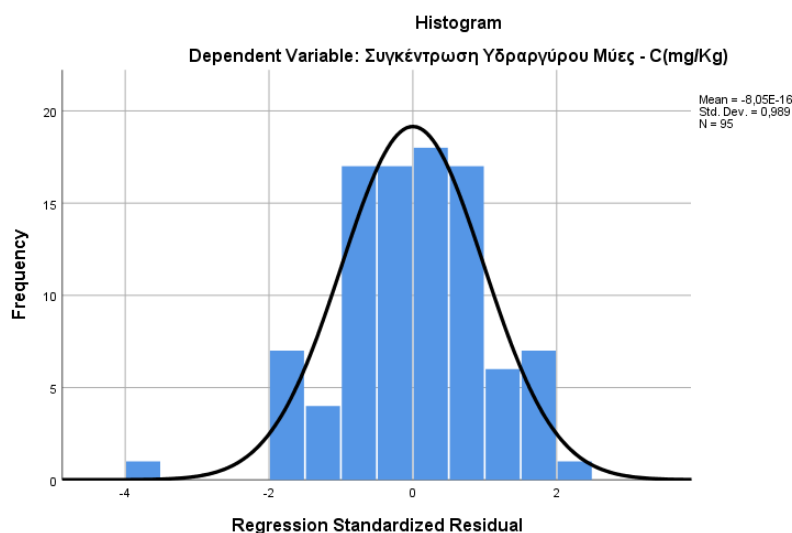
Εικόνα 32: Διάγραμμα πιθανοτήτων κανονικοποιημένων υπολοίπων (Standardised residuals)

Από το προηγούμενο Διάγραμμα (Εικόνα 32) διαπιστώνεται ότι υπήρξε μια ισχυρή θετική γραμμική σχέση μεταξύ των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης.



Εικόνα 33: Διάγραμμα διασποράς κανονικοποιημένων υπολοίπων(Standardised residuals)

Επιπλέον από το ανωτέρω διάγραμμα διασποράς(Εικόνα 33) διαφάνεται πως δεν υπάρχει πρότυπο (pattern) στη διασπορά καθώς το πλάτος της σκέδασης ως προς προβλεπόμενες τιμές είναι περίπου το ίδιο. Εξετάζοντας δε το ακόλουθο διάγραμμα των τυποποιημένων υπολειμμάτων (Standardised Residuals) προκύπτει ότι η κατανομή τους είναι πολύ κοντά στο πρότυπο της κανονικής κατανομής.



Εικόνα 34: Ιστόγραμμα διασποράς κανονικοποιημένων υπολοίπων(Standardised residuals)

Κατά συνέπεια διαπιστώθηκε η ισχύς των παραδοχών της ομοιογένειας της διακύμανσης, της γραμμικότητας των δεδομένων καθώς και της κανονικής κατανομής των υπολοίπων(Εικόνα 34).

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συντελεστών της γραμμικής εξίσωσης.

*Coefficients<sup>a</sup>*

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	-1,060	,136		-7,798	,000		
1 Ολικό Μήκος - TL(mm)	,0028885	,000	,579	8,766	,000	,368	2,718
Ολικό Βάρος - RW(g)	,0003779	,000	,393	5,955	,000	,368	2,718

a. Dependent Variable: Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)

Διαπιστώνεται ότι ο σταθερός συντελεστής  $\beta = -1,060$  είναι στατιστικά σημαντικός με περιθώριο σφάλματος 0,1 % ( $\beta = -1,060$ ,  $p < 0,001$ ) αλλά και ο συντελεστής των Ολικό Μήκος - TL(mm) ( $\beta = 0,0028$ ) & Ολικό Βάρος - RW(g) ( $\beta = 0,0004$ ) είναι και αυτοί στατιστικά σημαντικοί με περιθώριο σφάλματος 0,1 % ( $p < 0,001$ ).

Οι πληροφορίες στον παραπάνω πίνακα μας επιτρέπουν επίσης να ελέγξουμε την πολυεξαρτησία στο μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Οι μεταβλητές του μοντέλου καλύπτουν τα κριτήρια Tolerance > 0,1 και VIF < 10, κατά συνέπεια δεν υπάρχει πρόβλημα πολυεξαρτησίας.

Η εξίσωση που προκύπτει από την ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης είναι:

$$[\text{Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)}] = 0,00288 * [\text{Ολικό Μήκος (mm)}] + 0,00037 * [\text{Ολικό Βάρος(g)}]$$

### 11.2.2 Βράγχια

Όπως και στο μυ έτσι και εδώ διενεργήθηκε μια ανάλυση απλής γραμμικής παλινδρόμησης προκειμένου να διαπιστωθεί αν το Ολικό Βάρος - RW(g) & το Ολικό Μήκος - TL(mm) μπορούν να προβλέψουν τη Συγκέντρωση Υδραργύρου στα βράγχια - C(mg/Kg).

Πίνακας 17: Ανάλυση Παλινδρόμησης στα Βράγχια

ANOVA<sup>a</sup>

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	15,439	2	7,720	161,248	,000 <sup>b</sup>
1 Residual	4,404	92	,048		
Total	19,844	94			

a. Dependent Variable: Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)

b. Predictors: (Constant), Ολικό Βάρος - RW(g), Ολικό Μήκος - TL(mm)

Όπως φαίνεται στον ανωτέρω πίνακα(Πίνακας 17) εντοπίστηκε μια στατιστικά σημαντική εξίσωση παλινδρόμησης  $F(2,92)= 161,248$  ,  $p<0.001$ ).

Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,882 <sup>a</sup>	,778	,773	,21880	1,481

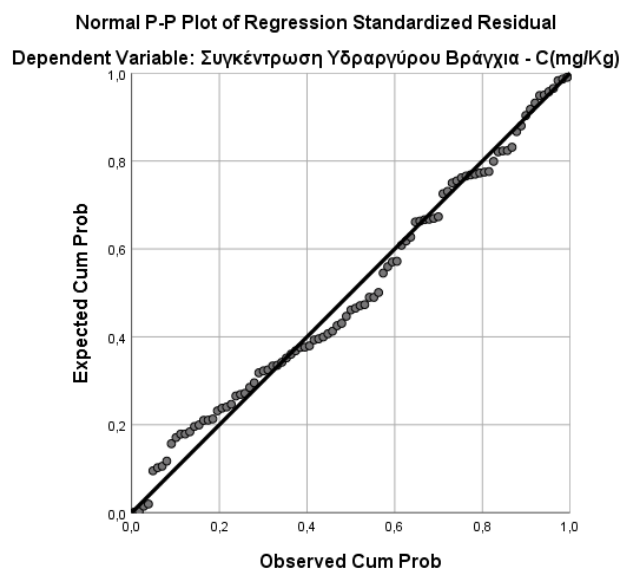
a. Predictors: (Constant), Ολικό Βάρος - RW(g), Ολικό Μήκος - TL(mm)

b. Dependent Variable: Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)

Το R (Pearson Correlation) ήταν 0,882 και το R<sup>2</sup> του μοντέλου ήταν ίσο με 0,778 το οποίο καταδεικνύει ότι ένα σημαντικό 77,8 % της διακύμανσης των τιμών της μεταβλητής Συγκέντρωση Υδραργύρου στα Βράγχια - C(mg/Kg) μπορούν να εξηγηθούν από τις Ολικό Βάρος - RW(g) & Ολικό Μήκος - TL(mm). Το κριτήριο Durbin-Watson (d=1,481) είναι πολύ κοντά στο χαμηλότερο όριο των κρίσιμων

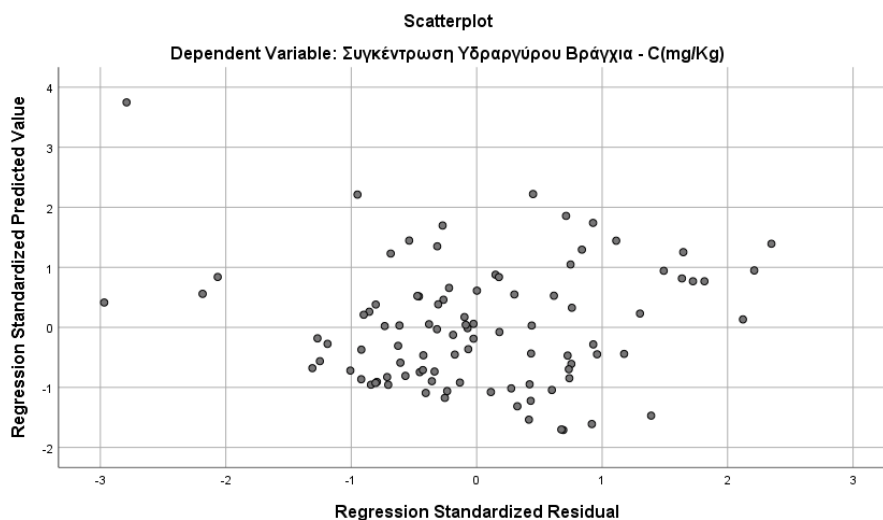
τιμών ( $1,5 < d < 2,5$ ), άρα μπορούμε με σχετική ασφάλεια να συμπεράνουμε ότι δεν υπάρχει πρώτη τάξης γραμμική αυτοσυσχέτιση στα δεδομένα.

