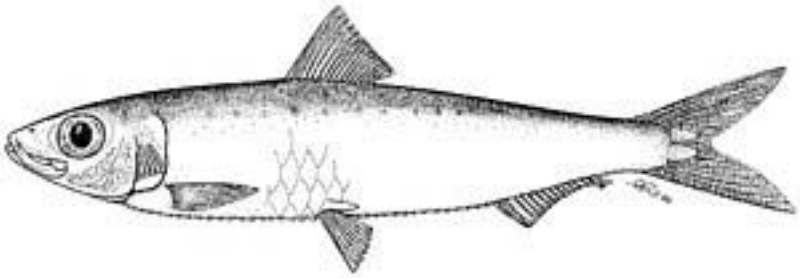
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ
UNIVERSITY OF CRETE
DEPARTMENT OF BIOLOGY

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Βελτιστοποίηση της εκτίμησης του ιχθυοαποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου και του Ιονίου Πελάγους



Κωνσταντίνος Αντωνακάκης

Ηράκλειο 2009

Στην οικογένειά μου και την Άννα

<u>Εξεταστική επιτροπή</u>:

Μιχάλης Παυλίδης (Επίκουρος καθηγητής)

Αθανάσιος Μαχιάς (Ερευνητής βαθμού Α΄)

Μαριάννα Γιαννουλάκη (Ερευνήτρια βαθμού Γ΄)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Περιβαλλοντική Βιολογία – Διαχείριση Χερσαίων και Θαλάσσιων Βιολογικών Πόρων» του Τμήματος Βιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης και διερευνήθηκε εξ' ολοκλήρου στο Ινστιτούτο Θαλάσσιων Βιολογικών Πόρων του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών. Βασίστηκε σε δεδομένα που προέρχονται από βιολογικές δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν σε εμπορικά σκάφη (γρι-γρι) στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2000-2008 καθώς και σε δεδομένα από δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια ερευνητικών πλόων με το Ε/Σ του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. «Φιλία» για την περίοδο 2003-2008. Η συλλογή των δεδομένων έγινε στα πλαίσια διαφόρων εθνικών και ευρωπαϊκών προγραμμάτων του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε και του Ινστιτούτου Αλιευτικής Έρευνας (ΙΝ.ΑΛ.Ε.) της Καβάλας (2000-2003) καθώς και στο πλαίσιο του Εθνικού Προγράμματος Συλλογής Αλιευτικών Δεδομένων του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε (2003-2008).

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στη διεκπεραίωση των παραπάνω προγραμμάτων και την πραγματοποίηση των δειγματοληψιών. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω το πλήρωμα του Ε/Σ του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε «Φιλία».

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τη Δρ. Μαριάννα Γιαννουλάκη, Ερευνήτρια Γ΄ του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., για τη συνεχή και πολύτιμη καθοδήγησή της καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας διατριβής. Διέθεσε το χρόνο της, οποτεδήποτε τη χρειάστηκα, για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων που αντιμετώπισα ενώ οι γνώσεις που μου παρείχε συνέβαλαν, πέρα από την αποπεράτωση της παρούσας διατριβής, στη βελτίωση του τρόπου σκέψης μου και την ανανέωση του ενδιαφέροντός μου για την αλιευτική έρευνα. Την ευχαριστώ για το άψογο κλίμα συνεργασίας και την υπομονή της.

Ένα μεγάλο «ευχαριστώ» οφείλω στο Δρ. Αθανάσιο Μαχιά, Ερευνητή Α΄ του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τις συμβουλές και τις υποδείξεις του κατά τη διάρκεια της διατριβής κ α την υπομον ή του. Η καθοδήγησή του στην αντιμετώπιση διαφόρων θεμάτων, επιστημονικών και μη, ήταν πολύτιμη.

Ευχαριστώ, επίσης, τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Μιχάλη Παυλίδη για την εμπιστοσύνη και την άψογη συνεργασία του.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Δρ. Στυλιανό Σωμαράκη, Ερευνητή Β΄ του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., για το χρόνο που αφιέρωσε στην επίλυση διαφόρων απορριών που είχα καθώς και για τις επικοδομητικές μας συζητήσεις.

Θα ήταν παράλειψή μου να μην ευχαριστήσω τους συναδέλφους μου Ευάγγελο Τζανάτο, Κωνσταντίνο Τσαγκαράκη, Νίκο Νικολιουδάκη, Εύη Σχισμένου, Μαρία-Μυρτώ Πυρουνάκη και Ματίνα Ίσαρη για τη βοήθεια και τη συμπαράστασή τους.

Τέλος, η πραγματοποίηση της διατριβής αυτής θα ήταν αδύνατη χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση, την υλική και ψυχολογική στήριξη της οικογένειάς μου στην οποία και αφιερώνεται.

Κωνσταντίνος Αντωνακάκης
Ηράκλειο 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή 1

2. Υλικά και Μέθοδοι 9

2.1 Συλλογή δεδομένων 9

2.2 Κατά μήκος συνθέσεις 10

2.3 Σχέσεις μήκους – βάρους 10

2.4 Προσδιορισμός της ηλικίας 11

2.5 Κλείδες ηλικίας – μήκους (ALKs) 12

2.6 Κατά ηλικία συνθέσεις, μέσο μήκος και μέσο βάρος ανά ηλικία 12

2.7 Παράμετροι αύξησης κατά von Bertalanffy 12

2.8 Φυσική θνησιμότητα 13

2.9 Μοντέλα εκτίμησης αποθεμάτων 14

2.9.1 Ολοκληρωμένη ανάλυση αλιεύματος ανά ηλικία (Integrated Catch-at-age analysis, ICA) 14

2.9.2 Εκτεταμένη ανάλυση επιζώντων (Extended Survivors Analysis, XSA) 19

(α) Βόρειο Αιγαίο 20

(β) Ιόνιο Πέλαγος 21

2.10 Εργαλεία εφαρμογής των μοντέλων εκτίμησης ιχθυοαποθεμάτων 22

3. Αποτελέσματα 24

3.1 Ιδιαιτερότητες στην ανάγνωση των ωτολίθων – βελτίωση της κλείδας ηλικίας – μήκους (ALK) 24

3.2 Περιγραφή εκφορτώσεων 26

3.2.1 Βόρειο Αιγαίο 26

3.2.1.1 Κατά μήκος συνθέσεις 26

3.2.1.2 Σχέση μήκους – βάρους 28

3.2.1.3 Κλείδα ηλικίας – μήκους (ALK) 28

3.2.1.4 Κατά ηλικία σύνθεση 29

3.2.1.5 Βάρος αλιεύματος ανά ηλικία 30

3.2.1.6 Μέσο μήκος ανά ηλικία 31

3.2.1.7 Σύγκριση αναπαραγωγικά ώριμης και ανώριμης βιομάζας 32

3.2.1.8 Περιγραφή του αλιευτικού στόλου 33
3.2.2 Ιόνιο Πέλαγος 35
3.2.2.1 Κατά μήκος συνθέσεις 35
3.2.2.2 Σχέση μήκους – βάρους 37
3.2.2.3 Κλείδα ηλικίας – μήκους (ALK) 38
3.2.2.4 Κατά ηλικία σύνθεση 38
3.2.2.5 Βάρος αλιεύματος ανά ηλικία 38
3.2.2.6 Μέσο μήκος ανά ηλικία 40
3.2.2.7 Σύγκριση αναπαραγωγικά ώριμης και ανώριμης βιομάζας 40
3.2.2.8 Περιγραφή του αλιευτικού στόλου 41
3.2.3 Σύγκριση αλιευτικών δεδομένων Β. Αιγαίο – Ιόνιο 43
3.3 Περιγραφή πληθυσμού – Β. Αιγαίο 44
3.3.1 Κατά μήκος συνθέσεις 45
3.3.2 Κλείδα ηλικίας – μήκους (ALK) 47
3.3.3 Κατά ηλικία σύνθεση 47
3.3.4 Βάρος ανά ηλικία 48
3.3.5 Μέσο μήκος ανά ηλικία 49
3.4 Βιολογικές παράμετροι για το είδος 50
3.4.1 Άυξηση κατά von Bertalanffy 50
3.4.2 Φυσική θνησιμότητα 50
3.5 Μοντέλα εκτίμησης ιχθυοαποθεμάτων 52
3.5.1 Βόρειο Αιγαίο 52
3.5.1.1 Ολοκληρωμένη ανάλυση αλιεύματος ανά ηλικία (Integrated Catch-at-age analysis, ICA) 52
3.5.1.2. Εκτεταμένη ανάλυση επιζώντων (Extended Survivors Analysis, XSA) 60
3.5.2 Ιόνιο Πέλαγος 67
3.5.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των μοντέλων ICA – XSA στο Β. Αιγαίο 74
4. Συζήτηση 76
Περίληψη 83
Abstract 84
5. Βιβλιογραφία 85

1. Εισαγωγή

Εκτίμηση αποθεμάτων - Γενικά

Στο γενικότερο πλαίσιο της μείωσης των παγκόσμιων αλιευτικών αποθεμάτων η επιστημονική συμβολή για τη λήψη κατάλληλων διαχειριστικών μέτρων καθίσταται συνεχώς όλο και πιο απαραίτητη (FAO 1995, ICES 1997).

Η εκτίμηση των αποθεμάτων (stock assessment) αποτελεί το τμήμα της αλιευτικής επιστήμης που μελετά την κατάσταση ενός αλιευόμενου αποθέματος και τις επιπτώσεις σε αυτό διαφορετικών διαχειριστικών σχεδίων. Παρέχει πληροφορίες σχετικά με το αν η αφθονία ενός αποθέματος βρίσκεται πάνω ή κάτω από ένα ασφαλές επίπεδο αναφοράς, αν το απόθεμα δηλαδή θεωρείται υπεραλιευμένο ή μη, και εκτιμά αν το συγκεκριμένο επίπεδο της αλιευτικής προσπάθειας μπορεί να διατηρήσει ή να αλλάξει την αφθονία του αποθέματος (FAO 1995).

Με τον όρο «εκτίμηση αποθεμάτων» εννοούμε τη χρήση διαφόρων στατιστικών και μαθηματικών υπολογισμών για την πραγματοποίηση ποσοτικών προβλέψεων σχετικά με τις αποκρίσεις των πληθυσμών των ψαριών σε εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης (Hilborn & Walters 1992, Sparre & Venema 1992). Ο σκοπός της εκτίμησης των αλιευτικών αποθεμάτων είναι η παροχή επιστημονικής συμβουλής για την κατάσταση ενός συγκεκριμένου αποθέματος στους διαχειριστές της αλιείας (π.χ. υπουργεία, αρμόδιοι οργανισμοί κ.ά). Η συμβουλή αυτή δίνεται συνήθως με τη μορφή πληροφοριών για τα βιολογικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά των αποθεμάτων στο παρελθόν, το παρόν και το άμεσο ή το απώτερο μέλλον. Η συλλογή των πληροφοριών αυτών δεν είναι εύκολη καθώς (α) τα ψάρια δεν είναι οργανισμοί που μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα, (β) κινούνται συνεχώς, (γ) ο αριθμός των νέων ατόμων που παράγονται από ένα απόθεμα ποικίλει από έτος σε έτος, (δ) οι παράγοντες που επηρεάζουν την αφθονία τους είναι πολλοί κ.ά. Ο μόνος τρόπος για την εκτίμηση των αποθεμάτων είναι η εφαρμογή μαθηματικών και στατιστικών μοντέλων (Needle 2003).

Παρ' όλο που πολλά και πολύπλοκα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση των αποθεμάτων (Quinn & Deriso 1999) η «εικονική ανάλυση πληθυσμού» (Virtual Population Analysis, VPA (Pope & Shepherd 1985)), συνιστά μια τυπική μέθοδο εκτίμησης ιχθυοαποθεμάτων και χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτίμηση των θαλάσσιων αλιευτικών πόρων λόγω των μικρών της απαιτήσεων σε δεδομένα και του απλού αλγορίθμου που χρησιμοποιεί (Megrey 1989, De Valpine 2002, Chatfield 2003, Xiao 2007). Η τυπική VPA χρησιμοποιεί δεδομένα από τις εκφορτώσεις των εμπορικών

σκαφών για να εκτιμήσει την κατάσταση ενός «εικονικού» πληθυσμού στο παρελθόν. Τα δεδομένα, όμως, των εκφορτώσεων δεν είναι αντιπροσωπευτικά του πληθυσμού στη θάλασσα (Giannoulaki *et al*. 2008), τόσο από την άποψη της βιομάζας όσο και από την άποψη της ηλικιακής δομής. Αυτό συμβαίνει γιατί η σύγχρονη τεχνολογία επιτρέπει στους αλιείς να γίνονται ολοένα και πιο αποτελεσματικοί στον εντοπισμό των ψαριών, με αποτέλεσμα οι εκφορτώσεις να παραμένουν σταθερές ακόμη και όταν το απόθεμα μειώνεται.

Για το λόγο αυτό πρόσθετες πληροφορίες και συχνά πιο πολύπλοκα μοντέλα καθίστανται απαραίτητα. Τέτοιες πληροφορίες παρέχονται από ερευνητικούς πλόες και από μεθόδους εκτίμησης ιχθυοαποθεμάτων ανεξάρτητων της αλιείας (π.χ. υδροακουστικά). Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται για το συντονισμό (tuning) των αποτελεσμάτων της VPA (Hilborn & Walters 1992) σαν δείκτες αφθονίας ενώ ταυτόχρονα δίνουν μια γενική αντιπροσωπευτική εικόνα των τάσεων του πληθυσμού (Giannoulaki *et al.* 2001, Machias *et al.* 2001).

Διάφορες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για το συντονισμό της VPA (π.χ. Smith & Gavaris 1993, Darby & Flatman 1994, Patterson & Kirkwood 1995) όπως η εκτεταμένη ανάλυση επιζώντων (XSA (Shepherd 1999)), η ολοκληρωμένη ανάλυση αλιεύματος (ICA (Patterson & Melvin 1996)) και η ανάλυση χρονοσειρών (TSA (Fryer *et al*., 1998, 1999)). Όλες αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν την εξίσωση παραγωγής του Baranov (1918), που είναι εξέχουσας σημασίας για την αλιευτική επιστήμη, για να εκτιμήσουν τη σχέση μεταξύ της ολικής παραγωγής (δεδομένα εκφορτώσεων) και της αφθονίας του πληθυσμού (Beare *et al*. 2005).

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της εκτίμησης των αποθεμάτων είναι η αβεβαιότητα που πηγάζει, κατά κύριο λόγο, από το μεγάλο βαθμό μεταβλητότητας των φυσικών συστημάτων. Οι μεταβολές της αύξησης και της αναπαραγωγής των ψαριών καθώς και οι επιπτώσεις των περιβαλλοντικών παραμέτρων (βιοτικών και αβιοτικών) στις βιολογικές και οικολογικές διαδικασίες προκαλούν ένα σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας (Parsons *et al*. 1998, Fargo & Kronlund 2000). Οι μεταβολές της συμπεριφοράς των ψαριών ως προς τα αλιευτικά εργαλεία, τα λάθη και η μεροληψία στη συλλογή των δεδομένων, τα ανακριβή και χαμηλής ποιότητας δεδομένα (ηλικιακή σύνθεση ή κατά μήκος συνθέσεις) που μπορεί να χρησιμοποιούνται στις εκτιμήσεις αποτελούν πρόσθετες πηγές αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα των εκτιμήσεων πηγάζει, επίσης, από την επιλογή των μοντέλων που χρησιμοποιούνται καθώς κάποια από αυτά προσαρμόζονται καλύτερα στα δεδομένα της δυναμικής ενός αποθέματος σε σχέση με

κάποια άλλα. Συχνά, όμως, είναι αδύνατο για κάποιον να προσδιορίσει ποιο μοντέλο είναι το καταλληλότερο για ένα συγκεκριμένο απόθεμα.

Η παράμετρος της θνησιμότητας παίζει, ίσως, το σημαντικότερο ρόλο στη διαδικασία της κατανόησης της δυναμικής ενός πληθυσμού (π.χ. Εικόνα 1). Η μοντελοποίηση (ή τυποποίηση) της δυναμικής, η εκτίμηση της αφθονίας και του ρυθμού εκμετάλλευσης ενός αλιευτικού αποθέματος είναι αδύνατες χωρίς τη γνώση του ρυθμού αφαίρεσης (ρυθμός θανάτων) των ατόμων από το απόθεμα.

Εικ. 1. Το δυναμικό ισοζύγιο της κατάστασης ενός ιχθυοαποθέματος όπου φαίνονται οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την αύξηση και τη μείωση της αφθονίας του.

Υπάρχουν δύο είδη θνησιμότητας για τα ψάρια και άλλους θαλάσσιους οργανισμούς: (α) η φυσική θνησιμότητα (M) η οποία προκαλείται από φυσικά αίτια όπως είναι η θήρευση, οι ασθένειες και το γήρας και (β) η αλιευτική θνησιμότητα (F) που προκαλείται από την αλιεία. Η ολική θνησιμότητα (Z) αποτελεί το άθροισμα της φυσικής και της αλιευτικής θνησιμότητας (Z = M + F). Σε αντίθεση με την αλιευτική, η φυσική θνησιμότητα είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί καθώς ο ρυθμός των φυσικών θανάτων σπάνια μπορεί να εκτιμηθεί.

Η κλασική παραδοχή που έκαναν και συνεχίζουν να κάνουν πολλά μοντέλα εκτίμησης αποθεμάτων που στηρίζονται σε δεδομένα ηλικίας είναι αυτή της σταθερής φυσικής θνησιμότητας για όλες τις ηλικίες και τα μεγέθη των ατόμων ενός αποθέματος (Caddy 1991). Σύγχρονες εξελίξεις στη θεωρία της φυσικής θνησιμότητας προτείνουν τη μεταβολή της τιμής της σε σχέση με την ηλικία και το μέγεθος (Chen & Watanabe 1989, Abella *et al*. 1997, 1998, Andersen & Beyer 2006, Pope *et al*. 2006, Gislason *et al*. 2008). Σύμφωνα με τους Chen & Watanabe (1989) η φυσική θνησιμότητα μπορεί να διαιρεθεί στα εξής στάδια: (α) αρχικό, (β) σταθερών θανάτων και (γ) λόγω γήρατος τα οποία αντιστοιχούν στις τρείς φάσεις αύξησης: (α) αρχική, (β) σταθερή και (γ) γήρας. Η αβεβαιότητα της εκτίμησης της φυσικής θνησιμότητας έχει μεγάλη επίδραση στην

εκτίμηση της κατάστασης των αλιευόμενων αποθεμάτων και κυρίως των ειδών με μικρή διάρκεια ζωής και μεσαίου ή χαμηλού τροφικού επιπέδου (Quinn & Deriso 1999, Yingbin *et al*. 2006).

Η εκτίμηση της ηλικιακής δομής των αλιευμάτων αποτελεί βασικό βήμα για την περιγραφή της δυναμικής του πληθυσμού ενός είδους ψαριού. Παράμετροι όπως είναι η αύξηση, η στρατολόγηση, η γεννητική ωριμότητα, η θνησιμότητα και η διάρκεια ζωής μπορούν να ποσοτικοποιηθούν όταν είναι γνωστή η ηλικιακή δομή (Sparre *et al.* 1989). Η γνώση της δυναμικής ενός πληθυσμού είναι απαραίτητη, ιδίως όταν αφορά εντατικά αλιευόμενα είδη, για την εκτίμηση της κατάστασης του αποθέματος. Τα περισσότερα μοντέλα εκτίμησης αποθεμάτων στηρίζονται σε δεδομένα ηλικίας (age – structured stock assessment models) (Horbowy 1999). Η συλλογή τέτοιων δεδομένων χρίζει μεγάλης προσοχής καθώς όταν αυτά είναι ανακριβή οδηγούν σε λανθασμένα συμπεράσματα για την κατάσταση του αποθέματος και κατά συνέπεια στην εφαρμογή ακατάλληλων διαχειριστικών μέτρων (Beamish & McFarlane 1987).

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα αυτής της διαδικασίας είναι η επιλογή της καταλληλότερης σκελετικής δομής (π.χ. λέπια, ωτόλιθοι (Machias *et al*. 2002)), για την εκτίμηση της ηλικίας. Παρά το ότι τα λέπια έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως λόγω της ευκολίας που παρουσιάζουν στη συλλογή και ανάγνωση, έχουν επικριθεί ως μέθοδος καθώς δίνουν συχνά υποεκτίμηση της ηλικίας των μεγαλύτερων ατόμων ψαριών (Beamish & McFarlane 1987, Carlander 1987). Αντίθετα, η χρήση των ωτολίθων για τον προσδιορισμό της ηλικίας έχει προταθεί ως καλύτερη μέθοδος καθώς η αύξησή τους συνεχίζεται με την αύξηση του ψαριού και η απόθεση ασβεστίου είναι μεγαλύτερη στους ωτόλιθους από ότι στα λέπια (Beamish & McFarlane 1987, Carlander 1987). Βασική προϋπόθεση για την ανάγνωση της ηλικίας από οποιαδήποτε σκελετική δομή είναι η ύπαρξη ενός ετήσιου προτύπου σχηματισμού των δακτυλίων (Fowler 1995).

Οι ωτόλιθοι είναι δομές του ακουστικού συστήματος των ψαριών το οποίο χρησιμεύει στην αντίληψη του περιβάλλοντός τους (εξωτερικά ερεθίσματα, βαρύτητα). Αποτελούνται από κρυστάλλους ανθρακικού ασβεστίου, στη μορφή του αραγωνίτη, οι οποίοι εκτείνονται ακτινωτά από ένα κεντρικό πυρήνα προς τις τρείς διαστάσεις περνώντας μέσα από ένα ινώδες δίκτυο κολλαγόνου πρωτεΐνης (ωτολίνη) (Popper *et al*. 2005). Ένας ωτόλιθος αυξάνεται σε μέγεθος με την απόθεση υλικού (κρυστάλλων) στην εξωτερική του επιφάνεια. Η διαδικασία αυτή είναι περιοδική και εξαρτάται από το ρυθμό μεταβολισμού του ασβεστίου και τη σύνθεση των αμινοξέων (Mugiya 1987). Οι αδιαφανείς (opaque) και υαλώδεις (hyaline) δακτύλιοι, που δημιουργούνται σε ετήσια

βάση (Panella 1980), εκτείνονται ακτινωτά από τον πυρήνα του ωτολίθου προς το εξωτερικό τμήμα αντιπροσωπεύοντας διαφορετική αύξηση του ωτολίθου λόγω εποχικών περιβαλλοντικών αλλαγών (Radtke et *al.* 1985). Κατά τη διάρκεια ενός έτους δημιουργούνται ένας αδιαφανής και ένας υαλώδης δακτύλιος και ο συνολικός τους αριθμός δίνει την εκτίμηση της ηλικίας για ένα ψάρι. Η εναλλαγή των δακτυλίων αυτών είναι στην πραγματικότητα εναλλαγή της οπτικής πυκνότητας στην επιφάνεια του ωτολίθου (Panella 1980).

Υπάρχουν τρία ζεύγη ωτολίθων που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη δομή, το σχήμα, το μέγεθος και τη λειτουργία που επιτελούν: *sagittae*, *lapilli* και *asterisci*. Το ζεύγος των ωτολίθων *sagittae* είναι το ευρύτερα μελετούμενο λόγω του μεγάλου μεγέθους του (Berra & Aday 2004) που καθιστά ευκολότερη την εξαγωγή και την επεξεργασία του (Stevensen & Cambana 1992, Berg *et al*. 2005). Κάποιοι συγγραφείς έχουν προσδιορίσει την ημερήσια αύξηση ανήλικων ατόμων χρησιμοποιώντας τους *lapilli* ωτόλιθους (Suthers *et al.* 1989, David *et al.* 1994) και άλλοι τους *asterisci* (Bolz & Lough 1988, Lagardere 1989). Παρ' όλα αυτά δεν υπάρχουν μελέτες προσδιορισμού της ηλικίας ενήλικων ατόμων από τους περιοδικούς δακτυλίους αυτών των ωτολίθων (Espino-Barr *et al*. 2006).

Δύο είδη λαθών που μπορεί να γίνουν κατά τη διαδικασία προσδιορισμού της ηλικίας αφορούν λάθη στη δειγματοληψία (π.χ. μικρός αριθμός δείγματος) και λάθη κατά την ανάγνωση των ωτολίθων (FAO 2001). Το τελευταίο είδος σφαλμάτων μπορεί να έχει σημαντικές αρνητικές επιδράσεις στη διαδικασία εκτίμησης των αποθεμάτων.

Η πιο κοινή μέθοδος εκτίμησης της ηλικιακής σύνθεσης από δεδομένα ηλικίας (age) και μήκους (length) είναι η κατασκευή κλειδών ηλικίας - μήκους (Age – Length Keys, ALKs) (Morton & Bravington 2008) την οποία πρώτος εισήγαγε ο Fridrikson (1934). Τα ALKs περιέχουν συγχρόνως κατά ηλικία και κατά μήκος συνθέσεις συνδυασμένες ώστε να υπάρχει αντιστοίχιση μεταξύ αριθμού ατόμων, ηλικίας και κλάσης μήκους. Χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση της ηλικιακής δομής του πληθυσμού με βάση την ηλικιακή δομή ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος από τον πληθυσμό. Παρ' όλο που η χρησιμότητά τους έχει αμφισβητηθεί και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το σκοπό για τον οποίο έχουν συλλεχθεί τα δεδομένα (Kimura 1977), τα ALKs συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται ευρέως για την εκτίμηση της ηλικιακής δομής των αποθεμάτων (Horbowy 1999).

Η σημασία της συλλογής στοιχείων μήκους είναι μεγάλη για την αλιευτική έρευνα καθώς πολλές βιολογικές και αλιευτικές διεργασίες όπως είναι το τροφικό επίπεδο, η

θνησιμότητα, η επιλεκτικότητα του αλιευτικού εργαλείου, η θήρευση και η αξία των αλιευμάτων σχετίζονται με το μήκος του σώματος (κατά μήκος συνθέσεις)(Petersen 1891, Beverton & Holt 1957, Powell 1979, Stergiou 2002)

Η γνώση της σχέσης μήκους – βάρους είναι πολύ σημαντική γιατί: (α) μας δίνει τη δυνατότητα μετατροπής των εξισώσεων που περιγράφουν την αύξηση σε μήκος σε εξισώσεις που περιγράφουν την αύξηση σε βάρος και είναι απαραίτητη στα μοντέλα εκτίμησης αποθεμάτων, (β) μας δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της βιομάζας ενός είδους από δεδομένα μήκους και (γ) μας δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης των στρατηγικών ζωής ενός είδους μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών (Petrakis & Stergiou 1995, Moutopoulos & Stergiou 2002).

