

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ**



**Διπλωματική Εργασία**

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΣΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟ**  
**ΣΧΗΜΑ ΤΩΝ ΩΤΟΛΙΘΩΝ ΙΧΘΥΩΝ**

Ηλιάννα Πορτσάκη

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Περσεφόνη Μεγαλοφώνου

Αθήνα, Ιούλιος 2017



## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Ηλιάνα Πορτσάκη, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Βιολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθήνας δεν υποδηλώνει απαραιτήτως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Κατ' αρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγήτρια κα Περσεφόνη Μεγαλοφώνου, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της κατά τη διάρκεια της εργασίας, για την προσεκτική ανάγνωση του κειμένου και για τις πολύτιμες υποδείξεις της. Επίσης, ευχαριστώ την κα Βαρβάρα Μπατζίνα για τις συμβουλές και τη βοήθειά της, καθώς και τους συναδέλφους Μαρία Νανά για την επίδειξη του προγράμματος Image-Pro Plus v4.5.1.29 και τον Παναγιώτη Θωμαδάκη για τη βοήθειά του στην αναζήτηση της σχετικής βιβλιογραφίας. Ευχαριστώ τους φίλους μου Βυρωνία Πανταζή και Στέφανο Τσερνάκη για την ηθική υποστήριξή τους, καθώς και τη Φιόνα Πορτσάκη για τις ατελείωτες ώρες ευχάριστης συντροφιάς κατά τη διάρκεια της μελέτης. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στη μητέρα μου, Γεωργία Μπρεζάτη, για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια, στην οποία αφιερώνω αυτή την εργασία.

Ηλιάνα Πορτσάκη

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε η επίδραση που έχει το βάθος διαβίωσης ενός ψαριού στο μέγεθος και το σχήμα των τοξοειδών ωτολίθων ιχθύων, σε δείγμα 296 δεξιών τοξοειδών ωτολίθων από 23 είδη Τελεόστεων ιχθύων. Εφόσον, η αύξηση του βάθους της θαλάσσης συνεπάγεται μείωση του ποσοστού διείσδυσης του φωτός, η δραστηριότητα των βαθύβιων ψαριών δεν μπορεί να στηρίζεται στην όραση. Αντισταθμιστικά, αναπτύσσεται η λειτουργία της ακοής και κατ' επέκταση η χρήση των ωτολίθων. Αναμέναμε, επομένως, η αύξηση του βάθους να συνεπάγεται αύξηση του μεγέθους των ωτολίθων, γεγονός που διαπιστώσαμε. Μετρήσαμε το μήκος (OL), το πλάτος (OW), την περίμετρο (OP) και την επιφάνεια ωτολίθου (OA) και χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων, υπολογίσαμε το σχετικό μέγεθος του ωτολίθου (OR), το λόγο του μήκους του ωτολίθου προς το ολικό μήκος σώματος του ιχθύος ( $OL \times TL^{-1}$ ) και έξι δείκτες σχήματος των ωτολίθων: Αναλογία Διαστάσεων ( $R_A$ ), Συντελεστής Σχήματος ( $F_F$ ), Στρογγυλότητα ( $R_O$ ), Κυκλικότητα (C), Συντελεστής Σχήματος για Ορθογώνιο ( $R_T$ ) και Ελλειπτικότητα ( $E_L$ ). Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, συγκρίναμε το μέγεθος και το σχήμα των ωτολίθων σε ομάδες ψαριών που ζουν σε διαφορετικό εύρος βάθους. Από τα αποτελέσματα της σύγκρισης των ωτολίθων μεταξύ των ομάδων της επιπελαγικής, της μεσοπελαγικής και της βαθυπελαγικής ζώνης, φάνηκε να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους των ωτολίθων και του βάθους του ενδιαιτήματος των ιχθύων, σε αντίθεση με το σχήμα, το οποίο δεν επηρεάστηκε.

**Λέξεις κλειδιά:** ωτόλιθος, μέγεθος, σχήμα, βάθος, ιχθύς

## **ABSTRACT**

We investigated the impact of depth to the size and shape of sagittal otoliths, in a sample of 296 right sagittal otoliths from 23 teleostean species. Since the penetration rate of light decreases as the sea depth increases, deep-sea fishes cannot be based on vision. Compensatory, fish develops its auditory skills and as a result, the use of its otoliths grows. Therefore, we expected that the increase of depth implies the increase of otolith size, which we found. We measured otolith length (OL), width (OW), perimeter (OP) and area (OA) and then, with the results of these measurements, we calculated the otolith relative size (OR), the ratio of the otolith length to the total body length of the fish ( $OL \times TL^{-1}$ ) and six indices of otolith shape: Aspect ratio ( $R_A$ ), Formfactor ( $F_F$ ), Roundness ( $R_O$ ), Circularity ( $C$ ), Rectangularity ( $R_T$ ), Ellipticity ( $E_L$ ). Based on the results above, we compared the size and shape of otoliths in groups of fishes living in different depth ranges. From the results of the comparison of the otoliths among the fish communities of the epipelagic, mesopelagic and bathypelagic zone, it seemed to be a correlation between the otolith size and the depth of the fish habitat, as opposed to the otolith shape, which was unaffected.

**Keywords:** otolith, size, shape, depth, fish

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	iv
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</b> .....	vii
<b>ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ ΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ</b> .....	ix
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	x
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	xi
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	1
<b>2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	8
<b>2.1 Δειγματοληψία</b> .....	8
<b>2.2 Καταγραφή Χαρακτηριστικών των Ωτολίθων</b> .....	12
2.2.1 Εκτίμηση του Μεγέθους των Ωτολίθων .....	12
2.2.2 Εκτίμηση του Σχήματος των Ωτολίθων.....	16
<b>2.3 Στατιστική Ανάλυση</b> .....	17
<b>3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	20
<b>3.1 Μορφομετρία των Ωτολίθων</b> .....	20
3.1.1 Δείκτης του Σχετικού Μεγέθους των Ωτολίθων για κάθε Ομάδα Βάθους 20	
3.1.2 Ο Λόγος του Μήκους των Ωτολίθων προς το Μήκος Σώματος του Ψαριού για κάθε Ομάδα Βάθους .....	26
3.1.3 Μορφομετρικά Χαρακτηριστικά των Ωτολίθων για κάθε Ομάδα Βάθους 31	
<b>3.2 Μορφολογία των Ωτολίθων</b> .....	37
<b>4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b> .....	45

<b>4.1</b>	<b>Η Επίδραση του Βάθους στα Μορφομετρικά Χαρακτηριστικά των Ωτολίθων .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Η Επίδραση του Βάθους στα Μορφολογικά Χαρακτηριστικά των Ωτολίθων .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>49</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>50</b>



## ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ ΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Λατινικός όρος	Ελληνικός όρος	Συντομογραφία
anterior	πρόσθιο άκρο	
antirostrum	αντιρόστρο	AR
aspect ratio	αναλογία διαστάσεων	R <sub>A</sub>
asterisci	βελοειδείς ωτόλιθοι	
circularity	κυκλικότητα	C
dorsal	ραχιαία	
ellipticity	ελλειπτικότητα	E <sub>L</sub>
formfactor	συντελεστής σχήματος	F <sub>F</sub>
lagena	λάγυνος	
lapilli	χαλικοειδείς ωτόλιθοι	
otolith area	επιφάνεια ωτολίθου	OA
otolith width	πλάτος ωτολίθου	OW
otolith length	μήκος ωτολίθου	OL
otolith perimeter	περίμετρος ωτολίθου	OP
otolith relative size	σχετικό μέγεθος ωτολίθου	OR
posterior	οπίσθιο άκρο	
postrostrum	ποστρόστρο	PR
rectangularity	συντελεστής σχήματος για ορθογώνιο	R <sub>T</sub>
rostrum	ρόστρο	R
roundness	στρογγυλότητα	R <sub>O</sub>
saccule	σφαιρικό κυστίδιο	
sagittae	τοξοειδείς ωτόλιθοι	
sulcus (acusticus)	(ακουστική) αύλακα	SA
taste buds	γευστικοί κάλυκες	TB
total length	ολικό μήκος σώματος	TL
utricle	ελλειπτικό κυστίδιο	
ventral	κοιλιακή	

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Οι αντιπρόσωποι κάθε ομάδας βάθους, το ακριβές εύρος βάθους διαβίωσης, το ολικό μήκος σώματος και ο αριθμός ωτολίθων για κάθε είδος που μελετήθηκε εργαστηριακά ή από δεδομένα της βάσης AFORO.....	9
Πίνακας 2. Οι μεταβλητές μεγέθους των ωτολίθων των ψαριών και οι αντίστοιχες εξισώσεις για τους δείκτες του σχήματός τους.....	17
Πίνακας 3. Το σχετικό μέγεθος των ωτολίθων (OR) για κάθε ομάδα βάθους και τα όρια των αντίστοιχων διαστημάτων εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0%.....	23
Πίνακας 4. Διάμεση τιμή του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων (OR) για κάθε ομάδα βάθους.....	24
Πίνακας 5. Ο λόγος του μήκους του ωτολίθου προς το ολικό μήκος σώματος του ψαριού ( $OL \times TL^{-1}$ ) για κάθε ομάδα βάθους και τα όρια των αντίστοιχων διαστημάτων εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0%.....	27
Πίνακας 6. Διάμεση τιμή του λόγου του μήκους του ωτολίθου προς το ολικό μήκος σώματος του ψαριού ( $OL \times TL^{-1}$ ) για κάθε ομάδα βάθους. ....	28
Πίνακας 7. Οι αντιπρόσωποι κάθε ομάδας βάθους, το σχετικό μέγεθος των ωτολίθων τους (OR) και το γινόμενο του μήκους των ωτολίθων προς το ολικό μήκος σώματος ( $OL \times TL^{-1}$ ) για κάθε είδος. ....	29
Πίνακας 8. Οι τιμές των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ωτολίθων για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης των ιχθύων.....	32
Πίνακας 9. Οι αντιπρόσωποι κάθε ομάδας βάθους και οι τιμές των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ωτολίθων τους για το μήκος (OL), το πλάτος (OW), την περίμετρο (OP) και την επιφάνεια (OA). ....	35
Πίνακας 10. Μέση τιμή των δεικτών του σχήματος των ωτολίθων για κάθε ομάδα βάθους.....	38
Πίνακας 11. Ομάδες βάθους και δείκτες σχήματος των ωτολίθων κάθε είδους. ....	43

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Τοξοειδείς ωτόλιθοι από ιχθύ του είδους <i>Trachurus mediterraneus</i> (Ασπροσαύριδο).....	14
Εικόνα 2. Μέτρηση μήκους (OL) και πλάτους (OW) σε ζεύγος ωτολίθων του <i>Trachurus mediterraneus</i> . ....	15
Εικόνα 3. Εκατοστιαία αναλογία των μικρών, μεσαίων και μεγάλων ωτολίθων ανά ομάδα βάθους διαβίωσης.....	22
Εικόνα 4. Το σχετικό μέγεθος των ωτολίθων (OR) για κάθε ομάδα βάθους. ....	23
Εικόνα 5. Θηκόγραμμα του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων (OR) στις τρεις ομάδες βάθους διαβίωσης των ιχθύων. ....	24
Εικόνα 6. Θηκόγραμμα του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων (OR) στα είδη ιχθύων που μελετήθηκαν. ....	25
Εικόνα 7. Ο λόγος του μήκους του ωτολίθου προς το ολικό μήκος σώματος του ψαριού ( $OL \times TL^{-1}$ ) για κάθε ομάδα βάθους.....	27
Εικόνα 8. Θηκόγραμμα του λόγου του μήκους του ωτολίθου προς το ολικό μήκος σώματος του ψαριού ( $OL \times TL^{-1}$ ) στις τρεις ομάδες βάθους. ....	28
Εικόνα 9. Μήκος των ωτολίθων σε κάθε ομάδα βάθους.....	33
Εικόνα 10. Πλάτος ωτολίθων (OW) για κάθε ομάδα βάθους. ....	33
Εικόνα 11. Περίμετρος των ωτολίθων (OP) για κάθε ομάδα βάθους. ....	34
Εικόνα 12. Επιφάνεια των ωτολίθων (OA) για κάθε ομάδα βάθους.....	34
Εικόνα 13. Αναλογία Διαστάσεων ( $R_A$ ) για κάθε ομάδα βάθους.....	40
Εικόνα 14. Συντελεστής Σχήματος ( $F_F$ ) για κάθε ομάδα βάθους. ....	40
Εικόνα 15. Στρογγυλότητα ( $R_O$ ) για κάθε ομάδα βάθους. ....	41
Εικόνα 16. Κυκλικότητα (C) για κάθε ομάδα βάθους.....	41
Εικόνα 17. Συντελεστής Σχήματος για Ορθογώνιο ( $R_T$ ) για κάθε ομάδα βάθους. ....	42
Εικόνα 18. Ελλειπτικότητα ( $E_L$ ) για κάθε ομάδα βάθους.....	42

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ωτόλιθοι είναι συστατικά του εσωτερικού αυτιού των Τελεόστεων ιχθύων (Popper et al., 1988) και αποτελούνται από ανόργανο υλικό, όπως κρυστάλλους ανθρακικού ασβεστίου και ειδικά αραγωνίτη, μέσα σε ένα οργανικό υλικό πρωτεϊνικής σύστασης ινώδους μορφής, την ωτολίνη. Η εμφάνιση των διαφανών και των αδιαφανών δακτυλίων οφείλεται σε εναλλακτική διαφοροποίηση της ποσοτικής αναλογίας αυτών των στοιχείων και συμβάλλει στην εκτίμηση της ηλικίας του ψαριού (Νεοφύτου και Νεοφύτου, 2015, b). Κάθε άτομο διαθέτει τρία ζεύγη ωτολίθων, που ονομάζονται τοξοειδείς (sagittae), χαλικοειδείς (lapilli) και βελοειδείς (asterisci) (Νεοφύτου και Νεοφύτου, 2015, a). Αν και έχουν συγκεκριμένα μορφολογικά χαρακτηριστικά καθορισμένα από πρώιμα στάδια της οντογένεσης, υπάρχουν μορφομετρικά στοιχεία, που διαφοροποιούνται - όπως η επιφάνεια της ακουστικής αύλακας, το βάθος της αύλακας και η αναλογία της επιφάνειας της αύλακας ως προς την επιφάνεια του ωτολίθου - εξαιτίας οικολογικών παραγόντων (Lombarte, 1992). Ο τοξοειδής ωτόλιθος (sagittae) παρουσιάζει το μεγαλύτερο μέγεθος και τη μεγαλύτερη ποικιλομορφία μεταξύ των ειδών. Χρησιμοποιείται σε πληθώρα οικομορφολογικών μελετών (Torres et al., 2000), στην εκτίμηση της ηλικίας (Gauldie, 1994; Beamish, 1979; Pawan, 2012), στην ταυτοποίηση πληθυσμών και ειδών, στην αναγνώριση ειδών ιχθύων από αρχαιολογικά απολιθώματα (Carpenter et al., 2003), καθώς και στην αναγνώριση των συστατικών της διατροφής που εντοπίζονται στο στομάχι ενός θηρευτή (Cottrell et al., 1996).

Το σχήμα και το μέγεθος των ωτολίθων επηρεάζονται από γενετικούς, φυσιολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Μελέτες σχετικά με τη μορφολογία των ωτολίθων έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι το σχήμα καθορίζεται γενετικά και αντανακλά φυλογενετικές σχέσεις (Aguirre and Lombarte, 1999; Gauldie, 1988; Torres et al., 2000). Το μέγεθος και το σχήμα, λοιπόν, των τοξοειδών ωτολίθων παρουσιάζει έντονη ομοιότητα μεταξύ ωτολίθων από άτομα του ίδιου είδους και σημαντικές διαφορές μεταξύ ωτολίθων από άτομα διαφορετικών ειδών (Aguirre and Lombarte, 1999). Μπορούμε, κατ' επέκταση, με ανάλυση των μορφομετρικών και μορφολογικών χαρακτηριστικών των ωτολίθων να αναγνωρίσουμε το είδος του ψαριού (Wang, 2010; Yu, 2014). Αναφορικά με τη φυσιολογία, το ολικό σωματικό μήκος και ο ρυθμός αύξησής του επηρεάζουν το μέγεθος των ωτολίθων (Lombarte, 1992). Τόσο τα μεγέθη

αυτά, όσο και η ηλικία του ψαριού μπορούν να προσδιοριστούν με βάση το μέγεθος του τοξοειδούς ωτολίθου (Oxenford, 1994). Εκτός των γενετικών και φυσιολογικών παραγόντων, σημαντική επίδραση στο σχήμα και το μέγεθος των ωτολίθων έχουν και οι περιβαλλοντικές συνθήκες του ενδιαιτήματος των ιχθύων. Παράδειγμα αποτελούν αρκετά συγγενικά είδη ψαριών, που παρά τις φυλογενετικές ομοιότητες εμφανίζουν μορφολογικές διαφοροποιήσεις στους ωτολίθους, οι οποίοι είναι μεγαλύτεροι και βαρύτεροι σε ψάρια που κολυμβούν σε θερμότερα νερά συγκριτικά με αυτά που ζουν σε ψυχρότερα νερά (Gauldie, 1994; Lombarte, 1992; Lombarte and Leonart, 1993; Torres et al., 2000). Παράγοντες όπως το βάθος, ο τύπος υποστρώματος του ενδιαιτήματος (Aguirre and Lombarte, 1999; Paxton, 2000; Torres et al., 2000), η διαπερατότητα του φωτός στο θαλασσινό νερό, η θερμοκρασία του νερού και η διατροφή επιδρούν στη μορφομετρία των ωτολίθων (Lombarte, 1992; Lombarte et al., 2003).

Καθώς το βάθος της θάλασσας αυξάνει, το ορατό φως εξασθενεί προοδευτικά, λόγω των φαινομένων σκέδασης και απορρόφησης (Lythgoe, 1988). Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο στο θαλασσινό νερό, καθώς υπάρχει πληθώρα σωματιδίων που εμπλέκονται στις διαδικασίες απορρόφησης και σκέδασης. Διαλυμένα μεταλλικά άλατα και οργανικές ουσίες, εναιωρήματα οργανικών και ανόργανων στερεών σωματιδίων, ζωντανοί μικροοργανισμοί, φυσαλίδες αερίων και σταγονίδια ελαίων κάνουν τη σύσταση του θαλασσινού νερού μοναδική, καθώς αλληλεπιδρούν με την ηλιακή ακτινοβολία είτε άμεσα, απορροφώντας ή σκεδάζοντας τα φωτόνια, είτε έμμεσα, εκτελώντας γεωχημικές και βιολογικές διαδικασίες, οι οποίες επηρεάζουν τη συγκέντρωση των συστατικών του θαλασσινού νερού που έχουν ενεργό οπτικό ρόλο (Wozniak, 2007). Η σκέδαση και η απορρόφηση του φωτός είναι δύο παράγοντες που περιορίζουν τις οπτικές δυνατότητες των θαλάσσιων ζώων. Η σκέδαση μειώνει την αντίθεση των χρωμάτων μιας εικόνας στον αμφιβληστροειδή χιτώνα και η απορρόφηση μειώνει την φωτεινότητά της (Lythgoe, 1988). Στη θάλασσα της Μεσογείου επικρατούν ολιγοτροφικές συνθήκες που διατηρούν το νερό διαυγές κι επιτρέπουν τη διείσδυση του φωτός σε μεγάλο βάθος (Stambler, 2013). Ωστόσο, σε βάθος 20 m η ένταση του ορατού φωτός μειώνεται στο 50% (Jerlov, 1977). Συνεπώς, όσο το βάθος αυξάνει το οπτικό πεδίο μικραίνει και η δυνατότητα οπτικής επικοινωνίας μειώνεται, με εξαίρεση τα είδη που επικοινωνούν μέσω βιοφωσφορισμού (Hastings, 1983; Paxton, 2000). Μία

εξελικτική προσαρμογή, λοιπόν, στην αύξηση του βάθους της θάλασσας και της θολερότητας του νερού, θα μπορούσε να είναι η ανάπτυξη εναλλακτικών μορφών επικοινωνίας μέσω χημικών, ηλεκτρικών και ακουστικών σημάτων (Lombarte & Aguirre, 1997; Cambray, 1994; Zakon, 1988; Mann & Javris, 2004).