Ακολουθεί η εξέταση διαγράμματος πιθανοτήτων, του του ιστογράμματος και του διαγράμματος διασποράς των κανονικοποιημένων υπολοίπων (Standardised Residuals).



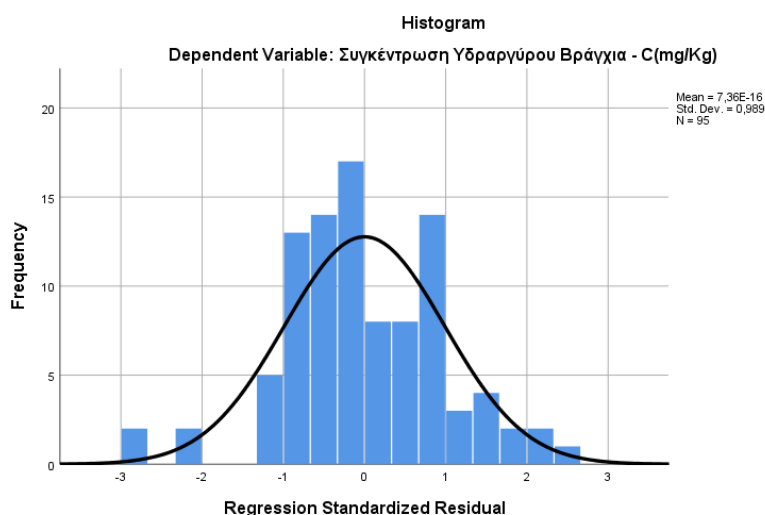
Εικόνα 35: Διάγραμμα πιθανοτήτων κανονικοποιημένων υπολοίπων(Standardised residuals)

Από το προηγούμενο Διάγραμμα(Εικόνα 35) διαπιστώνεται ότι υπήρξε μια ισχυρή θετική γραμμική σχέση μεταξύ των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης.



Εικόνα 36: Διάγραμμα διασποράς κανονικοποιημένων υπολοίπων(Standardised residuals)

Επιπλέον από το ανωτέρω διάγραμμα διασποράς(Εικόνα 36) διαφαίνεται πως δεν υπάρχει πρότυπο (pattern) στη διασπορά καθώς το πλάτος της σκέδασης ως προς προβλεπόμενες τιμές είναι περίπου το ίδιο. Εξετάζοντας δε το ακόλουθο διάγραμμα των τυποποιημένων υπολειμμάτων (Standardised Residuals) προκύπτει ότι η κατανομή τους είναι πολύ κοντά στο πρότυπο της κανονικής κατανομής.



Εικόνα 37: Ιστόγραμμα διασποράς κανονικοποιημένων υπολοίπων(Standardised residuals)

Κατά συνέπεια διαπιστώθηκε η ισχύς των παραδοχών της ομοιογένειας της διακύμανσης, της γραμμικότητας των δεδομένων καθώς και της κανονικής κατανομής των υπολοίπων(Εικόνα 37).

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συντελεστών της γραμμικής εξίσωσης.

*Coefficients<sup>a</sup>*

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
	(Constant)	-,926	,161		-5,745	,000		
1	Συνολικό Μήκος - TL(mm)	,0023834	,000	,494	6,100	,000	,368	2,718
	Βάρος - RW(g)	,0004060	,000	,437	5,396	,000	,368	2,718

a. Dependent Variable: Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)



Διαπιστώνεται ότι ο σταθερός συντελεστής  $\beta = -0,926$  είναι στατιστικά σημαντικός με περιθώριο σφάλματος 0,1 % ( $\beta = -0,926$ ,  $p < 0,001$ ) αλλά και ο συντελεστής των Ολικό Μήκος - TL(mm) ( $\beta = 0,002$ ) & Ολικό Βάρος - RW(g) ( $\beta = 0,0004$ ) είναι και αυτοί στατιστικά σημαντικοί με περιθώριο σφάλματος 0,1 % ( $p < 0,001$ ).

Οι πληροφορίες στον παραπάνω πίνακα μας επιτρέπουν επίσης να ελέγξουμε την πολυεξαρτησία στο μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Οι μεταβλητές του μοντέλου καλύπτουν τα κριτήρια Tolerance > 0,1 και VIF < 10, κατά συνέπεια δεν υπάρχει πρόβλημα πολυεξαρτησίας.

Η εξίσωση που προκύπτει από την ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης είναι:

$$[\text{Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες} - C(\text{mg/Kg})] = 0,00238 * [\text{Ολικό Μήκος (mm)}] + 0,00040 * [\text{Ολικό Βάρος(g)}]$$

### 11.2.3 Ήπαρ

Διενεργήθηκε ξανά μια ανάλυση απλής γραμμικής παλινδρόμησης προκειμένου να διαπιστωθεί αν το Ολικό Βάρος - RW(g) & το Ολικό Μήκος - TL(mm) μπορούν να προβλέψουν τη Συγκέντρωση Υδραργύρου στο ήπαρ - C(mg/Kg).

Πίνακας 18: Ανάλυση Παλινδρόμησης στο Ήπαρ

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Regression	12,580	2	6,290	176,915	,000 <sup>b</sup>
1	Residual	3,271	92	,036		
	Total	15,851	94			

a. Dependent Variable: Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)

b. Predictors: (Constant), Ολικό Βάρος - RW(g), Ολικό Μήκος - TL(mm)

Όπως φαίνεται στον ανωτέρω πίνακα(Πίνακας 18) εντοπίστηκε μια στατιστικά σημαντική εξίσωση παλινδρόμησης  $F(2, 92)=176,915, p<.001$ .

Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,891 <sup>a</sup>	,794	,789	,18856	1,580

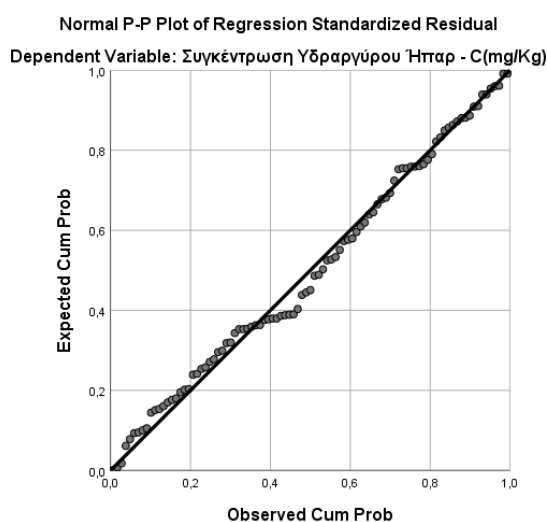
a. Predictors: (Constant), Βάρος - RW(g), Συνολικό Μήκος - TL(mm)

b. Dependent Variable: Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)

Το R (Pearson Correlation) ήταν 0,891 και το R<sup>2</sup> του μοντέλου ήταν ίσο με 0,794 το οποίο καταδεικνύει ότι ένα σημαντικό 79,4 % της διακύμανσης των τιμών της μεταβλητής Συγκέντρωση Υδραργύρου στο Ήπαρ - C(mg/Kg) μπορούν να εξηγηθούν από τις μεταβλητές Ολικό Βάρος - RW(g) & Ολικό Μήκος - TL(mm).

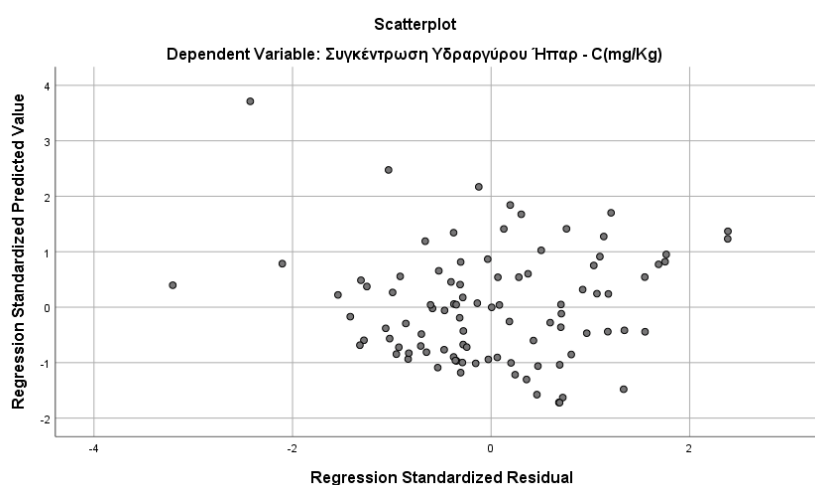
Το κριτήριο Durbin-Watson ( $d=1,580$ ) είναι ανάμεσα στις κρίσιμες τιμές  $1,5 < d < 2,5$ , άρα μπορούμε με ασφάλεια να συμπεράνουμε ότι δεν υπάρχει πρώτη τάξης γραμμική αυτοσυσχέτιση στα δεδομένα.

Ακολουθεί η εξέταση διαγράμματος πιθανοτήτων, του του ιστογράμματος και του Διαγράμματος Διασποράς των κανονικοποιημένων υπολοίπων (Standardised Residuals).