Ιδιαιτερότητες μικρών πελαγικών

Η ευρωπαϊκή σαρδέλα (*Sardina pilchardus* (Walbaum,1792)) και ο ευρωπαϊκός γαύρος (*Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758)) είναι μικρά πελαγικά είδη και αποτελούν ένα πολύ μεγάλο τμήμα της παγκόσμιας αλιευτικής παραγωγής (Giannoulaki *et al*. 2006). Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, το 25% περίπου της ολικής παραγωγής της σαρδέλας και σχεδόν το 90% του γαύρου αλιεύονται στη Μεσόγειο θάλασσα (Freon & Misund 1999). Στις ελληνικές θάλασσες οι εκφορτώσεις της σαρδέλας και του γαύρου αποτελούν το 1/3 περίπου της συνολικής αλιευτικής παραγωγής με τον κύριο όγκο των αλιευμάτων να εκφορτώνεται στο Β. Αιγαίο (Stergiou *et al*., 1997; Somarakis *et al*., 2006). Το μεγαλύτερο μέρος των εκφορτώσεων προκύπτει από την αλιεία με κυκλικά δίχτυα (γρι-γρι) (Stergiou 1986). Μικρότερες ποσότητες προκύπτουν από την αλιεία με δίχτυα ενώ η αλιεία με πελαγική τράτα έχει απαγορευτεί και μέχρι πρόσφατα απαγορευόταν η αλιεία με μηχανότρατα για ποσότητες πάνω του 5% του συνολικού αλιεύματος.

Τα μικρά πελαγικά είδη παρουσιάζουν διάφορα χαρακτηριστικά η γνώση των οποίων είναι απαραίτητη για την εκτίμηση της κατάστασης των αποθεμάτων τους και την εφαρμογή σωστής διαχείρισης. Το πιο σημαντικό από αυτά είναι η μικρή διάρκεια ζωής που έχει σαν αποτέλεσμα το μεγάλο βαθμό εξάρτησης της αφθονίας τους από την επιτυχημένη αναπαραγωγή και στρατολόγηση (Tserpes & Tsimenides 1991, Machias *et al*. 2001, Voulgaridou & Stergiou 2003). Συγκεκριμένα, η σαρδέλα σπάνια ξεπερνά τα 5 - 6 έτη ζωής σε όλο το εύρος των περιοχών εξάπλωσής της (Whitehead 1985). Η αναπαραγωγή και η στρατολόγηση εξαρτώνται άμεσα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες

με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται σημαντικές διακυμάνσεις στους πληθυσμούς τους στο χώρο και το χρόνο (Silva *et al*. 2006).

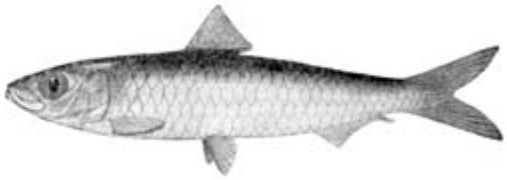
Λόγω της μεγάλης τους βιομάζας και καθώς συνιστούν ενδιάμεσο κρίκο της τροφικής αλυσίδας που συνδέει τα κατώτερα με τα ανώτερα επίπεδα, τα μικρά πελαγικά παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στο θαλάσσιο οικοσύστημα (Cury *et al*. 2003, Ratz *et al*. 2009). Οι διακυμάνσεις στην αφθονία τους λόγω της αλιείας προκαλούν μεταβολές στη δομή και τη λειτουργία του οικοσυστήματος (Shannon *et al*. 2000, Daskalov 2002). Συνεπώς, η μελέτη της δυναμικής των ειδών αυτών είναι απαραίτητη για την εκτίμηση της κατάστασής τους και για τη λήψη μέτρων διαχείρισης (Machias *et al*. 1997, 2001, Giannoulaki *et al.* 2001).

Τέλος, τα μικρά πελαγικά σχηματίζουν σχολεία (schools) οργανωμένα σε συγκεντρώσεις με συγκεκριμένα χωρικά χαρακτηριστικά (Giannoulaki *et al*. 2002). Η γνώση των χωρικών χαρακτηριστικών είναι σημαντική για την αλιευτική επιστήμη καθώς επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των ειδών για αλίευση (catchability) και κατά συνέπεια την αντικειμενική εκτίμηση των πληθυσμών τους (Fréon and Misund 1999). Τα χαρακτηριστικά αυτά αποκτούν μεγαλύτερη βαρύτητα όταν πρόκειται για αποθέματα ευαίσθητων περιοχών όπως οι κλειστές περιοχές σαν τη Μεσόγειο (Lleonard & Maynou 2003) όπου η αλιευτική πίεση είναι μεγάλη. Η αλιευτική πίεση γίνεται ακόμα εντονότερη στις περιοχές των κλειστών κόλπων καθιστώντας την εφαρμογή κατάλληλων διαχειριστικών μέτρων απαραίτητη (Giannoulaki *et al*. 2008).

Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η βελτιστοποίηση της εκτίμησης του αποθέματος της ευρωπαϊκής σαρδέλας (Εικόνα 2) στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος. Για το σκοπό αυτό δεδομένα των εκφορτώσεων του είδους από τις δύο περιοχές για την περίοδο 2000 - 2008, που συλλέχθησαν στο πλαίσιο διαφόρων εθνικών και ευρωπαϊκών προγραμμάτων, χρησιμοποιήθηκαν και αναλύθηκαν σε συνδυασμό με δύο μοντέλα εκτίμησης ιχθυοαποθεμάτων: (α) το μοντέλο της ολοκληρωμένης ανάλυσης αλιεύματος ανά ηλικία (ICA (Patterson & Melvin 1996)) και (β) της εκτεταμένης ανάλυσης επιζώντων (XSA (Shepherd 1999)). Τα μοντέλα αυτά, όπως προαναφέρθηκε, βασίζονται στη μέθοδο της «εικονικής ανάλυσης πληθυσμού» (VPA) και χρησιμοποιούν πρόσθετες πληροφορίες για το συντονισμό της. Οι πληροφορίες αυτές για το Β. Αιγαίο προέρχονται από τα αποτελέσματα της ακουστικής ερευνητικής δειγματοληψίας το μήνα Ιούνιο της περιόδου 2003 – 2008 ενώ λόγω της απουσίας ερευνητικής δειγματοληψίας στο Ιόνιο, ο

συντονισμός της VPA για την περιοχή αυτή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της παραγωγής ανά μονάδα αλιευτικής προσπάθειας (CPUE) από τα δεδομένα των εκφορτώσεων.



Εικ. 2. Η ευρωπαϊκή σαρδέλα (*Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792)).

Καθώς οι παραπάνω, όπως και οι περισσότερες, μέθοδοι εκτίμησης αποθεμάτων βασίζονται σε δεδομένα μεγέθους (μήκος, βάρος) και ηλικίας, η βελτιστοποίησή τους στηρίζεται, κυρίως, στη βελτίωση των δεδομένων της ηλικίας. Για το σκοπό αυτό, στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, διαβάστηκαν οι ωτόλιθοι της σαρδέλας για τον προσδιορισμό της κλείδας ηλικίας -μήκους για την περίοδο 2003 – 2008 στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος.Τα συνολικά δεδομένα των ωτολίθων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάγνωση των ηλικιών συλλέχθησαν την περίοδο 2003 - 2008 και προέρχονται τόσο από δεδομένα εκφορτώσεων όσο και από δεδομένα ερευνητικών πλόων.

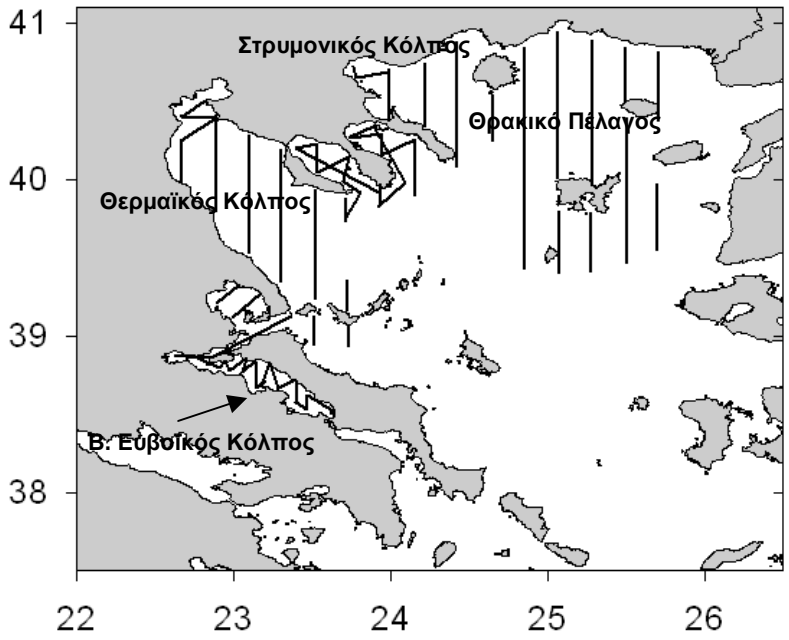
2. Υλικά και μέθοδοι

2.1. Συλλογή δεδομένων

Η παρούσα διατριβή βασίστηκε (α) σε δεδομένα που προέρχονται από βιολογικές δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν σε εμπορικά σκάφη (γρι-γρι) και (β) σε δεδομένα από ακουστικές δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια ερευνητικών πλόων. Συγκεκριμένα,

(α) τα δεδομένα των εκφορτώσεων της σαρδέλας από τα εμπορικά σκάφη (γρι – γρι) συλλέχθηκαν σε εποχική βάση από το 2000 ως το 2008 στο Βόρειο Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος. Τα δεδομένα που αφορούν την περίοδο μέχρι το 2003 προέρχονται από το σύστημα συλλογής αλιευτικών δεδομένων του ΕΛΚΕΘΕ, διάφορα εθνικά και ευρωπαϊκά προγράμματα του ΕΛΚΕΘΕ και του Ινστιτούτου Αλιευτικής Έρευνας (ΙΝΑΛΕ) της Καβάλας. Τα δεδομένα των εκφορτώσεων από το 2003 και μετά συλλέχθηκαν στο πλαίσιο του Εθνικού Προγράμματος Συλλογής Αλιευτικών Δεδομένων.

(β) Οι ερευνητικές δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν τον Ιούνιο του 2003 – 2008, με κενό το 2007, στο Β. Αιγαίο από το ερευνητικό σκάφος του ΕΛΚΕΘΕ «ΦΙΛΙΑ». Τα ακουστικά δεδομένα προέρχονται από τις ερευνητικές δειγματοληψίες και συλλέχθηκαν με τη χρήση ενός ηχοβολιστικού σχιστής δέσμης (Split Beam Biosonics DT-X) σε συχνότητα 38kHz κατά μήκος 70 προκαθορισμένων ακουστικών διατομών (Εικόνα 2.1). Η ταχύτητα του σκάφους ήταν 8 ναυτικά μίλια (ν.μ.) ανά ώρα. Οι ακουστικές διατομές ήταν παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες προς την ακτή στο Θρακικό Πέλαγος και το Θερμαϊκό Κόλπο. Στο Στρυμονικό και το Βόρειο Ευβοϊκό Κόλπο οι διατομές ακολουθούσαν ένα τριγωνικό zig-zag πρότυπο. Η απόσταση ανάμεσα στις διατομές ήταν 10 ν.μ. Η καταγραφή των ήχων ήταν συνεχής κατά μήκος των διατομών ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιούνταν σύρσεις με πελαγική τράτα (άνοιγμα ματιού 8 mm) για τη συλλογή βιολογικών δειγμάτων (Giannoulaki *et al*. 1999). Ο καταμερισμός του ήχου σε είδη βασίστηκε στη σύσταση των ειδών από τις πελαγικές σύρσεις, την ανάλυση του ηχογράμματος και την αναγνώριση των ειδών με βάση τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των κοπαδιών. Η ανάλυση των ακουστικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος Sonardata Echoview v3.30. Η ολοκλήρωση (άθροισμα) του ήχου της σαρδέλας πραγματοποιούταν ανά ένα ν.μ. που αποτελεί τη στοιχειώδη μονάδα δειγματοληψίας (Σ. Μ. Δ.). Η συνολική έκταση που καλύφθηκε από την ακουστική δειγματοληψία ήταν 31.000 km^2.



Εικ. 2.1. Οι ακουστικές διατομές κατά μήκος των οποίων πραγματοποιήθηκε η ερευνητική δειγματοληψία.

2.2. Κατά μήκος συνθέσεις

Οι κατά μήκος συνθέσεις που εκτιμήθηκαν από τις σύρσεις με πελαγική τράτα στα πλαίσια της ερευνητικής δειγματοληψίας για το μήνα Ιούνιο των ετών 2003 – 2008 στο Β. Αιγαίο είναι αντιπροσωπευτικές του πληθυσμού της σαρδέλας και βασίστηκαν στις μετρήσεις του ολικού μήκους (TL) από 31.679 άτομα. Οι κατά μήκος συνθέσεις για τις συνολικές εκφορτώσεις από τα εμπορικά σκάφη (γρι – γρι) εκτιμήθηκαν για την περίοδο 2003 – 2008 στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος σε ετήσια βάση και βασίστηκαν στις μετρήσεις του ολικού μήκους από 33.553 και 22.478 άτομα αντίστοιχα.

2.3. Σχέσεις μήκους – βάρους

Οι σχέσεις μήκους – βάρους για τη σαρδέλα στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος εκτιμήθηκαν με βάση τα δεδομένα του ολικού μήκους (TL) και βάρους (TW) από 9.739 και 7.056 άτομα αντίστοιχα με βάση την ακόλουθη εξίσωση:

$$TW = aTL^b$$

Οι αριθμητικοί συντελεστές a και b της εξίσωσης υπολογίζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Ο συντελεστής b (εκθέτης και κλίση της καμπύλης) λαμβάνει τιμές που συνήθως κυμαίνονται από 2 ως 4. Όταν b = 3 τότε το ψάρι αυξάνει ισομετρικά

(ομοιόμορφα προς τις τρείς διαστάσεις) διαφορετικά η αύξηση του βάρους δεν ακολουθεί την αύξηση του μήκους. Ειδικότερα, όταν το b < 3 τότε το ψάρι γίνεται ελαφρύτερο σε σχέση με το μήκος του καθώς το μήκος του αυξάνει και όταν το b > 3 τότε το ψάρι γίνεται βαρύτερο για το μήκος του καθώς το μήκος του αυξάνει (Στεργίου 1999).

2.4 Προσδιορισμός της ηλικίας

Για τον προσδιορισμό της ηλικίας χρησιμοποιήθηκαν δείγματα σαρδέλας από τις εκφορτώσεις των γρι – γρι στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος καθώς και από τους ερευνητικούς πλόες στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2003 – 2008, με εξαίρεση το 2007. Τα άτομα διαχωρίστηκαν ανά κλάση μήκους 1 cm και από κάθε κλάση εξήχθησαν και αναγνώστηκαν 25 ωτόλιθοι (*sagittae*).

Συνολικά, χρησιμοποιήθηκαν οι ωτόλιθοι από 8.205 άτομα. Οι ηλικίες της σαρδέλας διαβάστηκαν για την περίοδο 2003 – 2006 και για το 2008. Οι κύριες παραδοχές που έγιναν για τον προσδιορισμό της ηλικίας είναι η περιοδικότητα του σχηματισμού των δακτυλίων στους ωτόλιθους (εναλλαγή αδιαφανών και υαλωδών εποχικών ζωνών) και ότι η ημερομηνία γέννησης των ψαριών είναι η 1^{η} Ιανουαρίου που αποτελεί μια διεθνώς αποδεκτή συνθήκη (Morales-Nin 1992). Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής αναγνώστηκαν οι ηλικίες από τις φωτογραφίες των ωτολίθων (Εικόνα 2.4) με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος ανάλυσης εικόνων Image-Pro Plus 6.0.

Εικ. 2.4. Φωτογραφία ωτολίθου (*sagittae*) της σαρδέλας όπου είναι φανερή η ύπαρξη δύο «αδιαφανών» (opaque) εποχικών ζωνών.

2.5. Κλείδες ηλικίας – μήκους (ALKs)

Με βάση τα δεδομένα της ηλικίας και του ολικού μήκους κατασκευάστηκαν οι κλείδες ηλικίας – μήκους (age – length keys, ALKs) για κάθε έτος, τόσο για τις εμπορικές εκφορτώσεις της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος όσο και για την ερευνητική δειγματοληψία στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2003 - 2008. Το ALK της ερευνητικής δειγματοληψίας είναι αντιπροσωπευτικό της ηλικιακής σύνθεσης του πληθυσμού. Ένα ALK περιέχει συγχρόνως κατά ηλικία και κατά μήκος συνθέσεις συνδυασμένες ώστε να είναι δυνατόν να υπολογιστεί ο συνολικός αριθμός των ατόμων ανά ηλικία και κλάση μήκους.

2.6. Κατά ηλικία συνθέσεις, μέσο μήκος και μέσο βάρος ανά ηλικία.

Οι κατά ηλικία συνθέσεις των εκφορτώσεων της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος εκτιμήθηκαν σε ετήσια βάση για την περίοδο 2000 – 2008. Η κατά ηλικία σύνθεση από την ερευνητική δειγματοληψία, που είναι αντιπροσωπευτική του πληθυσμού της σαρδέλας, εκτιμήθηκε σε ετήσια βάση για το μήνα Ιούνιο της περιόδου 2003 – 2008.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση του μέσου μήκους ανά ηλικία περιελάμβανε τη χρήση του ετήσιου ALK, ανηγμένο στη συνολική κατά μήκος σύνθεση, τόσο για τις εκφορτώσεις όσο και για τον συνολικό πληθυσμό που εκτιμάται από την ακουστική δειγματοληψία κατά τον Ιούνιο. Η συχνότητα συμμετοχής της κάθε κλάσης μήκους σε κάθε ηλικία πολλαπλασιάστηκε με το μέσο της κάθε κλάσης μήκους. Το άθροισμά τους στο σύνολο της ηλικίας ισούται με την εκτίμηση του μέσου μήκους ανά ηλικία για την ηλικία αυτή.

Με την ίδια μεθοδολογία εκτιμήθηκε το μέσο βάρος ανά ηλικία μετατρέποντας το μέσο μήκος ανά ηλικία, με βάση την ετήσια σχέση μήκους – βάρους, σε μέσο βάρος ανά ηλικία.

2.7. Παράμετροι αύξησης κατά von Bertalanffy (1938)

Με βάση τα δεδομένα μέσου μήκους και ηλικίας πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός των παραμέτρων αύξησης (K, L∞) της εξίσωσης του von Bertalanffy (VBGF):

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-to)})$$

όπου:

L_t (cm) είναι το μήκος σώματος τη χρονική στιγμή t,

$L\infty$ (cm) είναι το ασυμπτωτικό μήκος, δηλαδή το μήκος που θα αποκτούσε ένα ψάρι αν ζούσε απεριόριστα,

K (έτη^{-1}) είναι ο ρυθμός με τον οποίο το ψάρι πλησιάζει το $L\infty$,

t (έτη) είναι η ηλικία και

t_o (έτη) είναι η υποθετική ηλικία 0 στην οποία το ψάρι έχει μηδενικό μήκος.

Η εκτίμηση των παραμέτρων αύξησης πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος STATGRAPHICS Centurion XV ενώ η κατασκευή της αντίστοιχης καμπύλης έγινε από το πρόγραμμα Microsoft Excel.

2.8. Φυσική θνησιμότητα

Για την εκτίμηση της φυσικής θνησιμότητας (M) χρησιμοποιήθηκαν διάφορες εμπειρικές εξισώσεις που βασίζονται, κυρίως, στις παραμέτρους της εξίσωσης VBGF ή και σε περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως είναι η θερμοκρασία:

(α) Charnov (1993):

$$\ln M = 0.5+\ln K, \text{ όπου:}$$

M (έτη^{-1}) είναι η φυσική θνησιμότητα και

K (έτη^{-1}) είναι παράμετρος της εξίσωσης VBGF

(β) Chen & Watanabe (1989):

$$M(t) = K / 1 - \exp(-K(t - t_o),\ \ t \leq t_m$$

και

$$M(t) = K / a_0 + a_1(t - t_m) + a_2 (t - t_m)^2,\ \ t \geq t_m, \text{ όπου:}$$

$a_0 = 1 - \exp(-K(t_m - t_o)$,

$a_1 = K * \exp(-K(t_m - t_o)$,

$a_2 = - ½ * K^2 * \exp(-K(t_m - t_o)$,

t (έτη) είναι η ηλικία

$t_m = - 1/K * \ln(1 - \exp(K * t_o)) + t_o$ (η ηλικία στο τέλος της αναπαραγωγικής περιόδου)

t_o (έτη) είναι παράμετρος της εξίσωσης VBGF

(γ) Gislason *et al*. (2008):

$$\ln M = a + b \ln L + c \text{ Ln } L\infty + d \ln K, \text{ όπου:}$$

L (cm) είναι το μήκος που προκύπτει από την εξίσωση VBGF

$L\infty$ (cm) είναι παράμετρος της εξίσωσης VBGF

a, b, c, d είναι σταθερές με τιμές 0.66, -1.69, 1.45, 0.9 αντίστοιχα.

(δ) Hoening (1983):

$$\ln M = 1.44 - 0.984 * \ln t_{max}, \text{ όπου:}$$

t_{max} είναι η μέγιστη ηλικία του είδους

(ε) Longhurst & Pauly (1987):

$$\ln M = -0.22+0.3*\ln T*K$$

όπου T (°C) είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.

(στ) Probiom (Abella *et al*. 1997, 1998) :

$$M=[B/(t2-t1)]*\ln(t2/t1)+A \text{ , } t>0,$$

η οποία προκύπτει με ολοκλήρωση της εμπειρικής εξίσωσης του Caddy (1991):

$$Mt = A + B/t, \quad Mt > 0, t > 0, \text{ όπου:}$$

A είναι η ασυμπτωτική φυσική θνησιμότητα και

B είναι η κλίση της καμπύλης της φυσικής θνησιμότητας με την ηλικία.

(ζ) Pauly (1980):

$$\log M = -0.0066 - 0.279 \log L\infty + 0.6543 \log K + 0.4634 \log T$$

όπου T (°C) είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.

2.9. Μοντέλα εκτίμησης αποθεμάτων

2.9.1. Ολοκληρωμένη ανάλυση αλιεύματος ανά ηλικία (Integrated Catch-at-age analysis, ICA)

Το μοντέλο της ολοκληρωμένης ανάλυσης αλιεύματος ανά ηλικία (ICA) (Patterson & Melvin 1996, Patterson 1998) χρησιμοποιεί δεδομένα της εμπορικής αλιείας και εφαρμόζει τη διαχωρίσιμη εικονική ανάλυση πληθυσμού (διαχωρίσιμη VPA) (Needle 2003) με ζυγισμένους δείκτες συντονισμού. Οι δείκτες συντονισμού αφορούν πληροφορία σχετικά με τον αριθμό ατόμων ανά ηλικία για κάθε χρονιά ή την εκτίμηση της συνολικής βιομάζας του πληθυσμού από την ακουστική δειγματοληψία. Οι δείκτες αυτοί είναι ανεξάρτητοι από τα δεδομένα του εμπορικού αλιεύματος ανά ηλικία και για το

μοντέλο εκτίμησης ιχθυαποθεμάτων ICA διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τους δείκτες (α) της ηλικιακής δομής και (β) της βιομάζας του πληθυσμού. Οι δείκτες αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο είτε ξεχωριστά είτε μαζί. Σκοπός του μοντέλου ICA είναι ο συντονισμός της εικονικής ανάλυσης πηθυσμού (VPA) με την ενσωμάτωση πληροφορίας ανεξάρτητης από την εμπορική αλιεία (Machias & Somarakis 1997).

Η τυπική VPA (Pope & Shepherd 1985) χρησιμοποιεί δεδομένα εμπορικής αλιείας για να υπολογίσει το μέγεθος ενός αποθέματος και τους ρυθμούς θνησιμότητας στο παρελθόν. Συγκεκριμένα, με βάση τον αριθμό των ατόμων μιας δεδομένης γενεάς (ετήσια κλάση ατόμων) υπολογίζει τον αριθμό των ατόμων της προηγούμενης προσθέτοντας στον αριθμό των ατόμων που αλιεύθηκαν τον αριθμό εκείνων που πέθαναν λόγω φυσικών αιτιών. Έτσι, έχοντας ως αφετηρία την τελευταία χρονιά, η VPA προχωρώντας στη χρονοσειρά προς τα πίσω, χρόνο με το χρόνο, υπολογίζει σε ετήσια βάση την αφθονία του πληθυσμού και τους ρυθμούς θνησιμότητας. Αυτό σημαίνει ότι τα αποτελέσματά της εμφανίζουν μεγαλύτερο βαθμό αβεβαιότητας για τα τελευταία έτη μιας χρονοσειράς σε σχέση με τα αρχικά έτη. Οι δύο εξισώσεις που ακολουθούν αποτελούν τη βάση για τη VPA (Jennings *et al*. 2001):

(α) $N_{t+1} = N_t\, e^{-(F + M)}$ (εξίσωση εκθετικής μείωσης, Baranov 1918), όπου

N_{t+1} και N_t είναι ο αριθμός των ατόμων τη χρονική στιγμή t+1 και t αντίστοιχα, F είναι ο στιγμιαίος ρυθμός αλιευτικής θνησιμότητας και M ο στιγμιαίος ρυθμός φυσικής θνησιμότητας και

(β) $C_t = (F/Z)\, N_t\, (1 - e^{-Z})$ (εξίσωση παραγωγής) όπου

Ct είναι ο αριθμός των ατόμων που αλιεύθηκαν τη χρονική στιγμή t και Z η ολική θνησιμότητα (Z = F + M). Ο ρυθμός της φυσικής θνησιμότητας (M) θεωρείται σταθερός για όλα τα έτη και όλες τις ηλικίες.