Σε ενδιαιτήματα όπου η οπτική επικοινωνία δυσχεραίνεται, τα ψάρια αναπτύσσουν εναλλακτικά συστήματα αντίληψης των σημάτων του περιβάλλοντος. Το 1997 έγινε μία μελέτη από τους Antoni Lombarte και Hugo Aguirre σε δύο φυλογενετικά συγγενή είδη της οικογένειας *Mullidae*, τα οποία ζουν σε διαφορετικά ενδιαιτήματα της νοτιο-δυτικής Μεσογείου. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν 16 δείγματα του *Mullus barbatus*, είδος που ζει σε λασπώδη υποστρώματα και αφθονεί σε βάθος από 100 έως 300 μέτρα, και 15 δείγματα του *Mullus surmuletus*, που εντοπίζεται σε αμμώδη και βραχώδη υποστρώματα και βάθος μικρότερο των 100 μέτρων. Παρατηρήθηκε ότι το *Mullus surmuletus* διαθέτει μεγαλύτερη πυκνότητα και αριθμό γευστικών καλύκων (TB, taste buds), που σχηματίζουν χαρακτηριστικές συναθροίσεις στην επιφάνεια του σώματος. Τα χαρακτηριστικά αυτά συσχετίστηκαν με υψηλή ευαισθησία σε χημικά ερεθίσματα, ως προσαρμοστικό αντιστάθμισμα στη μείωση του οπτικού πεδίου που υπάρχει στο λασπώδες υπόστρωμα και το αυξημένο βάθος διαβίωσης.

Σε περιβαλλοντικές συνθήκες ακατάλληλες για οπτική ή χημική επικοινωνία, ο ήχος παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο. Η αποτελεσματικότητα της οπτικής διέγερσης στο υδάτινο περιβάλλον περιορίζεται από τα χαμηλά επίπεδα φωτός και την ταχεία απόσβεση των οπτικών σημάτων λόγω της απόστασης. Αντίστοιχα, τα χημικά σήματα μεταδίδονται αργά και χωρίς συγκεκριμένη κατεύθυνση, ενώ διαχέονται εύκολα από τα υδάτινα ρεύματα. Από την άλλη πλευρά, ο ήχος μεταδίδεται στο νερό με υψηλή ταχύτητα, χαμηλό βαθμό απόσβεσης και συγκεκριμένη κατεύθυνση, συμβάλλοντας έτσι στην άμεση και γρήγορη επικοινωνία ακόμη και σε μεγάλες αποστάσεις. Ανάλογα με τις ιδιότητες του ήχου (π.χ. συχνότητα, παροδικότητα), τα σήματα μπορούν να κατευθύνουν ένα ζώο στον πομπό ή να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία των ζώων σε φυσικά σύνθετα περιβάλλοντα, όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι, όπου άλλα σήματα θα εμποδίζονταν. Φαίνεται, λοιπόν, ότι οι υδάτινες συνθήκες που δυσχεραίνουν τη χρήση της όρασης, όπως το λασπώδες υπόστρωμα, οι βράχοι και το αυξημένο βάθος, καθώς και πρότυπα συμπεριφοράς των ψαριών που δραστηριοποιούνται τη νύχτα οδηγούν στην εξέλιξη εναλλακτικών αισθητήριων συστημάτων που εξειδικεύονται σε

αυτές τις συνθήκες. Η εξέλιξη της ακουστικής επικοινωνίας είναι πιθανόν αποτέλεσμα της αδυναμίας άλλων μηχανισμών επικοινωνίας να μεταδώσουν γρήγορα, σε μεγάλη απόσταση και με συγκεκριμένη κατεύθυνση την πληροφορία (Popper & Coombs, 1980).

Η ακουστική επικοινωνία εξυπηρετείται από συγκεκριμένες διαμορφώσεις των ακουστικών οργάνων των ιχθύων. Ένα εξ αυτών πιθανολογείται ότι είναι οι ωτόλιθοι, δομές που, όπως προαναφέρθηκε, εντοπίζονται στο εσωτερικό αυτί των Τελεόστεων ιχθύων. Βρίσκονται στο τέλος των οργάνων του σφαιρικού κυστιδίου (sacculle), του ελλειπτικού κυστιδίου (utricle) και της λαγύνου (lagena) (Platt & Popper, 1981), που σχετίζονται με την αιθουσαία (ισορροπία) και την ακουστική (ανίχνευση ήχου) λειτουργία (Popper & Fay, 1993). Μέσω αυτών των οργάνων γίνονται αντιληπτά δύο συστατικά του ήχου: η ταχύτητα μετατόπισης των σωματιδίων (που ανιχνεύουν άμεσα) και η μεταβολή της πίεσης (που ανιχνεύουν έμμεσα). Ωστόσο, είναι ακόμα άγνωστος ο τρόπος με τον οποίο η μορφολογική διαφοροποίηση των ωτολίθων εμπλέκεται στη σύλληψη και τη μεταγωγή του ήχου στο νευρικό σύστημα (Platt & Popper, 1981). Αρκετές υποθέσεις έχουν γίνει. Σύμφωνα με τους Platt και Popper (1981) η μορφή, που είναι χαρακτηριστική για κάθε είδος, παίζει σπουδαίο ρόλο, ενώ σύμφωνα με τους Volpedo και Echevarria (2003) σχετίζεται με τις συνθήκες του ενδιαίτηματος. Οι Montgomery και Pankhurst (1997) υποστήριξαν ότι το σχετικό μέγεθος του ωτολίθου σχετίζεται με την ευαισθησία στον ήχο (το εύρος συχνοτήτων που ένα είδος μπορεί να ακούσει), σε αντίθεση με τον Paxton (2000) που πρότεινε ότι το μέγεθος του ωτολίθου συνδέεται με την ικανότητα διάκρισης των συχνοτήτων. Τα παραπάνω στοιχεία οδηγούν στο συμπέρασμα πως υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους των ωτολίθων και της ακουστικής ικανότητας. Ωστόσο, λείπουν ακόμα αρκετά στοιχεία προκειμένου να αποδειχθεί η παραπάνω συσχέτιση (Cruz & Lombarte, 2004).

Σε μία μελέτη που έγινε από τους Cruz και Lombarte (2004) παρατηρήθηκε εμφανής συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους των ωτολίθων των ψαριών και των στρατηγικών επικοινωνίας τους. Η έρευνα αφορούσε 185 άτομα από 18 είδη ιχθύων που συλλέχθηκαν από την επιπελαγική ζώνη (20-40 m) της βορειοδυτικής Μεσογείου. Τα είδη αυτά ανήκαν στις οικογένειες Haemulidae, Labridae, Sciaenidae και Sparidae. Οι ωτόλιθοι της οικογένειας Sciaenidae, τα μέλη της οποίας παρουσιάζουν ανεπτυγμένη ενδοειδική ακουστική επικοινωνία, ήταν ιδιαίτερα μεγάλοι. Είδη της οικογενείας

Labridae, καθώς και άλλα είδη που τρέφονται τη μέρα σε παράκτια και αβαθή νερά, είχαν μικρούς ωτολίθους. Σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες αυτό πιθανόν οφείλεται στον αυξημένο θόρυβο που επικρατεί στις παράκτιες περιοχές και ευνοεί την οπτική παρά την ακουστική αντίληψη. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα είδη με μεγάλο μήκος ωτολίθων ανήκαν σε ομάδες που εξειδικεύονταν στην παραγωγή ήχων (επικοινωνία μέσω ήχων), ενώ τα είδη με μικρούς ωτολίθους ανήκαν σε ομάδες ψαριών που είχαν φωτεινούς σωματικούς χρωματισμούς ή έντονες χρωματικές αντιθέσεις.

Το 2007 δημοσιεύθηκε άλλη μία έρευνα από τους Lombarte και Cruz για τη σύγκριση του μεγέθους ωτολίθων ιχθύων από διαφορετικά βάθη ενδιαιτήματος. Η σύγκριση έγινε σε 681 τοξοειδείς ωτολίθους από 134 είδη που ανήκαν σε 6 ομάδες από διαφορετικά βάθη (μεταξύ 5 και 2000 m) και μία επιπελαγική ομάδα της βορειοδυτικής θάλασσας της Μεσογείου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τα ψάρια της επιπελαγικής ζώνης είχαν τους μικρότερους ωτολίθους. Έως και τα 750 m βάθους, η αύξηση του βάθους συνοδευόταν από αύξηση του μεγέθους των ωτολίθων, ενώ από τα 1000 έως και τα 2000 m υπήρχε μείωση του μεγέθους των ωτολίθων και αύξηση του ποσοστού των πολύ μικρών ωτολίθων. Από τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψε ότι η αύξηση του βάθους διαβίωσης συνεπάγεται αύξηση του μεγέθους των τοξοειδών ωτολίθων. Η μείωση του μεγέθους των ωτολίθων σε ψάρια της αβυσσοπελαγικής ζώνης αποδόθηκε στο φαινόμενο του βιοφωσφορισμού, χαρακτηριστικής ιδιότητας αρκετών βαθύβιων ψαριών που τους επιτρέπει να αντιλαμβάνονται οπτικά σήματα του περιβάλλοντος.

Όπως προαναφέρθηκε, ψάρια των οποίων η επικοινωνία στηρίζεται σε οπτικά σήματα έχουν μικρούς ωτολίθους, ενώ ψάρια που η επικοινωνία τους γίνεται μέσω παραγωγής ήχων έχουν μεγάλους ωτολίθους. Έχοντας υπ' όψιν ότι η αύξηση του βάθους της θάλασσας συνεπάγεται μείωση της διαπερατότητας του φωτός και κατ' επέκταση μείωση της διαύγειας του νερού, συμπεραίνουμε πως σε μικρό βάθος τα ψάρια θα επικοινωνούν με οπτικούς μηχανισμούς, ενώ σε μεγαλύτερο βάθος με ηχητικούς. Επομένως, τα ψάρια της επιπελαγικής ζώνης, η επικοινωνία των οποίων στηρίζεται στην εικόνα, αναμένουμε να έχουν μικρό μέγεθος ωτολίθων και όσο το βάθος αυξάνει αναμένουμε το μέγεθος των ωτολίθων να μεγαλώνει. Εξαιρεση, πιθανόν, αποτελούν ψάρια της αβυσσοπέλαγικής ζώνης, τα οποία επικοινωνούν με τη βοήθεια ηλεκτρικών και χημικών μηχανισμών, καθώς και μέσω του συστήματος βιοφωταύγειας.



Το 2003 δημοσιεύθηκε μία μελέτη (Tuset et al., 2003, b) για τις διαφορές της μορφολογίας του τοξοειδούς ωτολίθου σε τρία συμπάτρια είδη του γένους *Serranus*. Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν 512 άτομα *S. atricauda*, 459 *S. cabrilla* και 409 *S. scriba* από τις Κανάριες Νήσους. Από τα άτομα αυτά απομονώθηκαν οι τοξοειδείς ωτόλιθοι, τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των οποίων καταγράφηκαν με συστήματα εικονικής ανάλυσης. Μέρος της έρευνας αφορούσε την ανάλυση του σχήματος των ωτολίθων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ του σχήματος των ωτολίθων και του ολικού μήκους σώματος των ιχθύων. Από τις μεταβλητές που εξετάστηκαν, ως προς το σχήμα των ωτολίθων, μοναδική εξαίρεση φάνηκε να αποτελεί η στρογγυλότητα, η οποία παρέμενε σταθερή σε σχέση με τις διάφορες τιμές TL και στα τρία είδη.

Το 2005 δημοσιεύθηκε μία μελέτη (Monteiro et al., 2005) που αφορούσε τις αλλομετρικές αλλαγές και τις διαφοροποιήσεις του σχήματος των ωτολίθων σε ψάρια της οικογένειας *Sciaenidae*. Χρησιμοποιήθηκαν 145 δείγματα (29 *C. gracilicirrhus*; 30 *P. brasiliensis*; 29 *L. breviceps*; 29 *S. brasiliensis*; 28 *S. rastrifer*), τα οποία συλλέχθηκαν από την πολιτεία του Ρίο ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας. Παρατηρήθηκε σημαντική διαφοροποίηση του σχήματος των ωτολίθων από είδος σε είδος, ακόμη και όταν αυτά ανήκαν στο ίδιο γένος. Η συσχέτιση κάθε σχήματος ωτολίθου με ένα συγκεκριμένο είδος αποδόθηκε σε φυλογενετικούς λόγους. Από την άλλη πλευρά, η συσχέτιση της διαφοροποίησης του σχήματος των ωτολίθων με τις περιβαλλοντικές συνθήκες του ενδιαιτήματος κάθε είδους αποδείχθηκε στατιστικά μη σημαντική.

Στη συγκεκριμένη μελέτη ερευνάται η συσχέτιση του βάθους διαβίωσης των ιχθύων με το μέγεθος και το σχήμα των ωτολίθων. Τα ερωτήματα που τέθηκαν ήταν τα εξής: Η αύξηση του βάθους του ενδιαιτήματος των ψαριών επηρεάζει το μέγεθος των ωτολίθων τους; Αν ναι, τότε το επηρεάζει με θετικό ή αρνητικό τρόπο; Υπάρχουν διαφοροποιήσεις στο σχήμα των ωτολίθων που να σχετίζονται με το διαφορετικό βάθος; Ποιοι είναι οι λόγοι που πιθανόν οδηγούν σε αυτές τις μορφομετρικές διαφοροποιήσεις των ωτολίθων στα διαφορετικά βάθη ενδιαιτήματος;

Προκειμένου να απαντηθούν τα παραπάνω ερωτήματα αναλύσαμε το σχήμα και το μέγεθος ωτολίθων από ψάρια των ελληνικών θαλασσών, με τη βοήθεια οπτικού μικροσκοπίου και του προγράμματος εικονικής ανάλυσης Image-Pro Plus v4.5.1.29. Τα είδη των ψαριών κατηγοριοποιήθηκαν με βάση το βάθος του ενδιαιτήματός τους και

ακολούθησε συσχέτιση του μεγέθους των ωτολίθων και του σχήματός τους με το βάθος του ενδιαιτήματος.

## 2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Δειγματοληψία

Στη μελέτη εξετάσθηκαν τοξοειδείς ωτόλιθοι 296 ατόμων από 23 είδη Τελεόστεων ιχθύων. Κάθε τοξοειδής ωτόλιθος αντιστοιχεί σε διαφορετικό άτομο. Ο αριθμός των ωτολίθων που χρησιμοποιήθηκε για κάθε μελετούμενο είδος και το μέσο ολικό μήκος σώματος (TL) κάθε είδους φαίνονται στον Πίνακα 1.

Τα δείγματα των ωτολίθων που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία προέρχονταν, κατά ένα μέρος (145 ωτόλιθοι), από αρχείο ωτολίθων του Τομέα Ζωολογίας και Θαλάσσιας Βιολογίας του Τμήματος Βιολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι ωτόλιθοι αυτοί είχαν απομονωθεί από την περιοχή του Σαρωνικού κόλπου την περίοδο μεταξύ των ετών 1998 – 1999. Συμπληρωματικά, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για 151 ωτολίθους από τη βάση δεδομένων για ωτολίθους AFORO, τα οποία προέρχονται από τη Μεσόγειο θάλασσα, τον Ανταρκτικό, τον Ατλαντικό, τον Ινδικό και τον Ειρηνικό Ωκεανό. Τα δείγματα που εξετάσθηκαν στο εργαστήριο προέρχονταν από τα είδη *Boops boops*, *Merluccius merluccius*, *Mullus barbatus barbatus*, *Mullus surmuletus*, *Pagellus erythrinus*, *Spicara smaris*, *Trachurus mediterraneus* και *Trachurus trachurus*. Τα είδη που μελετήθηκαν από τη βάση AFORO ήταν τα ακόλουθα: *Alepocephalus rostratus*, *Cataetyx alleni*, *Chaunax suttkusi*, *Diplodus annularis*, *Diplodus sargus sargus*, *Engraulis encrasicolus*, *Gobius roulei*, *Labrus merula*, *Liza aurata*, *Lophius budegassa*, *Mora moro*, *Mugil cephalus*, *Sardina pilchardus*, *Serranus scriba* και *Trachurus picturatus*. Τα είδη που μελετήθηκαν εργαστηριακά ή από δεδομένα της βάσης AFORO αναφέρονται στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Οι αντιπρόσωποι κάθε ομάδας βάθους, το ακριβές εύρος βάθους διαβίωσης, το ολικό μήκος σώματος και ο αριθμός ωτολίθων για κάθε είδος που μελετήθηκε εργαστηριακά ή από δεδομένα της βάσης AFORO.

Σειρά	E	M	A	Βάθος (m)	TL (mm)	n	EP/BA
<b><u>Clupeiformes</u></b>							
<b>Clupeidae</b>							
<i>Sardina pilchardus</i> (Σαρδέλα)	x			10-100	136.7	9	BA
<b>Engraulidae</b>							
<i>Engraulis encrasicolus</i> (Γαύρος)	x	x		0-400	127.6	11	BA
<b><u>Gadiformes</u></b>							
<b>Merlucciidae</b>							
<i>Merluccius merluccius</i> (Μπακαλιάρος)	x	x	x	30-1075	292.1	18	EP
<b>Moridae</b>							
<i>Mora moro</i> (Μόρα)		x	x	450-25000	292.1	12	BA
<b><u>Lophiiformes</u></b>							
<b>Chaunacidae</b>							
<i>Chaunax suttkusi</i>		x	x	220-1060	166.3	8	BA
<b>Lophiidae</b>							
<i>Lophius budegassa</i>		x	x	300-1013	388.5	10	BA
<b><u>Mugiliformes</u></b>							
<b>Mugilidae</b>							
<i>Mugil cephalus</i> (Κέφαλος)	x			0-120	310.1	10	BA
<i>Liza aurata</i> (Μυζινάρι)	x			0-20	417.3	11	BA

Συνέχεια Πίνακα 1.