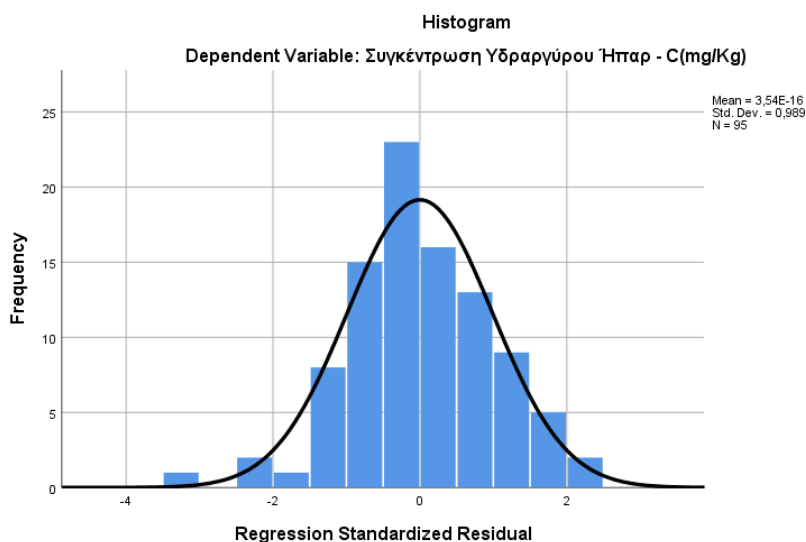
Εικόνα 38: Διάγραμμα πιθανοτήτων κανονικοποιημένων υπολοίπων (Standardised residuals)

Από το προηγούμενο Διάγραμμα (Εικόνα 38) διαπιστώνεται ότι υπήρξε μια ισχυρή θετική γραμμική σχέση μεταξύ των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης.



Εικόνα 39: Διάγραμμα διασποράς κανονικοποιημένων υπολοίπων (Standardised residuals)

Επιπλέον από το ανωτέρω διάγραμμα διασποράς(Εικόνα 39) διαφαίνεται πως δεν υπάρχει πρότυπο (pattern) στη διασπορά καθώς το πλάτος της σκέδασης ως προς προβλεπόμενες τιμές είναι περίπου το ίδιο. Εξετάζοντας δε το ακόλουθο διάγραμμα των τυποποιημένων υπολειμμάτων (Standardised Residuals) προκύπτει ότι η κατανομή τους είναι πολύ κοντά στο πρότυπο της κανονικής κατανομής.



Εικόνα 40: Ιστόγραμμα διασποράς κανονικοποιημένων υπολοίπων (Standardised residuals)

Κατά συνέπεια διαπιστώθηκε η ισχύς των παραδοχών της ομοιογένειας της διακύμανσης, της γραμμικότητας των δεδομένων καθώς και της κανονικής κατανομής των υπολοίπων(Εικόνα 40).

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συντελεστών της γραμμικής εξίσωσης.

*Coefficients<sup>a</sup>*

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
	(Constant)	-,918	,139		-6,611	,000		
1	Συνολικό Μήκος - TL(mm)	,0023651	,000	,548	7,024	,000	,368	2,718
	Βάρος - RW(g)	,0003243	,000	,390	5,000	,000	,368	2,718

a. Dependent Variable: Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)

Διαπιστώνεται ότι ο σταθερός συντελεστής  $\beta = -0,918$  είναι στατιστικά σημαντικός με περιθώριο σφάλματος 0,1 % ( $\beta = -0,918$ ,  $p < 0,001$ ) αλλά και ο συντελεστής των Ολικό Μήκος - TL(mm) ( $\beta = 0,002$ ) & Ολικό Βάρος - RW(g) ( $\beta = 0,0003$ ) είναι και αυτοί στατιστικά σημαντικοί με περιθώριο σφάλματος 0,1 % ( $p < 0,001$ ).

Οι πληροφορίες στον παραπάνω πίνακα μας επιτρέπουν επίσης να ελέγξουμε την πολυεξαρτησία στο μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Οι μεταβλητές του μοντέλου καλύπτουν τα κριτήρια Tolerance > 0,1 και VIF < 10, κατά συνέπεια δεν υπάρχει πρόβλημα πολυεξαρτησίας.

Η εξίσωση που προκύπτει από την ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης είναι:

$$[\text{Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες} - C(\text{mg/Kg})] = 0,00236 * [\text{Ολικό Μήκος (mm)}] + 0,00032 * [\text{Ολικό Βάρος(g)}]$$

## 12 Συζήτηση

Τα περισσότερα άτομα που χρησιμοποιήθηκαν για τη παρούσα μελέτη ήταν αρσενικά και το μεγαλύτερο ποσοστό των ατόμων ήταν ανώριμα άτομα σταδίου II. Επίσης τα περισσότερα άτομα αλιεύθηκαν την Άνοιξη στο Σαρωνικό κόλπο (61,1%).

Ο μέσος όρος ολικού μήκους ήταν τα 54,1cm και βάρους τα 976,6g.

Η μέση συγκέντρωση υδραργύρου στους μύες ήταν  $0.87 \pm 0.05 \text{mg/Kg}$ , στα βράγχια  $0.76 \pm 0.05 \text{mg/Kg}$  και στο ήπαρ  $0.67 \pm 0.05 \text{mg/Kg}$  ξηρού βάρους (βλ. Παράρτημα II). Αν και το συκώτι είναι το κύριο όργανο μεταβολισμού και αποτοξίνωσης (Hinton et al, 2008) φαίνεται να παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές Hg. Ωστόσο, αυτό φαίνεται να αποτελεί συνηθισμένο φαινόμενο στους Χονδριχθίες σύμφωνα με αρκετές μελέτες όπως των Branco et al (2007), Endo et al (2008), Pethybridge et al (2010) και Corsolini et al (2014). Έχει αποδειχθεί από μελέτες ότι ένα 60-90% του Hg αποτίθεται στο μυϊκό ιστό διαφόρων ειδών ψαριών (Harris et al. 2003) που αποδίδεται στην υψηλή συγγένεια ορισμένων συμπλόκων Hg με πρωτεϊνικά μόρια. Στους Χονδριχθίες, η συσσώρευση Hg στο μυ αυξάνεται περισσότερο λόγω κάποιων ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους όπως είναι το υψηλό τροφικό επίπεδο, η μακροβιότητα και η αργή αύξηση (Lyle 1984).

Το στάδιο ωριμότητας, τα βάρη χώνευσης και οι συγκεντρώσεις υδραργύρου στους ιστούς ακολουθούν κανονική κατανομή ενώ το φύλο, το ολικό μήκος, το ολικό βάρος, ο συντελεστής Ευρωστίας και η περιοχή-εποχή δειγματοληψίας δεν ακολούθησαν κανονική κατανομή. Για το λόγο αυτό διενεργήθηκε ανάλυση Spearman.

Σχετικά με το φύλο, διαπιστώθηκε πως τα αρσενικά είχαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υδραργύρου από τα θηλυκά άτομα αν και μελέτες έχουν υποστηρίξει τη μη διαφοροποίηση των φύλων ως προς τα επίπεδα Hg (Congath & Musick 2012).

Όσον αφορά τη γεννητική ωρίμανση και σε αντίθεση με τον παράγοντα φύλο, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα του υδραργυρικού περιεχομένου των ιστών. Τα πιο ώριμα άτομα και κατ' επέκταση τα μεγαλύτερα σε μήκος τείνουν να έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υδραργύρου στους ιστούς τους. Αυτό έχει επιβεβαιωθεί και από άλλες μελέτες όπου έχει διαπιστωθεί θετική συσχέτιση μεταξύ του υδραργυρικού περιεχομένου και των ιστών, η οποία αποτελεί συχνό φαινόμενο στους Χονδριχθίες υποδεικνύοντας την έντονη συσσωρευτική τάση του Hg ( Walker 1976, Lyle 1986, Hornung et al. 1993, Turoczy et al. 2000, De Pinho et al. 2002, Branco et al. 2004; 2007, Endo et al. 2008; 2013, Pethybridge et al. 2010, Taylor et al. 2014). Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι ο mmHg – που

αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του Hg στο μυ- δεσμεύεται ισχυρά με θειόλες των πρωτεϊνών, οι οποίες αυξάνονται με το μήκος(Sfezer *et al.* 2003). Ένας επιπλέον παράγοντας που μπορεί να αυξήσει τα επίπεδα Hg στους ιστούς -όπως παρατηρήθηκε στα υπό μελέτη είδη- είναι η αύξηση του τροφικού επιπέδου των ατόμων καθώς μεγαλώνοντας επιλέγουν μεγαλύτερου μεγέθους λεία(McMeans *et al.* 2007).

Για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων μας κάναμε και έλεγχο Mann-Whitney για το φύλο και τη περιοχή-εποχή δειγματοληψίας και Kruskal-Wallis για το στάδιο ωριμότητας. Ουσιαστικά πήραμε το ίδιο αποτέλεσμα που μας έδωσε και η ανάλυση συσχετίσεων (βλ. Παράρτημα IV). Όσον αφορά το φύλο, διαπιστώθηκε πως τα αρσενικά είχαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υδραργύρου από τα θηλυκά άτομα.