Καθώς η VPA προχωρά από τη μεγαλύτερη ηλικία μιας γενεάς προς τη μικρότερη (με επαναληπτικές λύσεις της εξίσωσης παραγωγής), ο υπολογισμός της αλιευτικής θνησιμότητας και της αφθονίας του πληθυσμού, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, εξαρτώνται από τις αρχικές εκτιμήσεις του τελευταίου έτους της χρονοσειράς. Είναι, λοιπόν, σημαντικό να υπάρχουν όσο το δυνατόν καλύτερες εκτιμήσεις της αλιευτικής θνησιμότητας και της αφθονίας του πληθυσμού για τα πιο πρόσφατα έτη ή το τελευταίο έτος μιας χρονοσειράς δεδομένων. Η διαδικασία της βελτίωσης αυτών των εκτιμήσεων ονομάζεται συντονισμός (tuning) της VPA και επιτυγχάνεται με τη χρήση πρόσθετων πληροφοριών για τον πληθυσμό (δείκτες συντονισμού).

Ένα μειονέκτημα της τυπικής VPA, ανεξάρτητα με τους δείκτες συντονισμού που χρησιμοποιούνται, είναι ότι τα δεδομένα των αλιευμάτων ανά ηλικία θεωρούνται ακριβή χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους την περίπτωση των σφαλμάτων στις μετρήσεις. Αντίθετα, η διαχωρίσιμη VPA (separable VPA) θεωρεί ότι σε κάθε μέτρηση ειπεισέρχεται σφάλμα. Σύμφωνα με την ανάλυση αυτή, η αλιευτική θνησιμότητα F είναι το αποτέλεσμα δύο παραμέτρων, της ηλικίας και του χρόνου, και μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$F_{a,y} = s_a \times f_y \text{ (Needle 2003)}$$

όπου

(α) το s_a δηλώνει την επίδραση της ηλικίας στην αλιευτική θνησιμότητα. Για παράδειγμα, η τιμή της παραμέτρου αυτής μπορεί να είναι μικρότερη για τα νεαρά άτομα που είναι λιγότερο ευάλωτα στο αλιευτικό εργαλείο σε σχέση με τα μεγαλύτερα λόγω της επιλεκτικότητάς του·

(β) το f_y δηλώνει πως η αλιευτική θνησιμότητα μεταβάλεται με το χρόνο (π.χ. διαφορετική αλιευτική προσπάθεια).

Ένα άλλο πλεονέκτημα της διαχωρίσιμης μεθόδου σε σχέση με την τυπική ανάλυση είναι ότι κατά την πρώτη αναλύεται ολόκληρη η ηλικιακή δομή του αποθέματος ταυτόχρονα σε αντίθεση με τη δεύτερη όπου γίνεται ανάλυση κάθε γενεάς ξεχωριστά.

Το ICA εφαρμόζει τη διαχωρίσιμη ανάλυση για τα τελευταία x χρόνια μιας χρονοσειράς T ενώ για τα προηγούμενα χρόνια (T – x) εφαρμόζει μια τυπική VPA. Η τυπική VPA χρησιμοποιεί ως εναρκτήριο έτος για την «προς τα πίσω» ανάλυση το πρώτο έτος της διαχωρίσιμης ανάλυσης (Needle 2003).

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής εφαρμόστηκε το μοντέλο της ολοκληρωμένης ανάλυσης αλιεύματος ανά ηλικία (ICA) βασισμένο στα δεδομένα των εκφορτώσεων της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2000 – 2008. Σαν δείκτες συντονισμού χρησιμοποιήθηκαν οι εκτιμήσεις της βιομάζας και ο αριθμός ατόμων ανά ηλικία από την ακουστική δειγματοληψία της περιόδου 2003 – 2008. Οι παραδοχές του μοντέλου και το ζύγισμα των δεικτών δίνονται από τον Πίνακα 2.9.1.1.

Πίνακας 2.9.1.1 Παραδοχές του μοντέλου ICA και ζύγισμα των δεικτών για το απόθεμα της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο την περίοδο 2000 - 2008.

Αλίευμα ανά ηλικία: Προέρχεται από διάφορα εθνικά και ευρωπαϊκά προγράμματα. Δειγματοληψία ηλικιών ανά κλάση μήκους.

Βάρος ανά ηλικία στο απόθεμα: Βασισμένο σε βιολογικά δείγματα από το ερευνητικό σκάφος.

Βάρος ανά ηλικία στο αλίευμα: Βασισμένο στις σχέσεις μήκους – βάρους.

Αναπαραγωγική ωριμότητα: Βασισμένη σε εμπορικά και ερευνητικά βιολογικά δείγματα κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής περιόδου. Η ζυγισμένη ωριμότητα χρησιμοποιήθηκε αναφορικά με την αναπαραγωγική βιομάζα του αποθέματος και τα αποτελέσματα των ακουστικών.

Φυσική θνησιμότητα: Διαφορετική τιμή ανά ηλικία και σταθερή με τα χρόνια (εξίσωση Probiom).

Συγκεντρωτική ομάδα ηλικίας: Η ηλικία 3 (3+) που αποτελεί το άθροισμα των ηλικιών 3 και 4.

Διαχωρίσιμο μοντέλο: Εφαρμογή στα 6 τελευταία χρόνια της χρονοσειράς.

Ηλικία αναφοράς: Η ηλικία 2.

Στατιστικά: Η ακρίβεια των δεδομένων δε λήφθηκε υπ' όψιν. Μόνο ένας ζυγισμένος δείκτης δείχνει την αξιοπιστία της πληροφορίας που χρησιμοποιήθηκε και είναι ένα ζυγισμένο άθροισμα τετραγώνων.

Οι δείκτες ζυγίστηκαν από το χρήστη:

Ο δείκτης της βιομάζας από τα ακουστικά έλαβε τιμή βάρους 1.

-Οι παρατηρήσεις του αλιεύματος ανά ηλικία στη διαχωρίσιμη περίοδο:

Ηλικία	0	1	2	3	4
Βάρος	0.01	1	1	0.3	0.01

Δείκτες συντονισμού:

(α) η συνολική βιομάζα από την ακουστική δειγματοληψία και

(β) η κατά ηλικία σύνθεση με βάση τα αποτελέσματα της ακουστικής δειγματοληψίας όπου η ηλικία 3 αποτελεί συγκεντρωτική ομάδα ηλικίας (3+).

Για την καλύτερη προσαρμογή του διαχωρίσιμου μοντέλου, οι ηλικίες 0 και 4 υποεκτιμήθηκαν λαμβάνοντας ως τιμή βάρους 0.01 καθώς αντιπροσωπεύουν ελάχιστο ποσοστό του αλιεύματος. Η ηλικία 3, επίσης, υποεκτιμήθηκε με τιμή βάρους 0.3 καθώς και αυτή αποτελεί πολύ μικρό ποσοστό (2.3 %) του αλιεύματος. Η υποεκτίμηση των ηλικιών 0, 3 και 4 είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της προσαρμογής του διαχωρίσιμου μοντέλου για τις ηλικίες 1 και 2 (ICES 2003, ICES 2006) οι οποίες έλαβαν τιμή βάρους 1. Το διαχωρίσιμο μοντέλο για την αλιευτική θνησιμότητα εφαρμόστηκε στα 6 τελευταία έτη της χρονοσειράς 2000 – 2008. Η ηλικία 2 χρησιμοποιήθηκε ως ηλικία αναφοράς για το μοντέλο καθώς θεωρείται η ηλικία – στόχος της αλιείας και είναι αναπαραγωγικά ενεργή κατά 100 % (Γκάνιας και συνεργάτες 2000).

Τα δεδομένα της σαρδέλας που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο αφορούν το ετήσιο αλίευμα ανά ηλικία, το μέσο βάρος ανά ηλικία στο αλίευμα και τον πληθυσμό, τη φυσική θνησιμότητα και το ποσοστό της αναπαραγωγικής ωριμότητας ανά ηλικία καθώς και τα αποτελέσματα της ακουστικής δειγματοληψίας (δείκτες συντονισμού) που χρησιμοποιήθηκαν σαν σχετικοί δείκτες αφθονίας. Λόγω της έλλειψης δεδομένων για το 2007, για τις τιμές του ποσοστού της αναπαραγωγικής ωριμότητας και του μέσου βάρους του πληθυσμού για το έτος αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή των ετών 2006 και 2008. Οι εκτιμήσεις της αφθονίας από τα ακουστικά αφορούν μέχρι και την ηλικία 3+, η οποία είναι συγκεντρωτική ομάδα και περιλαμβάνει τις ηλικίες 3 και 4 μαζί, καθώς οι υπόλοιπες ηλικίες παρουσιάζουν πολύ μικρή αντιπροσώπευση.

Αποτελέσματα του ICA συνιστούν η εκτίμηση της αλιευτικής θνησιμότητας και της πληθυσμιακής δομής, της στρατολόγησης, της συνολικής και της αναπαραγωγικής βιομάζας του αποθέματος (SSB), του λόγου της αλιευτικής παραγωγής προς την αναπαραγωγική βιομάζα ενώ με βάση τα δεδομένα της μέσης αλιευτικής και της φυσικής θνησιμότητας υπολογίστηκε ο μέσος ρυθμός εκμετάλλευσης για τις ηλικίες 1 έως 3. Ρυθμός εκμετάλλευσης (E) ορίζεται ο λόγος της αλιευτικής θνησιμότητας (F) προς την ολική (Z) που είναι το άθροισμα της αλιευτικής και της φυσικής (M) θνησιμότητας: E = F / F+M = F / Z.

Μια σειρά από γραφικά διαγνωστικά χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της προσαρμογής του μοντέλου όπως τα γραφήματα των σφαλμάτων αναφορικά με τη βιομάζα και τις ηλικίες 1 ως 3 από τους δείκτες συντονισμού.

Το γράφημα του δείκτη SSQ (Sum of Squares) προς την αλιευτική θνησιμότητα της ηλικίας αναφοράς (ηλικία 2) αποτελεί ένα ακόμα διαγνωστικό γράφημα για την προσαρμογή του διαχωρίσιμου μοντέλου. Στο γράφημα παρουσιάζονται οι καμπύλες των αθροισμάτων των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ (α) της παρατηρούμενης και της εκτιμώμενης αφθονίας του αλιεύματος, (β) της προσδοκώμενης από τα ακουστικά και της εκτιμώμενης αλιευτικής θνησιμότητας κ α (γ) της παρατηρούμενης και της εκτιμώμενης στρατολόγησης. Δείκτη καλής προσαρμογής του μοντέλου αποτελεί η ελαχιστοποίηση της συνολικής επιφάνειας των αθροισμάτων των τετραγώνων (SSQ Surface) που επιτυγχάνεται όταν η απόσταση μεταξύ των τριών καμπυλών είναι η μικρότερη δυνατή (Needle 2000, 2003).

Επίσης, πραγματοποιήθηκε αναδρομική ανάλυση (retrospective analysis) της εφαρμογής του ICA για κάποιες παραμέτρους. Σύμφωνα με την ανάλυση αυτή, από το τέλος της δεδομένης χρονοσειράς αφαιρείται ένα ή περισσότερα έτη ενώ όλες οι

υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν σταθερές. Η ακρίβεια του μοντέλου ως προς την εκτίμηση των συγκεκριμένων παραμέτρων καθορίζεται από τις διαφορές των εκτιμήσεων της πρώτης (ολόκληρη χρονοσειρά) και της αναδρομικής ανάλυσης (Darby & Flatman 1994). Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκε αναδρομικός έλεγχος από το μοντέλο ICA για τις παραμέτρους της μέσης αλιευτικής θνησιμότητας για τις ηλικίες 1-3 (Mean F_{1-3}), της στρατολόγησης (Recruits) και της αναπαραγωγικής βιομάζας του αποθέματος (SSB) με ένα χρόνο λιγότερο από τη χρονοσειρά 2000 – 2008. Η εφαρμογή της ανάλυσης με την αφαίρεση περισσότερων ετών ήταν αδύνατη λόγω της μικρής χρονοσειράς.

2.9.2. Εκτεταμένη ανάλυση επιζώντων (Extended Survivors Analysis, XSA)

Το μοντέλο της εκτεταμένης ανάλυσης επιζώντων (XSA (Shepherd 1992)) χρησιμοποιεί δεδομένα της εμπορικής αλιείας και εφαρμόζει την τυπική εικονική ανάλυση πληθυσμού (τυπική VPA) με ζυγισμένους δείκτες συντονισμού. Οι δείκτες συντονισμού αφορούν πληροφορία (α) σχετικά με την ηλικιακή σύσταση του πληθυσμού που προέρχεται από τα αποτελέσματα της ερευνητικής δειγματοληψίας και (β) σχετικά με την παραγωγή ανά μονάδα αλιευτικής προσπάθειας (CPUE) που προέρχεται από τα δεδομένα των εκφορτώσεων.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής εφαρμόστηκε το μοντέλο XSA στα δεδομένα των εκφορτώσεων της σαρδέλας για την περίοδο 2000 – 2008 (α) στο Β. Αιγαίο και (β) το Ιόνιο Πέλαγος. Σαν δείκτες συντονισμού χρησιμοποιήθηκαν ο αριθμός των ατόμων ανά ηλικία όπως εκτιμήθηκε από την ακουστική δειγματοληψία (2003 – 2008) για το Β. Αιγαίο και η παραγωγή ανά μονάδα αλιευτικής προσπάθειας (ημέρες στη θάλασσα) για το Ιόνιο από τα δεδομένα των εκφορτώσεων. Οι παραδοχές του μοντέλου και το ζύγισμα των δεικτών δίνονται από τους Πίνακες 2.9.2.1 και 2.9.2.2 για το Β. Αιγαίο και το Ιόνιο αντίστοιχα.

(α) Β. Αιγαίο

Πίνακας 2.9.2.1 Παραδοχές του μοντέλου XSA και ζύγισμα των δεικτών για το απόθεμα της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο την περίοδο 2000 - 2008.

Αλίευμα ανά ηλικία: Προέρχεται από διάφορα εθνικά και ευρωπαϊκά προγράμματα. Δειγματοληψία ηλικιών ανά κλάση μήκους.

Βάρος ανά ηλικία στο απόθεμα: Βασισμένο σε βιολογικά δείγματα από το ερευνητικό σκάφος

Βάρος ανά ηλικία στο αλίευμα: Βασισμένο στις σχέσεις μήκους – βάρους.

Φυσική θνησιμότητα: Διαφορετική τιμή ανά ηλικία και σταθερή με τα χρόνια (εξίσωση Probiom).

Αναπαραγωγική ωριμότητα: Βασισμένη σε εμπορικά και ερευνητικά βιολογικά δείγματα κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής περιόδου. Η ζυγισμένη ωριμότητα χρησιμοποιήθηκε αναφορικά με την αναπαραγωγική βιομάζα του αποθέματος και τα αποτελέσματα των ακουστικών.

Συγκεντρωτική ομάδα ηλικίας: Η ηλικία 3 (3+) που αποτελεί το άθροισμα των ηλικιών 3 και 4.

Διαθεσιμότητα αλίευσης (catchability) του αποθέματος: Ανεξάρτητη της ηλικίας για τις ηλικίες ≥ 2.

Συντονισμός της VPA για τις τελικές εκτιμήσεις: Χρησιμοποιήθηκαν τα 3 τελευταία έτη της χρονοσειράς.

Τελική εκτίμηση πληθυσμού: Εκτίμηση της μέσης αλιευτικής θνησιμότητας από τα 6 τελευταία έτη της χρονοσειράς με s.e. = 0.5.

Ελάχιστο s.e. της εκτίμησης του πληθυσμού από τους ρυθμιστικούς δείκτες: 0.3.

Δείκτης συντονισμού: Η κατά ηλικία σύνθεση με βάση τα αποτελέσματα της ακουστικής δειγματοληψίας όπου η ηλικία 3 αποτελεί συγκεντρωτική ομάδα ηλικίας (3+).

Η ηλικία πάνω από την οποία η διαθεσιμότητα του είδους για αλίευση (catchability) είναι σταθερή και ανεξάρτητη της ηλικίας θεωρήθηκε η ηλικία 2. Αυτό σημαίνει ότι η πρώτη ηλικία που είναι πλήρως στρατολογημένη στο αλιευόμενο απόθεμα είναι η ηλικία 2. Ο συντονισμός της VPA από τους ρυθμιστικούς δείκτες, για την εκτίμηση της αλιευτικής θνησιμότητας και της αφθονίας του πληθυσμού του τελευταίου έτους, επιλέχθηκε να γίνει για τα 3 τελευταία έτη της χρονοσειράς των δεδομένων. Ο υπολογισμός της μέσης αλιευτικής θνησιμότητας ανά ηλικία την οποία αποδίδει το μοντέλο στο τελευταίο έτος έγινε με βάση τις τιμές της αλιευτικής θνησιμότητας των 6 τελευταίων ετών της χρονοσειράς. Η μέση αλιευτική θνησιμότητα και η ολική παραγωγή του τελευταίου έτους χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των επιζώντων (survivors) στο τέλος του τελευταίου έτους. Τέλος, δόθηκαν οι τιμές του σταθερού σφάλματος της μέσης

αλιευτικής θνησιμότητας του τελευταίου έτους (0.5) και του ελάχιστου σταθερού σφάλματος της εκτίμησης του πληθυσμού (0.3) με βάση τους ρυθμιστικούς δείκτες.

Τα δεδομένα της σαρδέλας που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο αφορούν το ετήσιο αλίευμα ανά ηλικία, το μέσο βάρος ανά ηλικία στο αλίευμα και τον πληθυσμό, τη φυσική θνησιμότητα, το ποσοστό της αναπαραγωγικής ωριμότητας ανά ηλικία καθώς και τον δείκτη συντονισμού. Λόγω της έλλειψης ακουστικών δεδομένων για το 2007, οι τιμές της αναπαραγωγικής ωριμότητας και του μέσου βάρους του πληθυσμού για το έτος αυτό στο Β. Αιγαίο αποτελούν τη μέση τιμή των ετών 2006 και 2008. Οι εκτιμήσεις της αφθονίας του πληθυσμού στο Β. Αιγαίο από τα ακουστικά αφορούν μέχρι και την ηλικία 3+, η οποία είναι συγκεντρωτική ομάδα και περιλαμβάνει τις ηλικίες 3 και 4 μαζί, καθώς οι υπόλοιπες ηλικίες παρουσιάζουν πολύ μικρή αντιπροσώπευση.

(β) Ιόνιο Πέλαγος

Πίνακας 2.9.2.2. Παραδοχές του μοντέλου XSA και ζύγισμα των δεικτών για το απόθεμα της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Ιόνιο Πέλαγος την περίοδο 2000 - 2008.

Αλίευνα ανά ηλικία: Προέρχεται από διάφορα εθνικά και ευρωπαϊκά προγράμματα. Δειγματοληψία ηλικιών ανά κλάση μήκους.

Βάρος ανά ηλικία στο αλίευμα: Βασισμένο στις σχέσεις μήκους – βάρους.

Φυσική θνησιμότητα: Διαφορετική τιμή ανά ηλικία και σταθερή με τα χρόνια (εξίσωση Probiom).

Αναπαραγωγική ωριμότητα: Βασισμένη σε εμπορικά και ερευνητικά βιολογικά δείγματα κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής περιόδου. Η ζυγισμένη ωριμότητα χρησιμοποιήθηκε αναφορικά με την αναπαραγωγική βιομάζα του αποθέματος και τα αποτελέσματα των ακουστικών.

Συγκεντρωτική ομάδα ηλικίας: Η ηλικία 3 (3+) που αποτελεί το άθροισμα των ηλικιών 3 και 4.

Διαθεσιμότητα αλίευσης (catchability) του αποθέματος: Ανεξάρτητη της ηλικίας για τις ηλικίες ≥ 1.

Συντονισμός της VPA για τις τελικές εκτιμήσεις: Χρησιμοποιήθηκαν τα 3 τελευταία έτη της χρονοσειράς.

Τελική εκτίμηση πληθυσμού: Εκτίμηση της μέσης αλιευτικής θνησιμότητας από τα 6 τελευταία έτη της χρονοσειράς με s.e. = 0.5.

Ελάχιστο s.e. της εκτίμησης του πληθυσμού από τους ρυθμιστικούς δείκτες: 0.3.

Δείκτης συντονισμού: Παραγωγή ανά μονάδα αλιευτικής προσπάθειας (CPUE) από τις εκφορτώσεις της περιόδου 2003 – 2008 στο Ιόνιο.

Αναφορικά με το Ιόνιο Πέλαγος, η ηλικία πάνω από την οποία η διαθεσιμότητα του είδους για αλίευση (catchability) είναι σταθερή και ανεξάρτητη της ηλικίας θεωρήθηκε η ηλικία 1. Αυτό σημαίνει ότι η πρώτη ηλικία που είναι πλήρως στρατολογημένη στο αλιευόμενο απόθεμα είναι η ηλικία 1. Σχετικά με το συντονισμό της VPA, την τελική εκτίμηση του πληθυσμού καθώς και τα σταθερά σφάλματα των εκτιμήσεων, ισχύει ό,τι ακριβώς προαναφέρθηκε για το Β. Αιγαίο.

Τα δεδομένα της σαρδέλας για το Ιόνιο που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο αφορούν το ετήσιο αλίευμα ανά ηλικία, το μέσο βάρος ανά ηλικία στο αλίευμα, τη φυσική θνησιμότητα, το ποσοστό της αναπαραγωγικής ωριμότητας ανά ηλικία καθώς και το δείκτη συντονισμού. Ο δείκτης συντονισμού της παραγωγής ανά μονάδα αλιευτικής προσπάθειας (CPUE) για το Ιόνιο αφορά τη χρονοσειρά 2003 – 2008 και τις ηλικίες 1 ως 3+ καθώς οι υπόλοιπες ηλικίες παρουσιάζουν μικρή αντιπροσώπευση στο δείγμα. Η ηλικία 3+ είναι συγκεντρωτική ομάδα και περιλαμβάνει τις ηλικίες 3 και 4 μαζί.

Το μοντέλο XSA εκτιμά την αλιευτική θνησιμότητα και την κατά ηλικία πληθυσμιακή δομή, τη στρατολόγηση, την αναπαραγωγική βιομάζα του αποθέματος και το λόγο της αλιευτικής παραγωγής προς την αναπαραγωγική βιομάζα. Με βάση τα δεδομένα της μέσης αλιευτικής και της φυσικής θνησιμότητας υπολογίστηκε ο μέσος ρυθμός εκμετάλλευσης για τις ηλικίες 1 έως 3 (E_{1-3}).

Η προσαρμογή του μοντέλου ελέγχθηκε από τα διαγνωστικά γραφήματα των σφαλμάτων για το Β. Αιγαίο και το Ιόνιο. Πραγματοποιήθηκε, επίσης, αναδρομική ανάλυση του XSA με ένα έτος λιγότερο στη χρονοσειρά για τη μέση αλιευτική θνησιμότητα, τη στρατολόγηση και την αναπαραγωγική βιομάζα του αποθέματος για το Β. Αιγαίο και το Ιόνιο.

2.10 Εργαλεία εφαρμογής των μοντέλων εκτίμησης ιχθυοαποθεμάτων

Το μοντέλο ICA εφαρμόστηκε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου ICA v. 1.4 (Patterson 1998) και το XSA με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος για την εικονική ανάλυση πληθυσμού v 3.2 VPA95 (Darby & Flatman 1994) σε περιβάλλον Windows/DOS. Τα δύο μοντέλα εφαρμόστηκαν, επίσης, στο πλαίσιο της FLR (Fisheries Library in R) σε περιβάλλον Windows. Τα αποτελέσματα των μοντέλων που παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 3), τα διαγνωστικά γραφήματα και οι αναδρομικές αναλύσεις προέρχονται από την εφαρμογή των μοντέλων στην FLR (FLICA και FLXSA).

Η FLR όπως δηλώνει και το όνομά της είναι μια «αλιευτική βιβλιοθήκη» σε γλώσσα R. Αποτελεί ένα εκτεταμένο πακέτο για την εφαρμογή βιολογικών, οικονομικών και στατιστικών μοντέλων στα αλιευτικά και οικολογικά συστήματα (Kell *et al*. 2007). Πιο συγκεκριμένα, η FLR είναι προσαρμοσμένη, κυρίως, στην κατασκευή μοντέλων προσομοίωσης για την εξέλιξη των στρατηγικών διαχείρισης των αλιευτικών αποθεμάτων (www.flr-project.org). Η γλώσσα R είναι μία γλώσσα προγραμματισμού χρήσιμη στην επεξηγηματική ανάλυση δεδομένων καθώς και στην εφαρμογή διαφόρων στατιστικών μοντέλων και είναι διαθέσιμη στο διαδίκτυο (www.r-project.org, R Development Core Team).

3. Αποτελέσματα

3.1. Ιδιαιτερότητες στην ανάγνωση των ωτολίθων – βελτίωση της κλείδας ηλικίας – μήκους (ALK)

Στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται το ALK για το απόθεμα της σαρδέλας της περιόδου 2003 – 2008, με εξαίρεση το 2007, για την περιοχή του Β. Αιγαίου και του Ιονίου μαζί. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν το ολικό μήκος (TL) και οι ηλικίες από 8.205 άτομα σαρδέλας συνολικά.

Πίνακας 3.1. Το ALK για την περίοδο 2003 – 2008 για τη σαρδέλα στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος μαζί. Παρουσιάζονται τα ποσοστά του αριθμού των ατόμων (%) ανά κλάση μήκους και ηλικίας.

	Ηλικία					
Κλάσεις μήκους TL (mm)	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**Σύνολο**
50-59	100					**100**
60-69	100					**100**
70-79	100					**100**
80-89	100					**100**
90-99	95,94	4,06				**100**
100-109	72,37	27,30	0,33			**100**
110-119	36,56	60,49	2,95			**100**
120-129	6,01	80,99	12,61	0,39		**100**
130-139	1,05	79,04	18,94	0,97		**100**
140-149	0,39	72,77	24,26	2,48	0,11	**100**
150-159		44,63	49,14	6,22		**100**
160-169		21,05	60,90	17,29	0,75	**100**
170-179			75,00	20,83	4,17	**100**
180-190			100			**100**

Δύο πληροφορίες που εξάγονται από την παρατήρηση του προηγούμενου πίνακα αφορούν στο ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των ατόμων (83.17%)κατανέμεται στις ηλικίες 1 και 2 ενώ το 70 % περίπου κατανέμεται στο εύρος μηκών από 120 ως 150 mm. Από την τελευταία πληροφορία διαπιστώνουμε πως το 70% των ωτολίθων που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της ηλικίας εξήχθησαν από άτομα μήκους από 120 ως 150 mm. Άτομα μικρότερου ή μεγαλύτερου μήκους είχαν μικρότερη αντιπροσώπευση στο δείγμα (δεν αλιεύτηκαν σε μεγάλες ποσότητες).