Σειρά	E	M	A	Βάθος (m)	TL (mm)	n	EP/BA
<b><u>Osmeriformes</u></b>							
<b>Alepocephalidae</b>							
<i>Alepocephalus rostratus</i>		x	x	300-2250	226.4	11	BA
<b><u>Ophidiiformes</u></b>							
<b>Bythitidae</b>							
<i>Cataetyx alleni</i>		x		480-1000	85.3	9	BA
<b><u>Perciformes</u></b>							
<b>Carangidae</b>							
<i>Trachurus mediterraneus</i> (Ασπροσαύριδο)	x	x		0-500	261.3	14	EP
<i>Trachurus picturatus</i> (Μαυροσαύριδο)		x		305-370	190.8	9	EP
<i>Trachurus trachurus</i> (Γκριζοσαύριδο)	x	x	x	0-1050	240.4	11	BA
<b>Gobiidae</b>							
<i>Gobius roulei</i>		x		320-385	57.8	9	BA
<b>Labridae</b>							
<i>Labrus merula</i>	x			1-50	285.0	9	BA
<b>Mullidae</b>							
<i>Mullus barbatus barbatus</i> (Κουτσομούρα)	x	x		10-328	158.2	27	EP
<i>Mullus surmuletus</i> (Μπαρμπούνι)	x			5-60	187.2	17	EP
<b>Serranidae</b>							
<i>Serranus scriba</i> (Πέρκα)	x			5-150	137.0	9	BA
<b>Sparidae</b>							
<i>Boops boops</i> (Γόπα)	x	x		0-350	173.8	16	EP
<i>Diplodus annularis</i> (Σπάρος)	x			0-90	140.0	10	BA
<i>Diplodus sargus sargus</i> (Σαργός)	x			0-50	235.0	14	BA

Συνέχεια Πίνακα 1.

<b>Σειρά</b>	<b>E</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>Βάθος (m)</b>	<b>TL (mm)</b>	<b>n</b>	<b>EP/ΒΔ</b>
<i>Pagellus erythinus</i> (Λυθρίνι)	x	x		0-300	207.7	24	EP
<i>Spicara smaris</i> (Μαρίδα)	x	x		15-328	152.1	18	EP
<b>Σύνολο ειδών</b>	16	15	6			296	23
<b>Μέση τιμή OR</b>	0.40	0.82	1.22				

Τα στοιχεία για το εύρος βάθους διαβίωσης του κάθε είδους και τις κοινές ελληνικές τους ονομασίες προέρχονται από τη βάση δεδομένων Fishbase (με εξαίρεση το είδος *Labrus merula*, Pollard, 2010). Τα x δηλώνουν τις ομάδες βάθους στις οποίες απαντάται κάθε είδος ψαριού. E= επιπελαγική, M= μεσοπελαγική, A= αβυσσοπελαγική, TL= μέση τιμή του ολικού μήκους σώματος ανά είδος, n= ο αριθμός παρατηρήσεων (ωτολίθων) ανά είδος, EP= είδη που μελετήθηκαν στο εργαστήριο, ΒΔ= είδη που μελετήθηκαν από δεδομένα της βάσης AFORO.

## 2.2 Καταγραφή Χαρακτηριστικών των Ωτολίθων

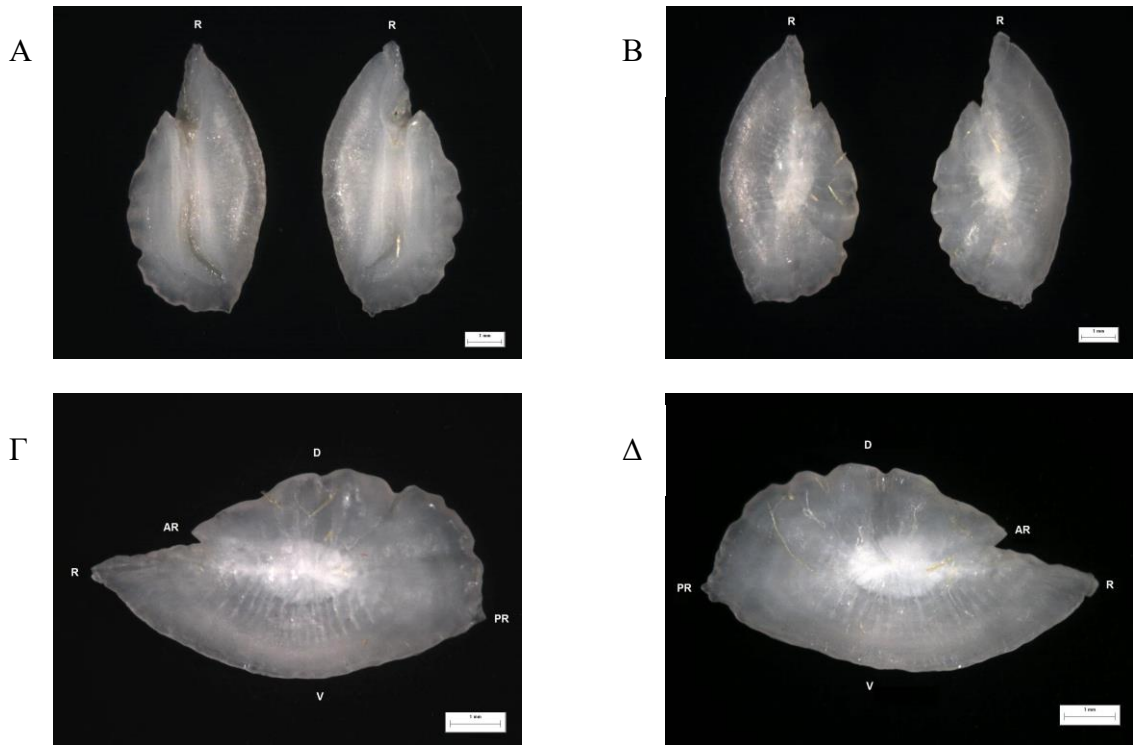
Οι μετρήσεις για την εκτίμηση του μεγέθους και του σχήματος των ωτολίθων των ιχθύων έγιναν λαμβάνοντας ψηφιακές εικόνες με μία ψηφιακή κάμερα Lumenera INFINITY lite K100 ανάλυσης 1.5 megapixels συνδεδεμένη με προσαρμογέα Nikon TV Lens C-0.45x C-MOUNT και με Nikon SMZ-2T στερεομικροσκόπιο, χρησιμοποιώντας μεγέθυνση 1x ή 1.5x ή 2x ανάλογα με το μέγεθος του ωτολίθου, και ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ως πηγή φωτός χρησιμοποιήθηκε το OLYMPUS KL1500LCD. Κατά τη λήψη των φωτογραφιών ο ωτόλιθος τοποθετήθηκε σε μαύρη επιφάνεια, αφού η χρωματική αντίθεση επιτρέπει καλύτερες παρατηρήσεις, με το ρόστρο στα αριστερά και το αντιρόστρο προς τα πάνω. Τόσο ο τρόπος τοποθέτησης και παρατήρησης των ωτολίθων όσο και τα βασικά ανατομικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στις Εικόνες 1 και 2. Η επεξεργασία των εικόνων, η βαθμονόμηση και οι μετρήσεις των ωτολίθων έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος Image-Pro Plus v4.5.1.29. Οι καλύτερες από άποψη ανάλυσης εικόνες χρησιμοποιήθηκαν στην εκτίμηση των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ωτολίθων.

### 2.2.1 Εκτίμηση του Μεγέθους των Ωτολίθων

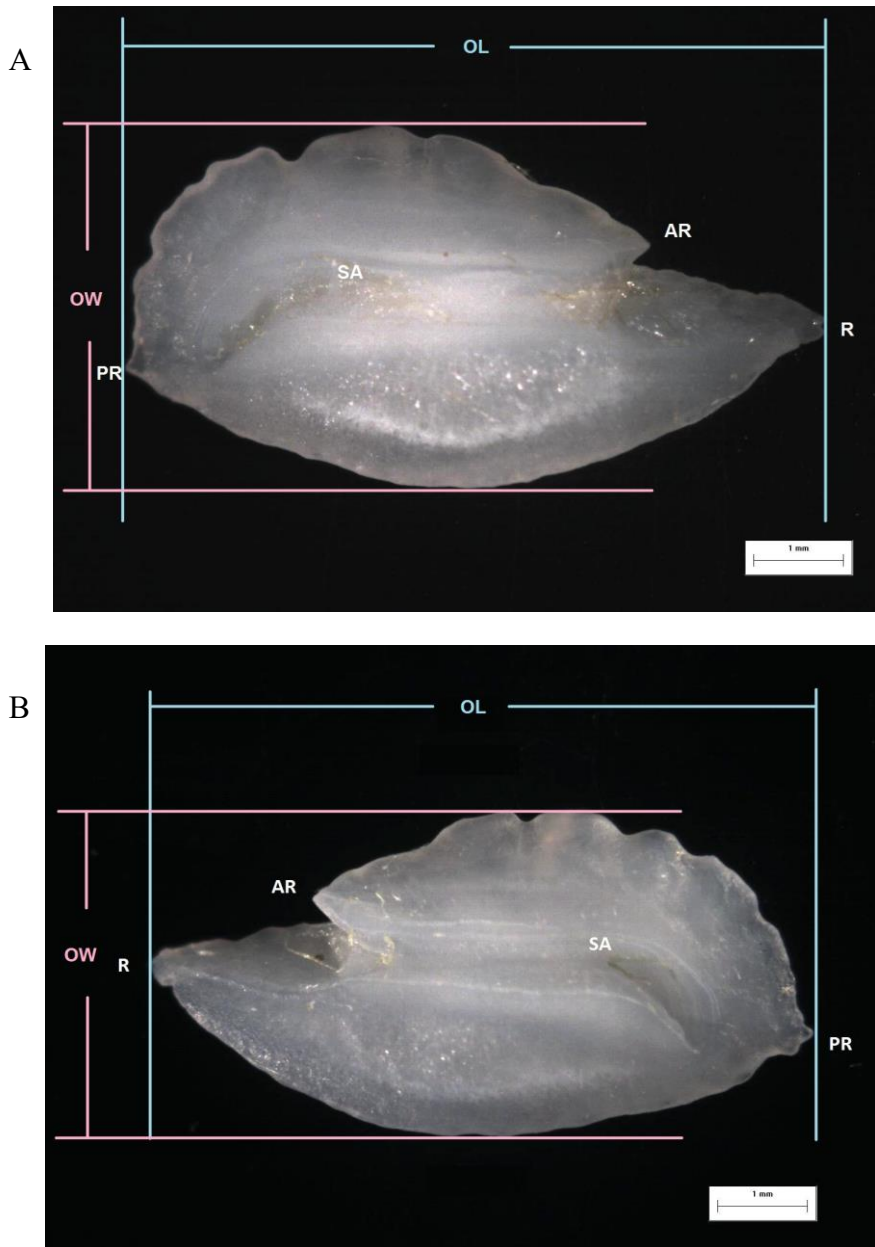
Για την εκτίμηση του μεγέθους των ωτολίθων χρησιμοποιήθηκαν τα μεγέθη του μήκους του ωτολίθου (OL; mm), του πλάτους του ωτολίθου (OW; mm), της περιμέτρου του ωτολίθου (OP; mm) και της επιφάνειας του ωτολίθου (OA; mm<sup>2</sup>). Ως μήκος θεωρήθηκε το μέγιστο μήκος των ωτολίθων, δηλαδή, η απόσταση δύο παράλληλων αξόνων εκ των οποίων ο ένας περνούσε από το ρόστρο και ο άλλος από το ποστρόστρο. Αντίστοιχα, ως πλάτος θεωρήθηκε το μέγιστο πλάτος των ωτολίθων, δηλαδή, η απόσταση δύο παράλληλων αξόνων, που διέρχονται από τα πιο απομακρυσμένα σημεία της ραχιαίας και κοιλιακής πλευράς των ωτολίθων. Η περίμετρος ορίστηκε ως το μήκος του περιγράμματος των ωτολίθων και η επιφάνεια ως το εμβαδό που ορίζει το περίγραμμα των ωτολίθων. Τα μεγέθη του μήκους και πλάτους φαίνονται σε ενδεικτική φωτογραφία από τοξοειδή ωτόλιθο στην Εικόνα 2. Αν και όλα τα προαναφερθέντα μεγέθη ελήφθησαν υπ' όψιν, η OA θεωρήθηκε ως το πιο αξιόπιστο και αντιπροσωπευτικό μέγεθος (Paxton, 2000).

Επιπλέον, για κάθε ωτόλιθο υπολογίστηκε το σχετικό μέγεθος ωτολίθου, OR, με βάση την εξίσωση  $OR = 1000 \times OA \times TL^{-2}$ , όπου TL είναι το ολικό μήκος σώματος του ψαριού (mm). Το OR υπολογίστηκε σε επίπεδο είδους και σε επίπεδο ομάδας βάθους ενδιαίτηματος. Η σχέση  $OL \times TL^{-1}$  λήφθηκε υπ' όψιν κατά τη σύγκριση των μεγεθών των ωτολίθων (Lombarte and Cruz, 2007).





**Εικόνα 1.** Τοξοειδείς ωτόλιθοι από ιχθύ του είδους *Trachurus mediterraneus* (Ασπροσαύριδο). Φωτογραφίες από την εγγύς και την άπω επιφάνεια ενός τυπικού ζεύγους τοξοειδών ωτολίθων από ψάρι του είδους *Trachurus mediterraneus* (Ασπροσαύριδο). Χρησιμοποιήθηκε στερεοσκόπιο σε μεγέθυνση 1.0x για τις εικόνες Α και Β και 1.5x για τις εικόνες Γ και Δ συνδεδεμένο με κάμερα Lumenera (1.5 megapixel) και προσαρμογέα Nikon (0.45x). Η ακουστική αύλακα σχηματίζει μία κοιλότητα, χαρακτηριστική στην εγγύς επιφάνεια, ενώ το ρόστρο ορίζει το πρόσθιο περιθώριο του τοξοειδούς ωτολίθου. Η αναγνώριση του ρόστρου και της ακουστικής αύλακας μας βοηθούν να διακρίνουμε το δεξιό από τον αριστερό τοξοειδή ωτόλιθο. Σε όλες τις εικόνες υπάρχει δείκτης βαθμονόμησης 1 mm. **Α.** Εγγύς επιφάνεια του ζεύγους των ωτολίθων. Ο αριστερός ωτόλιθος βρίσκεται αριστερά στην εικόνα και, αντίστοιχα, ο δεξιός ωτόλιθος βρίσκεται δεξιά στην εικόνα. **Β.** Άπω επιφάνεια του ζεύγους των ωτολίθων. **Γ.** Άπω επιφάνεια αριστερού ωτολίθου. **Δ.** Άπω επιφάνεια δεξιού ωτολίθου. AR= antirostrum (αντιρόστρο); D= dorsal (ραχιαία); PR= postrostrum (ποστρόστρο); R= rostrum (ρόστρο); V= ventral (κοιλιακή).



**Εικόνα 2.** Μέτρηση μήκους (OL) και πλάτους (OW) σε ζεύγος ωτολίθων του *Trachurus mediterraneus*.

Φωτογραφίες από την εγγύς επιφάνεια ενός τυπικού ζεύγους τοξοειδών ωτολίθων από ψάρι του είδους *Trachurus mediterraneus* (Ασπροσαύριδο). Χρησιμοποιήθηκε στερεοσκόπιο σε μεγέθυνση 1.5x. Στις εικόνες υπάρχει δείκτης βαθμονόμησης 1 mm. **A.** Εγγύς επιφάνεια αριστερού ωτολίθου. Φαίνεται ο τρόπος μέτρησης του μήκους και του πλάτους. **B.** Εγγύς επιφάνεια δεξιού ωτολίθου. AR= antirostrum (αντιρόστρο); OL= otolith length (μήκος ωτολίθου); OW= otolith width (πλάτος ωτολίθου); PR= postrostrum (ποστρόστρο); R= rostrum (ρόστρο); SA= sulcus acusticus (ακουστική αύλακα).

### 2.2.2 Εκτίμηση του Σχήματος των Ωτολίθων

Για την εκτίμηση του σχήματος των ωτολίθων υπολογίστηκαν οι τιμές για τους δείκτες: Αναλογία Διαστάσεων ( $R_A$ , Aspect Ratio), Συντελεστής Σχήματος ( $F_F$ , Formfactor), Κυκλικότητα ( $C$ , Circularity), Στρογγυλότητα ( $R_O$ , Roundness), Συντελεστής Σχήματος για Ορθογώνιο ( $R_T$ , Rectangularity) και Ελλειπτικότητα ( $E_L$ , Ellipticity). Οι δείκτες αυτοί προέκυψαν χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις που προαναφέραμε για τον προσδιορισμό του μεγέθους των ωτολίθων στις αντίστοιχες ισότητες (Russ, 1990; Tuset et al., 2006). Η Αναλογία Διαστάσεων αντιστοιχεί στην αναλογία  $OL \times OW^{-1}$ . Αυξημένη τιμή υποδηλώνει επίμηκες σχήμα, ενώ μικρή τιμή αντιστοιχεί σε βραχύ σχήμα του ωτολίθου (Zorica et al., 2010). Ο Συντελεστής Σχήματος είναι η ανεστραμμένη αναλογία του τετραγώνου της περιμέτρου ενός αντικειμένου προς το τετράγωνο της περιμέτρου ενός κύκλου της ίδιας επιφάνειας. Όσο μικρότερη τιμή έχει, τόσο πιο δαντελωτό είναι το περίγραμμα του ωτολίθου (Zorica et al., 2010). Αντίθετα, ο συντελεστής παίρνει τη μέγιστη τιμή 1.00 όταν το περίγραμμα του ωτολίθου σχηματίζει τέλειο κύκλο (Bani et al., 2013). Η Στρογγυλότητα είναι η αναλογία μεταξύ της πραγματικής επιφάνειας και της επιφάνειας ενός κύκλου του ίδιου μήκους. Η τιμή αυτού του παράγοντα μεγαλώνει καθώς το σχήμα του ωτολίθου γίνεται πιο κυκλικό (Zorica et al., 2010). Τόσο η Στρογγυλότητα, όσο και η Κυκλικότητα καταδεικνύουν την ομοιότητα διαφόρων χαρακτηριστικών των ωτολίθων με αυτά ενός τέλειου κύκλου (Bani et al., 2013). Ο Συντελεστής Σχήματος για Ορθογώνιο περιγράφει τη μεταβολή του μήκους και του πλάτους σε σχέση με την επιφάνεια του ωτολίθου, όπου η τιμή 1.00 αντιστοιχεί σε τέλειο τετράγωνο. Τέλος, η Ελλειπτικότητα δείχνει αν οι αλλαγές στους άξονες είναι ανάλογες (Tuset et al., 2003, a). Οι προαναφερθείσες ισότητες συνοψίζονται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2.** Οι μεταβλητές μεγέθους των ωτολίθων των ψαριών και οι αντίστοιχες εξισώσεις για τους δείκτες του σχήματός τους.

Μεταβλητές Μεγέθους	Δείκτες Σχήματος
Μήκος ωτολίθου (OL)	Αναλογία Διαστάσεων = $OL \times OW^{-1}$
Πλάτος ωτολίθου (OW)	Συντελεστής Σχήματος = $(4\pi OA)OP^{-2}$
Περίμετρος (OP)	Στρογγυλότητα = $(4OA)(\pi OL^2)^{-1}$
Επιφάνεια (OA)	Κυκλικότητα = $OP^2OA^{-1}$
	Συντελεστής Σχήματος για Ορθογώνιο = $OA(OL \times OW)^{-1}$
	Ελλειπτικότητα = $(OL - OW)(OL + OW)^{-1}$

Οι μονάδες μέτρησης για τα μεγέθη OL, OW, OP είναι mm και για το OA mm<sup>2</sup>.