Όσον αφορά τη περιοχή (& εποχή) δειγματοληψίας, οι αβιοτικές συνθήκες μια περιοχής καθορίζουν και το μεταλλικό φορτίο των Χονδριχθύων, καθώς τα μέταλλα της υδάτινης στήλης και των ιζημάτων απορροφούνται μέσω της τροφικής αλυσίδας ή άμεσα από τα βράγχια (Walker 1976). Σύμφωνα με τους El-Serafy *et al* (2009), τα βράγχια αποτελούν σημαντικό δείκτη της ποιότητας των υδάτων καθώς είναι ιδιαίτερα επιρρεπή σε οποιαδήποτε μεταβολή των συστατικών τους με τα οποία βρίσκονται σε άμεση και διαρκή επαφή. Εστιάζοντας στην παρούσα μελέτη, διαπιστώθηκε πως τα άτομα που αλιεύθηκαν το Χειμώνα στο Β. Ευβοϊκό κόλπο είχαν ελαφρώς αυξημένες συγκεντρώσεις υδραργύρου στους ιστούς σε σχέση με αυτά του Σαρωνικού την Άνοιξη. Μια πιθανή εξήγηση που θα μπορούσε να εξηγήσει αυτή τη παρατήρηση (σχετικά με τη περιοχή) είναι πως ο Β. Ευβοϊκός κόλπος φορτίζεται από τις δραστηριότητες φορτοεκφόρτωσης των μεταλλευμάτων και των παραπροϊόντων τους, από τα απόβλητα του εργοστασίου που δραστηριοποιείται στην περιοχή-αν και αυτό υποδεικνύει περισσότερο τη συσσώρευση σιδήρου. Η πρόσχωση με σκουριά ως αποτέλεσμα των χαμηλών δυναμικών διεργασιών που επικρατούν, προκαλεί εμπλουτισμό των επιφανειακών ιζημάτων με εξαιρετικά μεγάλες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων (Symrouga N *et al*,1998). Και ο Σαρωνικός κόλπος όμως δέχεται εξίσου πιέσεις με ρυπαντικό φορτίο εξαιτίας της τεράστιας παράκτιας βιομηχανικής δραστηριότητας που υπάρχει εκεί. Γενικά όμως η μεταβλητή περιοχή-εποχή δε φάνηκε να είναι στατιστικά σημαντική.

Οι αβιοτικοί παράγοντες καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη βιοαπορρόφηση μετάλλων(Walker 1976). Το υψηλό φορτίο Hg των αλιευμάτων στη Μεσόγειο δεν αποδίδεται μονάχα σε ανθρωπογενείς αιτίες αλλά και στο φυσικό εμπλουτισμό της με Hg, καθώς και στην υψηλή θερμοκρασία και τη παρουσία ζώνης ελαχίστου οξυγόνου(ζώνη αποσύνθεσης της βυθιζόμενης οργανικής ύλης) σε πιο ρηχά

στρώματα (Cossa *et al.* 2009, 2012). Οι συνθήκες αυτές επιταχύνουν τη μεθυλίωση δημιουργώντας εξαιρετικά υψηλά διαθέσιμα επίπεδα mmHg στο θαλάσσιο τροφικό πλέγμα. Τέλος, σύμφωνα με τους Heimbürger *et al.* (2010) η χαμηλή πρωτογενής παραγωγικότητα στην oligοτροφική Μεσόγειο μειώνει τη «βιοδιάλυση» των ρυπαντών σε λιγότερο άφθονα βιογενή σωματίδια στη βάση των τροφικών δικτύων.

Διενεργώντας την ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης διαπιστώθηκε πως από το ολικό μήκος και το ολικό βάρος μπορούμε να προβλέψουμε τη συγκέντρωση υδραργύρου και στους 3 υπό μελέτη ιστούς καθώς εντοπίστηκε μια ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών.

Στην παρούσα μελέτη, η συγκέντρωση Hg φαίνεται να ξεπέρασε το ανώτατο επιτρεπτό όριο του 0.5 mg/kg w.w. (EU 2008a) . Όπως είναι σαφές, η συχνή κατανάλωση του υπό εξέταση είδους *Raja clavata* , το οποίο παρουσιάζει στη παρούσα μελέτη αυξημένη συγκέντρωση υδραργύρου πάνω από το επιτρεπτό όριο, μπορεί να προκαλέσει μακροπρόθεσμα σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των καταναλωτών. Για αυτό η κατανάλωσή του δε πρέπει να υπερβαίνει τη μία φορά τη βδομάδα.



## Βιβλιογραφία

### Άρθρα

- Avrova NF, Ghidoni R, Karpova OB, Nalivayeva NN, Malesci A, Tettamanti G (1986) Systematic position of fish species and ganglioside composition and content. *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 83B, No. 3, pp. 669-676
- Belleggia M, Scenna L, Mabragana E, Barbini SA (2009) Food habits of the broad nose skate, *Bathyraja brachyurops* (Chondrichthyes, Rajidae), in the south-west Atlantic. *Scientia Marina* 72:701-710
- Berg J (1979) Discussion of methods of investigating the food of fishes, with reference to a preliminary study of the prey of *Gobiusculus flavescens* (Gobiidae). *Marine Biology* 50, 263-273
- Bottari T, Rinelli P, Bianchini ML, Ragonese S (2013) Stock identification of *Raja clavata* L. (Chondrichthyes, Rajidae) in two contiguous areas of the Mediterranean. *Hydrobiologia* 703:215-224
- Calvin JL, Slater CH, Bolduc TG, Laudano AP, Sower SA (1993) Multiple Molecular Forms of Gonadotropin-Releasing Hormone in the Brain of an Elasmobranch: Evidence for IR-Lamprey GnRH. *Peptides*, Vol.14, pp. 725-729
- Capape C, Vergne Y (2009) New Biological data on thornback ray, *Raja clavata* (Chondrichthyes, Rajidae), off the Languedocian coast (Southern France, Northern Mediterranean). *Annales, Ser. Hist. Nat* 19(2): 135-142
- Chen Y, Paloheimo JE (1994) Estimating fish length and age at 50% maturity using a logistic type model. *Aquatic Sciences*, Volume 56, Issue 3, pp 206-219
- Chirby MA (2012) Bioaccumulation of mercury (Hg) in the brain, muscle, and liver tissues of inshore pompano and offshore amberjack from the Gulf of Mexico
- Cortes EA (1999) Standardised diet compositions and trophic levels of sharks. *ICES J Mar Sci* 56:707-717
- Damalas D, Vassilopoulou V (2011) Chondrichthyan by-catch and discards in the demersal trawl fishery of the central Aegean Sea (Eastern Mediterranean), *Fisheries Research* 108: 142-152
- Demirhan SA, Engin S, Seyhan K, Akamca E (2005) Some Biological Aspects of Thornback Ray (*Raja clavata* L, 1758) in the Southeastern Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 5: 75-83
- Demirhan SA, Seyhan K, Basusta N (2007) Dietary overlap in spiny dogfish (*Squalus acanthias*) and thornback ray (*Raja clavata*) in the Southeastern Black Sea. *Ekoloji* Vol.16, Issue 62, pp.1-8

- Drakenberg K, Sara VR, Falkmer S, Gammeltoft S, Maake C, Reinecke M (1993) Identification of IGF-1 receptors in primitive vertebrates. *Regulatory Peptides*, 43:73-81
- Ebert DA, Bizzarro JJ (2007) Standardized diet compositions and trophic levels of skates (Chondrichthyes: Rajiformes: Rajoidei). *Environmental Biology of Fishes* 80(2):221-237
- Ebert DA, Cowley PD, Compagno LJV (1991) A preliminary investigation of the feeding ecology of skates (Batoidea: Rajidae) off the west coast of southern Africa. *South African Journal of Marine Science* 10: 71-81
- Ellis JR, Shackley SE (1995) Observations on egg-laying in the thornback ray. *Journal of Fish Biology* 46:903-904
- Enin LD, Il'inskii OB, Volkova NK (1973). Functional organization of projection of lateral line organs in the Midbrain of *Raja clavata*.
- Evans DW, Dadoo DK, Hanson PJ(1993) Trace element concentrations in fish livers: Implications of variations with fish size in pollution monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, Vol.26, No6, pp.329-334
- Farias I, Figueiredo I, Moura T, Serrano Gordo L, Neves A, Serra-Pereira B (2006) Diet comparison of four ray species (*Raja clavata*, *Raja brachyura*, *Raja montagui* and *Leucoraja naevus*) caught along the Portuguese continental shelf. *Aquatic Living Resources* 19(2): 105-114
- Follesa MC, Porcu C, Mulas A, Cau A (2010) Diet and feeding habits of two skate species, *Raja brachyura* and *Raja miraletus* (Chondrichthyes, Rajidae) in Sardinian waters (central-western Mediterranean). *Italian Journal of Zoology* 77(1):53-60
- Gallagher MJ, Nolan CP, Jeal F (2004) Age, growth and maturity of the commercial ray species from the Irish Sea. *Journal Northwest Atlantic Fisheries Science*, 35:47-66
- Hacer Saglam & Nimet Selda Bascinar(2008) Feeding ecology of thornback ray (*Raja clavata* Linnaeus, 1758) on the Turkish coast of the south- eastern Black Sea. *Journal of Marine Biology Research* 4(6): 451-457
- Hilbig R (1984) Structure related phylogenetic variations in brain gangliosides of vertebrates. *Camp. Biochem. Physiol.* Vol. 77B, No. 1, pp. 151-160
- Ivory P, Jeal F, Nolan CP (2005) Age determination, growth and reproduction in the lesserspotted dogfish, *Scyliorhinus canicula* (L.). *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 35: 89-106
- Jacobsen IP, Bennett MB (2013) A Comparative Analysis of Feeding and Trophic Level Ecology in Stingrays (Rajiformes; Myliobatoidei) and Electric Rays (Rajiformes: Torpedinoidei). *Plos One* Vol.8, issue 8