Εκτός από πιθανά λάθη στη δειγματοληψία η επίδραση των οποίων στον προσδιορισμό της ηλικιακής δομής του πληθυσμού και κατ' επέκταση στη διαδικασία

εκτίμησης των ιχθυοαποθεμάτων είναι σημαντική, ποικίλες δυσκολίες στην ανάγνωση της ηλικίας από τους ωτόλιθους που αντιμετωπίστηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής μπορούν, επίσης, να προκαλέσουν σημαντικά λάθη στην εκτίμηση της ηλικιακής δομής. Τέτοιες δυσκολίες μπορεί να οφείλονται: (α) στην κακή ποιότητα του ωτολίθου με αποτέλεσμα τη χαμηλή ευκρίνεια των δακτυλίων ή/και (β) στη διαφοροποίηση της αύξησης των ψαριών που μπορεί να προκαλέσει σύγχυση στον αναγνώστη καθώς άτομα του ίδιου μήκους εμφανίζουν διαφορετικές ηλικίες. Το σχήμα και το μέγεθος των ωτολίθων αποτελούν παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον προσδιορισμό των σφαλμάτων της ανάγνωσης (π.χ. ωτόλιθοι μικρού μεγέθους και ακανόνιστου σχήματος αντιστοιχούν πιθανότατα σε νεαρό άτομο).

Στην Εικόνα 3.1.2 παρουσιάζονται χαρακτηριστικοί ωτόλιθοι των ηλικιών 0 έως 4 με εμφανείς τις ετήσιες ζωνώσεις.

Ηλικία 0 **Ηλικία 1** **Ηλικία 2** **Ηλικία 3** **Ηλικία 4**

Εικ. 3.1.2. Αντιπροσωπευτικοί ωτόλιθοι των ηλικιών 0 έως 4 από αριστερά προς τα δεξιά.

3.2 Περιγραφή εκφορτώσεων

3.2.1 Βόρειο Αιγαίο

Στην Εικόνα 3.2.1 που ακολουθεί αναπαρίσταται γραφικά η εξέλιξη των ετήσιων εκφορτώσεων της σαρδέλας από τα εμπορικά σκάφη (γρι – γρι) που συνιστούν το 95 % των συνολικών εκφορτώσεων του είδους στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2000 – 2008. Παρατηρείται μια πτωτική τάση των εκφορτώσεων από την αρχή ως το τέλος της χρονοσειράς που δεν είναι, όμως, στατιστικά σημαντική ($P > 0.05$). Συγκεκριμένα, παρατηρείται μείωση των εκφορτώσεων από το 2001 μέχρι το 2003 οπότε σημειώνεται μια μικρή ανάκαμψη μέχρι το 2005. Στη συνέχεια ακολουθεί νέα μείωση μέχρι το 2007 αγγίζοντας τα επίπεδα του 2004. Μια μικρή τάση ανόδου φαίνεται να υπάρχει από το 2007 και μετά.

Εικ. 3.2.1. Οι ετήσιες εκφορτώσεις της σαρδέλας από τα εμπορικά σκάφη (γρι – γρι) στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2000 – 2008.

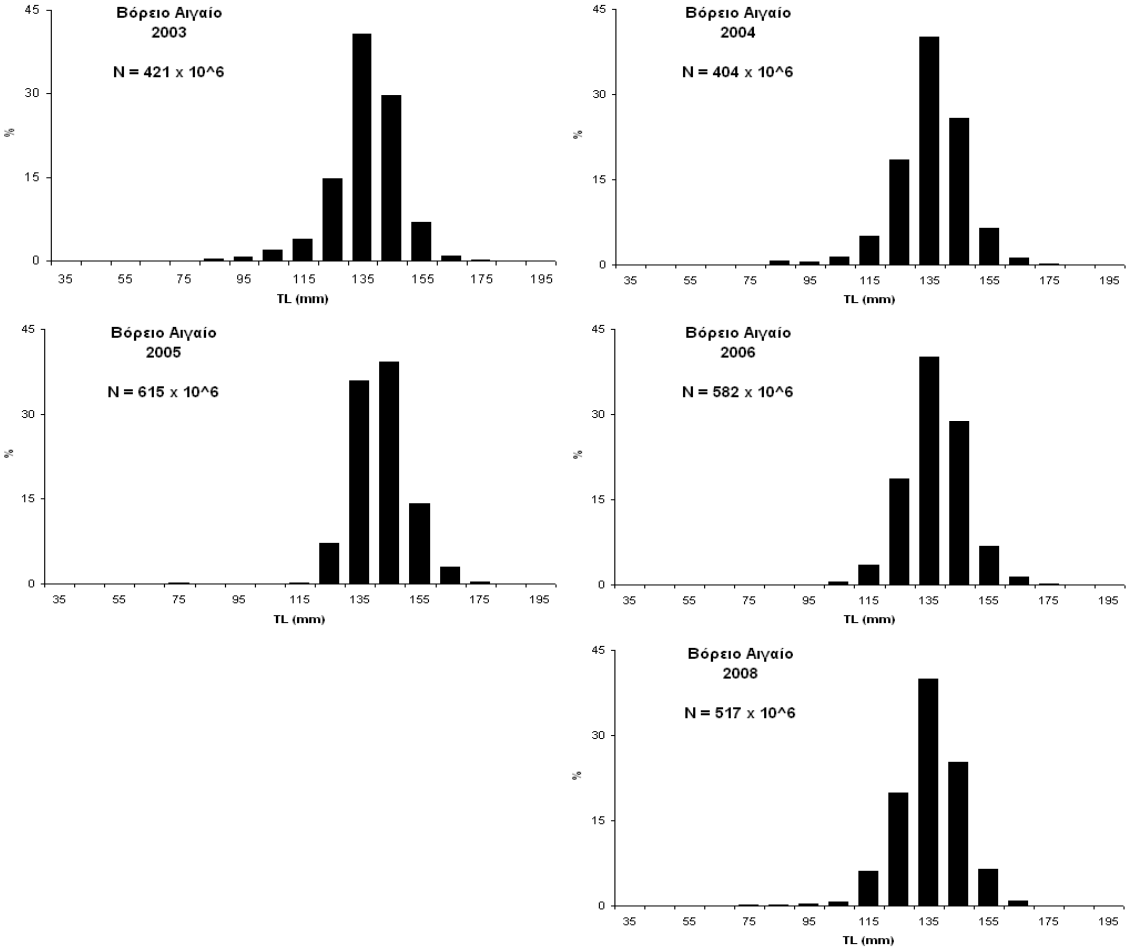
3.2.1.1 Κατά μήκος συνθέσεις

Οι κατά μήκος συνθέσεις της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο (Εικόνα 3.2.1.1) από τα δεδομένα των εκφορτώσεων βασίστηκαν στις μετρήσεις του ολικού μήκους (TL) από 33.553 άτομα συνολικά για την περίοδο 2003 – 2008, με εξαίρεση το 2007. Οι κατά μήκος συνθέσεις που παρουσιάζονται παρακάτω είναι ετήσιες και ο αριθμός των ατόμων του δείγματος από κάθε σκάφος έχει αναχθεί με βάση τη συνολική παραγωγή του σκάφους. Το συνολικό εύρος των μηκών κυμάνθηκε από 35 ως 195 mm. Στον Πίνακα 3.2.1.1 παρουσιάζονται σε ετήσια βάση ο αριθμός των ατόμων του δείγματος (N), το

μεσαίο μήκος της μικρότερης και της μεγαλύτερης κλάσης καθώς και το μέσο μήκος με το σταθερό σφάλμα (s.e.).

Πίνακας 3.2.1.1. Παρουσιάζονται σε ετήσια βάση ο αριθμός των ατόμων του δείγματος (N), το εύρος των μεσαίων μηκών των κλάσεων και το μέσο μήκος με το σταθερό σφάλμα (s.e.) της σαρδέλας για την περίοδο 2003 – 2008 στο Β. Αιγαίο.

Έτος	N δείγματος	Εύρος μεσαίων μηκών (mm)	Μέσο μήκος (mm) ± S.E.
2003	5198	45 - 185	135.18 ± 0.23
2004	7100	65 - 195	136.29 ± 0.12
2005	6288	55 - 185	141.67 ± 0.12
2006	13267	55 - 185	137.12 ± 0.1
2008	1700	35 - 185	135.95 ± 0.26

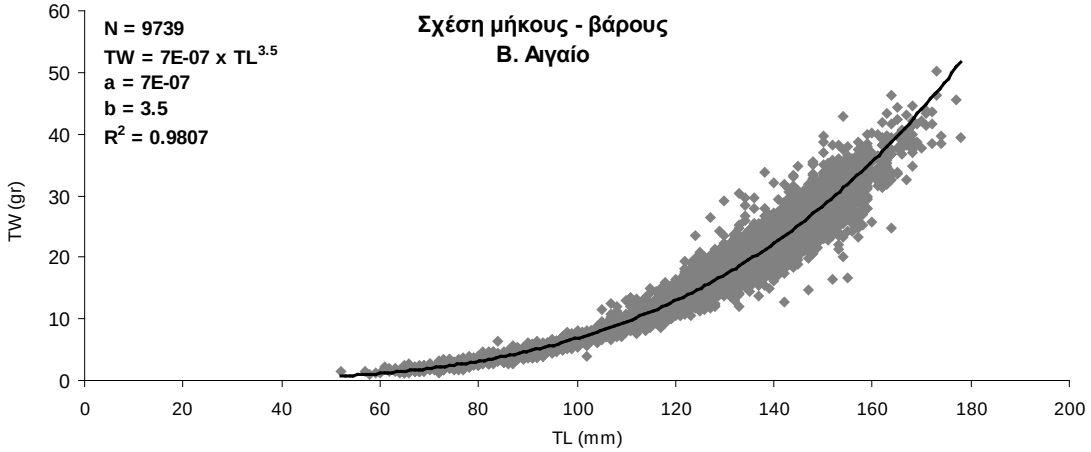


Εικ. 3.2.1.1. Ετήσιες κατά μήκος συνθέσεις της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2003 – 2008 από τα δεδομένα των εμπορικών εκφορτώσεων.

Όλες οι κατά μήκος συνθέσεις παρουσιάζουν μία κορυφή. Παρατηρώντας τον Πίνακα και την Εικόνα 3.2.1.1 διαπιστώνουμε την απουσία τόσο των μικρών (< 100 mm) αλλά και των πολύ μεγάλων ατόμων (> 160 mm) σε κάθε έτος. Το εύρος των μηκών του μεγαλύτερου ποσοστού των ατόμων κυμαίνεται από 125 ως 155 mm ενώ η επικρατέστερη κλάση είναι αυτή με μεσαίο μήκος 135 mm.

3.2.1.2 Σχέση μήκους – βάρους

Η σχέση μήκους – βάρους $W = aL^b$ που υπολογίστηκε με βάση τα δεδομένα των εκφορτώσεων της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2003 – 2008 (Εικόνα 3.2.1.2) βασίστηκε στις μετρήσεις του ολικού βάρους (TW) και του ολικού μήκους (TL) από 9.739 άτομα. Η εξίσωση που περιγράφει τη σχέση αυτή είναι η εξής: $TW = 7E\text{-}07 \times TL^{3.5}$. Η τιμή του αριθμητικού συντελεστή b, που δηλώνει την κλίση της καμπύλης, ήταν 3,5 και αυτή του αριθμητικού συντελεστή a ήταν 0,0000007 ενώ ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 ήταν πολύ υψηλός ($R^2 = 0,98$).



Εικ. 3.2.1.2. Η σχέση μήκους – βάρους για τη σαρδέλα στο Β. Αιγαίο με βάση τα δεδομένα των εκφορτώσεων.

3.2.1.3 Κλείδα ηλικίας – μήκους (ALK)

Στον Πίνακα 3.2.1.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κλείδα ηλικίας – μήκους για τη σαρδέλα στο Β. Αιγαίο με βάση τα δεδομένα των εκφορτώσεων της περιόδου 2003 – 2008, με εξαίρεση το 2007. Για την κατασκευή της χρησιμοποιήθηκαν το ολικό μήκος (TL) και οι ηλικίες από 2.095 άτομα.

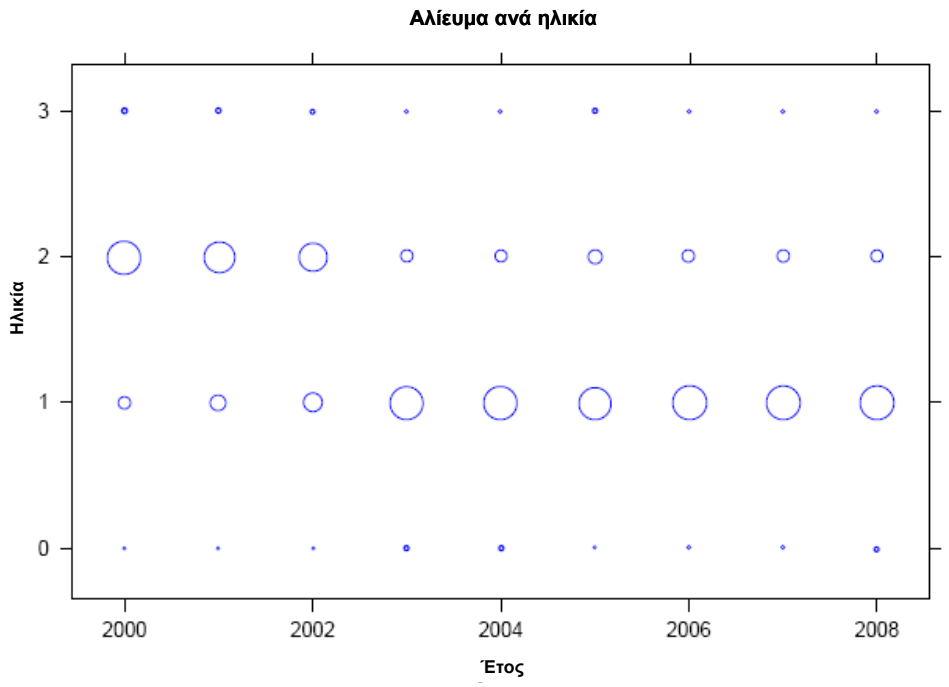
Πίνακας 3.2.1.3. Το ALK για τη σαρδέλα στο Β. Αιγαίο της περιόδου 2003 – 2008 από τα δεδομένα των εκφορτώσεων. Παρουσιάζονται τα ποσοστά του αριθμού των ατόμων (%) ανά κλάση μήκους και ηλικίας.

Κλάσεις μήκους TL (mm)	**Ηλικία**				
	0	**1**	**2**	**3**	**Σύνολο**
50-59	100				**100**
60-69	100				**100**
70-79	100				**100**
80-89	100				**100**
90-99	100				**100**
100-109	75,00	25,00			**100**
110-119	47,06	52,94			**100**
120-129	5,56	83,99	9,80	0,65	**100**
130-139	1,46	74,97	21,72	1,85	**100**
140-149	0,75	75,04	20,93	3,29	**100**
150-159		55,39	41,18	3,43	**100**
160-169		42,42	54,55	3,03	**100**
170-180			33,33	66,67	**100**

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται πως οι κυρίαρχες ηλικιακές κλάσεις είναι αυτές των ηλικιών 1 και 2 με ποσοστά συμμετοχής 71.69 και 20.86 αντίστοιχα. Το μήκος του μεγαλύτερου ποσοστού (82.6 %) των ατόμων του δείγματος που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της ηλικίας κυμαίνεται από 120 ως 150 mm.

3.2.1.4 Κατά ηλικία σύνθεση

Στην Εικόνα 3.2.1.4 φαίνεται η ηλικιακή δομή (αριθμός ατόμων) ανά έτος από τα δεδομένα των εκφορτώσεων της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2000 – 2008 όπως προέκυψε από την FLR.

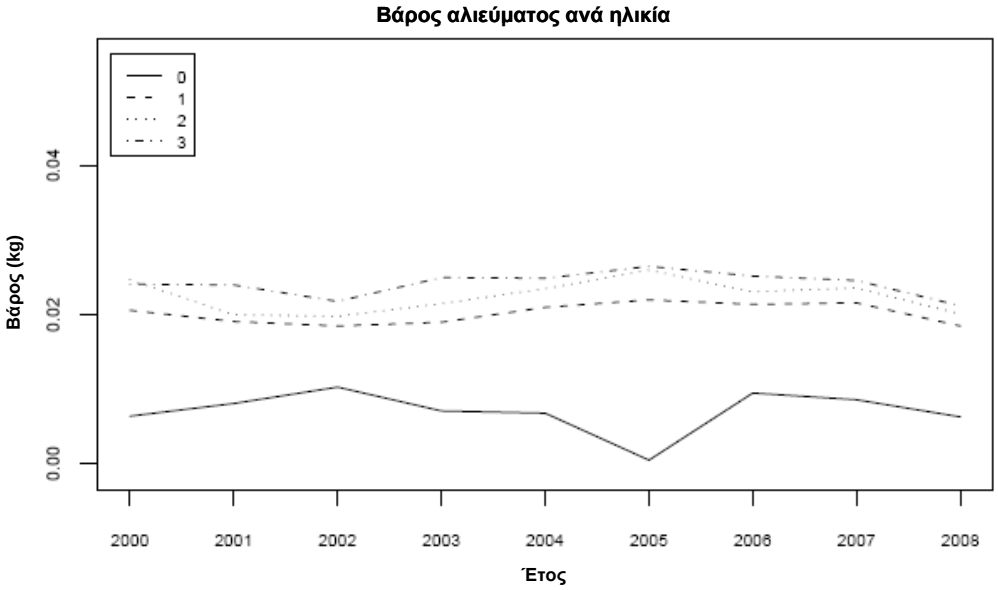


Εικ. 3.2.1.4. Η ηλικιακή σύνθεση (αριθμός ατόμων) από τα δεδομένα των εκφορτώσεων της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2000 – 2008 όπως προέκυψε από την FLR.

Όπως φαίνεται στο γράφημα οι κυρίαρχες ηλικιακές κλάσεις στο αλίευμα είναι αυτές των ηλικιών 1 και 2 γεγονός που φάνηκε και από το ALK του Πίνακα 3.2.1.3. Κατά την περίοδο 2000 – 2002 το μεγαλύτερο ποσοστό των ατόμων του αλιεύματος ανήκει στην ηλικιακή κλάση 2 ενώ από το 2003 ως και το 2008 η ηλικιακή κλάση 1 είναι αυτή που κυριαρχεί.

3.2.1.5 Βάρος αλιεύματος ανά ηλικία

Το βάρος του αλιέυματος ανά ηλικία για την περίοδο 2000 – 2008 παρουσιάζεται στο γράφημα της Εικόνας 3.2.1.5 όπως προέκυψε από την FLR. Σύμφωνα με το γράφημα, το βάρος του αλιεύματος αυξάνει με την ηλικία. Αν εξαιρέσουμε τα άτομα της ηλικίας 0 που έχουν διακριτά μικρότερο βάρος από τα υπόλοιπα, τα βάρη των ατόμων με ηλικία 1, 2 και 3 φαίνεται να βρίσκονται σε παραπλήσιο επίπεδο.



Εικ. 3.2.1.5. Βάρος (kg) αλιεύματος ανά ηλικία της σαρδέλας για την περίοδο 2000 - 2008 στο Β. Αιγαίο όπως προέκυψε από την FLR.

3.2.1.6 Μέσο μήκος ανά ηλικία

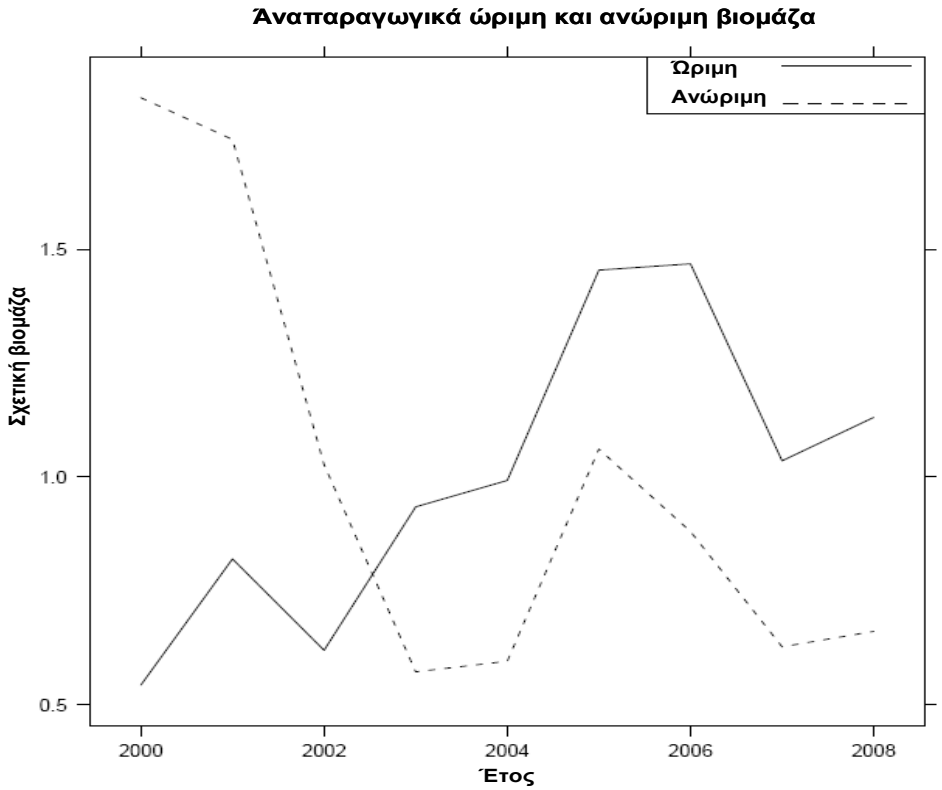
Το μέσο μήκος ανά ηλικία της σαρδέλας για την περίοδο 2000 – 2008, με εξαίρεση το 2007, στο Β. Αιγαίο από τα δεδομένα των εκφορτώσεων παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.2.1.6. Οι τιμές του κυμαίνονται από 102 mm, για την ηλικία 0 του 2003, ως 175 mm, για την ηλικία 3 του 2004. Η μικρότερη αύξηση παρατηρείται το 2006 στην ηλικία 2 ενώ παρατηρείται μείωση για την ηλικία 3 το 2005. Συγκεκριμένη τάση του μέσου μήκους ως προς το χρόνο στις ηλικιακές κλάσεις δε φαίνεται να υπάρχει με εξαίρεση την ηλικία 0 όπου παρατηρείται αύξηση της τιμής του από το 2003 μέχρι το 2008.

Πίνακας 3.2.1.6. Μέσο μήκος (mm) και διαστήματα εμπιστοσύνης (%) ανά ηλικία της σαρδέλας από τα δεδομένα των εκφορτώσεων για την περίοδο 2000 – 2008 στο Β. Αιγαίο.

	Ηλικία			
Έτος	**0**	**1**	**2**	**3**
2003	101.98 (7.07%)	135.18 (3.7%)	142.12 (6.16%)	147.22 (18.54%)
2004	109.55 (13.09%)	137.59 (2.56%)	145 (6.59%)	175 (-)
2005	108.08 (16.86%)	141.39 (3.17%)	144.57 (4.45%)	143.15 (9.99%)
2006	120.42 (11.6%)	137.84 (3.03%)	138.31 (4.44%)	148.57 (13.11%)
2008	118.16 (12.77%)	136.64 (2.85%)	148.33 (8.32%)	170 (43.83%)

3.2.1.7 Σύγκριση αναπαραγωγικά ώριμης και ανώριμης βιομάζας

Το γράφημα της Εικόνας 3.2.1.7 παρουσιάζει την εξέλιξη της αναπαραγωγικά ώριμης και ανώριμης βιομάζας της σαρδέλας για την περίοδο 2000 – 2008 στο Β. Αιγαίο από τα δεδομένα των εκφορτώσεων, όπως προέκυψε από την FLR.



Εικ. 3.2.1.7. Η εξέλιξη της αναπαραγωγικά ώριμης και ανώριμης βιομάζας της σαρδέλας για την περίοδο 2000 – 2008 στο Β. Αιγαίο από τα δεδομένα των εκφορτώσεων, όπως προέκυψε από την FLR.

Σύμφωνα με το γράφημα, η αναπαραγωγικά ώριμη βιομάζα ακολουθεί μια ανοδική πορεία από την αρχή της χρονοσειράς μέχρι και το 2006, μειώνεται το 2007 φτάνοντας στο επίπεδο του 2004 ενώ το 2008 παρουσιάζει νέα άνοδο. Η πορεία της αναπαραγωγικά ανώριμης βιομάζας είναι καθοδική από το 2000 μέχρι το 2003 ενώ από το 2004 και μετά ακολουθεί την ίδια τάση με την ώριμη βιομάζα.