### 2.3 Στατιστική Ανάλυση

Σχηματίστηκαν τρεις ομάδες με κριτήριο το εύρος βάθους στο οποίο απαντάται κάθε μελετούμενο είδος: η επιπελαγική (0 έως 200 m), η μεσοπελαγική (201 έως 1000 m) και η βαθυπελαγική (1001 έως 2000 m). Η κατηγοριοποίηση των ειδών και η κατάταξή τους στις τρεις ομάδες βάθους έγινε σύμφωνα με το πρότυπο κατηγοριοποίησης που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη των Lombarte και Cruz (2007). Αναλυτικότερα, κάθε είδος εντάχθηκε σε μία ή περισσότερες ομάδες βάθους, ως ξεχωριστή παρατήρηση κάθε ομάδας, ανάλογα με το εύρος βάθους στο οποίο έχει μέχρι σήμερα εντοπισθεί το αντίστοιχο είδος, σύμφωνα με τις πληροφορίες που αναφέρονται στη βάση δεδομένων Fishbase.

Για να γίνουν οι στατιστικές αναλύσεις, οι επιδράσεις του φαινομένου της αλλομετρίας, που προκύπτουν κατά την ανάπτυξη των ωτολίθων, και του ολικού μήκους του σώματος του ψαριού (Lombarte and Leonart, 1993) απαλείφθηκαν, και οι τιμές των μετρηθέντων μεταβλητών κανονικοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες σχέσεις αλλομετρίας (Leonart et al., 2000). Για κάθε μία μεταβλητή υπολογίστηκε η σχέση αλλομετρίας ως προς το μέγιστο μήκος των ψαριών, με βάση τη σχέση  $Y = aX^b$ , προσαρμοσμένης μέσω μια λογαριθμικής μετατροπής προκειμένου να

ομογενοποιηθούν τα υπόλοιπα (rediduals). Κάθε μέτρηση  $Y_{ij}$ , όπου  $i= 1,4$  είναι η μεταβλητή και  $j$  το άτομο, μετατρέπεται σε  $Z_{ij}$ , με βάση τη σχέση  $Z_{ij}= Y_{ij}(X_0/X_j)^{b_i}$ , όπου  $X_j$  είναι το μέγιστο μήκος του ψαριού για κάθε δείγμα  $j$ ,  $X_0$  είναι το πρότυπο μήκος αναφοράς και  $b_i$  είναι η αλλομετρική παράμετρος που συσχετίζει την εξαρτώμενη μεταβλητή  $Y_i$  με την ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$ . Δε χρησιμοποιήθηκε μία μοναδική τιμή αναφοράς  $X_0$  για όλα τα είδη στις αναλύσεις, καθώς είχαν μεγάλες αποκλίσεις στο μήκος σώματός τους. Συνεπώς, επιλέχθηκε ως  $X_0$  για κάθε είδος, ο μέσος όρος του μέγιστου μήκους σώματος (TL) των ψαριών του εκάστοτε πληθυσμού.

Προκειμένου να απαλειφθεί η επίδραση του απόλυτου μεγέθους του σώματος των ψαριών στο μέγεθος των ωτολίθων, υπολογίστηκε ο δείκτης του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων, OR, με βάση την εξίσωση  $OR= 1000 \times OA \times TL^{-2}$ , όπου OA είναι η επιφάνεια του ωτολίθου ( $mm^2$ ) και TL το μέγιστο μήκος σώματος του ψαριού (mm). Επιπροσθέτως, ελήφθη υπ' όψιν το γινόμενο  $OL \times TL^{-1}$  για κάθε είδος (Lombarte and Cruz, 2007). Ανάλογα με την τιμή του δείκτη OR, οι ωτόλιθοι ομαδοποιήθηκαν σε τρεις κατηγορίες: τους μικρούς ( $OR \leq 0.30$ ), τους μεσαίους ( $0.30 < OR \leq 0.65$ ) και τους μεγάλους ( $OR > 0.65$ ). Ακολούθως, υπολογίστηκε η εκατοστιαία αναλογία κάθε κατηγορίας μεγέθους των ωτολίθων για κάθε ομάδα βάθους. Υπολογίστηκε, δηλαδή, το ποσοστό των μικρών, μεσαίων και μεγάλων ωτολίθων στην ομάδα των ψαριών που ζουν στην επιπελαγική ζώνη (0 έως 200 m) και αντίστοιχα υπολογίστηκαν τα παραπάνω ποσοστά για τις ομάδες των ψαριών της μεσοπελαγικής (201 έως 1000 m) και βαθυπελαγικής ζώνης (1001 έως 2000 m). Επίσης, υπολογίστηκε η μέση τιμή του δείκτη OR για τα μελετούμενα είδη κάθε ομάδας βάθους των ψαριών. Παράλληλα, υπολογίστηκαν οι εκατοστιαίες αναλογίες κάθε κατηγορίας μεγέθους των ωτολίθων, καθώς και οι μέσες τιμές του δείκτη OR για τις ταξινομικές ομάδες που μελετήθηκαν προκειμένου να προσδιοριστεί ενδεχόμενη φυλογενετική επίδραση στο σχετικό μέγεθος των ωτολίθων.

Ακολούθησε η μέθοδος Ανάλυσης της Διακύμανσης (ANOVA, Analysis of Variance) προκειμένου να αξιολογηθούν οι διαφορές στο μέγεθος των τοξοειδών ωτολίθων στις ομάδες του βάθους και στις ταξινομικές ομάδες. Η μέθοδος αυτή ελέγχει τη διακύμανση του σχετικού μεγέθους ωτολίθων, OR, μεταξύ των διαφορετικών ομάδων και εντός των ομάδων. Εφόσον το P-value είναι μικρότερο από 0.05, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της μέσης τιμής OR από τη μία ομάδα στην

άλλη. Επιπροσθέτως, έγινε έλεγχος της ανεξαρτησίας των ομάδων διαφορετικών μεγεθών των ωτολίθων με το βάθος, χρησιμοποιώντας τη δοκιμασία Pearson. Και στις δύο αναλύσεις ορίστηκε ως διάστημα εμπιστοσύνης το 95%. Όλες οι προαναφερθείσες στατιστικές αναλύσεις, καθώς και ο σχηματισμός των θηκογραμμάτων, έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος Statgraphics Centurion XVI.

### 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Μορφομετρία των Ωτολίθων

##### 3.1.1 Δείκτης του Σχετικού Μεγέθους των Ωτολίθων για κάθε Ομάδα Βάθους

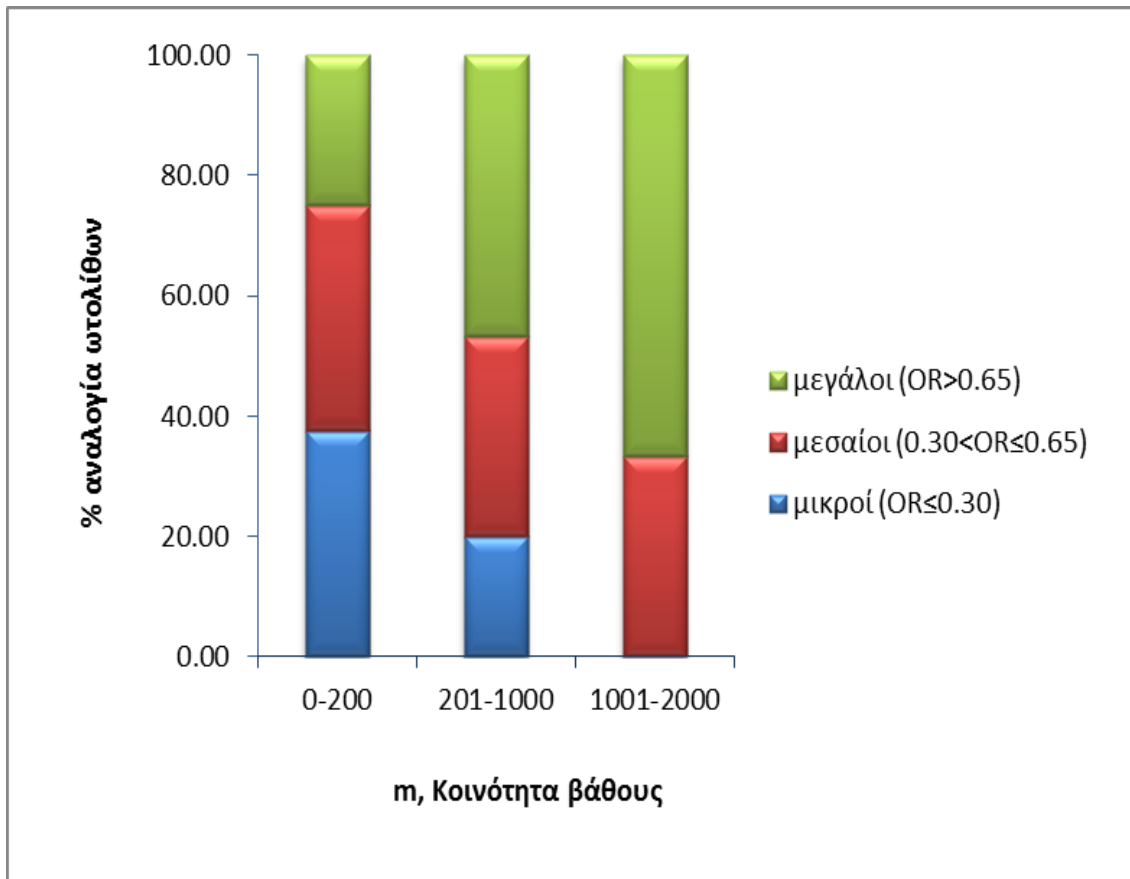
Το σχετικό μέγεθος των τοξοειδών ωτολίθων και η ομάδα βάθους στην οποία αντιστοιχεί κάθε είδος φαίνονται στον Πίνακα 7. Αναλυτικότερα, στον Πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη OR και του γινομένου  $OL \times TL^{-1}$  που προκύπτουν από το μέσο όρο των τιμών για τους αντιπροσώπους που εξετάστηκαν από κάθε είδος, η ομάδα βάθους διαβίωσης στην οποία τα είδη ανήκουν, η μέση τιμή του ολικού μήκους σώματος (TL), ο αριθμός των ατόμων (n) και παρατηρήσεις σχετικές με την ελληνική ονομασία του είδους και το εύρος βάθους διαβίωσης. Στο τέλος του Πίνακα αναφέρονται ο συνολικός αριθμός ειδών ανά ομάδα βάθους, ο συνολικός αριθμός εξεταζόμενων ειδών και ατόμων, και η μέση τιμή του δείκτη OR ανά ομάδα βάθους.

Έγινε ανάλυση της διακύμανσης των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο ANOVA, προκειμένου να ελεγχθεί η διακύμανση του σχετικού μεγέθους ωτολίθων, OR. Εφόσον το P-value είναι μικρότερο από 0.05 ( $F_{3,76}$ ,  $P= 0.03$ ) σε διάστημα εμπιστοσύνης 95.0%, υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο σχετικό μέγεθος των ωτολίθων μεταξύ των τριών ομάδων βάθους διαβίωσης. Επιπροσθέτως, πραγματοποιήθηκε η δοκιμασία Pearson για τον έλεγχο της ανεξαρτησίας μεταξύ του OR και του βάθους διαβίωσης. Εφόσον το P-value είναι μικρότερο από 0.05 ( $df= 35$ ,  $P= 0.03$ ) σε διάστημα εμπιστοσύνης 95.0%, συμπεραίνουμε πως το σχετικό μέγεθος των ωτολίθων εξαρτάται από την ομάδα βάθους διαβίωσης.

Η τιμή του δείκτη σχετικού μεγέθους ωτολίθων, OR, ποικίλει από 0.08 του επιπελαγικού είδους *Labrus merula*, που ζει σε εύρος βάθους 0 με 50 μέτρα, έως 2.64 του είδους *Chaunax suttkusi*, που διαβιώνει σε εύρος βάθους 220 με 1060 μέτρα. Παρατηρούμε ότι η αύξηση του βάθους συνεπάγεται αύξηση του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων. Στην επιπελαγική ομάδα (0-200 μέτρα βάθους) οι μικροί ωτόλιθοι ( $OR \leq 0.30$ ) αποτελούν το 37.50%, οι μεσαίοι ( $0.30 < OR \leq 0.65$ ) το 37.50% και οι μεγάλοι ( $OR > 0.65$ ) το 25.00% του συνόλου των ωτολίθων της ομάδας. Στη μεσοπελαγική

ομάδα (201-1000 μέτρα βάθους) το ποσοστό των μικρών ωτολίθων μικραίνει στο 20.00%, των μεσαίων στο 33.33%, ενώ των μεγάλων αυξάνει στο 46.67%. Τέλος, στη βαθυπελαγική ομάδα (1001-2000 μέτρα βάθους) δεν υπάρχουν μικροί ωτόλιθοι το ποσοστό των μεσαίων ωτολίθων παραμένει σταθερό στο 33.33% και το ποσοστό των μεγάλων ωτολίθων αυξάνει στο 66.67% του συνόλου των ωτολίθων της συγκεκριμένης ομάδας βάθους διαβίωσης. Οι προαναφερθείσες εκατοστιαίες αναλογίες των ωτολίθων κάθε ομάδας σχετικού μεγέθους (μικροί, μεσαίοι, μεγάλοι) ανά ομάδα βάθους διαβίωσης των ιχθύων (επιπελαγική, μεσοπελαγική, βαθυπελαγική) απεικονίζονται στην Εικόνα 3. Επιπροσθέτως, υπολογίσαμε τη μέση τιμή OR για τους ωτολίθους των ιχθύων κάθε ομάδας βάθους διαβίωσης. Στην ομάδα της επιπελαγικής ζώνης η μέση τιμή ήταν 0.40, στη μεσοπελαγική ήταν 0.82 και στη βαθυπελαγική 1.22. Η αύξηση της μέσης τιμής OR σε συνδυασμό με την αύξηση του βάθους διαβίωσης είναι προφανής. Για κάθε μέση τιμή υπολογίστηκε το τυπικό σφάλμα, ως μέτρο της διακύμανσης του δείγματος. Το τυπικό σφάλμα υπολογίστηκε διαιρώντας τη συνδυασμένη τυπική απόκλιση με την τετραγωνική ρίζα του αριθμού παρατηρήσεων κάθε ομάδας βάθους διαβίωσης. Ακολούθησε ο έλεγχος της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD, Least Significant Difference) κατά Fisher, με τη βοήθεια του οποίου εντοπίστηκαν τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% για κάθε μέση τιμή OR. Τα διαστήματα αυτά σχηματίστηκαν με τέτοιο τρόπο που αν δύο μέσες τιμές είναι ίσες, τα διαστήματά τους θα αλληλεπικαλύπτονται σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95.0%. Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 και στην Εικόνα 4. Με τη βοήθεια του προγράμματος Statgraphics Centurion XVI υπολογίστηκαν οι τιμές της διαμέσου, του πρώτου και τρίτου τεταρτημορίου και κατασκευάστηκε το θηκόγραμμα του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων, OR, για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης των ψαριών (Εικόνα 5). Οι προαναφερθείσες τιμές, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του θηκογράμματος, αναφέρονται στον Πίνακα 4. Παράλληλα κατασκευάστηκε θηκόγραμμα με τις τιμές OR των ατόμων για κάθε είδος που μελετήθηκε (Εικόνα 6).





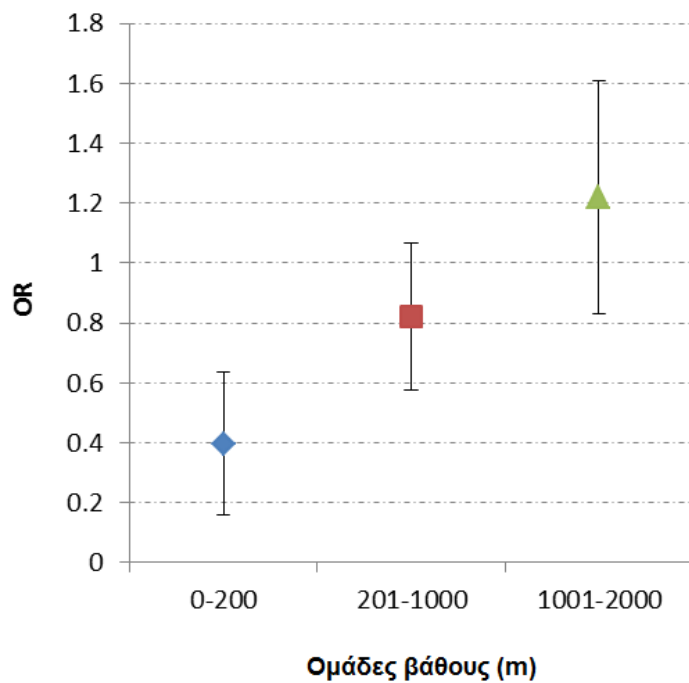
**Εικόνα 3.** Εκατοστιαία αναλογία των μικρών, μεσαίων και μεγάλων ωτολίθων ανά ομάδα βάθους διαβίωσης

*Απεικόνιση της εκατοστιαίας αναλογίας των μικρών, μεσαίων και μεγάλων ωτολίθων, με βάση το σχετικό μέγεθος των ωτολίθων (OR), για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης των ιχθύων, δηλαδή στις ομάδες της επιπελαγικής (0 έως 200 μέτρα), της μεσοπελαγικής (201 έως 1000 μέτρα) και της βαθυπελαγικής ζώνης (1001 έως 2000 μέτρα).*

**Πίνακας 3.** Το σχετικό μέγεθος των ωτολίθων (OR) για κάθε ομάδα βάθους και τα όρια των αντίστοιχων διαστημάτων εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0%.

Ομάδα Βάθους (m)	n	Μέση τιμή OR	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Τυπικό Σφάλμα	Ελάχιστο Όριο	Μέγιστο Όριο
0-200	16	0.40	0.08	0.90	0.17	0.16	0.64
201-1000	15	0.82	0.18	2.64	0.17	0.57	1.07
1001-2000	6	1.22	0.31	2.64	0.27	0.83	1.61
Σύνολο	37	0.70					

n= αριθμός παρατηρήσεων.



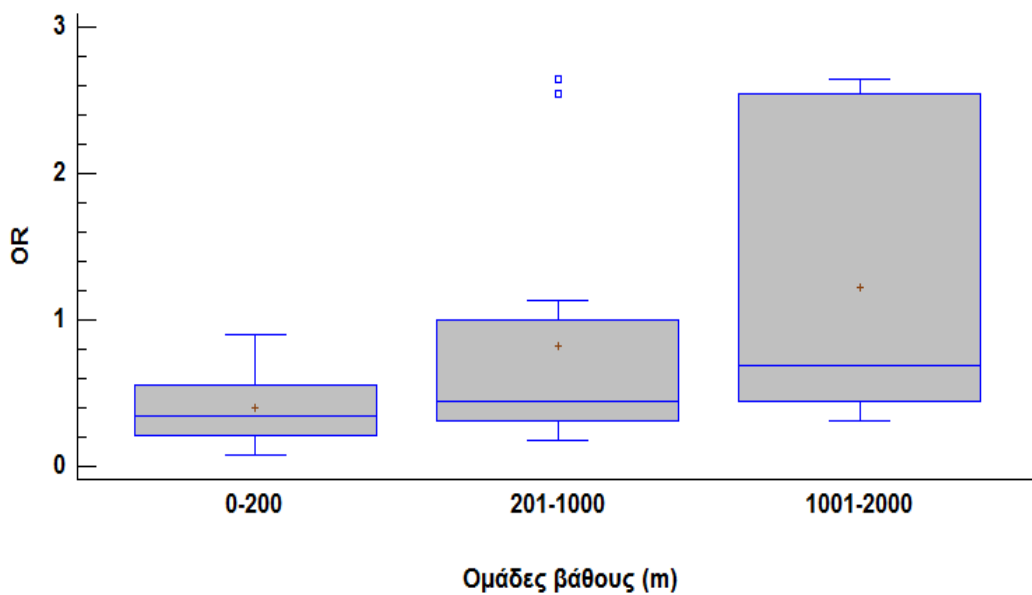
**Εικόνα 4.** Το σχετικό μέγεθος των ωτολίθων (OR) για κάθε ομάδα βάθους.