- Jardas I (1972) Supplement to the knowledge of ecology of some Adriatic cartilaginous fishes(Chondrichthyes) with special reference to their nutrition. *Acta Adriatica* 14:1-60
- Jardas I (1996) *The Adriatic Ichthyofauna*. Zagreb:Skolska knjiga dd.
- Kabaskal H (2002) Cephalopods in the stomach contents of Elasmobranch species from the Northern Aegean Sea. *Acta Adriatica* 43:17-24
- Kadri H, Marouani S, Bradai MN, Bouain A (2014) Diet and feeding strategy of thornback ray, *Raja clavata* (Chondrichthyes: Rajidae) from the Gulf of Gabes (Tunisia—Central Mediterranean Sea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 94(7), 1509–1516
- Karachle PK, Stergiou KI(2008) The effect of season and sex on trophic levels of marine fishes. *J Fish Biol* 72:1463-1487
- Lleonart J, Maynou F (2003) Fish stock assessments in the Mediterranean: state of the art. *Scientia Marina*, 67:37-49
- Lima-Junior SE, Goitein R (2001) A new method for the analysis of fish stomach contents. *Acta Scientiarum Maringa*, 23 (2): 421 – 424
- Machias A, Vassilopoulou V, Vatsos D, Bekas P, Kallianiotis A, Papaconstantinou C, Tsimenides N(2001) Bottom trawl discards in the northeastern Mediterranean Sea . *Fisheries Research* 53:181-195
- Matta ME, Gunderson DR (2007) Age, growth, maturity, and mortality of the Alaska skate, *Bathyraja parmifera*, in the eastern Bering Sea. *Environmental Biology of Fishes*, Volume 80, Issue 2-3, pp 309-323
- Mabragana E, Giberto D, Bremec C (2005) Feeding ecology of *Bathyraja macloviana* (Rajiformes: Arhynchobatidae): A polychaete-feeding skate from the South-west Atlantic. *Scientia Marina* 69(3):405-413
- Moraro T, Sola E, Gros MP, Menezes G (2003) Diets of thornback ray (*Raja clavata* ) and tope shark (*Galeorhinus galeus*) in the bottom longline fishery of the Azores, northeastern Atlantic. *Fish. Bull.* 101:590–602
- Nakamura K, Kojima H, Suzuki M, Suzuki A, Tamai Y (2000) Novel polysialogangliosides of skate brain Structural determination of tetra, penta and hexasialogangliosides with a NeuAc-GalNAc linkage. *Eur. J. Biochem.* 267, pp.5198–5208
- Navarro-Garcia G, Ramirez-Suarez JC, Ortega-Garcia J, Garcia-Camarena R, Marquez-Farias F, Santos-Valencia J, Bringas-Alvarado L(2009) Lipid Composition, Natural Antioxidants and Physicochemical Characteristics in Liver Oil from Rajiformes from the Gulf of Mexico. *J Am Oil Chem Soc* 86:323–328
- Navia AF, A Mejia-Falla P, Giraldo A (2007) Feeding ecology of elasmobranch fishes in coastal waters of the Colombian Eastern Tropical Pacific. *BMC Ecology* 7:8

- Northcutt RG (1977) Elasmobranch Central Nervous System Organization and Its Possible Evolutionary Significance. *AMER. ZOOL.*, 17:411-429
- Obukhova EL, Avrova NF (1977). Composition of the carbohydrate component and fatty acids of the chief gangliosides of the brains of cartilaginous fish. *Zhurnal Evolyutsionnoi Biokhimii i Fiziologii* 12(1):12-17
- Orlov AM (1998) The Diets and Feeding Habits of Some Deep-Water Benthic Skates. *Alaska Fishery Research Bulletin* 5(1):1-17
- Porter ME, Beltrán JL, Koob TJ, Summers AP (2006) Material properties and biochemical composition of mineralized vertebral cartilage in seven elasmobranch species (Chondrichthyes). *The Journal of Experimental Biology* 209:2920-2928
- Remme JF, Larssen WE, Bruheim I, Sæbø PC, Sæbø A, Stoknes IS (2006) Lipid content and fatty acid distribution in tissues from Portuguese dogfish, leafscale gulper shark and black dogfish. *Comparative Biochemistry and Physiology* 143:459-464
- Rousset J (1990)a. Catches and geographical distribution of selachians on the western coast of Brittany. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 70:255-260
- Rousset J (1990)b. Population structure of thornback rays *Raja clavata* and their movements in the Bay of Douarnenez, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 70: 261-268
- Rylan JS, Ayaji TO (1984) Growth and population dynamics of three *Raja* species (Batoidei) in Carmarthen Bay, British Isles. *ICES ICES Journal of Marine Science*, 41:111-120
- Saglam H, Bascinar NM (2008) Feeding ecology of *R. clavata* (*Raja clavata*, Linnaeus 1758) on the Turkish coast of the south-eastern Black Sea. *Marine Biology Research* 4:451-457
- Saglam H, Orhan A (2010) Reproductive biology of *Raja clavata* (Elasmobranchii: Rajidae) from Southern Black Sea coast around Turkey, *Helgoland Marine Research*, 66 (2): 117-126
- Santic M, Rada B, Pallaoro A (2012) Diet and feeding strategy of thornback ray *Raja clavata*. *Journal of Fish Biology* 81, 1070-1084
- Satubal AM (1987) The contribution of Isopods in the feeding of *Sympterygia spp* (Pisces: Rajidae) with a description of *Ancinus gaucho sp.n.* (Isopoda: Sphaeromatidae). *Bolm. Inst. Oceanogr.* 35(2):115-122
- Skjaeraasen JE, Bergstad OA (2000) Distribution and feeding ecology of *Raja radiata* in the northeastern North Sea and Skagerrak (Norwegian Deep). *Journal of Marine Science*, 57: 1249-1260
- Smale MJ, Cowley PD (1992) The feeding ecology of skates (Batoidea: Rajidae) off the Cape south coast, South Africa. *South African Journal of Marine Science* 12:1, 823-834

- Smeets WJAJ (1981) Efferent Tectal Pathways in Two Chondrichthyans, the Shark *Scyliorhinus canicula* and the Ray *Raja clavata*. *The Journal of Comparative Neurology* 195:13-23
- Smeets WJAJ (1982) The Afferent Connections of the Tectum Mesencephali in Two Chondrichthyans, the Shark *Scyliorhinus canicula* and the Ray *Raja clavata*. *The Journal of Comparative Neurology* 205:139-152
- Smeets WJAJ (1983) The Secondary Olfactory Connections in Two Chondrichthians, the Shark *Scyliorhinus canicula* and the Ray *Raja clavata*. *The Journal of Comparative Neurology* 218:334-344
- Stearns SC (2000) Life history evolution: successes, limitations and prospects. *Naturwissenschaften*, 87:476-486
- Stehmann M (1987) Quick and dirty tabulation of stomach contents and maturity stages for skates (Rajidae), squaloid and other ovoviviparous and viviparous species of sharks. *American Elasmobranch Society Newsletter* 3: 5-9
- Stevens GA (1936) Migrations and growth of the thornback ray, *Raja clavata* in Caernarfon Bay, north Wales. *Journal of Marine Biology Association UK*, 85: 1089-1094
- Stevens JD, Bonfil R, Dulvy NK, Walker PA (2000) The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems, *ICES Journal of Marine Science*, 57 (3): 476-494
- Stoknes IS ,Okland HMW , Eva Falch E, Synnes M(2004) Fatty acid and lipid class composition in eyes and brain from teleosts and elasmobranchs. *Comparative Biochemistry and Physiology* 138:183-191
- Storelli MM (2009) Intake of Essential Minerals and Metals via Consumption of Seafood from the Mediterranean Sea. *Journal of Food Protection*, Vol. 72, No. 5, pp.1116-1120
- Storelli MM, Normanno G, Barone G, Dambrosio A, Errico L, Garofalo R, Giacomini-Stuffler R (2012) Toxic Metals (Hg,Cd and Pb) in Fishery Products Imported into Italy: Suitability for Human Consumption. *Journal of Food Protection* 75(1):189-194
- Storelli MM, Stuffler RG, Storelli A, Marcotrigiano GO (2003) Total Mercury and Methylmercury Content in Edible Fish from the Mediterranean Sea. *Journal of Food Protection* 66(2):300-303
- Vallarino M,Delbende C, Jegou S, Vaudry H (1987) Alpha-Melanocyte- Stimulating Hormone ( $\alpha$ -MSH) in the Brain of the Cartilaginous Fish. *Immunohistochemical Localization and Biochemical Characterization*. *PeptMes*, Vol 9, pp 89-907
- Valls M, Quetglas A, Ordines F, Moranta J (2011) Feeding ecology of demersal elasmobranchs from the shelf and slope off the Balearic Sea (western Mediterranean). *Scientia Marina* 75(4) 633-639