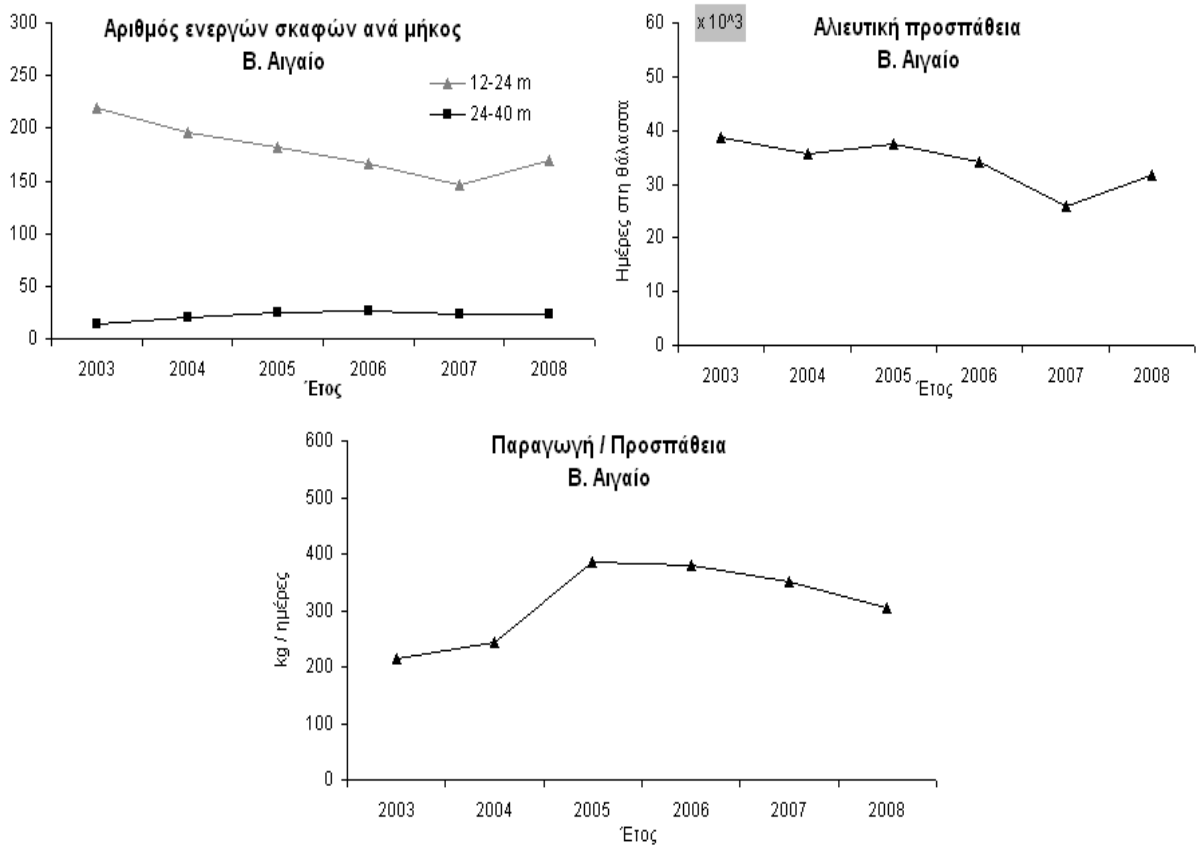
3.2.1.8 Περιγραφή του αλιευτικού στόλου

Η περιγραφή του αλιευτικού στόλου των γρι – γρι στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2003 – 2008 δίνεται από τον Πίνακα και την Εικόνα 3.2.1.8.

Πίνακας 3.2.1.8. Περιγραφή του αλιευτικού στόλου των γρι – γρι στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2003 – 2008. Παρουσιάζονται ο αριθμός των ενεργών σκαφών και η αλιευτική προσπάθεια ανά μήκος σκάφους καθώς και ο λόγος της παραγωγής (kg) προς τη συνολική προσπάθεια.

Έτος	Αριθμός ενεργών σκαφών	Μήκος σκαφών	Προσπάθεια (ημέρες στη θάλασσα)	Παραγωγή / Συνολική Προσπάθεια
2003	219	12-24 m	35 475	214.23
	14	24-40 m	3 080	
2004	196	12-24 m	31 857	242.57
	20	24-40 m	3 843	
2005	182	12-24 m	32 061	385.15
	25	24-40 m	5 441	
2006	167	12-24 m	28 126	379.27
	26	24-40 m	6 110	
2007	147	12-24 m	20 996	350.78
	24	24-40 m	4 844	
2008	169	12-24 m	27 472	305.13
	23	24-40 m	4 320	

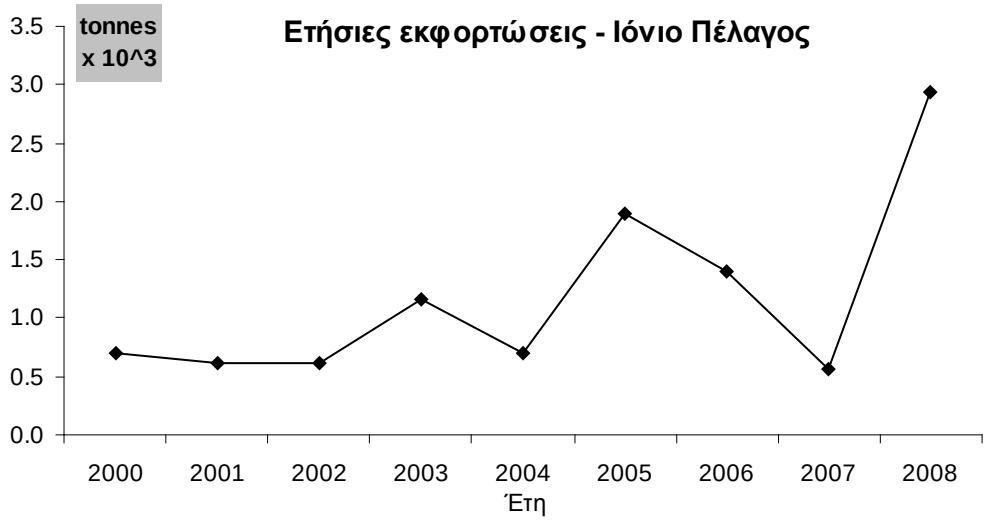
Τα μικρότερα σκάφη μήκους 12–24 m αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του στόλου των γρι – γρι στο Β. Αιγαίο. Ο αριθμός τους φαίνεται να μειώνεται από την αρχή της χρονοσειράς μέχρι το 2007 ενώ ακολουθεί μια αυξητική τάση κατά το 2008. Αντίθετα, ο αριθμός των μεγαλύτερων σκαφών του στόλου (μήκη 24–40 m) είναι πολύ μικρότερος και ακολουθεί μια σταθερή πορεία καθ’ όλη τη διάρκεια της περιόδου 2003 - 2008. Η διαφοροποίηση αυτή μεταξύ των μικρών και των μεγάλων σκαφών του στόλου επαληθεύεται και από τη συνολική αλιευτική προσπάθεια η οποία μεταβάλεται κατά το ίδιο πρότυπο με το στόλο των μικρότερων σκαφών μέσα στη χρονοσειρά. Τέλος, ο λόγος της παραγωγής προς τη συνολική αλιευτική προσπάθεια παρουσιάζει μια ανοδική πορεία μέχρι το έτος 2005. Από το χρονικό αυτό σημείο και μετά ακολουθεί μια συνεχή πτωτική τάση χωρίς παρ’ όλα αυτά να φτάνει σε χαμηλότερο επίπεδο από αυτό του 2004 μέχρι και το τέλος της χρονοσειράς.



Εικ. 3.2.1.8. Η εξέλιξη της δραστηριότητας του αλιευτικού στόλου (γρι – γρι) στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2003 – 2008. Παρουσιάζονται τα γραφήματα του αριθμού των ενεργών σκαφών ανά μήκος σκάφους, της συνολικής αλιευτικής προσπάθειας και του λόγου της παραγωγής προς τη συνολική προσπάθεια.

3.2.2 Ιόνιο Πέλαγος

Στο γράφημα της Εικόνας 3.2.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η πορεία των ετήσιων εκφορτώσεων της σαρδέλας από τα εμπορικά σκάφη (γρι – γρι) στο Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2000 – 2008. Η εξέλιξη των εκφορτώσεων είναι μεταβαλόμενη με έντονες αυξομειώσεις από το 2003 και μετά παρουσιάζοντας μια πρώτη κορυφή το 2003, μια δεύτερη μεγαλύτερη κορυφή το 2005 και μια ακόμα μεγαλύτερη το 2008. Τα χαμηλότερα σημεία αυτής της πορείας εντοπίζονται το 2004 και 2007 και βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με αυτό της περιόδου 2000 – 2002. Η γενική τάση καθ' όλη τη διάρκεια της χρονοσειράς φαίνεται ανοδική αλλά δεν είναι στατιστικά σημαντική (P > 0.05).



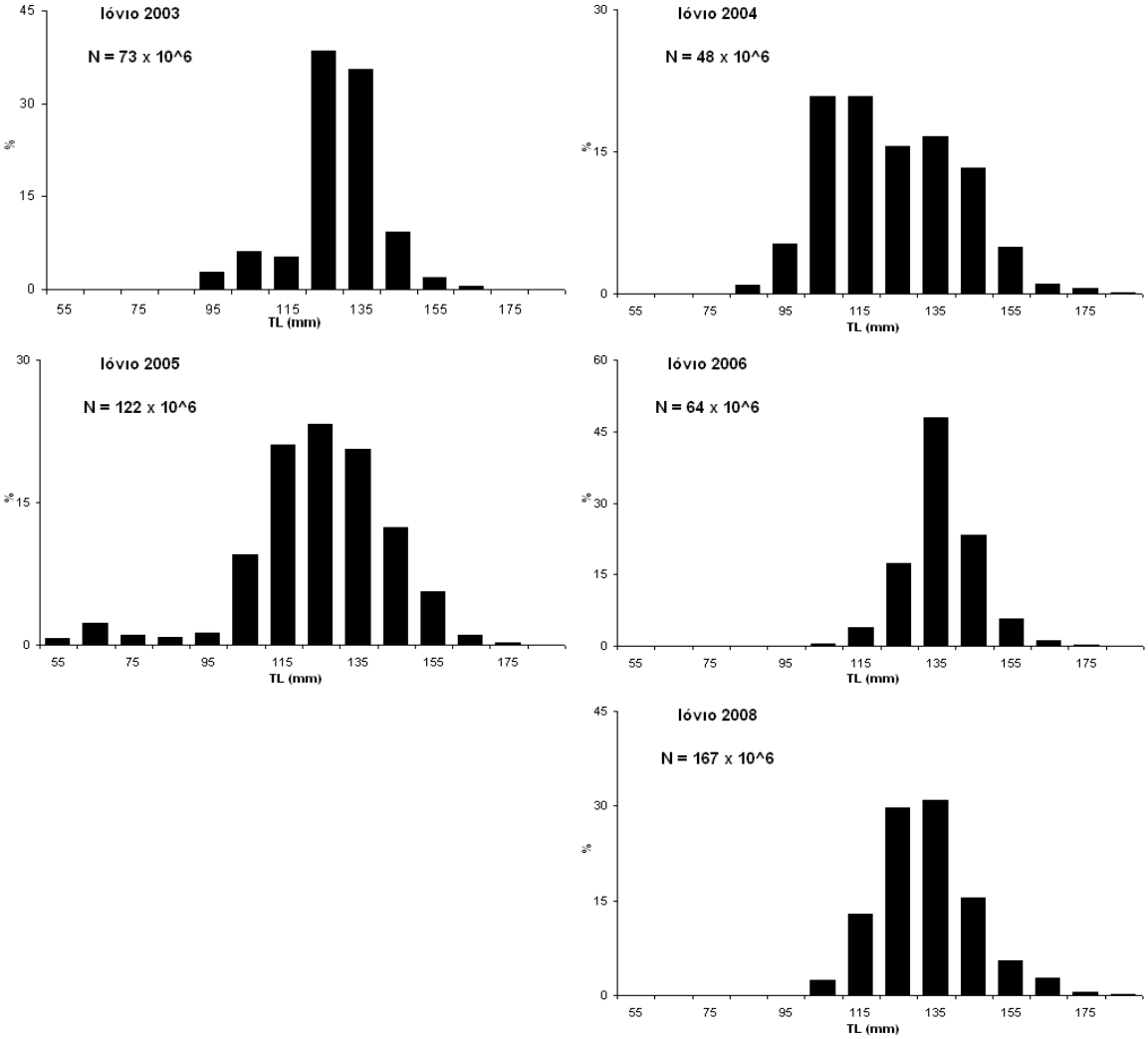
Εικ. 3.2.2. Οι ετήσιες εκφορτώσεις της σαρδέλας από τα εμπορικά σκάφη (γρι – γρι) στο Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2000 – 2008.

3.2.2.1 Κατά μήκος συνθέσεις

Οι κατά μήκος συνθέσεις της σαρδέλας στο Ιόνιο Πέλαγος βασίστηκαν στις μετρήσεις του ολικού μήκους (TL) από 22.478 άτομα συνολικά για την περίοδο 2003 – 2008, με εξαίρεση το 2007. Οι κατά μήκος συνθέσεις που παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.2.2.1 είναι ετήσιες και ο αριθμός των ατόμων του δείγματος από κάθε σκάφος έχει αναχθεί με βάση τη συνολική παραγωγή του σκάφους. Το συνολικό εύρος των μηκών κυμάνθηκε από 55 ως 185 mm. Στον Πίνακα 3.2.2.1 παρουσιάζονται σε ετήσια βάση ο αριθμός των ατόμων του δείγματος, το μεσαίο μήκος της μικρότερης και της μεγαλύτερης κλάσης και το μέσο μήκος με το σταθερό σφάλμα (s.e.).

Πίνακας 3.2.2.1. Παρουσιάζονται σε ετήσια βάση ο αριθμός των ατόμων του δείγματος (N), το εύρος των μεσαίων μηκών των κλάσεων και το μέσο μήκος με το σταθερό σφάλμα (s.e.) της σαρδέλας για την περίοδο 2003 – 2008 στο Ιόνιο Πέλαγος.

Έτος	N δείγματος	Εύρος μεσαίων μηκών (mm)	Μέσο μήκος (mm) ± S.E.
2003	3764	85 - 175	127.48 ± 0.22
2004	4178	85 - 185	125.6 ± 0.25
2005	5840	55 - 175	113.86 ± 0.39
2006	7368	95 - 185	137.67 ± 0.12
2008	1328	105 - 185	134.68 ± 0.34

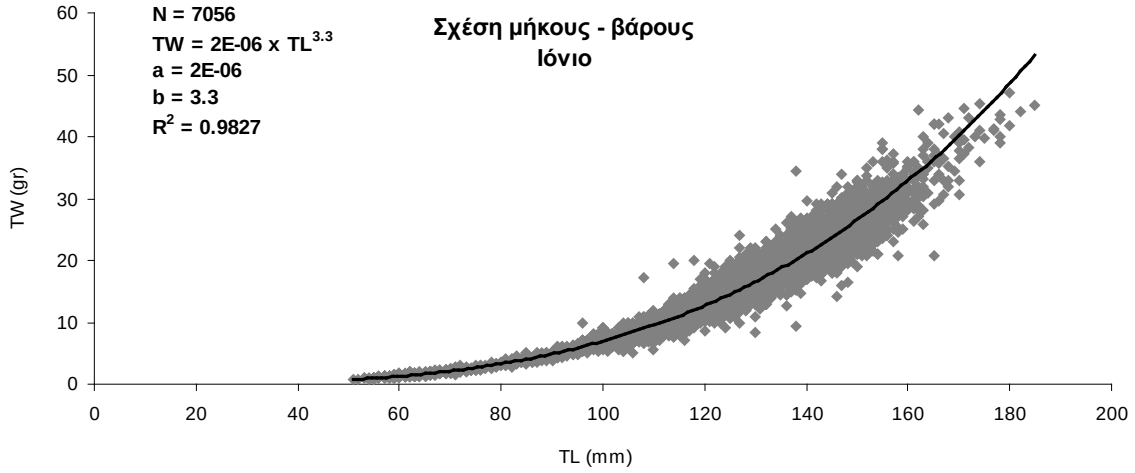


Εικ. 3.2.2.1. Ετήσιες κατά μήκος συνθέσεις της σαρδέλας στο Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2003 – 2008.

Οι κατά μήκος συνθέσεις των ετών 2003, 2004 και 2005 παρουσιάζουν περισσότερες από μία κορυφές ενώ αυτές των ετών 2006 και 2008 παρουσιάζουν μία κορυφή. Παρατηρώντας τον πίνακα και τα γραφήματα διαπιστώνουμε πως η παρουσία των μικρών ατόμων (< 100 mm) είναι εντονότερη το 2005 και ακολουθούν τα έτη 2003 και 2004. Μικρά άτομα απουσιάζουν από την κατά μήκος σύνθεση του 2006 και του 2008. Η παρουσία των μεγάλων ατόμων (> 160 mm) είναι μικρή σε όλα τα έτη. Το εύρος των μηκών του μεγαλύτερου ποσοστού των ατόμων κυμαίνεται από 105 ως 145 mm ενώ το μεσαίο μήκος των επικρατέστερων κλάσεων όλων των ετών κυμαίνεται από 115 ως 135 mm.

3.2.2.2 Σχέση μήκους – βάρους

Η σχέση μήκους – βάρους $W = aL^b$ που υπολογίστηκε για τη σαρδέλα στο Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2003 – 2008 βασίστηκε στις μετρήσεις του ολικού βάρους (TW) και του ολικού μήκους (TL) από 7.056 άτομα. Η εξίσωση που περιγράφει τη σχέση αυτή είναι η εξής: $TW = 2E\text{-}06 \times TL^{3.3}$ (Εικόνα 3.2.2.2). Η τιμή του αριθμητικού συντελεστή b, που δηλώνει την κλίση της καμπύλης, ήταν 3.3 και αυτή του αριθμητικού συντελεστή a ήταν 0,000002 ενώ ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 ήταν πολύ υψηλός ($R^2 = 0,98$).



Εικ. 3.2.2.2. Η σχέση μήκους – βάρους για τη σαρδέλα στο Ιόνιο Πέλαγος.

3.2.2.3 Κλείδα ηλικίας – μήκους (ALK)

Στον Πίνακα 3.2.2.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κλείδα ηλικίας – μήκους για τη σαρδέλα στο Ιόνιο Πέλαγος της περιόδου 2003 – 2008, με εξαίρεση το 2007. Για την κατασκευή της χρησιμοποιήθηκαν το ολικό μήκος (TL) και οι ηλικίες από 3.786 άτομα.

Πίνακας 3.2.2.3. Το ALK για τη σαρδέλα στο Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2003 – 2008. Παρουσιάζονται τα ποσοστά (%) του αριθμού των ατόμων ανά κλάση μήκους και ηλικίας.

Κλάσεις μήκους TL (mm)	**Ηλικία**				
	0	**1**	**2**	**3**	**Σύνολο**
50-59	100				**100**
60-69	100				**100**
70-79	100				**100**
80-89	100				**100**
90-99	87.88	12.12			**100**
100-109	63.00	36.50	0.50		**100**
110-119	40.97	56.25	2.78		**100**
120-129	9.82	76.16	13.88	0.14	**100**
130-139	1.20	82.61	16.03	0.16	**100**
140-149	0.25	75.32	23.92	0.51	**100**
150-159		42.60	55.96	1.44	**100**
160-169		17.81	73.97	8.22	**100**
170-179			88.89	11.11	**100**
180-190			100		**100**

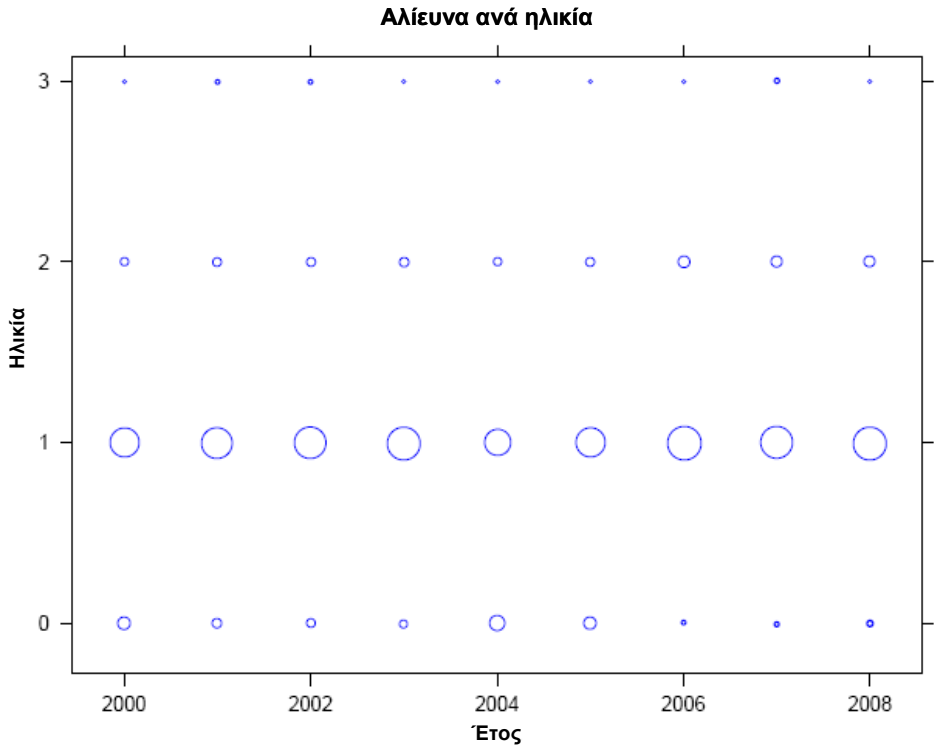
Γίνεται φανερό πως οι κυρίαρχες ηλικιακές κλάσεις είναι αυτές των ηλικιών 1 και 2 με ποσοστά συμμετοχής 67.17 και 19.10 αντίστοιχα. Το μήκος του μεγαλύτερου ποσοστού (72,7 %) των ατόμων του δείγματος που χρησιμοποιήθηκαν στον προσδιορισμό της ηλικίας κυμαίνεται από 120 ως 150 mm.

3.2.2.4 Κατά ηλικία σύνθεση

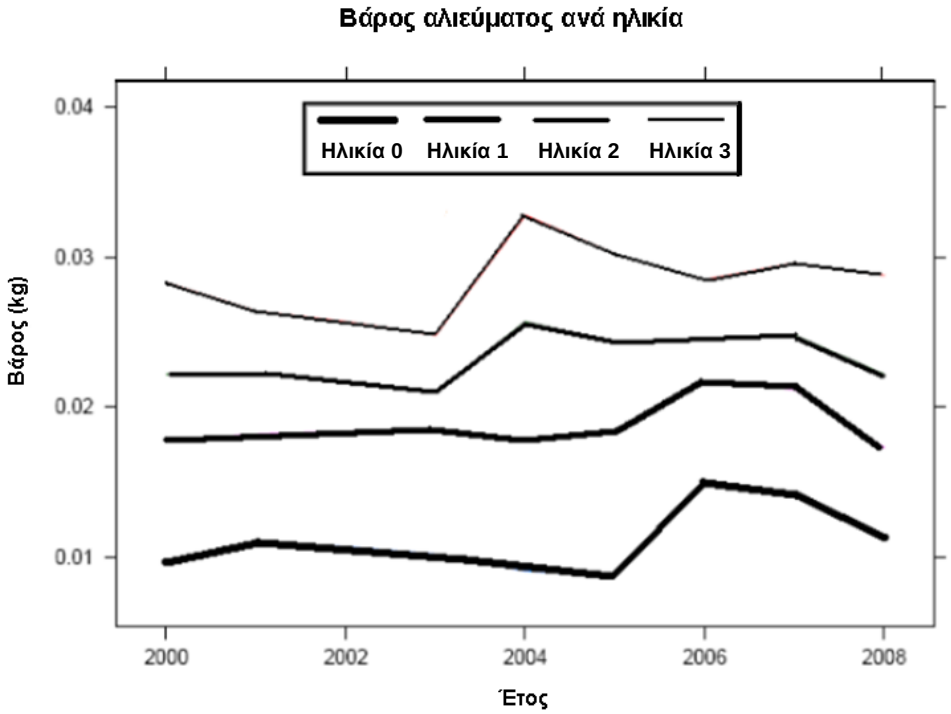
Η ηλικιακή δομή (αριθμός ατόμων) ανά έτος της σαρδέλας στο Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2000 – 2008 φαίνεται στην Εικόνα 3.2.2.4 όπως προέκυψε από την FLR. Παρατηρείται πως η κυρίαρχη ηλικιακή κλάση στο αλίευμα είναι αυτή της ηλικίας 1 γεγονός που φάνηκε και από το ALK του Πίνακα 3.2.2.3.

3.2.2.5 Βάρος αλιεύματος ανά ηλικία

Το γράφημα της Εικόνας 3.2.2.5 παρουσιάζει το βάρος του αλιεύματος ανά ηλικία για την περίοδο 2000 – 2008 στο Ιόνιο Πέλαγος όπως προέκυψε από την FLR. Σύμφωνα με το γράφημα, το βάρος του αλιεύματος αυξάνει με την ηλικία.



Εικ. 3.2.2.4. Η ηλικιακή σύνθεση (αριθμός ατόμων) της σαρδέλας στο Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2000 – 2008 όπως προέκυψε από την FLR.



Εικ. 3.2.2.5. Βάρος (kg) αλιεύματος ανά ηλικία της σαρδέλας για την περίοδο 2000 - 2008 στο Ιόνιο Πέλαγος όπως προέκυψε από την FLR.