Απεικονίζονται οι μέσες τιμές του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων, OR, για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης (0-200m, 201-1000m, 1001-2000m). Επίσης, φαίνονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% που αντιστοιχούν σε κάθε μέση τιμή OR, τα οποία υπολογίστηκαν εκτελώντας τον έλεγχο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς κατά Fisher.

**Πίνακας 4.** Διάμεση τιμή του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων (OR) για κάθε ομάδα βάθους.

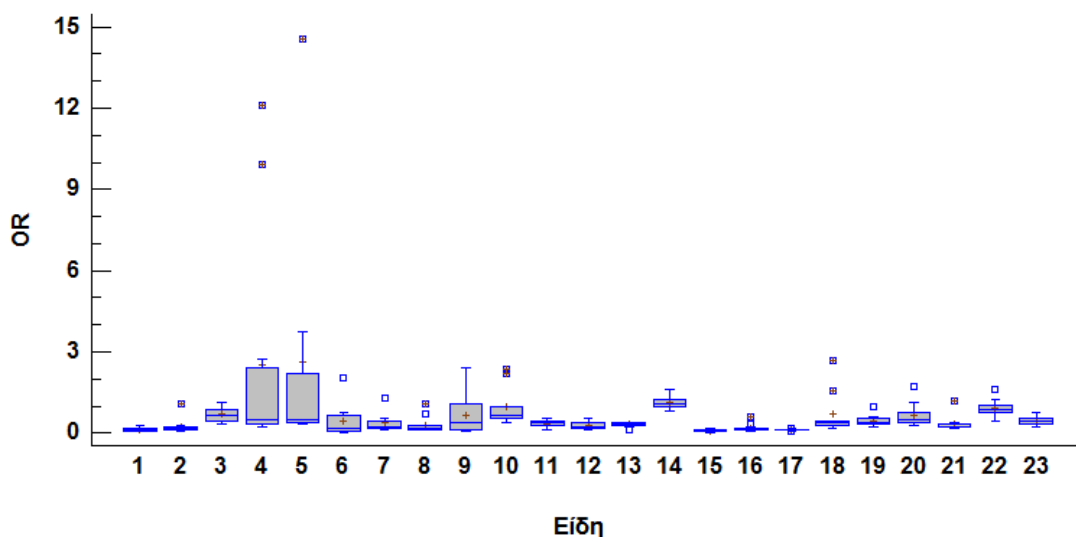
Ομάδα Βάθους (m)	n	Ελάχιστη τιμή	1 <sup>ο</sup> τετ/μόριο	Διάμεση τιμή	Μέση τιμή	3 <sup>ο</sup> τετ/μόριο	Μέγιστη τιμή
0-200	16	0.08	0.22	0.35	0.40	0.56	0.90
201-1000	15	0.18	0.31	0.45	0.82	1.00	2.64
1001-2000	6	0.31	0.44	0.69	1.22	2.54	2.64

n= αριθμός παρατηρήσεων.



**Εικόνα 5.** Θηκόγραμμα του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων (OR) στις τρεις ομάδες βάθους διαβίωσης των ιχθύων.

Θηκόγραμμα του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων, OR, στις τρεις ομάδες βάθους διαβίωσης των ιχθύων, την επιπελαγική (0 έως 200 m), τη μεσοπελαγική (201 έως 1000 m) και τη βαθυπελαγική (1001 έως 2000 m).



**Εικόνα 6.** Θηκόγραμμα του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων (OR) στα είδη ιχθύων που μελετήθηκαν.

Στο παραπάνω θηκόγραμμα φαίνονται οι τιμές του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων, OR, για τα άτομα που μελετήθηκαν από κάθε είδος ψαριού. Οι αριθμοί 1 έως 23 αντιστοιχούν στα εξής είδη: 1= *Sardina pilchardus*, 2= *Engraulis encrasicolus*, 3= *Merluccius merluccius*, 4= *Mora moro*, 5= *Chaunax suttkusi*, 6= *Lophius budegassa*, 7= *Mugil cephalus*, 8= *Liza aurata*, 9= *Alepocephalus rostratus*, 10= *Cataetx alleni*, 11= *Trachurus mediterraneus*, 12= *Trachurus picturatus*, 13= *Trachurus trachurus*, 14= *Gobius roulei*, 15= *Labrus merula*, 16= *Mullus barbatus barbatus*, 17= *Mullus surmuletus*, 18= *Serranus scriba*, 19= *Boops boops*, 20= *Diplodus annularis*, 21= *Diplodus sargus sargus*, 22= *Pagellus erythinus*, 23= *Spicara smaris*.

### 3.1.2 Ο Λόγος του Μήκους των Ωτολίθων προς το Μήκος Σώματος του Ψαριού για κάθε Ομάδα Βάθους

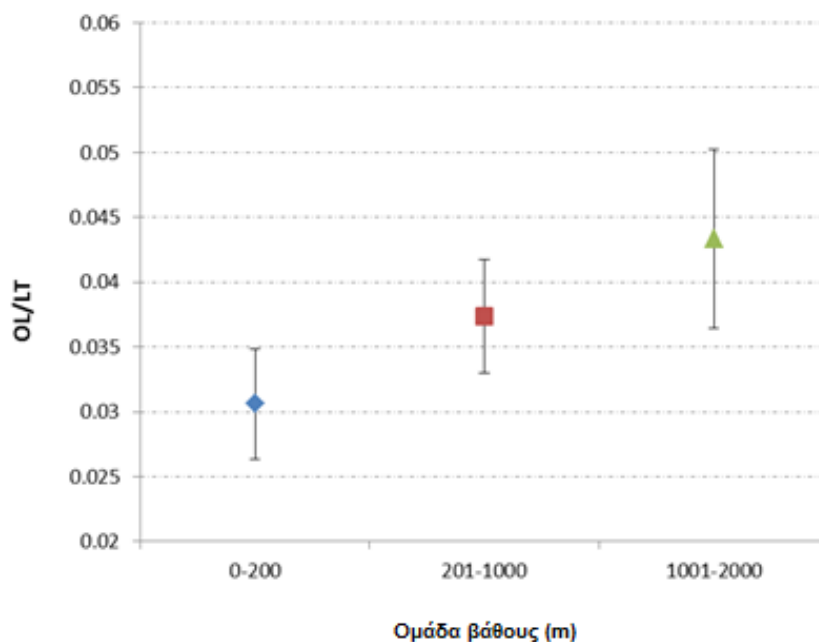
Αναλύθηκε η διακύμανση του γινομένου  $OL \times TL^{-1}$  και προέκυψε P-value μεγαλύτερο από 0.05 ( $F_{2,88}$ ,  $P= 0.07$ ). Άρα, σε διάστημα εμπιστοσύνης 95.0%, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά της τιμής του γινομένου μεταξύ των τριών ομάδων βάθους διαβίωσης. Ωστόσο, σε διάστημα εμπιστοσύνης 90.0%, το F είναι μεγαλύτερο από το  $F_{crit}$ , όπου το F ισούται με 2.88 και το  $F_{crit}$  ανήκει στο διάστημα (2.44, 2.49), και το P-value μικρότερο από 0.10. Σε διάστημα εμπιστοσύνης 90.0%, δηλαδή, το γινόμενο  $OL \times TL^{-1}$  διαφέρει ανά ομάδα βάθους διαβίωσης.

Ενδεικτικά αναφέρονται τα αποτελέσματα του λόγου του μήκους των ωτολίθων (OL) προς το ολικό μήκος σώματος των ψαριών (TL). Οι τιμές του γινομένου  $OL \times TL^{-1}$  έχουν εύρος από 0.02 έως 0.07. Αναλύοντας τη μέση τιμή του γινομένου για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης παρατηρούμε ότι η αύξηση του βάθους συνεπάγεται αύξηση της μέσης τιμής. Ειδικότερα, η μέση τιμή στην ομάδα βάθους 0 έως 200 μέτρα είναι 0.0306, στην ομάδα βάθους 200 έως 1000 μέτρων είναι 0.0373 και στην ομάδα βάθους 1000 έως 2000 μέτρων είναι 0.0433. Για κάθε μέση τιμή υπολογίσθηκε το τυπικό σφάλμα, ως μέτρο της διακύμανσης του δείγματος, κατά τον τρόπο που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Ακολούθησε ο έλεγχος της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD, Least Significant Difference) κατά Fisher, με τη βοήθεια του οποίου εντοπίστηκαν τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% για κάθε μέση τιμή  $OL \times TL^{-1}$ . Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 και στην Εικόνα 7. Στην Εικόνα 8 απεικονίζονται τα θηκογράμματα του λόγου του μήκους των ωτολίθων προς το ολικό μήκος σώματος των ψαριών ( $OL/TL$ ) για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης των ψαριών. Οι τιμές της διαμέσου, του πρώτου και τρίτου τεταρτημορίου, η μέση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του θηκογράμματος, αναφέρονται στον Πίνακα 6.

**Πίνακας 5.** Ο λόγος του μήκους του ωτολίθου προς το ολικό μήκος σώματος του ψαριού ( $OL \times TL^{-1}$ ) για κάθε ομάδα βάθους και τα όρια των αντίστοιχων διαστημάτων εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0%.

Ομάδα Βάθους (m)	n	Μέση τιμή $OL \times TL^{-1}$	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Τυπικό Σφάλμα	Ελάχιστο Όριο	Μέγιστο Όριο
0-200	16	0.0306	0.0200	0.0500	0.0029	0.0264	0.0349
201-1000	15	0.0373	0.0200	0.0700	0.0030	0.0330	0.0417
1001-2000	6	0.0433	0.0300	0.0700	0.0048	0.0364	0.0502
Σύνολο	37	0.0354					

n= αριθμός παρατηρήσεων.



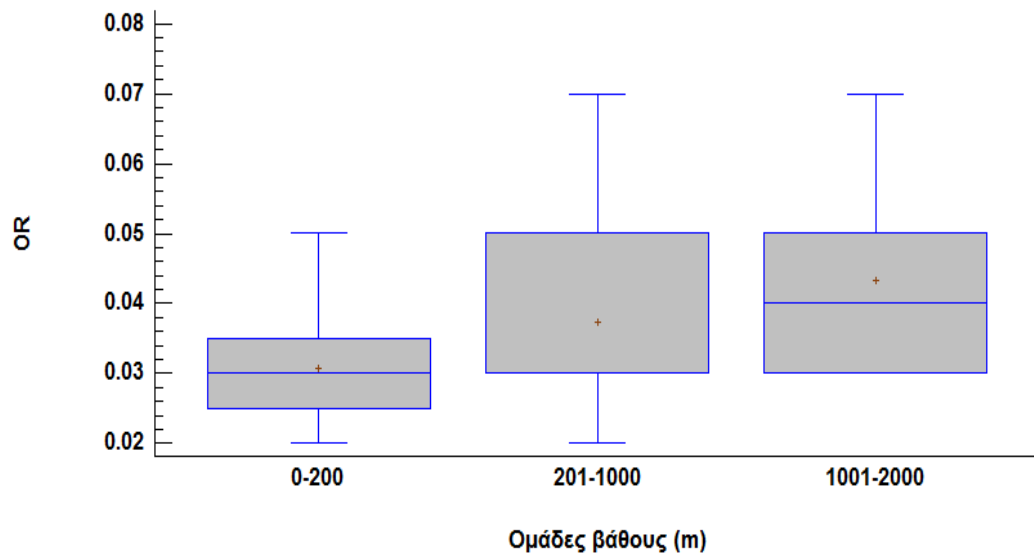
**Εικόνα 7.** Ο λόγος του μήκους του ωτολίθου προς το ολικό μήκος σώματος του ψαριού ( $OL \times TL^{-1}$ ) για κάθε ομάδα βάθους.

Απεικονίζονται οι μέσες τιμές του λόγου του μήκους των ωτολίθων ( $OL$ ) προς το ολικό μήκος σώματος των ψαριών ( $TL$ ) για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης (0-200m, 201-1000m, 1001-2000m), με τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0%, τα οποία υπολογίσθηκαν εκτελώντας τον έλεγχο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς κατά Fisher.

**Πίνακας 6.** Διάμεση τιμή του λόγου του μήκους του ωτολίθου προς το ολικό μήκος σώματος του ψαριού ( $OL \times TL^{-1}$ ) για κάθε ομάδα βάθους.

Ομάδα Βάθους (m)	n	Ελάχιστη τιμή	1 <sup>ο</sup> τετ/μόριο	Διάμεση τιμή	Μέση τιμή	3 <sup>ο</sup> τετ/μόριο	Μέγιστη τιμή
0-200	16	0.020	0.025	0.030	0.031	0.035	0.050
201-1000	15	0.020	0.030	0.030	0.037	0.050	0.070
1001-2000	6	0.030	0.030	0.040	0.043	0.050	0.070

n= αριθμός παρατηρήσεων.



**Εικόνα 8.** Θηκόγραμμα του λόγου του μήκους του ωτολίθου προς το ολικό μήκος σώματος του ψαριού ( $OL \times TL^{-1}$ ) στις τρεις ομάδες βάθους.

Θηκόγραμμα του λόγου του μήκους των ωτολίθων,  $OL$ , προς το ολικό μήκος σώματος,  $TL$ , των ιχθύων στις τρεις ομάδες βάθους διαβίωσης των ιχθύων, την επιπελαγική (0 έως 200 m), τη μεσοπελαγική (201 έως 1000 m) και τη βαθυπελαγική (1001 έως 2000 m).

**Πίνακας 7.** Οι αντιπρόσωποι κάθε ομάδας βάρους, το σχετικό μέγεθος των ωτολίθων τους (OR) και το γινόμενο του μήκους των ωτολίθων προς το ολικό μήκος σώματος ( $OL \times TL^{-1}$ ) για κάθε είδος.

Σειρά	E	M	A	OR	$OL \times TL^{-1}$	TL	n
<b><u>Clupeiformes</u></b>							
<b>Clupeidae</b>							
<i>Sardina pilchardus</i>	x			0.14	0.02	136.7	9
<b>Engraulidae</b>							
<i>Engraulis encrasicolus</i>	x	x		0.25	0.03	127.6	11
<b><u>Gadiformes</u></b>							
<b>Merlucciidae</b>							
<i>Merluccius merluccius</i>	x	x	x	0.70	0.05	292.1	18
<b>Moridae</b>							
<i>Mora moro</i>		x	x	2.54	0.07	292.1	12
<b><u>Lophiiformes</u></b>							
<b>Chaunacidae</b>							
<i>Chaunax suttkusi</i>		x	x	2.64	0.05	166.3	8
<b>Lophiidae</b>							
<i>Lophius budegassa</i>		x	x	0.44	0.03	388.5	10
<b><u>Mugiliformes</u></b>							
<b>Mugilidae</b>							
<i>Mugil cephalus</i>	x			0.37	0.03	310.1	10
<i>Liza aurata</i>	x			0.30	0.03	417.3	11
<b><u>Osmeriformes</u></b>							
<b>Alepocephalidae</b>							
<i>Alepocephalus rostratus</i>		x	x	0.68	0.03	226.4	11



Συνέχεια Πίνακα 7.

Σειρά	E	M	A	OR	OL×TL <sup>-1</sup>	TL	n
<b><u>Ophidiiformes</u></b>							
<b>Bythitidae</b>							
<i>Cataetyx alleni</i>		x		1.00	0.05	85.3	9
<b><u>Perciformes</u></b>							
<b>Carangidae</b>							
<i>Trachurus mediterraneus</i>	x	x		0.34	0.03	261.3	14
<i>Trachurus picturatus</i>		x		0.30	0.03	190.8	9
<i>Trachurus trachurus</i>	x	x	x	0.31	0.03	240.4	11
<b>Gobiidae</b>							
<i>Gobius roulei</i>		x		1.13	0.04	57.8	9
<b>Labridae</b>							
<i>Labrus merula</i>	x			0.08	0.02	285.0	9
<b>Mullidae</b>							
<i>Mullus barbatus barbatus</i>	x	x		0.18	0.02	158.2	27
<i>Mullus surmuletus</i>	x			0.13	0.02	187.2	17
<b>Serranidae</b>							
<i>Serranus scriba</i>	x			0.72	0.04	137.0	9
<b>Sparidae</b>							
<i>Boops boops</i>	x	x		0.44	0.03	173.8	16
<i>Diplodus annularis</i>	x			0.66	0.04	140.0	10
<i>Diplodus sargus sargus</i>	x			0.36	0.03	235.0	14
<i>Pagellus erythinus</i>	x	x		0.90	0.04	207.7	24
<i>Spicara smaris</i>	x	x		0.45	0.03	152.1	18
<b>Σύνολο ειδών</b>	16	15	6				296
<b>Μέση τιμή OR</b>	0.40	0.82	1.22				

E= επιπελαγική, M= μεσοπελαγική, A= αβυσσοπελαγική, TL= μέση τιμή του ολικού μήκους σώματος ανά είδος, n= ο αριθμός παρατηρήσεων (ωτολίθων) ανά είδος.