Van Waarde A (1988) Biochemistry of non-protein nitrogenous compounds in fish including the use of amino acids for anaerobic energy productions. *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 91B, No. 2, pp. 207-228

Vigh B, Vigh-Teichmann I, Manzano e Silva MJ, van den Pol AN (1983) Cerebrospinal fluid-contacting neurons of the central canal and terminal ventricle in various vertebrates. *Cell Tissue Res* 231:615-621

Whittamore JM, McCarthy ID (2005) The population biology of the thornback ray, *Raja clavata* in Caernarfon Bay, north Wales. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 85(5): 1089-1094

Yankova M, Pavlov D, Raykov V, Mihneva V, Radu G (2011) Length-weight relationships of ten fish species from the Bulgarian Black Sea waters. *Turkish Journal of Zoology*, 35(2):265-270

Yeldan H, Avsar D (2007) Length-weight for five elasmobranch species from the Cilician Basin shelf waters (Northeastern Mediterranean). *Journal of Applied Ichthyology*, 23:713-714

Yemisken E, Forero MG, Megalofonou P, Eryilmaz L, Navarro J (2018) Feeding habits of three Batoids in the Levantine Sea (north-eastern Mediterranean Sea) based on stomach content and isotopic data. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(1), 89-96.

Zia S, McDonald DG, McMaster (1994) Role of the gills and gill chloride cells in metal uptake in the fresh water adapted rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 15: 2482-2492.

Αλεξανδρόπουλος Θ (1993) Θέματα υγιεινής Τροφίμων και Διατροφής, Εκδόσεις «ΙΩΝ»

Βασιλικιώτης Γ.Σ (1989) Χημεία Περιβάλλοντος, University Studio Press

Γναρδέλλης Χ (2003). *Εφαρμοσμένη Στατιστική*, εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.

Δαφέρμος Β (2011). *Κοινωνική στατιστική και μεθοδολογία έρευνας με το SPSS*, Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα.

Ζήκου Α (2007) Η επίδραση των βαρέων μετάλλων στην ανθρώπινη υγεία, Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Τομέας Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Χανιά

Σαμαρτζή Α.Σ και Μεθενίτου Α.Γ (2004) Ο υδράργυρος ως περιβαλλοντικός ρυπαντής και η επίδραση του στην υγεία του ανθρώπου. Μέθοδοι ανάλυσης σε τρόφιμα ζωικής προέλευσης, Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συμποσίου Υγιεινής και Τεχνολογίας, Αθήνα

Σκούλλος Μ., (2008) Χημική Ωκεανογραφία: Μια εισαγωγή στην χημεία του θαλάσσιου περιβάλλοντος, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Σύμπουρα Ν(1992) Μελέτη Παρακολούθησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από την Απόρριψη Σκωρίας στην περιοχή της Λάρυμνας (Τεχνική Έκθεση)

Χαλικιάς Μ, Μανωλέσου Α, Λάλου Π (2015) Μεθοδολογία Έρευνας και Εισαγωγή στη Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων με το IBM SPSS STATISTIC

### **Βιβλία**

Papakonstantinou C, Zenetos A, Vasilopoulou V, Tserpes G, 2007. State of Hellenic Fisheries

Μεγαλοφώνου Π, Αθήνα 2008 . Βιολογία και Ηθολογία Ιχθύων (Σημειώσεις Ιχθυολογίας)

Μεγαλοφώνου Π, Αθήνα 2008. Εργαστηριακός οδηγός Ιχθυολογίας, Τόμος Β'.

Νεοφύτου ΧΝ, Θεσσαλονίκη 2004. Ιχθυολογία

Serena F, Baino R, Rey J, Papacostantinou C, Relini G, (2000) Catch composition and abundance of deep – sea elasmobranchs based on the MEDITS trawl surveys.

Nybakken JW, 2001. Marine Biology: An ecological approach (5<sup>th</sup> edition)

### **Διαδικτυακοί τόποι**

[www.wikipteria.com](http://www.wikipteria.com)

[www.googlemaps.com](http://www.googlemaps.com)

[www.efsa.co.uk](http://www.efsa.co.uk)

[www.biodiversitygr.org](http://www.biodiversitygr.org)

[www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)

[www.psarema.net](http://www.psarema.net)

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

## ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

### Επαγωγική Στατιστική

Μια συσχέτιση μπορεί να είναι θετική ή αρνητική. Αυτό φαίνεται από το πρόσημό της. Η έννοια της αρνητικής και της θετικής συσχέτισης είναι η εξής (Γναρδέλης, 2003):

- Μια θετική συσχέτιση σημαίνει ότι όταν το ένα μέγεθος αυξάνεται τότε αυξάνεται και το άλλο, και το αντίστροφο.
- Μια αρνητική συσχέτιση σημαίνει ότι όταν το ένα μέγεθος αυξάνεται το άλλο μειώνεται και το αντίστροφο.

Μια συσχέτιση λαμβάνει τιμές από 0 έως 1 και χαρακτηρίζεται ως προς την ισχύ της με βάση το παρακάτω κανόνα (Γναρδέλης, 2003):

- έως 0,2 ασθενής συσχέτιση
- από 0,2 έως 0,4 σχετικά ασθενής συσχέτιση
- από 0,4 έως 0,6 μέτριας ισχύος συσχέτιση
- από 0,6 έως 0,8 ισχυρή συσχέτιση
- από 0,8 έως 1 πολύ ισχυρή συσχέτιση
- 1 απόλυτη συσχέτιση

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της συσχέτισης είναι το επίπεδο της στατιστικής σημαντικότητας ( $p$ ). Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας δείχνει αν η σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών μπορεί να θεωρηθεί ως αληθής ή οφείλεται σε τυχαίους παράγοντες. Για παράδειγμα, εάν μια συσχέτιση κρίνεται στατιστικά σημαντική με ένα περιθώριο λάθους 5%, ή όπως γράφεται διαφορετικά στατιστικά σημαντική σε επίπεδο  $p = 0,05$ , αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μόνο το 5% πιθανότητα το αποτέλεσμα αυτό να οφείλεται στην τύχη, και 95% πιθανότητα να ισχύει (Γναρδέλης, 2003).

Αν το περιθώριο σφάλματος υπολογίζεται για δύο άκρα της κατανομής (π.χ. 5% περιθώριο σφάλματος υπολογίζεται ως 2,5% σε κάθε άκρο της διανομής), τότε ο έλεγχος σημαντικότητας καλείται αμφίπλευρος ή δικατάληκτος. Ο δικατάληκτος έλεγχος δεν κάνει καμία πρόβλεψη για το αν το σφάλμα θα είναι στο χαμηλότερο ή στο υψηλότερο άκρο της κατανομής, σε αντίθεση με τον ομοιοκατάληκτο (Γναρδέλης, 2003).



Τα διαφορετικά επίπεδα του  $p$  σηματοδοτούν και το διαφορετικό περιθώριο σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα:

- $0.001 \geq p$ , περιθώριο σφάλματος 1 τοις χιλίοις
- $0.01 \geq p > 0.001$  περιθώριο σφάλματος 1 τοις εκατό
- $0.05 \geq p > 0.01$  περιθώριο σφάλματος 5 τοις εκατό

(Γναρδέλης, 2003)

Για τη μελέτη αυτή, το ανώτατο αποδεκτό περιθώριο λάθους ορίστηκε σε 5% ( $p = 0,05$ ), και ο έλεγχος σημαντικότητας ήταν δικατάληκτος.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ

Προκειμένου να επιλεγθούν μέθοδοι επαγωγικής στατιστικής ανάλυσης πρέπει πρώτα να διερευνηθεί το κατά πόσο οι υπό έρευνα μεταβλητές ακολουθούν το πρότυπο της κανονικής κατανομής ή όχι. Σε περίπτωση που η κατανομή των μεταβλητών μπορεί να θεωρηθεί κανονική ενδείκνυται παραμετρικά τέστ όπως η ANOVA και οι συσχετίσεις Pearson, ενώ αν η κατανομή τους δεν είναι κανονική πρέπει να χρησιμοποιηθούν μη παραμετρικά τεστ όπως Kruskal-Wallis, Mann-Whitney και Spearman Correlations.

Η χρήση των μέτρων της Ασυμμετρίας (Skewness) και της Κύρτωσης (Kurtosis) είναι από τις ευρέως διαδεδομένες μεθόδους υπολογισμού της κανονικότητας μιας κατανομής, συνδυάζοντας υψηλό βαθμό αξιοπιστίας αλλά και μεγαλύτερη ελαστικότητα από εξαιρετικά αυστηρά τεστ όπως το Kolmogorov-Smirnov και το Shapiro-Wilk.