3.2.2.6 Μέσο μήκος ανά ηλικία

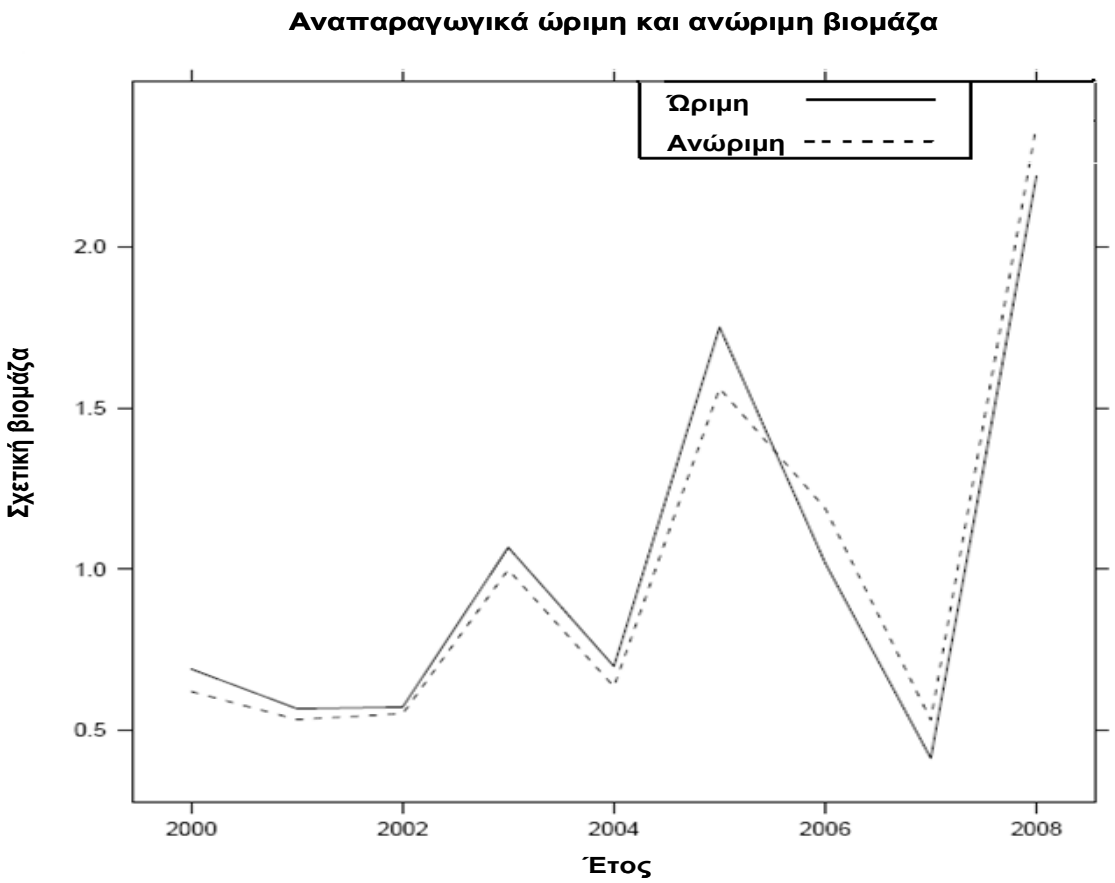
Στον Πίνακα 3.2.2.6 παρουσιάζεται το μέσο μήκος ανά ηλικία της σαρδέλας για την περίοδο 2000 – 2008, με εξαίρεση το 2007, στο Ιόνιο Πέλαγος. Οι τιμές του κυμαίνονται από 95.82 mm, για την ηλικία 0 του 2005, ως 170 mm, για την ηλικία 3 του 2003 και 2005. Συγκρίνοντας τις τιμές κάθετα στον πίνακα παρατηρούμε πως το μέσο μήκος δεν παρουσιάζει συγκεκριμένη τάση ως προς το χρόνο στις ηλικιακές κλάσεις.

Πίνακας 3.2.2.6. Μέσο μήκος και διαστήματα εμπιστοσύνης (%) ανά ηλικία της σαρδέλας για την περίοδο 2000 – 2008, με εξαίρεση το 2007, στο Ιόνιο Πέλαγος.

	Ηλικία			
Έτος	**0**	**1**	**2**	**3**
2003	104.06 (5.41%)	132.23 (2.91%)	144.78 (8.28%)	170 (43.83%)
2004	109.15 (5.43%)	129.62 (3.28%)	141.87 (4.36%)	132 (26.3%)
2005	95.82 (3.47%)	134.07 (2.08%)	147.4 (4.89%)	170 (43.83%)
2006	117.92 (7.82%)	137.27 (1.71%)	139.55 (3.55%)	125.83 (22.16%)
2008	80 (30.99%)	131.94 (2.57%)	143.95 (4.24%)	152 (18.25%)

3.2.2.7 Σύγκριση αναπαραγωγικά ώριμης και ανώριμης βιομάζας

Το γράφημα της Εικόνας 3.2.2.7 παρουσιάζει συγκριτικά την αναπαραγωγικά ώριμη και ανώριμη βιομάζα της σαρδέλας για την περίοδο 2000 – 2008 στο Ιόνιο Πέλαγος όπως προέκυψε από την FLR.



Εικ. 3.2.2.7. Αναπαραγωγικά ώριμη και ανώριμη βιομάζα της σαρδέλας για την περίοδο 2000 – 2008 στο Ιόνιο Πέλαγος όπως προέκυψε από την FLR.

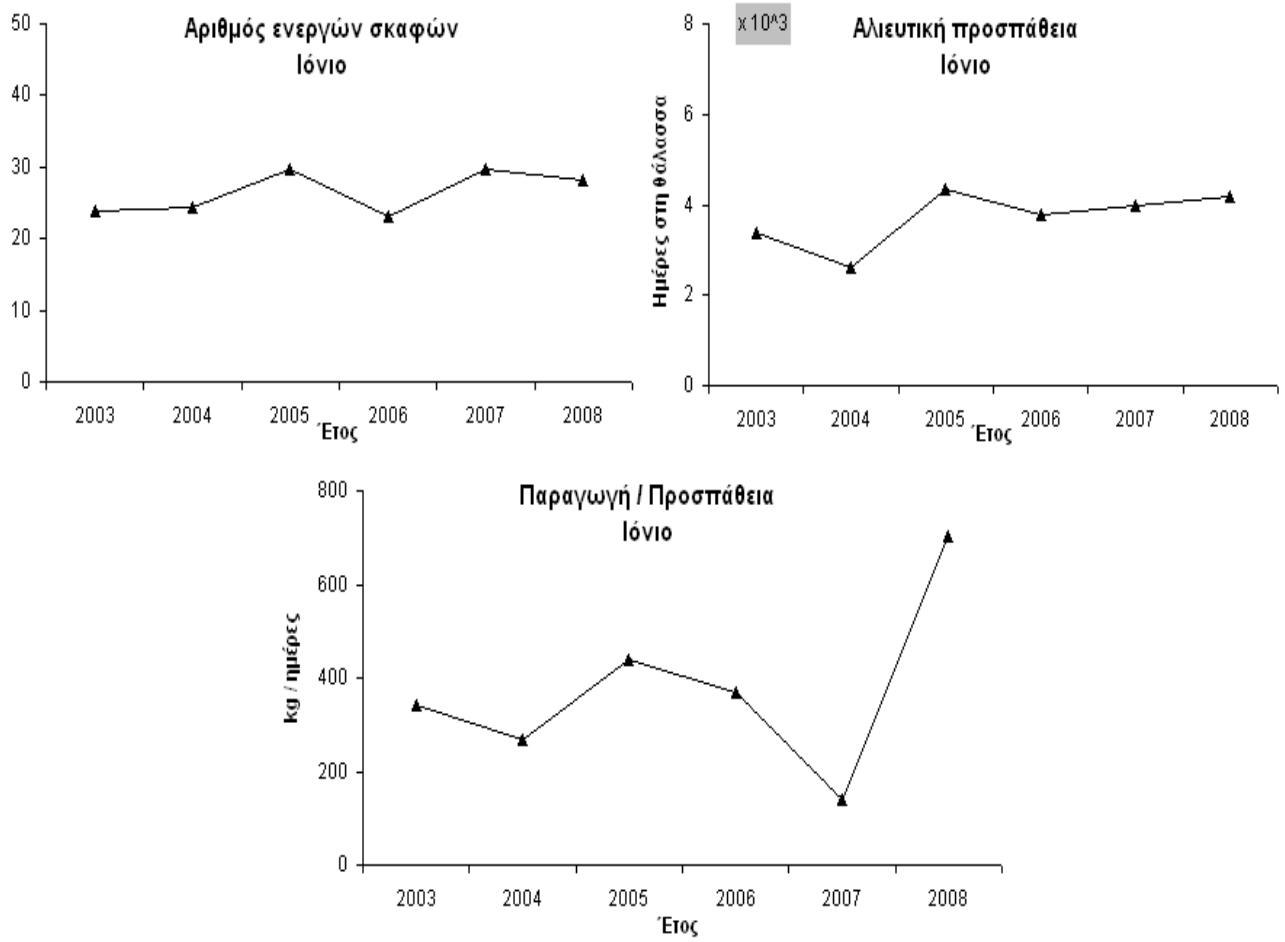
Οι καμπύλες που εκφράζουν την εξέλιξη της αναπαραγωγικά ώριμης και ανώριμης βιομάζας της σαρδέλας εμφανίζουν κοινή τάση. Παρουσιάζονται μεταβαλόμενες με το χρόνο σημειώνοντας έντονες αυξομειώσεις εμφανίζοντας ένα μέγιστο το 2003, ένα δεύτερο και υψηλότερο από το πρώτο το 2005 ενώ το υψηλότερο μέγιστο εμφανίζεται το 2008. Τα ελάχιστα των καμπυλών που βρίσκονται στα ιδια περίπου επίπεδα εμφανίζονται κατά τα έτη 2002, 2004 και 2007.

3.2.2.8 Περιγραφή του αλιευτικού στόλου

Η περιγραφή του αλιευτικού στόλου των γρι – γρι στο Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2003 – 2008 δίνεται από τον Πίνακα και την Εικόνα 3.2.2.8.

Πίνακας 3.2.2.8. Περιγραφή του αλιευτικού στόλου των γρι – γρι στο Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2003 – 2008. Παρουσιάζονται ο αριθμός των ενεργών σκαφών και το μήκος τους, η αλιευτική προσπάθεια καθώς και ο λόγος της παραγωγής (kg) προς την αλιευτική προσπάθεια.

Έτος	Αριθμός ενεργών σκαφών	Μήκος σκαφών	Προσπάθεια (ημέρες στη θάλασσα)	Παραγωγή / Προσπάθεια
2003	24	12-24 m	3 377	343.28
2004	24	12-24 m	2 604	268.22
2005	30	12-24 m	4 342	437.63
2006	23	12-24 m	3 782	370.69
2007	30	12-24 m	3 982	140.78
2008	28	12-24 m	4 188	702.79

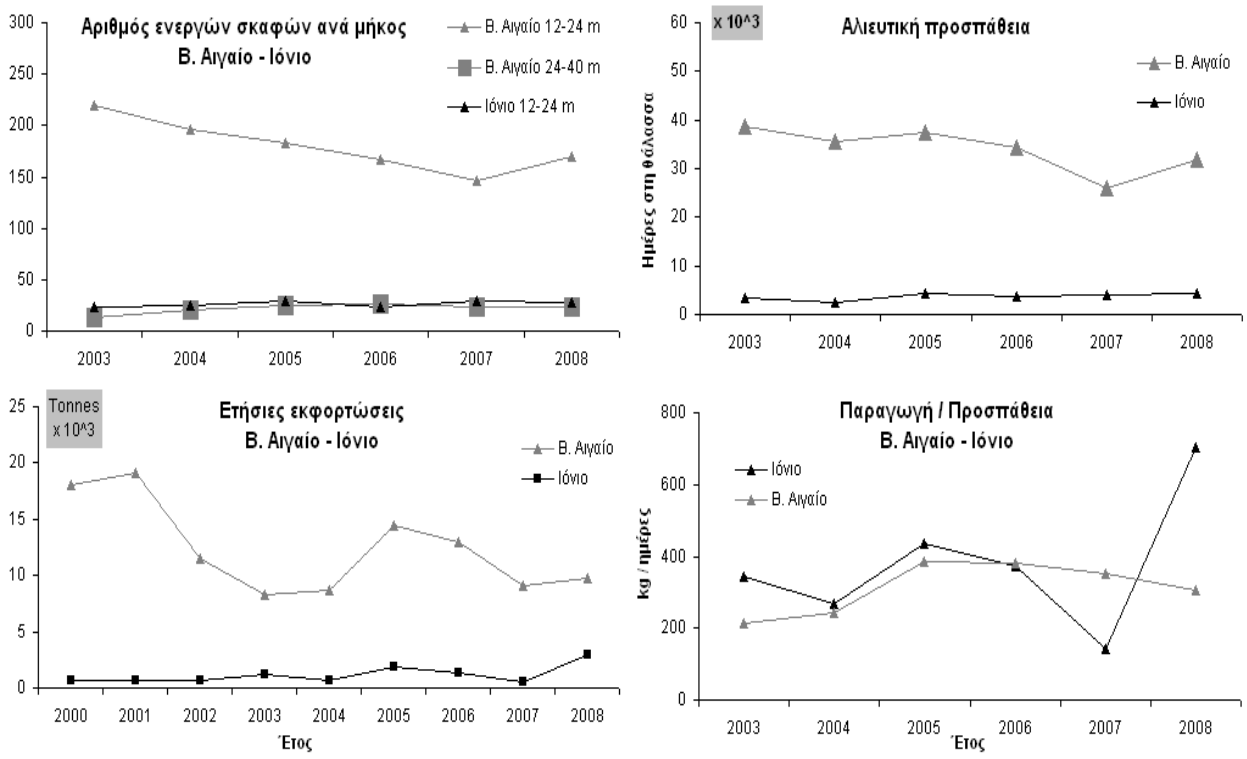


Εικ. 3.2.2.8. Διαγραμματική περιγραφή του αλιευτικού στόλου (γρι – γρι) στο Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2003 – 2008. Παρουσιάζονται τα γραφήματα του αριθμού των ενεργών σκαφών, της αλιευτικής προσπάθειας και του λόγου της παραγωγής προς την προσπάθεια.

Ο αριθμός των ενεργών σκαφών παρουσιάζει μκρές αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια της χρονοσειράς 2003 – 2008 με τη γενικότερη τάση να είναι σχεδόν σταθερή. Οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται τα έτη 2003, 2004 και 2006 βρισκόμενες στο ίδιο επίπεδο. Οι υψηλότερες τιμές που εμφανίζονται κατά τα υπόλοιπα έτη της χρονοσειράς βρίσκονται, επίσης, στο ίδιο περίπου επίπεδο. Η πορεία που ακολουθεί η αλιευτική προσπάθεια είναι ανοδική μέχρι το 2005 ενώ από το χρονικό αυτό σημείο και μετά παρουσιάζεται σταθερή. Ο λόγος της παραγωγής προς την αλιευτική προσπάθεια εμφανίζεται μεταβαλόμενος με έντονη ανοδική τάση το 2008.

3.2.3 Σύγκριση αλιευτικών δεδομένων Β. Αιγαίο – Ιόνιο

Η ακόλουθη Εικόνα (3.2.3) παρουσιάζει συγκριτικά για το Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος τον αριθμό των ενεργών σκαφών ανά μήκος, την αλιευτική προσπάθεια, τις ετήσιες εκφορτώσεις και το λόγο της παραγωγής προς την προσπάθεια.

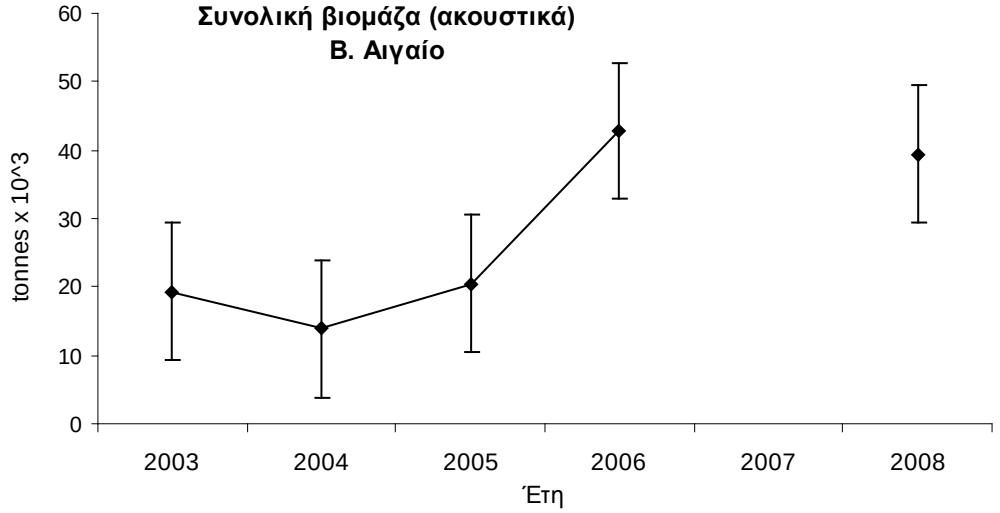


Εικ. 3.2.3. Διαγραμματική σύγκριση για το Β. Αιγαίο και το Ιόνιο του αριθμού των ενεργών σκαφών ανά μήκος, της αλιευτικής προσπάθειας, των ετήσιων εκφορτώσεων και του λόγου της παραγωγής προς την προσπάθεια.

Η αλιευτική προσπάθεια, τόσο στο Β. Αιγαίο όσο και στο Ιόνιο, πραγματοποιείται κατά ένα συντριπτικό ποσοστό από τα μικρά εμπορικά σκάφη μήκους 12-24 m. Η διαφορά στον αριθμό των σκαφών και κατά συνέπεια στην αλιευτική προσπάθεια μεταξύ Β. Αιγαίου και Ιονίου έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη μεγάλη διαφορά στις ποσότητες των αλιευμάτων της σαρδέλας που εκφορτώνονται μεταξύ των δύο περιοχών. Τέλος, ο λόγος της παραγωγής προς την αλιευτική προσπάθεια βρίσκεται στα ίδια επίπεδα και για τις δύο περιοχές παρουσιάζοντας μια ανοδική πορεία μέχρι το 2006. Από το χρονικό αυτό σημείο και έπειτα, ο λόγος εμφανίζει μια πτωτική τάση για την περιοχή του Β. Αιγαίου ενώ για το Ιόνιο η τάση αυτή είναι έντονα αυξητική.

3.3 Περιγραφή πληθυσμού – Β. Αιγαίο

Το γράφημα της Εικόνας 3.3 παρουσιάζει τη συνολική βιομάζα για τον πληθυσμό στο Β. Αιγαίο σύμφωνα με τα δεδομένα που συλλέχθησαν από την ακουστική δειγματοληψία. Η εξέλιξη της βιομάζας κατά τη διάρκεια της χρονοσειράς 2003 – 2008, με εξαίρεση το 2007, παρουσιάζει ανοδική τάση. Συγκεκριμένα, εμφανίζει μια μικρή μείωση από το 2003 προς το 2004 για να ακολουθήσει μια συνεχή ανοδική τάση μέχρι και το 2006. Η τιμή της βιομάζας για το 2008 φαίνεται να είναι σε χαμηλότερο επίπεδο από αυτό του 2006.



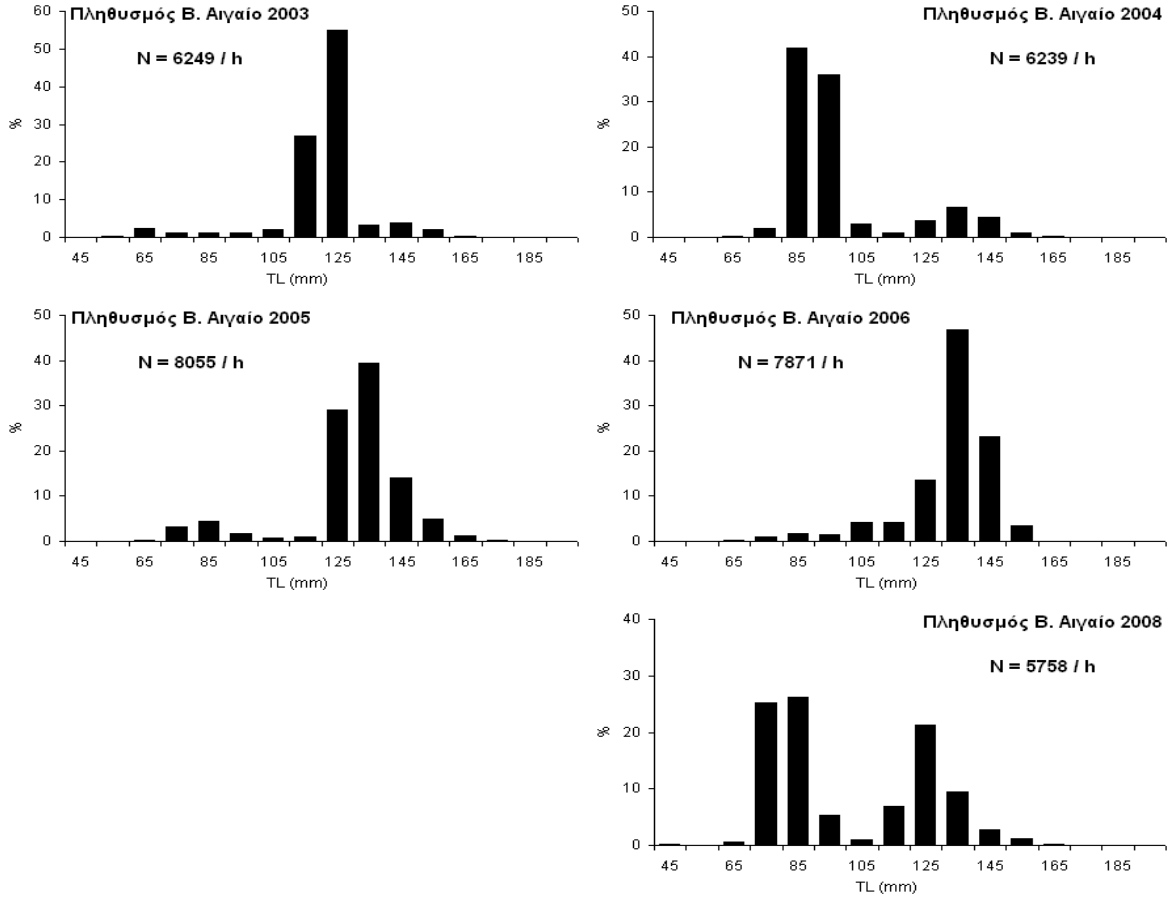
Εικ. 3.3. Η εξέλιξη της βιομάζας για τον πληθυσμό στο Β. Αιγαίο της περιόδου 2003 – 2008, με εξαίρεση το 2007, από τα δεδομένα της ακουστικής δειγματοληψίας. Φαίνονται τα διαστήματα των σφαλμάτων.

3.3.1 Κατά μήκος συνθέσεις

Οι κατά μήκος συνθέσεις για τον πληθυσμό της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο βασίστηκαν στις μετρήσεις του ολικού μήκους (TL) από 31.679 άτομα που αλιεύθηκαν κατά την περίοδο 2003 – 2008 στα πλαίσια των ερευνητικών δειγματοληψιών και είναι αντιπροσωπευτικές του πληθυσμού. Οι κατά μήκος συνθέσεις που παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.3.1 είναι ετήσιες και ο αριθμός των ατόμων του δείγματος έχει αναχθεί με βάση τη βιομάζα κάθε έτους σε αριθμό ατόμων ανά ώρα αλιείας. Το συνολικό εύρος των μηκών κυμάνθηκε από 45 ως 195 mm. Στον Πίνακα 3.3.1 παρουσιάζονται σε ετήσια βάση ο αριθμός των ατόμων του δείγματος, το μεσαίο μήκος της μικρότερης και της μεγαλύτερης κλάσης και το μέσο μήκος με το σταθερό σφάλμα (s.e.).

Πίνακας 3.3.1. Παρουσιάζονται σε ετήσια βάση ο αριθμός των ατόμων του δείγματος (N), το εύρος των μεσαίων μηκών των κλάσεων και το μέσο μήκος με το σταθερό σφάλμα (s.e.) για τον πληθυσμό της σαρδέλας της περιόδου 2003 – 2008 στο Β. Αιγαίο.

Έτος	N δείγματος	Εύρος μεσαίων μηκών (mm)	Μέσο μήκος (mm) ± S.E.
2003	6145	55 - 185	119.48 ± 0.53
2004	6893	65 - 195	120.13 ± 0.45
2005	7864	55 - 175	114.54 ± 0.43
2006	5908	55 - 165	109.38 ± 0.46
2008	4869	45 - 175	113.32 ± 0.56



Εικ. 3.3.1. Ετήσιες κατά μήκος συνθέσεις αντιπροσωπευτικές του πληθυσμού της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2003 – 2008, με εξαίρεση το 2007, από τα δεδομένα των ερευνητικών δειγματοληψιών.

Όλες οι κατά μήκος συνθέσεις, με εξαίρεση αυτή του 2006, εμφανίζουν περισσότερες από μία κορυφές. Η παρουσία των μικρών ατόμων (< 100 mm) είναι εντονότερη το 2004 και το 2008 ενώ τα περισσότερα μεγάλα άτομα (> 155 mm) φαίνεται να υπάρχουν το 2005 και το 2006. Το εύρος των μηκών του μεγαλύτερου ποσοστού των ατόμων είναι αρκετά μεγάλο και κυμαίνεται από 75 ως 145 mm ενώ οι επικρατέστερες κλάσεις έχουν μεσαία μήκη 85, 125 και 135 mm. Η κατά μήκος σύνθεση του 2008 εμφανίζει δύο κορυφές με μεγάλη συμμετοχή ατόμων. Συγκεκριμένα, το 56.65 % των ατόμων συγκεντρώνεται μεταξύ των μεσαίων μηκών 75 και 95 mm ενώ το 37.62 % βρίσκεται μεταξύ 115 και 135 mm.

3.3.2 Κλείδα ηλικίας – μήκους (ALK)

Στον Πίνακα 3.3.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κλείδα ηλικίας – μήκους για τον πληθυσμό της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο της περιόδου 2003 – 2008, με εξαίρεση το 2007. Για την κατασκευή της χρησιμοποιήθηκαν το ολικό μήκος (TL) και οι ηλικίες από 2.324 άτομα.

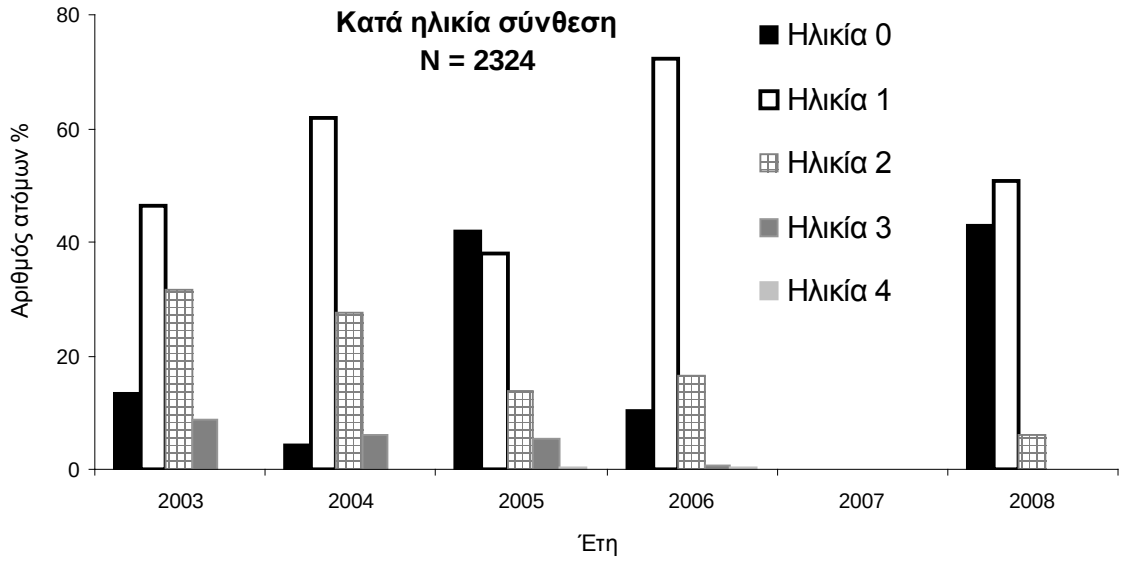
Πίνακας 3.3.2. Το ALK για τον πληθυσμό της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο της περιόδου 2003 – 2008 από τα δεδομένα των ερευνητικών δειγματοληψιών. Παρουσιάζονται τα ποσοστά (%) του αριθμού των ατόμων ανά κλάση μήκους και ηλικίας.