### 3.1.3 Μορφομετρικά Χαρακτηριστικά των Ωτολίθων για κάθε Ομάδα Βάθους

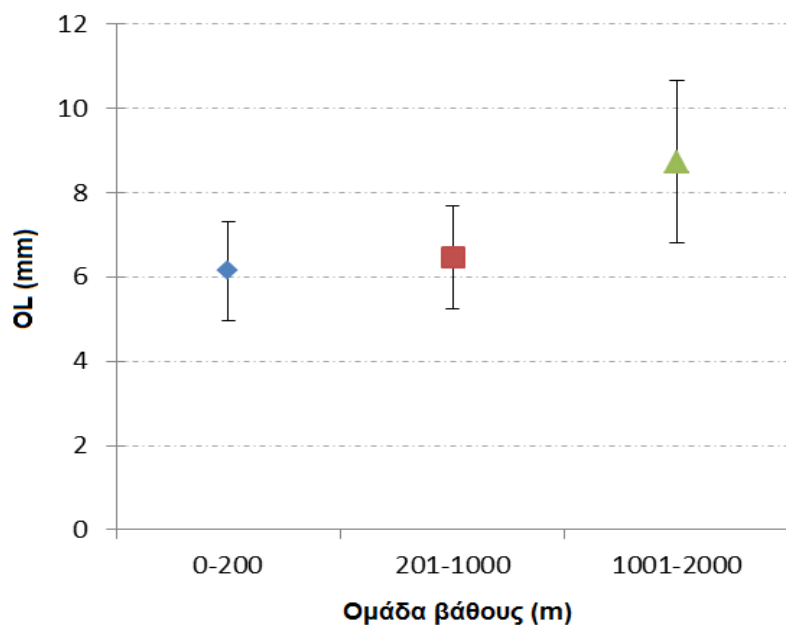
Αφού εξετάσαμε τη σχέση του δείκτη OR, ελέγξαμε και τη συσχέτιση άλλων χαρακτηριστικών μεγεθών των ωτολίθων με το βάθος διαβίωσης των ιχθύων. Ειδικότερα, ελέγξαμε τα μεγέθη του μήκους (OL), του πλάτους (OW), της περιμέτρου (OP) και της επιφάνειας (OA) των τοξοειδών ωτολίθων. Υπολογίστηκε η μέση τιμή των μεγεθών για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης των ψαριών και το αντίστοιχο τυπικό σφάλμα, ως μέτρο της διακύμανσης του δείγματος. Ακολούθησε ο έλεγχος της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD, Least Significant Difference) κατά Fisher, με τη βοήθεια του οποίου εντοπίστηκαν τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% για κάθε μέση τιμή των μεγεθών. Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 8. Στις Εικόνες 9, 10, 11 και 12 φαίνεται η αύξηση των OL, OW, OP και OA, αντίστοιχα, καθώς το βάθος διαβίωσης των ψαριών μεγαλώνει. Αναλυτικότερα, οι τιμές των προαναφερθέντων μεγεθών ανά είδος, καθώς επίσης, η μέση τιμή του ολικού μήκους σώματος (TL), ο αριθμός των ατόμων (n) και η ομάδα βάθους στην οποία αντιστοιχεί κάθε είδος φαίνονται στον Πίνακα 9. Στο τέλος του Πίνακα αναφέρονται ο συνολικός αριθμός ειδών ανά ομάδα βάθους και ο συνολικός αριθμός εξεταζόμενων ειδών και ατόμων.

Έγινε ανάλυση της διακύμανσης των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο ANOVA, προκειμένου να ελεγχθεί η διακύμανση για κάθε μέγεθος των ωτολίθων ξεχωριστά. Και για τα τέσσερα μεγέθη προέκυψε P-value μεγαλύτερο από 0.05. Αναλυτικότερα, ο λόγος F και το P-value για κάθε μεταβλητή ήταν οι εξής: για το μήκος των ωτολίθων (OL)  $F= 1.42$  και  $P= 0.26$ , για το πλάτος (OW)  $F= 2.06$  και  $P= 0.14$ , για την περίμετρο (OP)  $F= 1.82$  και  $P= 0.18$  και για την επιφάνεια (OA)  $F= 1.50$  και  $P= 0.24$ . Επομένως, δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο μήκος, το πλάτος, την περίμετρο και την επιφάνεια των ωτολίθων μεταξύ των τριών ομάδων βάθους διαβίωσης, σε διάστημα εμπιστοσύνης 95.0%. Το αποτέλεσμα αυτό γίνεται φανερό στις Εικόνες 9, 10, 11 και 12, όπου τα όρια εμπιστοσύνης LSD κατά Fisher συχνά αλληλεπικαλύπτονται στις διαφορετικές ομάδες βάθους.

**Πίνακας 8.** Οι τιμές των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ωτολίθων για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης των ιχθύων.

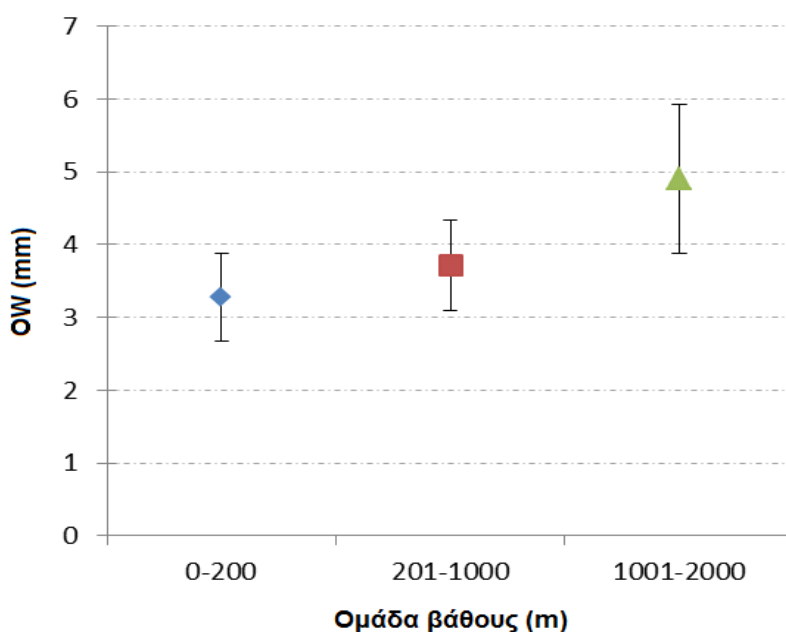
Ομάδα Βάθους (m)		OL	OW	OP	OA	n
0-200	Μέση τιμή	6.14	3.28	17.16	16.23	16
	Ελάχιστη	2.56	1.29	7.26	2.29	
	Μέγιστη	13.78	6.52	37.59	53.59	
	Τυπικό Σφάλμα	0.82	0.42	2.29	4.09	
	Ελάχιστο Όριο	4.97	2.67	13.87	10.35	
	Μέγιστο Όριο	7.32	3.88	20.45	22.11	
201-1000	Μέση τιμή	6.47	3.72	18.37	18.78	15
	Ελάχιστη	2.41	1.38	7.71	2.81	
	Μέγιστη	13.78	7.98	38.96	55.46	
	Τυπικό Σφάλμα	0.85	0.43	2.36	4.22	
	Ελάχιστο Όριο	5.26	3.10	14.97	12.71	
	Μέγιστο Όριο	7.69	4.34	21.77	24.85	
1001-2000	Μέση τιμή	8.73	3.72	25.39	29.70	6
	Ελάχιστη	5.03	1.29	17.15	12.01	
	Μέγιστη	13.78	7.98	38.96	55.46	
	Τυπικό Σφάλμα	1.34	0.68	3.74	6.68	
	Ελάχιστο Όριο	6.81	3.92	20.02	20.11	
	Μέγιστο Όριο	10.65	5.89	30.76	39.30	

n= αριθμός παρατηρήσεων.



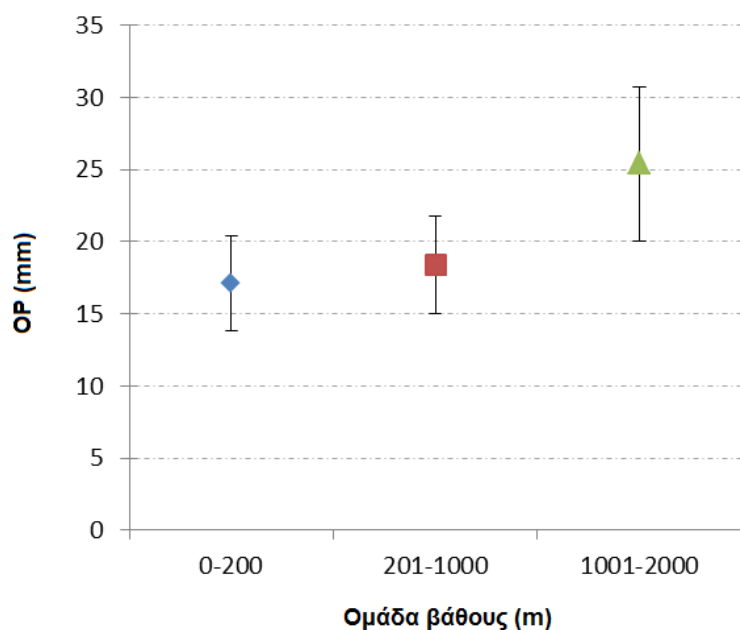
**Εικόνα 9.** Μήκος των ωτολίθων σε κάθε ομάδα βάθους.

Απεικονίζονται οι μέσες τιμές του μήκους των ωτολίθων, *OL*, για τις ομάδες της επιπελαγικής, μεσοπελαγικής και αβυσσοπελαγικής ζώνης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% *LSD* που αντιστοιχούν σε κάθε μέση τιμή *OL*.



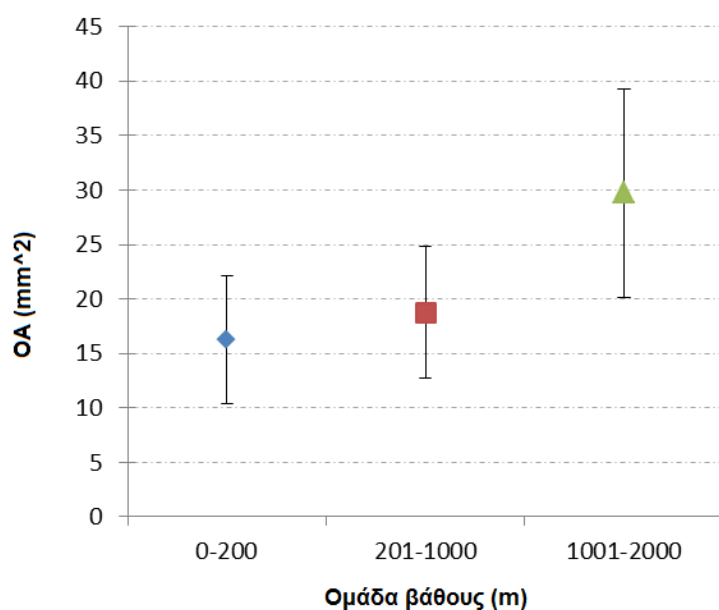
**Εικόνα 10.** Πλάτος ωτολίθων (*OW*) για κάθε ομάδα βάθους.

Απεικονίζονται οι μέσες τιμές του πλάτους των ωτολίθων, *OW*, για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% *LSD* που αντιστοιχούν σε κάθε μέση τιμή *OW*.



**Εικόνα 11.** Περίμετρος των ωτολίθων (OP) για κάθε ομάδα βάθους.

Απεικονίζονται οι μέσες τιμές της περιμέτρου των ωτολίθων, OP, για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% LSD που αντιστοιχούν σε κάθε μέση τιμή OP.



**Εικόνα 12.** Επιφάνεια των ωτολίθων (OA) για κάθε ομάδα βάθους.

Απεικονίζονται οι μέσες τιμές της επιφάνειας των ωτολίθων, OA, για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% LSD που αντιστοιχούν σε κάθε μέση τιμή OA.

**Πίνακας 9.** Οι αντιπρόσωποι κάθε ομάδας βάθους και οι τιμές των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ωτολίθων τους για το μήκος (OL), το πλάτος (OW), την περίμετρο (OP) και την επιφάνεια (OA).

<b>Σειρά</b>	<b>E</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>OL</b>	<b>OW</b>	<b>OP</b>	<b>OA</b>	<b>TL</b>	<b>n</b>
<b><u>Clupeiformes</u></b>									
<b>Clupeidae</b>									
<i>Sardina pilchardus</i>	x			2.56	1.29	7.26	2.29	136.7	9
<b>Engraulidae</b>									
<i>Engraulis encrasicolus</i>	x	x		2.96	1.38	8.03	2.81	127.6	11
<b><u>Gadiformes</u></b>									
<b>Merlucciidae</b>									
<i>Merluccius merluccius</i>	x	x	x	13.78	5.62	37.59	53.59	292.1	18
<b>Moridae</b>									
<i>Mora moro</i>		x	x	13.11	7.98	38.96	55.46	292.1	12
<b><u>Lophiiformes</u></b>									
<b>Chaunacidae</b>									
<i>Chaunax suttkusi</i>		x	x	6.13	4.23	17.82	18.99	166.3	8
<b>Lophiidae</b>									
<i>Lophius budegassa</i>		x	x	6.83	4.41	20.93	21.08	388.5	10
<b><u>Mugiliformes</u></b>									
<b>Mugilidae</b>									
<i>Mugil cephalus</i>	x			8.38	3.95	23.19	23.72	310.1	10
<i>Liza aurata</i>	x			9.55	5.22	28.41	34.00	417.3	11
<b><u>Osmeriformes</u></b>									
<b>Alepocephalidae</b>									
<i>Alepocephalus rostratus</i>		x	x	5.03	3.66	17.15	12.01	226.4	11

Συνέχεια Πίνακα 9.

Σειρά	E	M	A	OL	OW	OP	OA	TL	n
<b><u>Ophidiiformes</u></b>									
<b>Bythitidae</b>									
<i>Cataetyx alleni</i>		x		3.91	1.92	9.94	5.56	85.3	9
<b><u>Perciformes</u></b>									
<b>Carangidae</b>									
<i>Trachurus mediterraneus</i>	x	x		7.66	3.87	19.97	19.41	261.3	14
<i>Trachurus picturatus</i>		x		5.52	2.58	14.55	9.30	190.8	9
<i>Trachurus trachurus</i>	x	x	x	7.49	3.53	19.87	17.09	240.4	11
<b>Gobiidae</b>									
<i>Gobius roulei</i>		x		2.41	1.97	7.71	3.64	57.8	9
<b>Labridae</b>									
<i>Labrus merula</i>	x			4.20	2.10	12.24	5.57	285.0	9
<b>Mullidae</b>									
<i>Mullus barbatus barbatus</i>	x	x		2.92	2.07	8.90	4.08	158.2	27
<i>Mullus surmuletus</i>	x			3.12	2.13	9.40	4.55	187.2	17
<b>Serranidae</b>									
<i>Serranus scriba</i>	x			4.84	2.16	12.67	7.34	137.0	9
<b>Sparidae</b>									
<i>Boops boops</i>	x	x		5.58	3.30	14.96	12.24	173.8	16
<i>Diplodus annularis</i>	x			4.88	3.01	14.06	9.97	140.0	10
<i>Diplodus sargus sargus</i>	x			6.66	3.48	18.78	16.62	235.0	14
<i>Pagellus erythinus</i>	x	x		8.62	6.52	25.65	36.99	207.7	24
<i>Spicara smaris</i>	x	x		5.12	2.79	13.53	9.40	152.1	18
<b>Σύνολο ειδών</b>	16	15	6						296

E= επιπελαγική, M= μεσοπελαγική, A= αβυσσοπελαγική, TL= μέση τιμή του ολικού μήκους σώματος ανά είδος, n= ο αριθμός παρατηρήσεων (ωτολίθων) ανά είδος.

### 3.2 Μορφολογία των Ωτολίθων

Προκειμένου να ελέγξουμε τη διαφοροποίηση της μορφολογίας των ωτολίθων σε σχέση με την αύξηση του βάθους διαβίωσης των ιχθύων, εξετάσαμε συγκεκριμένους δείκτες στις τρεις ομάδες βάθους, την επιπελαγική, τη μεσοπελαγική και τη βαθυπελαγική. Ειδικότερα, υπολογίσαμε την Αναλογία των Διαστάσεων ( $R_A$ ), το Συντελεστή Σχήματος ( $F_F$ ), τη Στρογγυλότητα ( $R_O$ ), την Κυκλικότητα ( $C$ ), το Συντελεστή Σχήματος για Ορθογώνιο ( $R_T$ ) και την Ελλειπτικότητα ( $E_L$ ), χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις των μορφομετρικών μεγεθών που είχαμε συγκεντρώσει για κάθε ωτόλιθο και τις εξισώσεις των δεικτών του σχήματος των ωτολίθων που φαίνονται στον Πίνακα 2. Υπολογίστηκε η μέση τιμή κάθε μεγέθους για το σύνολο των ωτολίθων κάθε είδους ψαριού και ακολούθησε ο έλεγχος της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD, Least Significant Difference) κατά Fisher, με τη βοήθεια του οποίου εντοπίστηκαν τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% για κάθε μέση τιμή των μεγεθών. Η μέση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή, το μέγιστο και το ελάχιστο όριο των διαστημάτων εμπιστοσύνης LSD για τους δείκτες κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης των ψαριών αναγράφονται στον Πίνακα 10. Στα Διαγράμματα 13, 14, 15, 16, 17 και 18 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και τα διαστήματα εμπιστοσύνης LSD για τους δείκτες  $R_A$ ,  $F_F$ ,  $R_O$ ,  $C$ ,  $R_T$  και  $E_L$ , αντίστοιχα, όπου φαίνεται να μην υπάρχει κάποια συσχέτιση των δεικτών με το βάθος διαβίωσης των ψαριών. Πιο αναλυτικά, οι μέσες τιμές των προαναφερθέντων μεγεθών ανά είδος, η μέση τιμή του ολικού μήκους σώματος (TL), ο αριθμός των ατόμων (n), καθώς και η ομάδα βάθους στην οποία αντιστοιχεί κάθε είδος φαίνονται στον Πίνακα 11. Στο τέλος του Πίνακα αναφέρονται ο συνολικός αριθμός ειδών ανά ομάδα βάθους και ο συνολικός αριθμός εξεταζόμενων ειδών και ατόμων.

Έγινε ανάλυση της διακύμανσης των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο ANOVA, προκειμένου να ελεγχθεί η διακύμανση για κάθε δείκτη του σχήματος των ωτολίθων ξεχωριστά. Και για τα έξι μεγέθη προέκυψε P-value μεγαλύτερο από 0.05. Αναλυτικότερα, ο λόγος F και το P-value για κάθε μεταβλητή ήταν οι εξής: για την Αναλογία των Διαστάσεων  $F= 0.56$  και  $P= 0.58$ , για το Συντελεστή Σχήματος  $F= 0.95$  και  $P= 0.40$ , για τη Στρογγυλότητα  $F= 0.53$  και  $P= 0.59$ , την Κυκλικότητα  $F= 1.06$  και  $P= 0.36$ , το Συντελεστή Σχήματος για Ορθογώνιο  $F= 0.40$  και  $P= 0.67$  και την Ελλειπτικότητα  $F= 0.71$  και  $P= 0.50$ . Επομένως, δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές



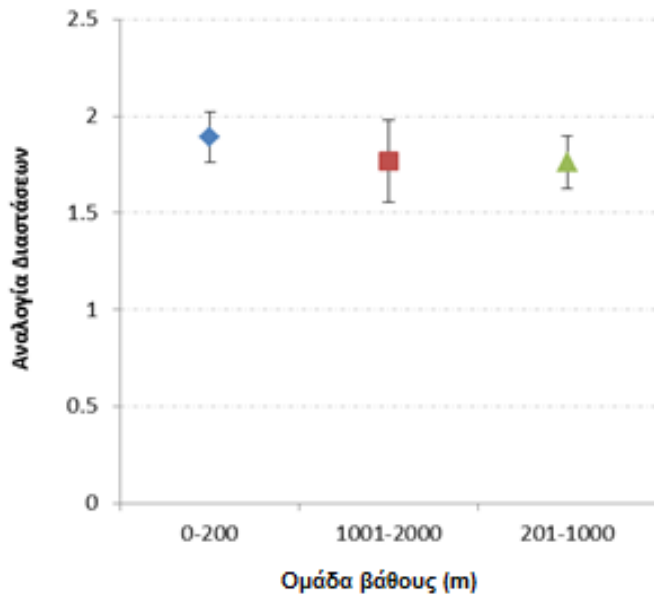
διαφορές στους προαναφερθέντες δείκτες του σχήματος των ωτολίθων μεταξύ των τριών ομάδων βάθους διαβίωσης, σε διάστημα εμπιστοσύνης 95.0%.