Ανάλογα με το μέγεθος του δείγματος ο ερευνητής οφείλει να χρησιμοποιήσει είτε τις απόλυτες τιμές Ασυμμετρίας (Skewness) και Κύρτωσης (Kurtosis) είτε να υπολογίσει τιμές  $z$  με τη βοήθεια των τυπικών σφαλμάτων.

Πιο συγκεκριμένα :

- Για μεγέθη δείγματος μεγαλύτερα από 300, εξετάζονται οι απόλυτες τιμές του Ασυμμετρίας (Skewness) και Κύρτωσης (Kurtosis) χωρίς να χρειαστεί ο υπολογισμός  $z$ -τιμών. Μια απόλυτη τιμή Ασυμμετρίας (Skewness) μεγαλύτερη από 2 ( $2 < \text{Skewness}$  ή  $\text{Skewness} < -2$ ) είτε μια απόλυτη τιμή Κύρτωσης (Kurtosis) μεγαλύτερη από 7 ( $7 < \text{Kurtosis}$  ,  $\text{Kurtosis} < -7$ ) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τιμές αναφοράς για τον προσδιορισμό σημαντικής μη κανονικότητας μιας κατανομής.
- Για τα μεσαία δείγματα ( $50 < n \leq 300$ ) η μηδενική υπόθεση (ότι η κατανομή είναι κανονική) απορρίπτεται όταν η απόλυτη τιμή  $z$  , είτε της Ασυμμετρίας (Skewness) είτε της Κύρτωσης (Kurtosis), είναι μεγαλύτερη ή ίση του 3,29

( $3,29 \leq z$  ή  $z \leq -3,29$ , επίπεδο  $\alpha$  0,05) και συμπεραίνεται ότι η κατανομή του δείγματος είναι μη κανονική.

- Για τα μικρά δείγματα ( $n < 50$ ) η μηδενική υπόθεση (ότι η κατανομή είναι κανονική) απορρίπτεται όταν η απόλυτη τιμή  $z$ , είτε της Ασυμμετρίας (Skewness) είτε της Κύρτωσης (Kurtosis), είναι μεγαλύτερη ή ίση του 1,96 ( $1,96 \leq z$  ή  $z \leq -1,96$ , επίπεδο  $\alpha$  0,05) και συμπεραίνεται ότι η κατανομή του δείγματος είναι μη κανονική.

(West SG et al, 1995)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Εικόνες από το πειραματικό σκέλος της μελέτης Υδραργύρου και σύγκριση τιμών με άλλη μελέτη

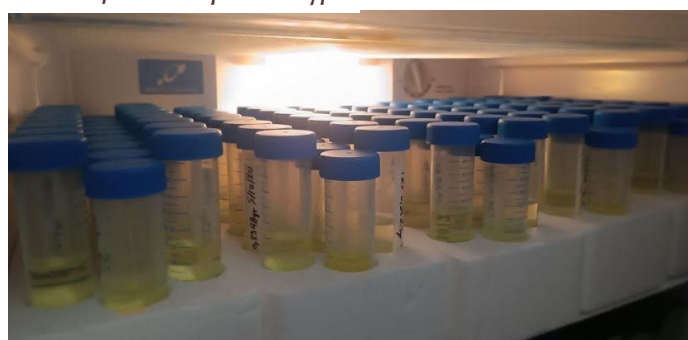
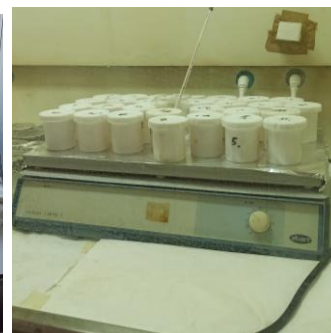
Σύγκριση με τιμές συγκέντρωσης υδραργύρου προηγούμενης μελέτης

Min-max	Total Hg in muscles	References
0.18-1.85 mg/Kg	$1.00 \pm 0.27$ mg/Kg	M.M.Storelli <i>et al</i> (2003)
0,23-1,85 mg/Kg	$0.87 \pm 0.05$ mg/Kg	Παρούσα εργασία

C[Hg] μύες	References
0.52mg/Kg	MM Storelli <i>et al</i> (2012)
0.87 mg/Kg	Παρούσα εργασία



Εικόνα 41: Χωνευμένο δείγμα



Εικόνα 42: Ομογενοποιημένο δείγμα

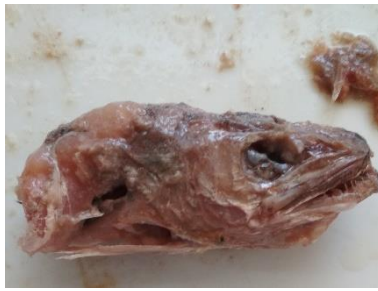


Εικόνα 43: Φασματοφωτόμετρο

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Εικόνες από το πειραματικό σκέλος της μελέτης διατροφής





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

Για τι μεταβλητές που δεν ακολουθούν κανονική κατανομή (φύλο, περιοχή δειγματοληψίας, στάδιο ωριμότητας) πέρα από την ανάλυση Spearman έγινε και έλεγχος με τις μη παραμετρικές μεθόδους Mann-Whitney για το φύλο και την περιοχή-εποχή δειγματοληψίας και Kruskal-Wallis για το στάδιο ωριμότητας.

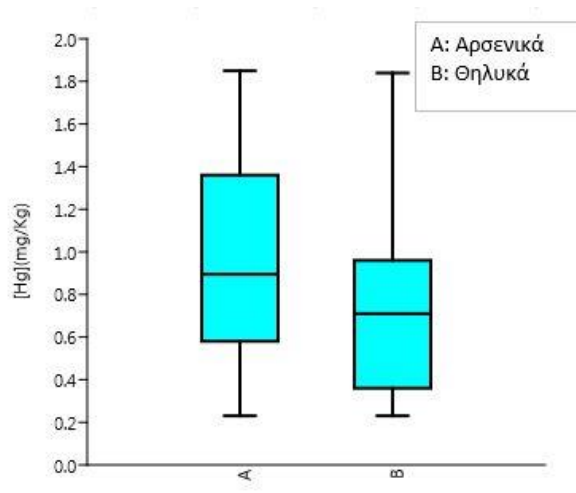
### Mann-Whitney Test Φύλο

Παρατηρώντας το Mean Rank στον πίνακα 13, τα αρσενικά άτομα φαίνεται να παρουσιάζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υδραργύρου από τα θηλυκά άτομα και στους 3 ιστούς (Πίνακας 1, Εικόνα 26).

Πίνακας 1: Αποτελέσματα Mann-Whitney σχετικά με το φύλο

*Ranks*

	Φύλο	N	Mean Rank	Sum of Ranks
	Αρσενικό	52	53,66	2790,50
Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)	Θηλυκό	43	41,15	1769,50
	Σύνολο	95		
	Αρσενικό	52	52,18	2713,50
Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)	Θηλυκό	43	42,94	1846,50
	Σύνολο	95		
	Αρσενικό	52	52,07	2707,50
Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)	Θηλυκό	43	43,08	1852,50
	Σύνολο	95		



Εικόνα 43: Θηκόγραμμα (Box plot) συγκέντρωσης υδραργύρου στα δύο φύλα

Πίνακας 2: Αποτελέσματα Mann-Whitney

Test Statistics<sup>a</sup>

	Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)	Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)	Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)
Mann-Whitney U	823,500	900,500	906,500
Wilcoxon W	1769,500	1846,500	1852,500
Z	-2,202	-1,627	-1,582
Asymp. Sig. (2-tailed)	<b>,028</b>	,104	,114

a. Grouping Variable: Φύλο

Από τον πίνακα 2 φαίνεται πως μόνο η συγκέντρωση υδραργύρου στους μύες είναι στατιστικά σημαντική καθώς η  $Asym < 0.05$ .

## Mann-Whitney Test Περιοχή & Εποχή δειγματοληψίας

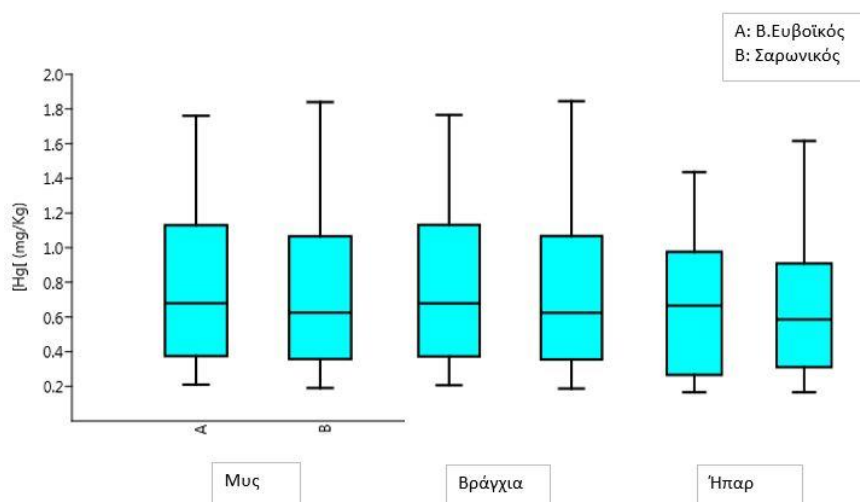
Παρατηρώντας το Mean Rank τα άτομα που αλιεύθηκαν το Χειμώνα στο Β.Ευβοϊκό κόλπο φαίνεται να παρουσιάζουν ελαφρώς μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υδραργύρου από αυτά της Άνοιξης στο Σαρωνικό κόλπο και στους 3 ιστούς (Πίνακας 3, Εικόνα 44).