Κλάσεις μήκους TL (mm)	**Ηλικία**					
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**Σύνολο**
60-69	100					**100**
70-79	100					**100**
80-89	100					**100**
90-99	100					**100**
100-109	94.05	5.95				**100**
110-119	27.43	68.35	4.22			**100**
120-129	0.98	85.94	12.50	0.59		**100**
130-139		76.07	22.22	1.71		**100**
140-149		62.82	31.27	5.35	0.56	**100**
150-159		34.57	47.53	17.90		**100**
160-169		3.57	35.71	57.14	3.57	**100**
170-180				50.00	50.00	**100**

Παρατηρώντας τον πίνακα διαπιστώνουμε πως οι κυρίαρχες ηλικιακές κλάσεις είναι αυτές των ηλικιών 0, 1 και 2 με ποσοστά συμμετοχής 26.89, 53.49 και 16.18 % αντίστοιχα. Το μήκος του μεγαλύτερου ποσοστού (67.64 %) των ατόμων του δείγματος που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της ηλικίας κυμαίνεται από 110 ως 150 mm.

3.3.3 Κατά ηλικία σύνθεση

Η κατά ηλικία σύνθεση που παρουσιάζεται γραφικά στην Εικόνα 3.3.3 είναι αντιπροσωπευτική του πληθυσμού της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο βασισμένη στις ηλικίες που αναγνώστηκαν από 2.324 άτομα τα οποία αλιεύθηκαν κατά τις ερευνητικές δειγματοληψίες.

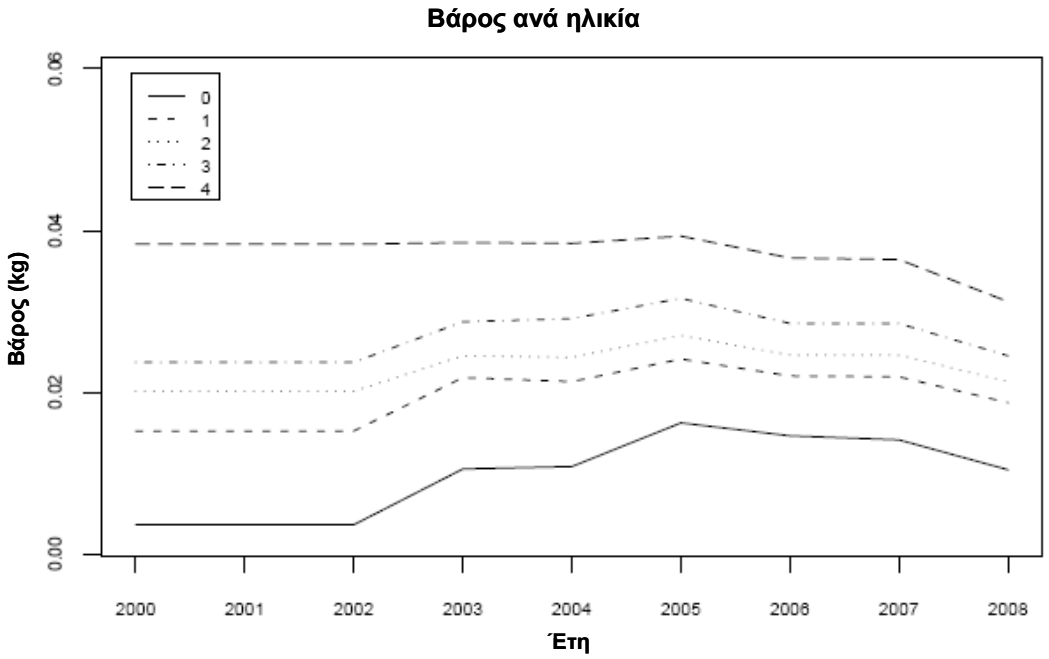


Εικ. 3.3.3. Αντιπροσωπευτική κατά ηλικία σύνθεση του πληθυσμού της σαρδέλας στο Β. Αγαίο για την περίοδο 2003 – 2008, με εξαίρεση το 2007, με βάση τα δεδομένα των ερευνητικών δειγματοληψιών.

Σύμφωνα με το παραπάνω γράφημα, ο πληθυσμός της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο φαίνεται να αποτελείται κυρίως από άτομα με ηλικίες 0, 1 και 2 κατά την περίοδο που εξετάζουμε. Τα ποσοστά κάθε ηλικίας μεταβάλλονται από έτος σε έτος με την ηλικία 1, παρ' όλα αυτά, να παρουσιάζει τα υψηλότερα ποσοστά σε όλη τη χρονοσειρά με εξαίρεση το 2005 οπότε η ηλικία 0 εμφανίζει το μεγαλύτερο ποσοστό. Η μεταβολή της ηλικίας 2 φαίνεται να ακολουθεί μια πτωτική τάση σε όλη τη διάρκεια της χρονοσειράς. Οι μεγαλύτερες ηλικίες 3 και 4 εμφανίζονται σε πολύ μικρότερα ποσοστά με την ηλικία 3 να παρουσιάζει τα υψηλότερα. Συγκεκριμένα, άτομα ηλικίας 4 εμφανίζονται μόνο τα έτη 2005 και 2006.

3.3.4 Βάρος ανά ηλικία

Το βάρος ανά ηλικία για τον πληθυσμό της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο κατά την περίοδο 2003 – 2008 παρουσιάζεται στο γράφημα της Εικόνας 3.3.4 όπως προέκυψε από την FLR. Σύμφωνα με το γράφημα, το βάρος αυξάνει με την ηλικία και ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι το 2005 για όλες τις ηλικίες με εξαίρεση την ηλικία 4 το βάρος της οποίας παραμένει αμετάβλητο μέχρι εκείνο το χρονικό σημείο. Από το 2005 και μέχρι το τέλος της χρονοσειράς το βάρος όλων των ηλικιών ακολουθεί μια πτωτική τάση.



Εικ. 3.3.4. Βάρος (kg) ανά ηλικία για τον πληθυσμό της σαρδέλας της περιόδου 2000 - 2008 στο Β. Αιγαίο όπως προέκυψε από την FLR.

3.3.5 Μέσο μήκος ανά ηλικία

Το μέσο μήκος ανά ηλικία του πληθυσμού της σαρδέλας για την περίοδο 2000 – 2008, με εξαίρεση το 2007, στο Β. Αιγαίο παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.3.5. Οι τιμές του κυμαίνονται από 83 mm για την ηλικία 0 του 2005 ως 170 mm για την ηλικία 4 του ίδιου έτους ενώ δεν εμφανίζεται συγκεκριμένη τάση για το μέσο μήκος ως προς το χρόνο στις ηλικιακές κλάσεις.

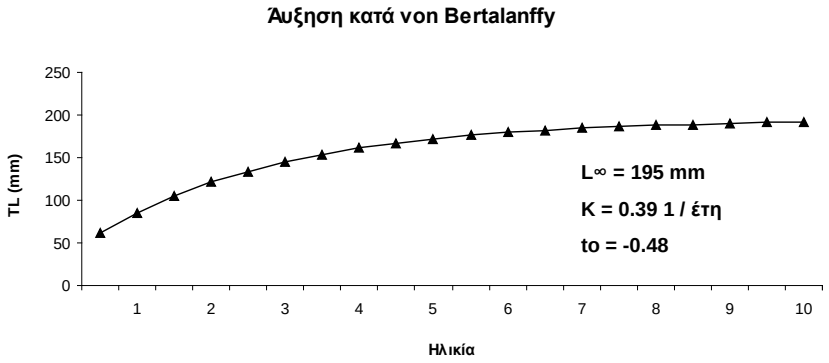
Πίνακας 3.3.5. Μέσο μήκος και διαστήματα εμπιστοσύνης (%) ανά ηλικία του πληθυσμού της σαρδέλας για την περίοδο 2000 – 2008, με εξαίρεση το 2007, στο Β. Αιγαίο.

	Ηλικία				
Έτος	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**
2003	109.91 (5.85 %)	123.43 (3.6%)	139.15 (4.8%)	153.33 (8.67%)	
2004	103.75 (18.98%)	132.35 (6.03%)	141.22 (8.83%)	145 (19.42%)	
2005	83.04 (3.62%)	135.58 (3.81%)	143.55 (6.59%)	151.67 (10.36%)	170 (43.83%)
2006	101.94 (6.27%)	132.04 (2.46%)	140.5 (5.28%)	147 (17.53%)	152.5 (28.29%)
2008	87.95 (3.14%)	132.67 (2.92%)	140 (8.21%)	170 (43.83%)	

3.4 Βιολογικές παράμετροι για το είδος

3.4.1 Άυξηση κατά von Bertalanffy

Οι παράμετροι αύξησης της εξίσωσης του Von Bertalanffy (εξίσωση 2.6) για τη σαρδέλα στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος και η αντίστοιχη καμπύλη παρουσιάζονται στο γράφημα της Εικόνας 3.4.1 που ακολουθεί, όπως προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων μέσου μήκους και ηλικίας.



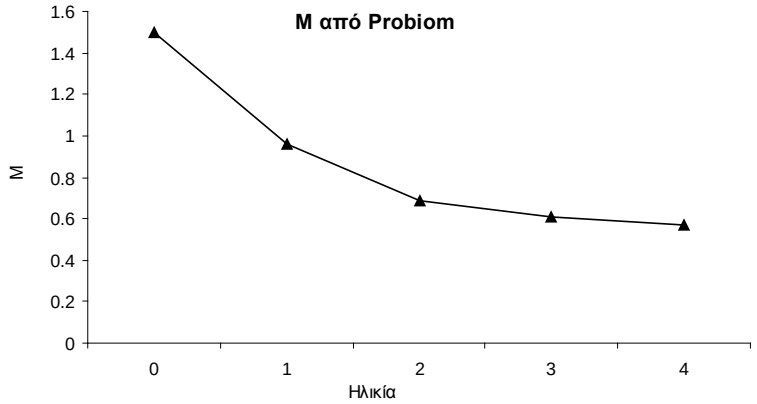
Εικ. 3.4.1. Η καμπύλη και οι παράμετροι αύξησης της εξίσωσης του von Bertalanffy για τη σαρδέλα στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος.

3.4.2 Φυσική θνησιμότητα

Στον Πίνακα 3.4.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές της φυσικής θνησιμότητας (M) όπως υπολογίστηκαν από τις εμπειρικές εξισώσεις. Παρατηρείται ότι τρείς από αυτές τις εξισώσεις (Probiom, Gislason *et al*. 2008 και Chen & Watanabe 1989) δίνουν διαφορετικές τιμές M ανά ηλικία αλλά σταθερές για όλα τα έτη ενώ οι υπόλοιπες εξισώσεις δίνουν μία σταθερή τιμή M. Στη σκιασμένη γραμμή του πίνακα φαίνονται οι τιμές M που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή για την εφαρμογή των μοντέλων εκτίμησης ιχθυοαποθεμάτων και προέρχονται από την εμπειρική εξίσωση Probiom. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται διαγραμματικά στην Εικόνα 3.4.2 όπου φαίνεται η πτωτική τάση της φυσικής θνησιμότητας σε σχέση με την αύξηση της ηλικίας. Η εξίσωση Probiom (Abella *et al*. 1997) προτείνεται από τις ομάδες μελέτης για την εκτίμηση των ιχθυοαποθεμάτων που ασχολούνται με τα μικρά πελαγικά της Μεσογείου για τον υπολογισμό της φυσικής θνησιμότητας ενώ χρησιμοποιείται στη Βόρεια Αδριατική θάλασσα, τη Βόρεια Ισπανία και τις Βαλεαρίδες Νήσους (π.χ. SGMED 2009).

Πίνακας 3.4.2. Οι τιμές της φυσικής θνησιμότητας (M) ανά ηλικία όπως υπολογίστηκαν από τις εμπειρικές εξισώσεις.

	Ηλικία				
Εμπειρικές εξισώσεις	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**
Charnov (1993)	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Chen & Watanabe (1989)	1.23	0.72	0.57	0.49	0.46
Gislason et al. (2008)	2	1.15	0.76	0.6	0.52
Hoening (1983)	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
Longhurst & Pauly (1987)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Probiom	1.5	0.96	0.69	0.61	0.57
Pauly (1980)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8



Εικ. 3.4.2. Μεταβολή της φυσικής θνησιμότητας (M) που υπολογίστηκε από την εξίσωση Probiom σε σχέση με την ηλικία για τη σαρδέλα στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος.

3.5 Μοντέλα εκτίμησης ιχθυοαποθεμάτων

3.5.1 Βόρειο Αιγαίο

3.5.1.1 Ολοκληρωμένη ανάλυση αλιεύματος ανά ηλικία (Integrated Catch-at-age analysis, ICA) για το απόθεμα της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*)

Τα δεδομένα για τη σαρδέλα στο Β. Αιγαίο της περιόδου 2000 – 2008 στα οποία εφαρμόστηκε το μοντέλο ICA παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.1.1.1.

Πίνακας 3.5.1.1.1. Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο ICA για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο (δείκτες συντονισμού: οι εκτιμήσεις της βιομάζας και ο αριθμός ατόμων ανά ηλικία όπως υπολογίσθηκαν από την ακουστική δειγματοληψία και χρησιμοποιήθηκαν ως σχετικοί δείκτες αφθονίας).

Αλίευμα ανά ηλικία (αριθμός ατόμων x 10^6)

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0.5400	0.7600	2.1100	21.5000	20.2400	6.1800	15.3100	11.6900	22.5500
1	167.0600	271.7800	210.1900	295.8900	286.6500	418.8600	421.3900	294.7600	372.3100
2	545.7100	593.3800	340.3900	90.3300	84.2000	159.6600	126.7100	88.3000	106.6500
3	53.7300	47.2100	23.1200	12.8900	11.9700	28.9000	18.1700	12.6100	14.2300
4	2.8000	2.8800	1.6600	1.0000	1.0000	1.1900	1.0000	1.0000	1.0000

Βάρος ανά ηλικία στο αλίευμα (Kg)

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0.0064	0.0081	0.0103	0.0071	0.0068	0.0005	0.0095	0.0086	0.0063
1	0.0206	0.0191	0.0185	0.0190	0.0210	0.0220	0.0214	0.0216	0.0185
2	0.0247	0.0200	0.0198	0.0215	0.0235	0.0260	0.0231	0.0236	0.0201
3	0.0241	0.0240	0.0218	0.0250	0.0249	0.0265	0.0252	0.0246	0.0212
4	0.0441	0.0650	0.0516	0.0516	0.0516	0.0516	0.0415	0.0498	0.0469

Βάρος ανά ηλικία στο απόθεμα (Kg)

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0.0036	0.0036	0.0036	0.0105	0.0108	0.0162	0.0146	0.0141	0.0104
1	0.0152	0.0152	0.0152	0.0218	0.0213	0.0241	0.0220	0.0219	0.0187
2	0.0201	0.0201	0.0201	0.0245	0.0243	0.0270	0.0246	0.0246	0.0213
3	0.0237	0.0237	0.0237	0.0287	0.0291	0.0316	0.0285	0.0285	0.0245
4	0.0383	0.0383	0.0383	0.0385	0.0384	0.0393	0.0366	0.0364	0.0312

Πίνακας 3.5.1.1.1. (συνέχεια)

Φυσική θνησιμότητα (εξίσωση Probiom)

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
2	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
3	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
4	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57

Αναπαραγωγική ωριμότητα

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Αποτελέσματα ακουστικής δειγματοληψίας

Ολική βιομάζα

Έτος	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
Tonnes	19281	13848	20464	42856	*******	39395

Ηλικιακή δομή (αριθμός ατόμων x 10^6 – ηλικίες 1 ως 3+)

	Έτος					
Ηλικία	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
1	742.1	472.7	779.8	1496.6	*******	1844.2
2	364.9	83.5	183.7	408	*******	170.4
3	37.5	21.4	42.1	28.2	*******	10.3

Τα αποτελέσματα του μοντέλου για τη σαρδέλα στο Β. Αιγαίο (2000 – 2008) παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.1.1.2 και απεικονίζονται γραφικά στην Εικόνα 3.5.1.1.1. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα γραφικά διαγνωστικά του μοντέλου για τη βιομάζα και τις ηλικίες 1 ως 3 (Εικόνες 3.5.1.1.2 και 3.5.1.1.3), ο δείκτης του αθροίσματος των τετραγώνων (SSQ) (Εικόνα 3.5.1.1.4) καθώς και η αναδρομική ανάλυση του μοντέλου (Εικόνα 3.5.1.1.5).

Πίνακας 3.5.1.1.2. Αποτελέσματα ICA για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο (δείκτες συντονισμού: οι εκτιμήσεις της βιομάζας και ο αριθμός ατόμων ανά ηλικία όπως υπολογίσθηκαν από την ακουστική δειγματοληψία και χρησιμοποιήθηκαν ως σχετικοί δείκτες αφθονίας).

Αλιευτική θνησιμότητα

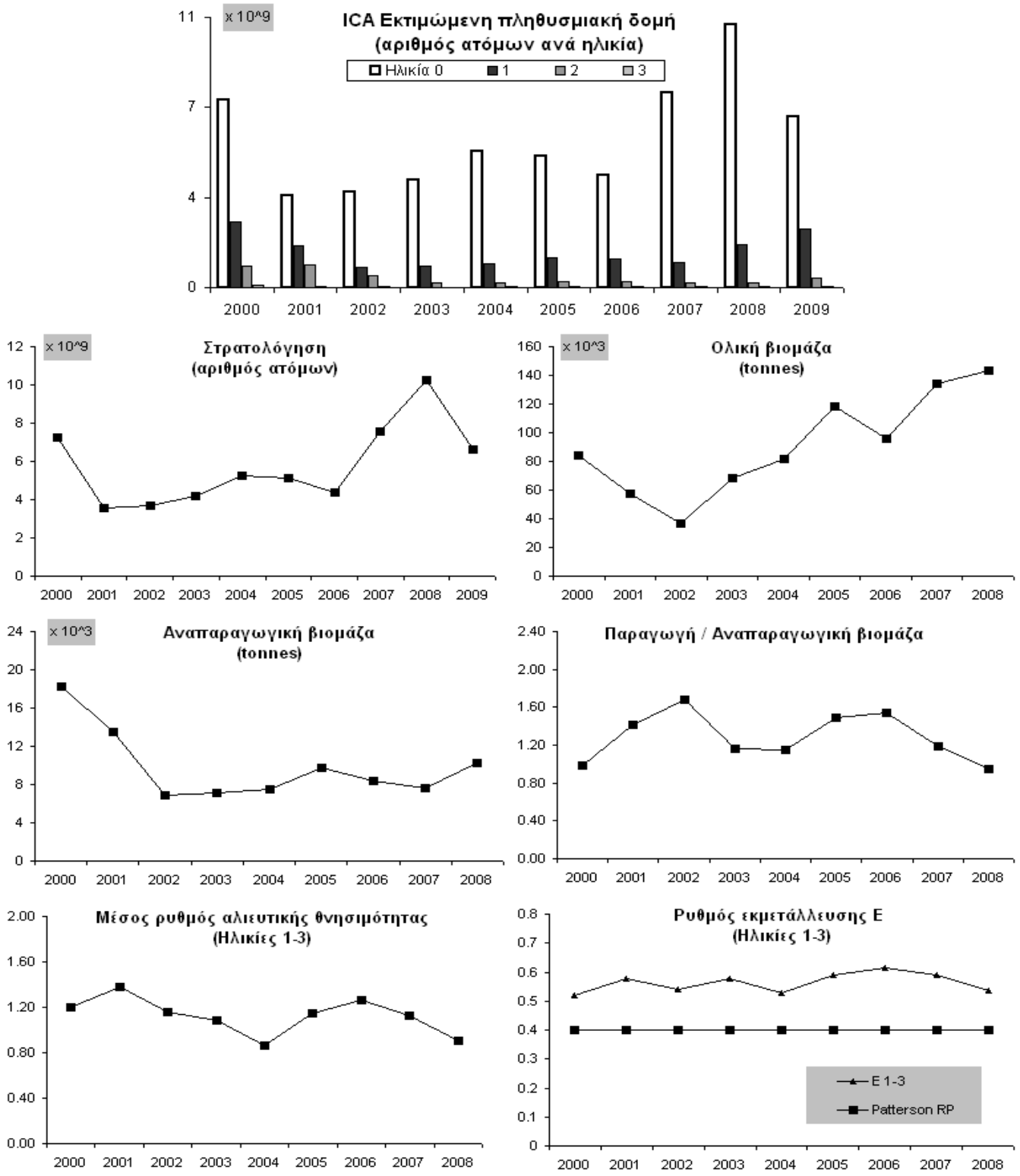
	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0.0001	0.0004	0.0011	0.0051	0.0041	0.0054	0.006	0.0053	0.0043
1	0.1072	0.2937	0.5019	0.6549	0.5217	0.6912	0.7659	0.6825	0.5478
2	1.8114	1.9128	2.337	1.2666	1.009	1.3367	1.4812	1.3201	1.0594
3	1.6692	1.9414	0.6227	1.3275	1.0575	1.4011	1.5525	1.3836	1.1104
4	0.4815	0.5778	0.5202	0.5066	0.4036	0.5347	0.5925	0.528	0.4238

Αφθονία πληθυσμού (x 10^6)

	Έτος									
AGE	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
0	7276.00	3573.00	3704.00	4169.00	5276.00	5124.00	4368.00	7562.00	10243.00	6632.00
1	2535.00	1623.00	797.00	826.00	925.00	1172.00	1137.00	969.00	1678.00	2276.00
2	821.00	872.00	463.00	185.00	164.00	210.00	225.00	202.00	187.00	372.00
3	82.00	67.00	65.00	22.00	26.00	30.00	28.00	26.00	27.00	33.00
4	9.00	8.00	5.00	19.00	3.00	5.00	4.00	3.00	3.00	5.00

Περίληψη αποθέματος

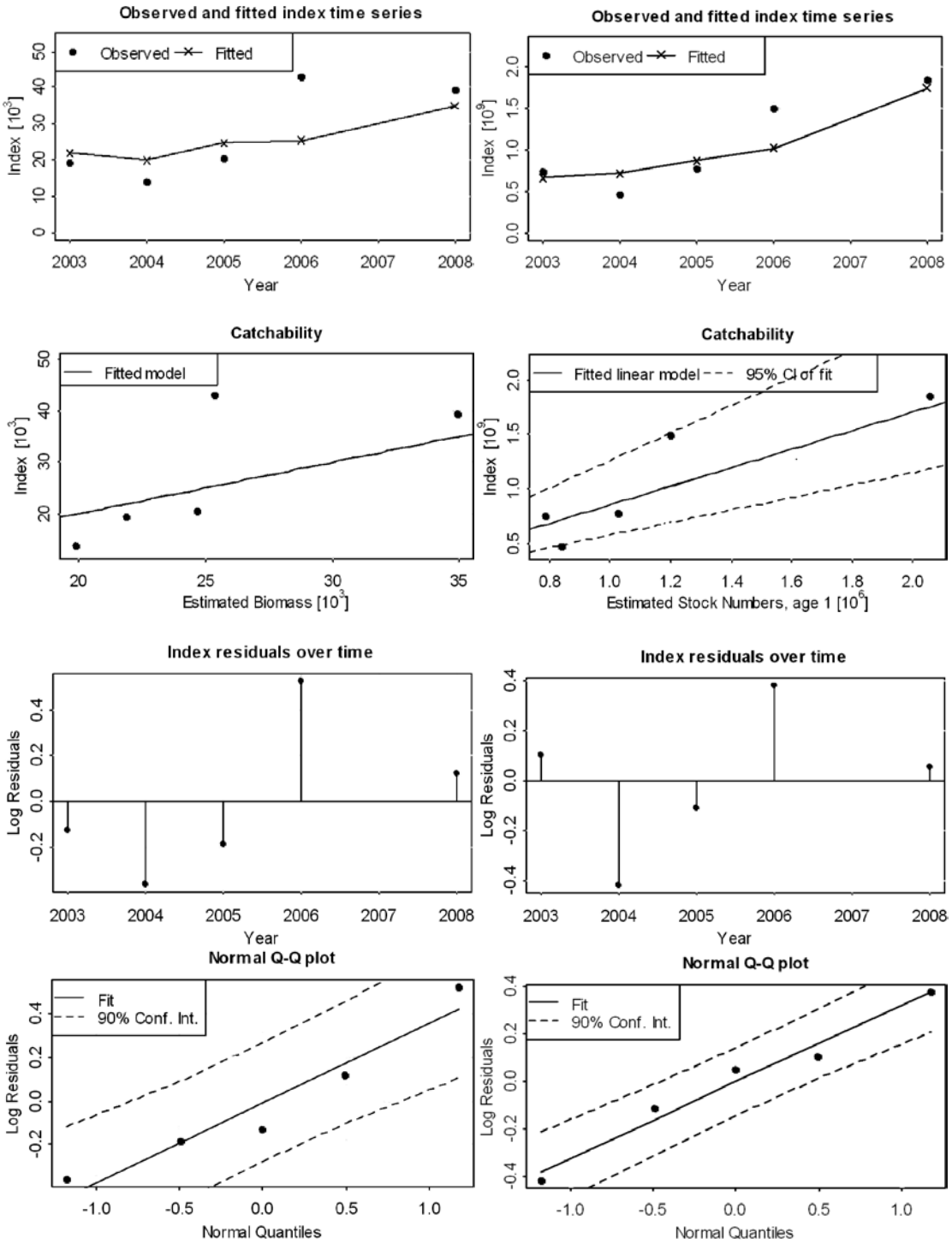
Έτος	**Στρατολόγηση (Ηλικία 0)**	**Ολική βιομάζα (tonnes)**	**Αναπαραγ. βιομάζα (SSB, tonnes)**	**Εκφορτώσεις (tonnes)**	**Εκφορτώσεις / SSB**	**Μέση F (Ηλικίες 1-3)**	**Ρυθμός Εκμετάλλευσης (Ηλικίες 1-3)**
2000	7276270	83858	18248	18075	0.9905	1.1959	0.519
2001	3573000	57268	13469	19115	1.4192	1.3826	0.5767
2002	3703740	36804	6851	11483	1.6761	1.1539	0.5402
2003	4168830	67983	7138	8260	1.1572	1.083	0.5793
2004	5275870	81950	7532	8660	1.1498	0.8627	0.5267
2005	5123530	118384	9691	14444	1.4905	1.143	0.5916
2006	4368450	95548	8433	12984	1.5397	1.2665	0.6146
2007	7562260	133983	7647	9064	1.1853	1.1287	0.5888
2008	10243080	143050	10271	9700	0.9444	0.9059	0.5381
2009	6632000						



Εικ. 3.5.1.1.1. Τα γραφήματα της πληθυσμιακής δομής, της στρατολόγησης, της ολικής βιομάζας, της αναπαραγωγικής βιομάζας, του λόγου της παραγωγής προς την αναπαραγωγική βιομάζα, του μέσου ρυθμού αλιευτικής θνησιμότητας και του ρυθμού εκμετάλλευσης όπως προκύπτουν από τα αποτελέσματα του ICA για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο.