**Πίνακας 10.** Μέση τιμή των δεικτών του σχήματος των ωτολίθων για κάθε ομάδα βάθους.

		Ομάδα Βάθους (m)	0-200	201-1000	1001-2000	Σύνολο
Δείκτης Σχήματος	Αριθμός παρατηρήσεων		16	15	6	37
Αναλογία Διαστάσεων	Μέση		1.89	1.77	1.76	1.82
	Ελάχιστη		1.33	1.38	1.22	1.22
	Μέγιστη		2.46	2.46	2.46	2.46
	Τυπικό Σφάλμα		0.09	0.15	0.09	
	Ελάχιστο Όριο		1.76	1.56	1.63	
	Μέγιστο Όριο		2.02	1.98	1.89	
Συντελεστής Σχήματος	Μέση		0.59	0.62	0.56	0.60
	Ελάχιστη		0.47	0.46	0.46	0.46
	Μέγιστη		0.71	0.77	0.75	0.77
	Τυπικό Σφάλμα		0.02	0.02	0.04	
	Ελάχιστο Όριο		0.56	0.58	0.51	
	Μέγιστο Όριο		0.62	0.65	0.61	
Στρογγυλότητα	Μέση		0.47	0.51	0.50	0.49
	Ελάχιστη		0.36	0.36	0.36	0.36
	Μέγιστη		0.64	0.8	0.64	0.80
	Τυπικό Σφάλμα		0.03	0.03	0.04	
	Ελάχιστο Όριο		0.43	0.47	0.43	
	Μέγιστο Όριο		0.51	0.55	0.56	

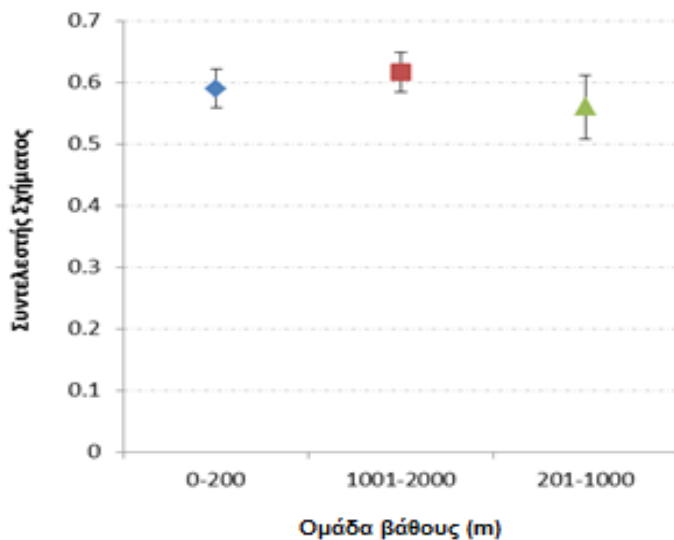
Συνέχεια Πίνακα 10.

	Ομάδα Βάθους (m)	0-200	201-1000	1001-2000	Σύνολο
Κυκλικότητα	Μέση	21.84	21.02	23.26	21.74
	Ελάχιστη	17.82	16.34	16.79	16.34
	Μέγιστη	27.03	27.30	27.30	27.30
	Τυπικό Σφάλμα	0.80	0.83	1.31	
	Ελάχιστο Όριο	20.69	19.83	21.38	
	Μέγιστο Όριο	22.99	22.21	25.13	
Συντελεστής Σχήματος για Ορθογώνιο	Μέση	0.68	0.67	0.66	0.67
	Ελάχιστη	0.63	0.53	0.53	0.53
	Μέγιστη	0.72	0.76	0.73	0.76
	Τυπικό Σφάλμα	0.01	0.01	0.02	
	Ελάχιστο Όριο	0.66	0.66	0.63	
	Μέγιστο Όριο	0.69	0.69	0.69	
Ελλειπτικότητα	Μέση	0.30	0.26	0.26	0.28
	Ελάχιστη	0.14	0.10	0.16	0.10
	Μέγιστη	0.42	0.42	0.42	0.42
	Τυπικό Σφάλμα	0.02	0.02	0.04	
	Ελάχιστο Όριο	0.26	0.23	0.21	
	Μέγιστο Όριο	0.33	0.30	0.32	



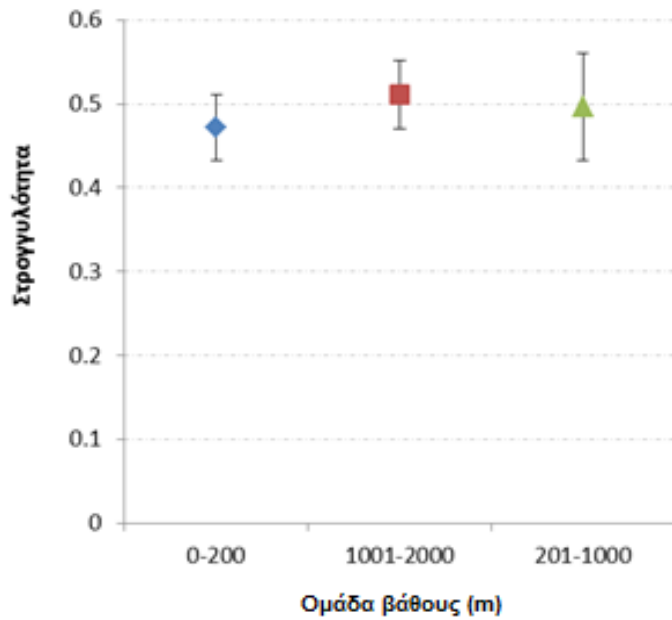
**Εικόνα 13.** Αναλογία Διαστάσεων ( $R_A$ ) για κάθε ομάδα βάθους.

Απεικονίζονται οι μέσες τιμές της Αναλογίας Διαστάσεων των ωτολίθων ( $R_A$ ) για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% LSD που αντιστοιχούν σε κάθε μέση τιμή  $R_A$ .



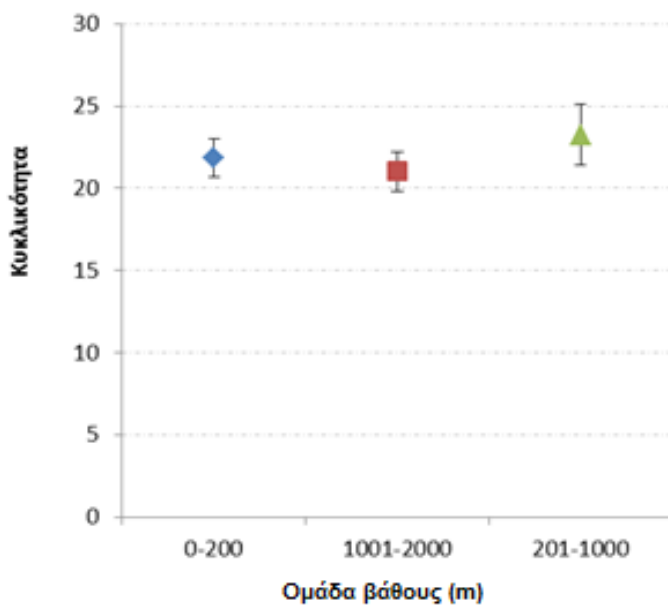
**Εικόνα 14.** Συντελεστής Σχήματος ( $F_F$ ) για κάθε ομάδα βάθους.

Απεικονίζονται οι μέσες τιμές του Συντελεστή Σχήματος των ωτολίθων ( $F_F$ ) για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% LSD που αντιστοιχούν σε κάθε μέση τιμή  $F_F$ .



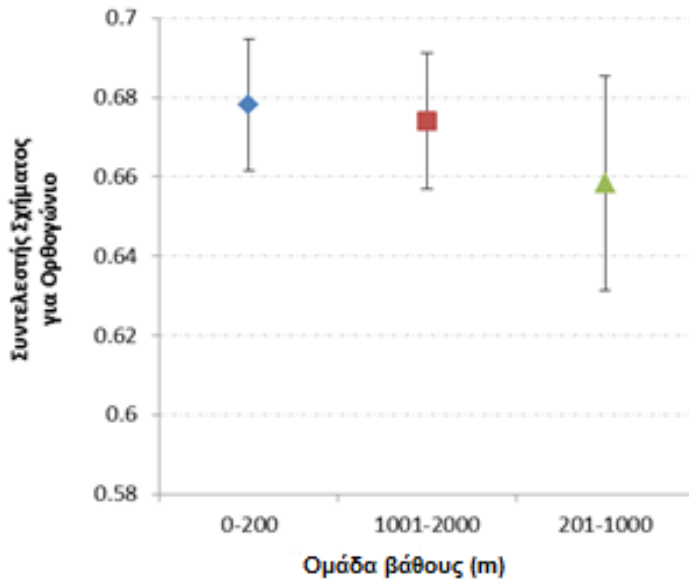
**Εικόνα 15.** Στρογγυλότητα ( $R_0$ ) για κάθε ομάδα βάθους.

Απεικονίζονται οι μέσες τιμές της Στρογγυλότητας ( $R_0$ ) για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% LSD που αντιστοιχούν σε κάθε μέση τιμή  $R_0$ .



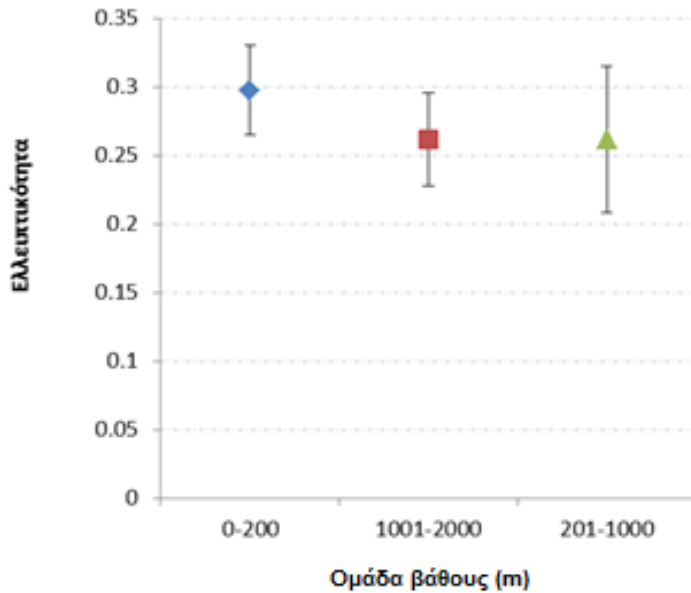
**Εικόνα 16.** Κυκλικότητα (C) για κάθε ομάδα βάθους.

Απεικονίζονται οι μέσες τιμές της Κυκλικότητας (C) για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% LSD που αντιστοιχούν σε κάθε μέση τιμή C.



**Εικόνα 17.** Συντελεστής Σχήματος για Ορθογώνιο ( $R_T$ ) για κάθε ομάδα βάθους.

Απεικονίζονται οι μέσες τιμές του Συντελεστή Σχήματος για Ορθογώνιο ( $R_T$ ) για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% LSD που αντιστοιχούν σε κάθε μέση τιμή  $R_T$ .



**Εικόνα 18.** Ελλειπτικότητα ( $E_L$ ) για κάθε ομάδα βάθους.

Απεικονίζονται οι μέσες τιμές της Ελλειπτικότητας ( $E_L$ ) για κάθε ομάδα βάθους διαβίωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε επίπεδο 95.0% LSD που αντιστοιχούν σε κάθε μέση τιμή  $E_L$ .

Πίνακας 11. Ομάδες βάρους και δείκτες σχήματος των ωτολίθων κάθε είδους.

Σειρά	E	M	A	R <sub>A</sub>	F <sub>F</sub>	R <sub>O</sub>	C	R <sub>T</sub>	E <sub>L</sub>	TL	n
<b><u>Clupeiformes</u></b>											
<b>Clupeidae</b>											
<i>Sardina pilchardus</i>	x			1.99	0.54	0.44	23.10	0.69	0.33	136.7	9
<b>Engraulidae</b>											
<i>Engraulis encrasicolus</i>	x	x		2.15	0.55	0.41	23.05	0.69	0.36	127.6	11
<b><u>Gadiformes</u></b>											
<b>Merlucciidae</b>											
<i>Merluccius merluccius</i>	x	x	x	2.46	0.48	0.36	26.52	0.69	0.42	292.1	18
<b>Moridae</b>											
<i>Mora moro</i>		x	x	1.64	0.46	0.41	27.30	0.53	0.24	292.1	12
<b><u>Lophiiformes</u></b>											
<b>Chaunacidae</b>											
<i>Chaunax suttkusi</i>		x	x	1.45	0.75	0.64	16.79	0.73	0.18	166.3	8
<b>Lophiidae</b>											
<i>Lophius budegassa</i>		x	x	1.55	0.60	0.58	21.04	0.70	0.21	388.5	10
<b><u>Mugiliformes</u></b>											
<b>Mugilidae</b>											
<i>Mugil cephalus</i>	x			2.15	0.56	0.43	22.79	0.72	0.36	310.1	10
<i>Liza aurata</i>	x			1.83	0.53	0.48	23.84	0.68	0.29	417.3	11
<b><u>Osmeriformes</u></b>											
<b>Alepocephalidae</b>											
<i>Alepocephalus rostratus</i>		x	x	1.38	0.52	0.60	24.67	0.65	0.16	226.4	11

Συνέχεια Πίνακα 11.

Σειρά	E	M	A	R <sub>A</sub>	F <sub>F</sub>	R <sub>O</sub>	C	R <sub>T</sub>	E <sub>L</sub>	TL	n
<b><u>Ophidiiformes</u></b>											
<b>Bythitidae</b>											
<i>Cataetyx alleni</i>		x		2.04	0.71	0.46	17.83	0.74	0.34	85.3	9
<b><u>Perciformes</u></b>											
<b>Carangidae</b>											
<i>Trachurus mediterraneus</i>	x	x		1.98	0.61	0.42	20.60	0.66	0.33	261.3	14
<i>Trachurus picturatus</i>		x		2.14	0.55	0.39	22.82	0.65	0.36	190.8	9
<i>Trachurus trachurus</i>	x	x	x	2.13	0.55	0.39	23.21	0.65	0.36	240.4	11
<b>Gobiidae</b>											
<i>Gobius roulei</i>		x		1.22	0.77	0.80	16.34	0.76	0.10	57.8	9
<b>Labridae</b>											
<i>Labrus merula</i>	x			2.00	0.47	0.40	27.03	0.63	0.33	285.0	9
<b>Mullidae</b>											
<i>Mullus barbatus barbatus</i>	x	x		1.41	0.65	0.61	19.42	0.68	0.17	158.2	27
<i>Mullus surmuletus</i>	x			1.47	0.65	0.59	19.54	0.68	0.19	187.2	17
<b>Serranidae</b>											
<i>Serranus scriba</i>	x			2.25	0.57	0.40	21.93	0.70	0.38	137.0	9
<b>Sparidae</b>											
<i>Boops boops</i>	x	x		1.69	0.69	0.50	18.38	0.66	0.26	173.8	16
<i>Diplodus annularis</i>	x			1.62	0.63	0.53	21.40	0.68	0.24	140.0	10
<i>Diplodus sargus sargus</i>	x			1.92	0.60	0.48	21.33	0.72	0.31	235.0	14
<i>Pagellus erythinus</i>	x	x		1.33	0.71	0.64	17.82	0.66	0.14	207.7	24
<i>Spicara smaris</i>	x	x		1.84	0.65	0.46	19.51	0.66	0.29	152.1	18
<b>Σύνολο ειδών</b>	16	15	6								296

E= επιπελαγική, M= μεσοπελαγική, A= αβυσσοπελαγική, R<sub>A</sub>= αναλογία διαστάσεων, F<sub>F</sub>= συντελεστής σχήματος, R<sub>O</sub>= στρογγυλότητα, C= κυκλικότητα, R<sub>T</sub>= συντελεστής σχήματος για ορθογώνιο, E<sub>L</sub>= ελλειπτικότητα, TL= μέση τιμή του ολικού μήκους σώματος ανά είδος, n= ο αριθμός παρατηρήσεων (ωτολίθων) ανά είδος.

## 4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1 Η Επίδραση του Βάθους στα Μορφομετρικά Χαρακτηριστικά των Ωτολίθων

Συσχέτιση βρέθηκε μεταξύ του μεγέθους των ωτολίθων και του βάθους διαβίωσης των ψαριών. Συγκρίνοντας το δείκτη του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων (OR) των τριών ομάδων βάθους διαβίωσης, προέκυψε ότι ο δείκτης είναι μεγαλύτερος σε ομάδες αυξημένου βάθους του ενδιαιτήματος των ψαριών. Η μέση τιμή του δείκτη του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3, είναι 0.40 για τα ψάρια της επιπελαγικής ζώνης, 0.82 για τα ψάρια της μεσοπελαγικής και 1.22 για τα ψάρια της βαθυπελαγικής ζώνης. Αντίστοιχη είναι και η αύξηση της διάμεσης τιμής του OR από 0.35 στην επιπελαγική, σε 0.45 στη μεσοπελαγική και σε 0.69 στη βαθυπελαγική (Πίνακας 4). Στην Εικόνα 2 φαίνεται πως η εκατοστιαία αναλογία των μικρών ωτολίθων μειώνεται από 37.50% στην επιπελαγική ζώνη σε 20.00% στη μεσοπελαγική και μηδενίζεται στη βαθυπελαγική ζώνη. Αντίθετα, η εκατοστιαία αναλογία των μεγάλων ωτολίθων αυξάνει από 25.00% στην επιπελαγική ζώνη σε 46.67% στη μεσοπελαγική και μεγιστοποιείται στη βαθυπελαγική σε 66.67% της αντίστοιχης ομάδας βάθους διαβίωσης. Η προφανής αύξηση της μέσης τιμής του δείκτη OR και της εκατοστιαίας αναλογίας των μεγάλων ωτολίθων στις βαθύτερες ζώνες διαβίωσης είναι σύμφωνη με την αρχική υπόθεση, με βάση την οποία η αύξηση του βάθους διαβίωσης συνεπάγεται αύξηση του μεγέθους των ωτολίθων.

Αντίστοιχα ήταν και τα αποτελέσματα που βρέθηκαν κατά τη σύγκριση του λόγου του μήκους του ωτολίθου προς το ολικό μήκος σώματος του ψαριού ( $OL \times TL^{-1}$ ). Η μέση τιμή του λόγου αυξήθηκε από 0.0306 στα ψάρια της επιπελαγικής ζώνης, σε 0.0373 στις μεσοπελαγικής και σε 0.0433 στις βαθυπελαγικής ζώνης. Η διάμεση τιμή βρέθηκε 0.03 στην επιπελαγική, 0.03 στη μεσοπελαγική και 0.04 στη βαθυπελαγική ζώνη.

Κατά τη σύγκριση των μέσων τιμών των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ωτολίθων, του μήκους (OL), του πλάτους (OW), της περιμέτρου (OP) και της επιφάνειας (OA), για κάθε ομάδα βάθους, παρατηρήθηκε αύξηση των τιμών ως συνεπακόλουθο της αύξησης του βάθους διαβίωσης των ψαριών, μία συσχέτιση που,



ωστόσο, μετά από στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων κρίθηκε στατιστικά ασήμαντη.