Πίνακας 3: Αποτελέσματα Mann-Whitney σχετικά με την εποχή (& περιοχή) δειγματοληψίας

*Ranks*

	Εποχή Συλλογής Δείγματος	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)	Χειμώνας (Β.Ευβοϊκός)	37	49,96	1848,50
	Άνοιξη (Σαρωνικός)	58	46,75	2711,50
	Σύνολο	95		
Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)	Χειμώνας (Β.Ευβοϊκός)	37	50,23	1858,50
	Άνοιξη (Σαρωνικός)	58	46,58	2701,50
	Σύνολο	95		
Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)	Χειμώνας (Β.Ευβοϊκός)	37	49,12	1817,50
	Άνοιξη (Σαρωνικός)	58	47,28	2742,50
	Σύνολο	95		





Εικόνα 44: Box plot σύγκρισης συγκέντρωσης Hg σε μύες, βράγχια και ήπαρ στο Β.Ευβοϊκό (Χειμώνας)(Α) και στο Σαρωνικό κόλπο (Άνοιξη)(Β)

Πίνακας 4: Αποτελέσματα Mann-Whitney

Test Statistics<sup>a</sup>

	Συγκέντρωση Υδραργύρου Μύες - C(mg/Kg)	Συγκέντρωση Υδραργύρου Βράγχια - C(mg/Kg)	Συγκέντρωση Υδραργύρου Ήπαρ - C(mg/Kg)
Mann-Whitney U	1000,500	990,500	1031,500
Wilcoxon W	2711,500	2701,500	2742,500
Z	-,553	-,630	-,317
Asymp. Sig. (2-tailed)	,580	,529	,751

a. Grouping Variable: Εποχή Συλλογής Δείγματος

Σύμφωνα με το παραπάνω πίνακα η εποχή-περιοχή συλλογής δε φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντική (Asym<0.05)

## Kruskal-Wallis Test Στάδιο ωριμότητας

Από τα αποτελέσματα του Kruskal-Wallis test (πίνακας 5) φαίνεται πως το στάδιο ωριμότητας είναι στατιστικά σημαντικό και στους 3 προς μελέτη ιστούς καθώς η  $Asym < 0.05$ .

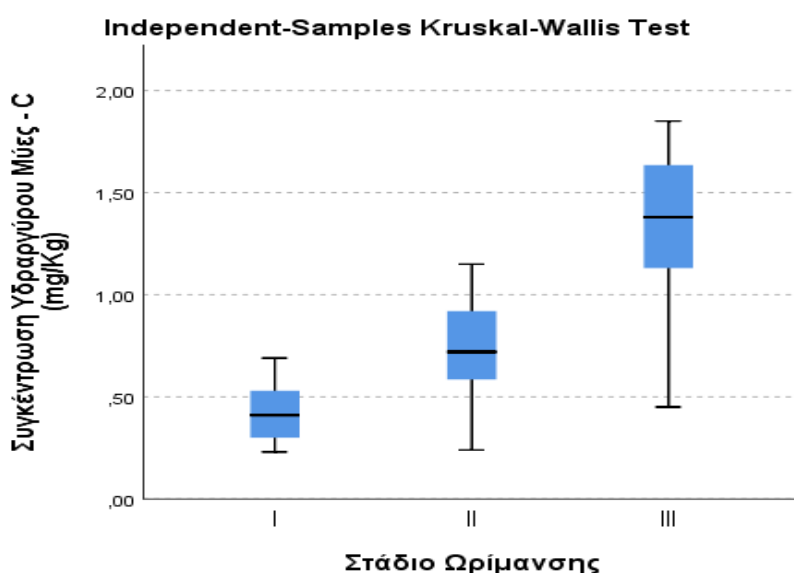
Όπως φαίνεται από τα παρακάτω θηκογράμματα (Εικόνες 45-47), τα ώριμα και συνεπώς μεγαλύτερα άτομα τείνουν να έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση υδραργύρου στο σώμα τους σε σχέση με τα μικρότερα σε ηλικία άτομα.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα Kruskal-Wallis σχετικά με το στάδιο ωρίμανσης των ατόμων

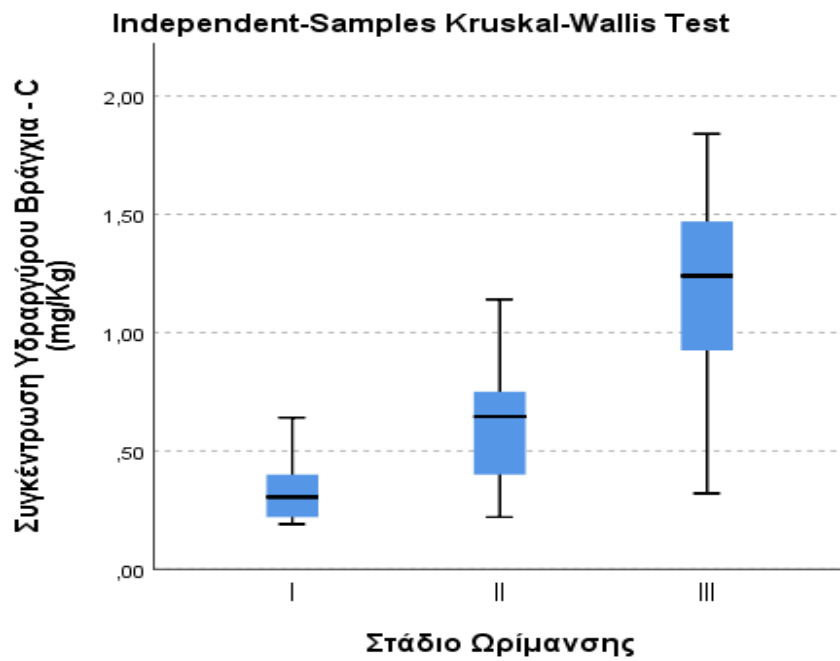
### Independent-Samples Kruskal-Wallis Test Summary

	Μύες	Βράγχια	Ήπαρ
Total N	95	95	95
Test Statistic	61,851 <sup>a</sup>	62,565 <sup>a</sup>	61,140 <sup>a</sup>
Degree Of Freedom	2	2	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	,000	,000	,000

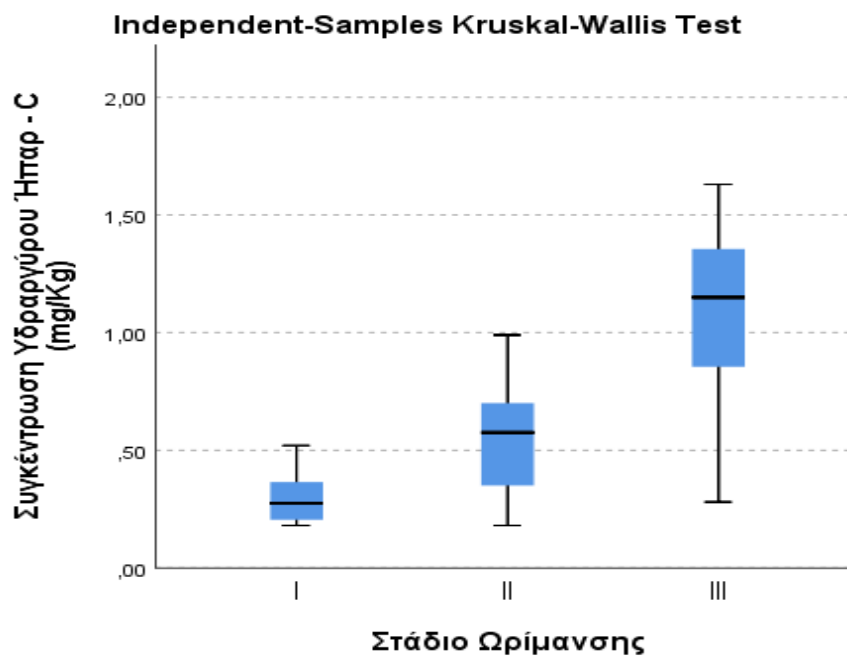
a. The test statistic is adjusted for ties.



Εικόνα 45: Θηκογράμματα (Box plot) συγκέντρωσης υδραργύρου σε μυ ανά στάδιο ωριμότητας



Εικόνα 46: Θηκόγραμμα (Box plot) συγκέντρωσης υδραργύρου σε βράγχια ανά στάδιο ωριμότητας



Εικόνα 47: Θηκόγραμμα (Box plot) συγκέντρωσης υδραργύρου στο ήπαρ ανά στάδιο ωριμότητας