Ο δείκτης του σχετικού μεγέθους των ωτολίθων και ο λόγος του μήκους του ωτολίθου προς το ολικό μήκος σώματος του ψαριού θεωρούνται πιο αντιπροσωπευτικά μεγέθη, καθώς λαμβάνουν υπ' όψιν το μήκος του ψαριού, μία σημαντική παράμετρο του μεγέθους των ωτολίθων (Lombarte, 1992; Harvey et al., 2000). Μάλιστα, ο δείκτης OR θεωρείται ως ο πλέον κατάλληλος της σύγκρισης, αφού συμπληρωματικά του ολικού μήκους του ψαριού εμπεριέχει το μέγεθος της επιφάνειας του ωτολίθου (OA), το μορφομετρικό μέγεθος που θεωρείται πιο αξιόπιστο (Paxton, 2000). Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα όλων των προαναφερθέντων συγκρίσεων συγκλίνουν στη θετική συσχέτιση του μεγέθους των ωτολίθων και του βάθους του ενδαιτήματος των ιχθύων.

Όπως φαίνεται στα αποτελέσματα που προαναφέρθηκαν, το μέγεθος των ωτολίθων υφίσταται έντονη διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών ειδών ιχθύων. Για να αιτιολογήσουμε αυτό το φαινόμενο, θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν ότι οι ωτόλιθοι αποτελούν σημαντικό μέρος του εσωτερικού αυτιού των ψαριών (Platt and Popper, 1981) και παίζουν καίριο ρόλο στη διαδικασία μεταγωγής του ήχου (Popper and Fay, 1993). Επίσης, η διαφοροποίηση στο μήκος του ωτολίθου είναι χαρακτηριστική της λειτουργίας του εσωτερικού αυτιού (Gauldie, 1988). Προκύπτει, λοιπόν, ότι η ανάγκη για ακουστική επικοινωνία, σε αυξημένο βάθος με μικρή διαπερατότητα του φωτός, εξυπηρετείται από μεγάλο μέγεθος τοξοειδών ωτολίθων. Αντίθετα, είδη της επιπελαγικής ζώνης, τα οποία στηρίζονται στην οπτική επικοινωνία, έχουν ωτολίθους μικρότερου μεγέθους (Cruz and Lombarte, 2004; Lychakov and Rebane, 2000). Τα παραπάνω αποτελέσματα ενισχύονται από μελέτες σχετικά με τις δομικές προσαρμογές του εσωτερικού αυτιού σε βαθύβια είδη ψαριών (Buran et al., 2005), καθώς και μελέτες για την παραγωγή ήχων από βαθύβια ψάρια (Mann and Jarvis, 2004).

Συνοψίζοντας, τα ψάρια που στηρίζονται στην ακουστική επικοινωνία έχουν μεγάλου μεγέθους ωτολίθους, ενώ τα ψάρια με ανεπτυγμένη οπτική επικοινωνία έχουν μικρούς ωτολίθους. Τα ψάρια της επιπελαγικής ζώνης έχουν μικρού μεγέθους ωτολίθους (Paxton, 2000). Σύμφωνα με τον Paxton (2000) το μικρό μέγεθος των ωτολίθων είναι αποτέλεσμα της εξελικτικής προσαρμογής των ιχθύων στα φαινόμενα υψηλής φωτεινότητας και αυξημένου θορύβου κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα ενισχύονται από μελέτες σύμφωνα με τις οποίες τα ψάρια

της επιπελαγικής ζώνης έχουν ανεπτυγμένες οπτικές ικανότητες (Fernald, 1988). Παρόμοια αύξηση του μεγέθους των ωτολίθων παρατηρείται σε είδη ψαριών που δραστηριοποιούνται κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπως πολλά παράκτια είδη των ομάδων sciaenids και holocentrids (Lombarte et al., 2007). Η επικοινωνία αυτών των ομάδων στηρίζεται στην παραγωγή ήχων (Lugli et al., 1995; Luczkovich et al., 1999; Paxton, 2000). Επομένως, παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ του αυξημένου σχετικού μεγέθους των ωτολίθων και της ακουστικής επικοινωνίας που προαναφέρθηκε. Επιπλέον, είδη με έντονους σωματικούς χρωματισμούς, όπως άτομα των ομάδων labrids, callionimids, dactylopterids, blennids και άλλα, τα οποία ζουν σε παράκτια νερά, χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρούς ωτολίθους (βλέπε Πίνακα 4) ως αποτέλεσμα της ανεπτυγμένης οπτικής επικοινωνίας (Lombarte et al., 2007).

## **4.2 Η Επίδραση του Βάθους στα Μορφολογικά Χαρακτηριστικά των Ωτολίθων**

Στη συγκεκριμένη μελέτη προέκυψε να μην υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του σχήματος των τοξοειδών ωτολίθων και του βάθους διαβίωσης των ψαριών. Από τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων βρέθηκε να μην υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των δεικτών του σχήματος των ωτολίθων μεταξύ των τριών ομάδων διαφορετικού εύρους βάθους διαβίωσης. Πιο συγκεκριμένα, εξετάσθηκε η διαφοροποίηση της Αναλογίας Διαστάσεων, του Συντελεστή Σχήματος, της Στρογγυλότητας, της Κυκλικότητας, του Συντελεστή Σχήματος για Ορθογώνιο και της Ελλειπτικότητας, μεταξύ των ομάδων της επιπελαγικής, της μεσοπελαγικής και της βαθυπελαγικής ζώνης.

Σύμφωνα με τη μελέτη που δημοσιεύθηκε το 2003 (b) από τους Tuset et al. για τις διαφορές της μορφολογίας του τοξοειδούς ωτολίθου σε τρία συμπάτρια είδη του γένους *Serranus*, υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ του σχήματος των ωτολίθων και του ολικού μήκους σώματος (TL) των ιχθύων. Από τις μεταβλητές που εξετάσθηκαν, ως προς το σχήμα των ωτολίθων, μοναδική εξαίρεση φάνηκε να αποτελεί η στρογγυλότητα, η οποία παρέμενε σταθερή σε σχέση με τις διάφορες τιμές TL και στα τρία είδη. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, περιμέναμε ότι η σημαντική επίδραση των διαφορετικών τιμών TL στο σχήμα των ωτολίθων δε θα μας επιτρέψει να μελετήσουμε τη σχέση μεταξύ του σχήματος των ωτολίθων των ψαριών και του βάθους του

ενδαιτημάτων τους. Προκειμένου να μελετηθεί αυτή η σχέση, θα έπρεπε να επιλεγούν άτομα με ίδιο TL έτσι, ώστε ο μοναδικός μεταβλητός παράγοντας, στη μελέτη του σχήματος των ωτολίθων, να είναι το βάθος. Όσον αφορά τη στρογγυλότητα των ωτολίθων, η οποία παρέμενε σταθερή κατά τη μεταβολή του μήκους σώματος των ψαριών, θα μπορούσε, ενδεχομένως, να μελετηθεί σε σχέση με το βάθος διαβίωσης. Ωστόσο, από τα αποτελέσματα φαίνεται πως ούτε η στρογγυλότητα συσχετίζεται με το βάθος διαβίωσης των ψαριών.

Από τη μελέτη αυτή φαίνεται πως δεν υπάρχει συσχέτιση του σχήματος των ωτολίθων και του βάθους διαβίωσης των ψαριών. Κανένας από τους δείκτες του σχήματος των ωτολίθων δε διέφερε μεταξύ των ομάδων της επιπελαγικής, μεσοπελαγικής και βαθυπελαγικής ζώνης. Η αδυναμία συσχέτισης του σχήματος των ωτολίθων και του βάθους θα μπορούσε να οφείλεται σε διαφορετικούς λόγους. Πρώτον, οι δείκτες του σχήματος των ωτολίθων δίνουν κατά προσέγγιση τιμές για το σχήμα των ωτολίθων, αφού στηρίζονται στα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των ωτολίθων. Δεύτερον, το μέγεθος του σώματος του ψαριών (TL) επιδρά στο σχήμα των ωτολίθων. Επομένως, για να διαπιστώσουμε αν όντως το σχήμα των ωτολίθων είναι ανεξάρτητο του βάθους διαβίωσης των ψαριών θα έπρεπε να γίνουν πρόσθετες μελέτες με διαφορετικούς τρόπους εκτίμησης του σχήματος, όπως για παράδειγμα ο προσδιορισμός της αναλογίας μεταξύ των επιφανειών της ακουστικής αύλακας και του τοξοειδούς ωτολίθου, καθώς και να χρησιμοποιηθούν άτομα ίδιου TL.

## 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη συγκεκριμένη μελέτη προκύπτει ότι το μέγεθος των τοξοειδών ωτολίθων μεγαλώνει, όσο αυξάνει το βάθος του ενδαιτήματος κάθε είδους ψαριού. Ειδικότερα, το σχετικό μέγεθος των ωτολίθων (OR) και ο λόγος του μήκους του ωτολίθου προς το ολικό μήκος σώματος του ψαριού ( $OL \times TL^{-1}$ ) παρουσιάζουν θετική συσχέτιση με το βάθος διαβίωσης. Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των ωτολίθων, δηλαδή, το μήκος (OL), το πλάτος (OW), η περίμετρος (OP) και η επιφάνεια (OA), ακολουθούν την αύξηση του βάθους, αν και δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών ομάδων διαβίωσης, της επιπελαγικής (0 έως 100 μέτρα), της μεσοπελαγικής (100 έως 1000 μέτρα) και της βαθυπελαγικής ζώνης (1000 έως 2000 μέτρα).

Προκειμένου να ελεγχθεί η σχέση μεταξύ των μορφομετρικών χαρακτηριστικών και του βάθους θα έπρεπε να απομονωθούν ωτόλιθοι από περισσότερα είδη ψαριών και κυρίως από την ομάδα της βαθυπελαγικής ζώνης, στην οποία τα είδη που εντοπίσαμε ήταν περιορισμένα.

Αναφορικά με το σχήμα των ωτολίθων προέκυψε ότι δε σχετίζεται με το βάθος του ενδαιτήματος των ψαριών. Συγκεκριμένα, οι δείκτες της Αναλογίας Διαστάσεων, του Συντελεστή Σχήματος, της Στρογγυλότητας, της Κυκλικότητας, του Συντελεστή Σχήματος για Ορθογώνιο και της Ελλειπτικότητας δεν παρουσίαζαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών ομάδων βάθους διαβίωσης.

Για να διαπιστωθεί αν το σχήμα είναι ανεξάρτητο του βάθους διαβίωσης θα πρέπει να γίνουν επαναληπτικές έρευνες στις οποίες θα χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές μέθοδοι εκτίμησης του σχήματος των ωτολίθων. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν επιπλέον ωτόλιθοι από είδη της βαθυπελαγικής ζώνης.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Beamish, R. J., 1979. Differences in the age of Pacific hake (*Merhccius productus*) using whole otoliths and sections of otoliths. J. Fish. Res. Board Can. 36, 141-151.
- Buran, B. N., Deng, X., Popper, A. N., 2005. Structural variation in the inner ears of four deep-sea elopomorph fishes. Journal of Morphology 265, 215–225.
- Carpenter, S. J., Erickson, J. M., Holland Jr, F. D., 2003. Migration of late cretaceous fish. Nature 423, 70–74.
- Cottrell, P. E., Trites, A. W., Miller, E. H., 1996. Assessing the use of hard parts in faeces to identify harbour seal prey: results of captive-feeding trials. Can. J. Zool. 74, 875–880.
- Cruz, A., Lombarte, A., 2004. Otolith size and its relationship with colour patterns and sound production. Journal of Fish Biology 65, 1512–1525.
- Fernald, R. D., 1988. Aquatic adaptation in fish eyes. In Sensory Biology of Aquatic Animals (ed. Atema, J., Fay, R. R., Popper, A. N. & Tavalga, W. N.). New York: Springer-Verlag, 435–466.
- Gauldie, R. W., 1988. Function, form and time-keeping properties of fish otoliths. Comparative Biochemistry and Physiology 91, 395–402.
- Gauldie, R. W., 1994. The morphological basis of fish age estimation methods based on the otolith of *Nemadactylus macropterus*. Can. J. Fish Aquat. Sci. 51, 2341–2362.
- Harvey, J. T., Loughlin, T. R., Perez, M. A., Oxman, D. S., 2000. Relationship between Fish Size and Otolith Length for 63 Species of Fishes from the Eastern North Pacific Ocean. NOAA Technical Report NMFS, 150.
- Hastings, J. W., 1983. Biological diversity, chemical mechanisms, and the evolutionary origins of bioluminescent system. Journal of Molecular Evolution 19, 309–321.
- Jerlov, N. G., 1977. Classification of sea water in terms of quanta irradiance. Journal du Conseil International pour l' Exploration de la Mer 37, 281–287.

- Kumar, P., Chakraborty, S. K., Jaiswar, A. K., 2012. Comparative otolith morphology of sciaenids occurring along the north-west coast of India. *Indian J. Fish.* 59 (4), 19–27.
- Lleonart, J., Salat, J., Torres, G. J., 2000. Removing allometric effects of body size in morphological analysis. *Journal of Theoretical Biology* 205, 85–93.
- Lombarte, A., 1992. Changes in otolith area: sensory area ratio with body size and depth. *Environmental Biology of Fishes* 33, 405–410.
- Lombarte, A., Aguirre, H., 1997. Quantitative differences in the chemoreceptor systems in the barbels of two species of Mullidae (*Mullus surmuletus* and *M. barbatus*) with different bottom habitats. *Marine Ecology Progress Series* 150, 57–64.
- Lombarte, A., Castellon, A., 1991. Inter and intraspecific otolith variability in the genus *Merluccius* as determined by image analysis. *Can. J. Zool.* 69, 2442–2449.
- Lombarte, A., Cruz, A., 2007. Otolith size trends in marine fish communities from different depth strata. *Journal of Fish Biology* 71, 53–76.
- Lombarte, A., Lleonart, J., 1993. Otolith size changes related with body growth, habitat depth and temperature. *Environmental Biology of Fishes* 37, 297–306.
- Lombarte, A., Torres, G. J., Morales-Nin, B., 2003. Specific *Merluccius* otolith growth patterns related to phylogenetic and environmental factors. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 83, 277–281.
- Lychakov, D. V., Rebane, Y. T., 2000. Otolith regularities. *Hearing Research* 143, 83–102.
- Luczkovich, J. J., Sprague, M. W., Johnson, S. E., Pullinger, R. C., 1999. Delimiting spawning areas of weakfish *Cynoscion regalis* (family Sciaenidae) in Pamlico Sound, North Carolina using passive hydroacoustic surveys. *Bioacoustics* 10, 143–160.
- Lugli, M., Pavan, G., Torricelli, P., Bobbio, L., 1995. Spawning vocalizations in male freshwater gobiids (Pisces, Gobiidae). *Environmental Biology of Fishes* 43, 219–231.

- Lythgoe, J. N., 1988. Light and Vision in the Aquatic Environment. In Sensory biology of aquatic animals (ed. Atema, J., Fay, R. R., Popper A. N., Tavolga, W. N.). New York: Springer, 57–82.
- Mann, D. A., Jarvis, S. M., 2004. Potential sound production by a deep-sea fish. *Journal of the Acoustical Society of America* 15, 2331–2333.
- Montgomery, J., Pankhurst, N., 1997. Sensory physiology. In *Physiology of Fishes* (ed. Randall, D. J., Farrell, A. P.). San Diego, CA: Academic Press, 325–349.
- Νεοφύτου, Χ., Νεοφύτου, Ν., 2015, α. Ανατομία – Φυσιολογία ψαριών. Στο *Ιχθυολογία*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press, 65–124.
- Νεοφύτου, Χ., Νεοφύτου, Ν., 2015, β. Ηλικία και ανάπτυξη των ψαριών. Στο *Ιχθυολογία*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press, 167–198.
- Oxenford, H. A., Hunte, W., Deane, R., Campana, S. E., 1994. Otolith age validation and growth-rate variation in flyingfish (*Hirundichthys affinis*) from the eastern Caribbean. *Marine Biology* 118, 585–592.
- Paxton, J. R., 2000. Fish otoliths: do sizes correlate with taxonomic group, habitat and/or luminescence? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 355, 1299–1303.
- Platt, C., Popper, A. N., 1981. Fine structure and function of the ear. In *Hearing and Sound Communication in Fishes* (ed. Tavolga, W. N., Popper, A. N. & Fay, R. R.). New York: Springer-Verlag, 3–38.
- Popper, A. N., Coombs, S., 1980. Acoustic Detection by Fishes. In *Environmental Physiology of Fishes* (ed. Ali, M. A.). New York: Plenum Press, 403-430.
- Popper, A. N., Fay, R. R., 1993. Sound detection and processing by fish: critical review and major research questions. *Brain, Behaviour and Evolution* 41, 14–38.
- Pollard, D., 2010. *Labrus merula*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T187541A8562713.
- Popper, A. N., Rogers, P. H., Saidel, W. M., Sox, M., 1988. Role of the fish ear in sound processing. In *Sensory biology of aquatic animals* (ed. Atema, J., Fay, R. R., Popper, A. N. & Tavolga, W. N.). New York: Springer, 687–710.

- Russ, J. C., 1990. Image Measurements. In *Computer-Assisted Microscopy: The Measurement and Analysis of Images*. New York, NY: Plenum Press, 175–220.
- Stambler, N., 2013. The Mediterranean Sea – Primary Productivity. In *The Mediterranean Sea: Its history and present challenges* (ed. Goffredo, S., Dubinsky, Z.). Springer Science & Business Media, 113–122.
- Torres, G. J., Lombarte, A., Morales-Nin, B., 2000. Variability of the salcus acusticus in the sagittal otolith of the genus *Merluccius* (Merlucciidae). *Fishery Research* 46, 5–13.
- Tuset, V. M., Lozano, I. J., Gonzalez, J. A., Pertusa, J. F., Garcia-Diaz, M. M., 2003, a. Shape indices to identificate regional differences in otolith morphology of comber *Serranus cabrilla* (L., 1758). *Journal of Applied Ichthyology* 19, 88-93.
- Tuset, V. M., Lombarte, A., Gonzalez, J. A., Pertusa, J. F., Lorente M. J., 2003, b. Comparative morphology of the sagittal otolith in *Serranus spp.* *Journal of Fish Biology* 63, 1491-1504.
- Tuset, V. M., Rosin, P. L., Lombarte, A., 2006. Sagittal otolith shape used in the identification of fishes of the genus *Serranus*. *Fisheries Research*, 81, 316-325.
- Volpedo, A., Echevarria, D. D., 2003. Ecomorphological patterns of the sagitta in fish on the continental shelf off Argentine. *Fisheries Research* 60, 551–560.
- Yu, X., Cao, L., Liu, J. et al., 2014. Application of otolith shape analysis for stock discrimination and species identification of five goby species (Perciformes: Gobiidae) in the northern Chinese coastal waters. *Chin. J. Ocean. Limnol.* 32, 1060-1073.
- Wang, Y., Ye, Z., Liu, Q. J., 2010. Use of otolith shape for the identification of trumpeter sillago (*Sillago maculata*) and silver sillago (*Sillago sihama*). *Journal of Ocean University of China* 9, 286-291.
- Wozniak, B., Dera, J., 2007. Introduction: Absorption of Sunlight in the Ocean. *Light Absorption in Sea Water*, 1-10. Springer Science & Business Media.
- Zakon, H., 1988. The electroreceptors: diversity in structure and function. In *Sensory Biology of Aquatic Animals* (ed. Atema, J., Fay, R. R., Popper, A. N. & Tavolga, W. N.), 813–850. New York: Springer-Verlag.