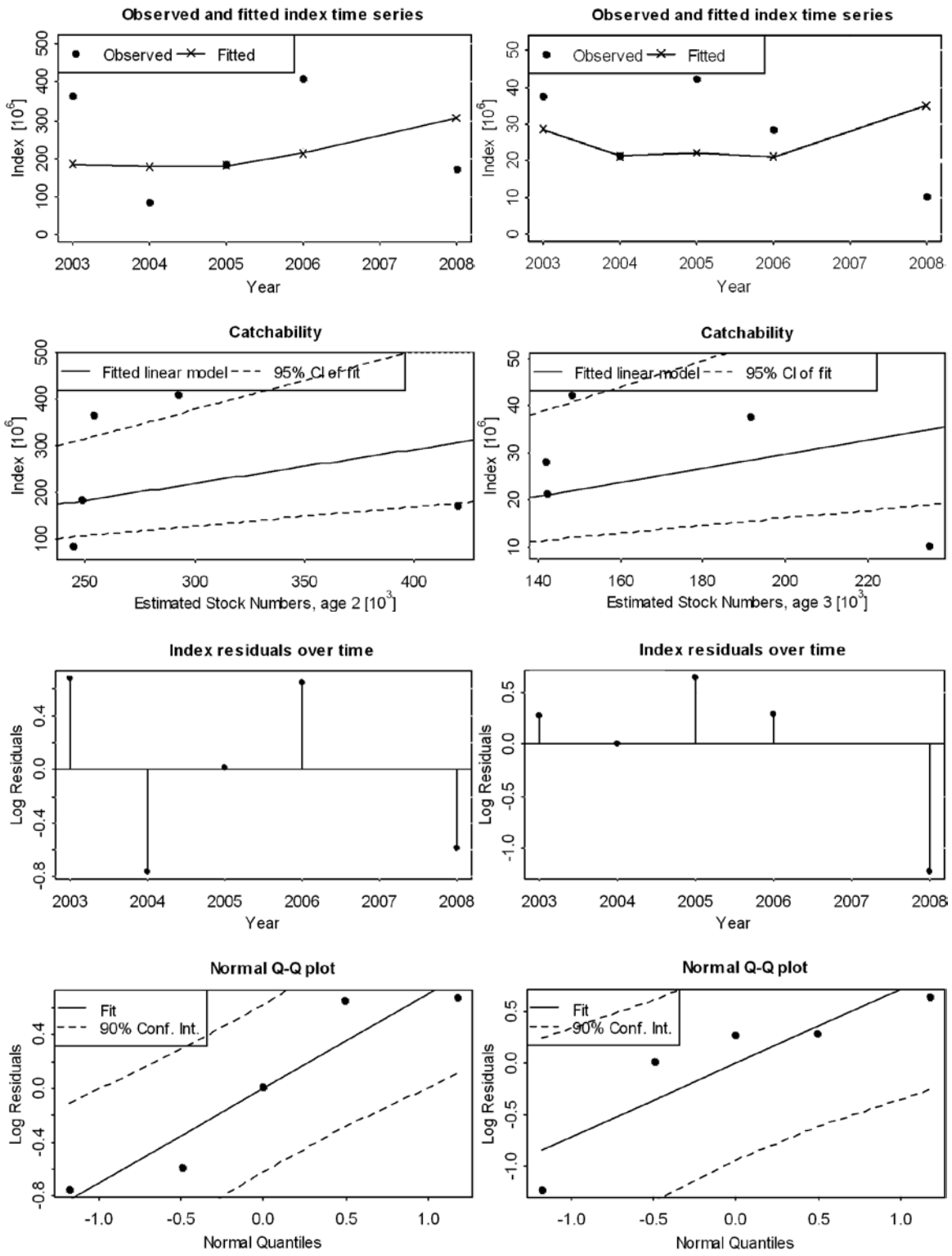
ICA γραφικά διαγνωστικά για την ακουστική δειγματοληψία

Βιομάζα **Ηλικία 1**



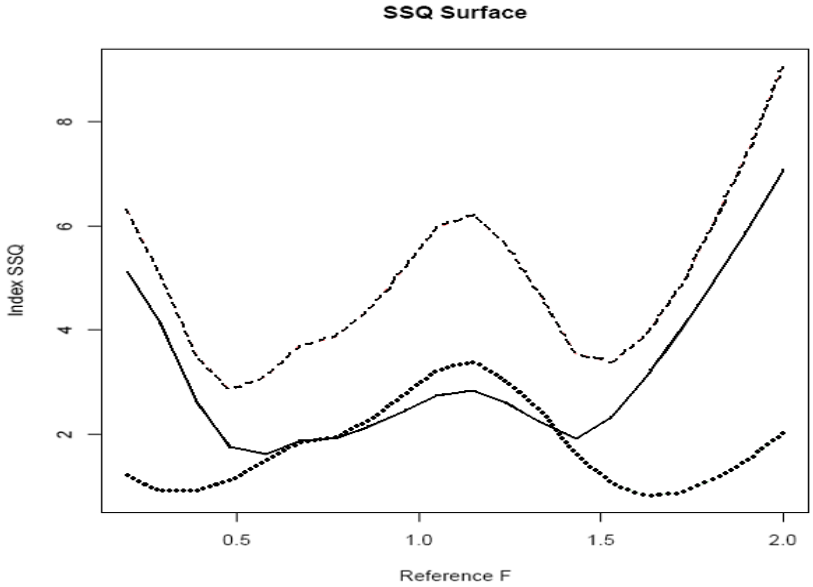
Εικ. 3.5.1.1.2. Γραφικά διαγνωστικά ενδεικτικά της προσαρμογής του ICA για τη βιομάζα (ακουστικά) και την ηλικία ένα όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του FLICA για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο.

Ηλικία 2 **Ηλικία 3**

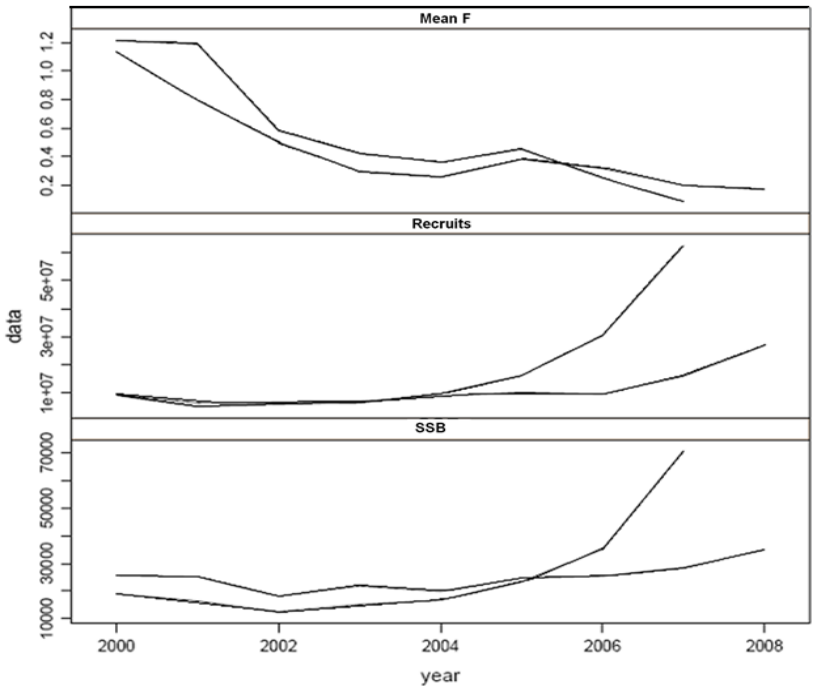


Εικ. 3.5.1.1.3. Γραφικά διαγνωστικά ενδεικτικά της προσαρμογής του ICA για τις ηλικίες 2 και 3 όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του FLICA για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο.

Δείκτης SSQ και αναδρομική ανάλυση



Εικ. 3.5.1.1.4. Η επιφάνεια του αθροίσματος των τετραγώνων για την προσαρμογή της διαχωρίσιμης VPA του ICA που εφαρμόστηκε τα 6 τελευταία χρόνια της χρονοσειράς όπως προκύπτει από την εφαρμογή του FLICA.



Εικ. 3.5.1.1.5. Η αναδρομική ανάλυση του ICA για το μέσο ρυθμό αλιευτικής θνησιμότητας (Mean F), τη στρατολόγηση (Recruits) και την αναπαραγωγική βιομάζα του αποθέματος (SSB) της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο όπως προκύπτει από την εφαρμογή του FLICA.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου (Εικόνα 3.5.1.1.1), παρατηρείται μια ανοδική τάση για τη στρατολόγηση το 2008, φαινόμενο που πιθανότατα είναι μια υπερεκτίμηση του τελευταίου έτους καθώς το μοντέλο προβλέπει για το 2009 μια πτώση σε επίπεδο χαμηλότερο του 2007. Από το 2000 ως το 2002 η βιομάζα, τόσο η αναπαραγωγική (SSB) όσο και η ολική, εμφανίζει μια πτωτική τάση. Από το έτος αυτό και μέχρι το τέλος της χρονοσειράς (2000 – 2008) η ολική βιομάζα παρουσιάζει μια συνεχή αύξηση ενώ η SSB εμφανίζεται σταθερή με μικρή ανοδική τάση. Ο λόγος της παραγωγής προς την SSB εμφανίζεται μεταβαλλόμενος μέσα στη χρονοσειρά σημειώνοντας μια πτωτική τάση τα τρία τελευταία χρόνια. Μεταβαλλόμενος με το χρόνο είναι και ο μέσος ρυθμός αλιευτικής θνησιμότητας ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.85 και 1.4 περίπου με τις χαμηλότερες τιμές να παρουσιάζονται τα έτη 2004 και 2008. Ο ρυθμός εκμετάλλευσης (E) κυμαίνεται από 0.5 ως 0.6 καθ' όλη τη διάρκεια της χρονοσειράς όντας υψηλότερα από το εμπειρικό επίπεδο αναφοράς 0.4 που έχει προτείνει ο Patterson (1992).

Τα γραφικά διαγνωστικά για την ακουστική δειγματοληψία (Εικόνες 3.5.1.1.2 και 3.5.1.1.3) δείχνουν γενικά καλή προσαρμογή του μοντέλου. Για τις ηλικίες 2 και 3 φαίνεται να μην ισχύει κάτι τέτοιο αν και οι τιμές που φαίνεται να ξεφεύγουν βρίσκονται εκατέρωθεν της γραμμής προσαρμογής. Αυτό οφείλεται στη μικρή χρονοσειρά της πληροφορίας (δείκτες συντονισμού) από τα ακουστικά (2003 – 2008, με κενό το 2007). Το γράφημα SSQ της Εικόνας 3.5.1.1.4 δείχνει ένα βαθμό ανακολουθίας μεταξύ του μοντέλου και των ρυθμιστικών δεικτών καθώς δε φαίνεται να ελαχιστοποιείται η μεταξύ των καμπυλών απόσταση και κατά συνέπεια η επιφάνεια SSQ (Needle 2000, 2003).

Η αναδρομική ανάλυση του ICA (Εικόνα 3.5.1.1.5) για το μέσο ρυθμό αλιευτικής θνησιμότητας (Mean F), τη στρατολόγηση (Recruits) και την αναπαραγωγική βιομάζα του αποθέματος (SSB) της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο, που εφαρμόστηκε με την αφαίρεση του τελευταίου έτους της χρονοσειράς, δεν έδειξε αναδρομικά προβληματική εκτίμηση για το τελευταίο έτος (Darby & Flatman 1994).

3.5.1.2. Εκτεταμένη ανάλυση επιζώντων (Extended Survivors Analysis, XSA) για το απόθεμα της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*)

Τα δεδομένα για τη σαρδέλα στο Β. Αιγαίο την περίοδο 2000 – 2008 στα οποία εφαρμόστηκε το μοντέλο XSA παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.1.2.1.

Πίνακας 3.5.1.2.1. Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο XSA για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο (δείκτης συντονισμού: ο αριθμός των ατόμων ανά ηλικία όπως υπολογίσθηκε από την ακουστική δειγματοληψία).

Αλίευμα ανά ηλικία (αριθμός ατόμων x 10^6)

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0.5400	0.7600	2.1100	21.5000	20.2400	6.1800	15.3100	11.6900	22.5500
1	167.0600	271.7800	210.1900	295.8900	286.6500	418.8600	421.3900	294.7600	372.3100
2	545.7100	593.3800	340.3900	90.3300	84.2000	159.6600	126.7100	88.3000	106.6500
3	53.7300	47.2100	23.1200	12.8900	11.9700	28.9000	18.1700	12.6100	14.2300
4	2.8000	2.8800	1.6600	1.0000	1.0000	1.1900	1.0000	1.0000	1.0000

Βάρος ανά ηλικία στο αλίευμα (Kg)

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0.0064	0.0081	0.0103	0.0071	0.0068	0.0005	0.0095	0.0086	0.0063
1	0.0206	0.0191	0.0185	0.0190	0.0210	0.0220	0.0214	0.0216	0.0185
2	0.0247	0.0200	0.0198	0.0215	0.0235	0.0260	0.0231	0.0236	0.0201
3	0.0241	0.0240	0.0218	0.0250	0.0249	0.0265	0.0252	0.0246	0.0212
4	0.0441	0.0650	0.0516	0.0516	0.0516	0.0516	0.0415	0.0498	0.0469

Βάρος ανά ηλικία στο απόθεμα (Kg)

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0.0036	0.0036	0.0036	0.0105	0.0108	0.0162	0.0146	0.0141	0.0104
1	0.0152	0.0152	0.0152	0.0218	0.0213	0.0241	0.0220	0.0219	0.0187
2	0.0201	0.0201	0.0201	0.0245	0.0243	0.0270	0.0246	0.0246	0.0213
3	0.0237	0.0237	0.0237	0.0287	0.0291	0.0316	0.0285	0.0285	0.0245
4	0.0383	0.0383	0.0383	0.0385	0.0384	0.0393	0.0366	0.0364	0.0312

Πίνακας 3.5.1.2.1. (συνέχεια)

Φυσική θνησιμότητα (εξίσωση Probiom)

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	1.5000	1.5000	1.5000	1.5000	1.5000	1.5000	1.5000	1.5000	1.5000
1	0.9600	0.9600	0.9600	0.9600	0.9600	0.9600	0.9600	0.9600	0.9600
2	0.6900	0.6900	0.6900	0.6900	0.6900	0.6900	0.6900	0.6900	0.6900
3	0.6100	0.6100	0.6100	0.6100	0.6100	0.6100	0.6100	0.6100	0.6100
4	0.5700	0.5700	0.5700	0.5700	0.5700	0.5700	0.5700	0.5700	0.5700

Αναπαραγωγική ωριμότητα

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Αποτελέσματα ακουστικής δειγματοληψίας

Ηλικιακή δομή (αριθμός ατόμων x 10^6 – ηλικίες 1 ως 3+)

	Έτος					
Ηλικία	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
1	742.1	472.7	779.8	1496.6	*******	1844.2
2	364.9	83.5	183.7	408	*******	170.4
3	37.5	21.4	42.1	28.2	*******	10.3

Τα αποτελέσματα του μοντέλου για τη σαρδέλα στο Β. Αιγαίο (2000 – 2008) παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.1.2.2 και απεικονίζονται γραφικά στην Εικόνα 3.5.1.2.1. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα γραφικά διαγνωστικά για τις ηλικίες 1 ως 3 που είναι ενδεικτικά της προσαρμογής του μοντέλου (Εικόνα 3.5.1.2.2), τα στατιστικά διαγνωστικά (Πίνακας 3.5.1.2.3) καθώς και η αναδρομική ανάλυση του μοντέλου (Εικόνα 3.5.1.2.3).

Πίνακας 3.5.1.2.2. Αποτελέσματα XSA για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο (ρυθμιστικός δείκτης: ο αριθμός των ατόμων ανά ηλικία όπως υπολογίσθηκε από την ακουστική δειγματοληψία).

Αλιευτική θνησιμότητα

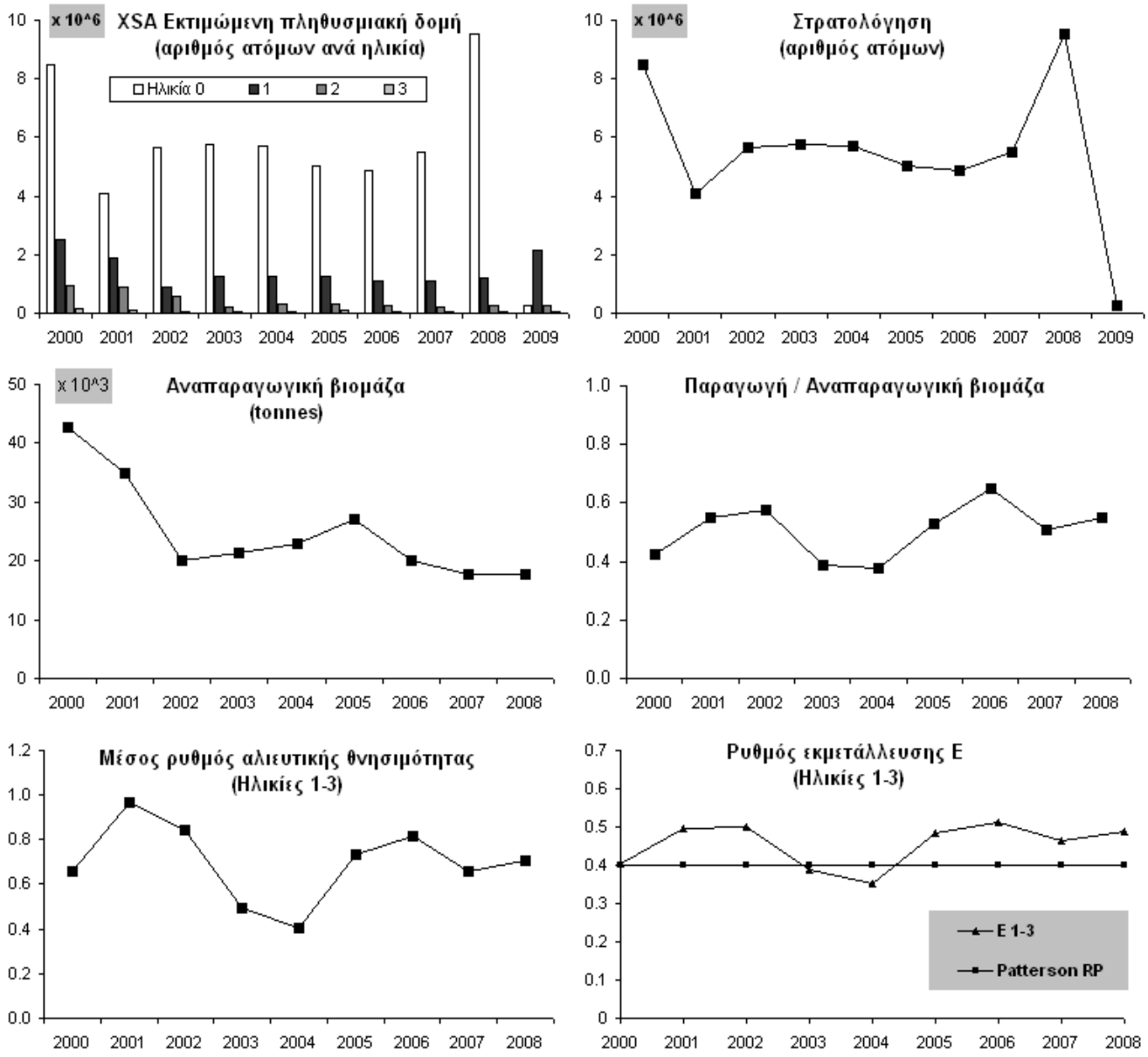
	Έτη								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0.0001	0.0004	0.0007	0.0072	0.0069	0.0024	0.0061	0.0041	0.0046
1	0.1074	0.2480	0.4242	0.4370	0.4130	0.6759	0.8043	0.5226	0.6000
2	1.3807	1.9235	1.4761	0.7409	0.4549	1.0370	1.1169	0.9350	0.8515
3	0.4961	0.7239	0.6337	0.3040	0.3378	0.4796	0.5295	0.5236	0.6706
4	0.4961	0.7239	0.6337	0.3040	0.3378	0.4796	0.5295	0.5236	0.6706

Αφθονία πληθυσμού (επιζώντες X 10^6)

	Έτη									
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
0	8.46	4.10	5.64	5.76	5.68	5.01	4.88	5.51	9.55	0.26
1	2.53	1.89	0.92	1.26	1.28	1.26	1.12	1.08	1.23	2.12
2	0.94	0.87	0.56	0.23	0.31	0.32	0.25	0.19	0.25	0.26
3	0.18	0.12	0.06	0.06	0.05	0.10	0.06	0.04	0.04	0.05
4	0.01	0.06	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01

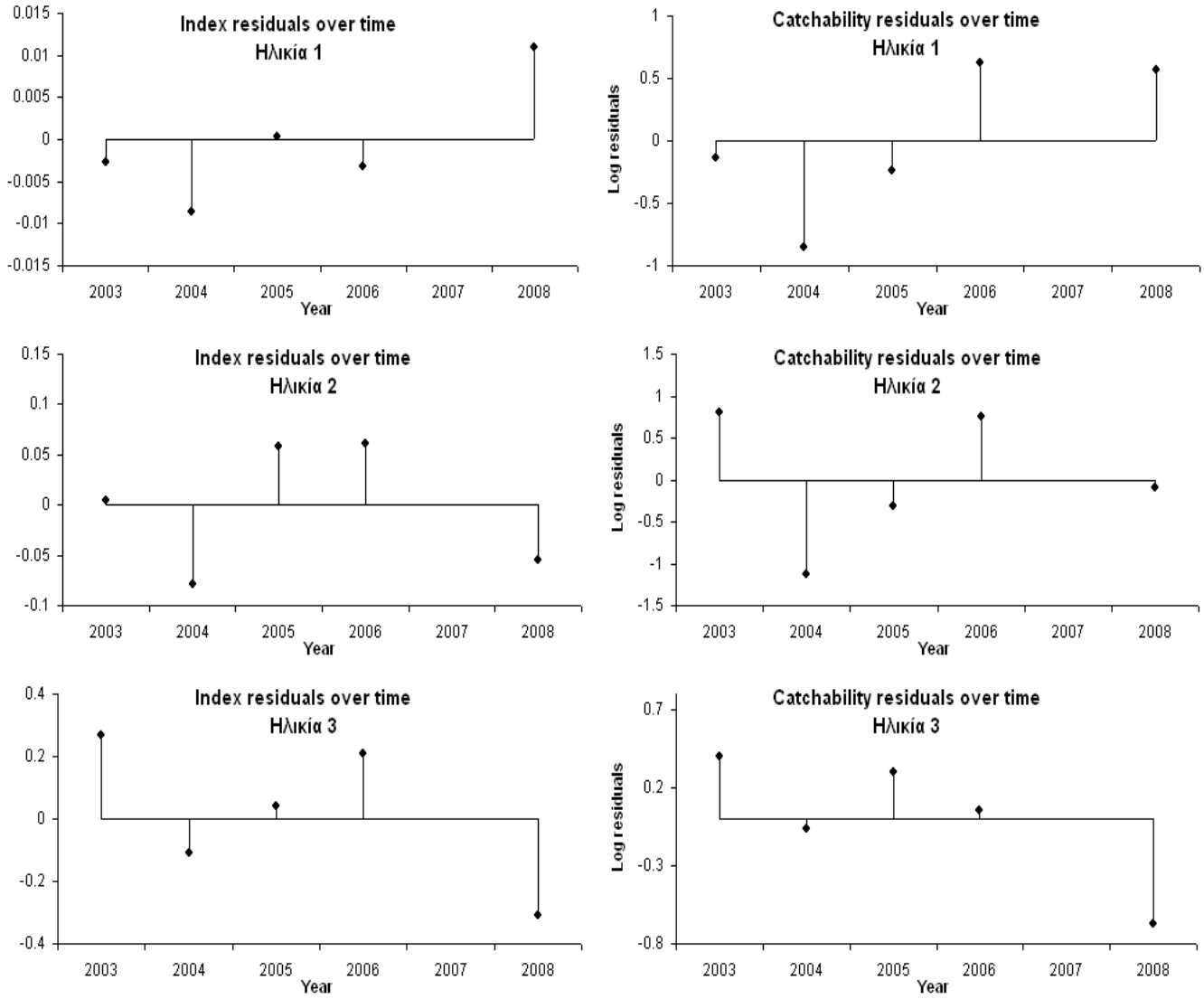
Περίληψη αποθέματος

	Στρατολόγηση (Ηλικία 0) x 10^3	**SSB (tonnes)**	**Εκφορτώσεις (tonnes)**	**Εκφορτώσεις / SSB**	**Μέση F (Ηλικίες 1-3)**	**Ρυθμός Εκμετάλλευσης (Ηλικίες 1-3)**
2000	8463	42651	18075	0.42	0.6614	0.4053
2001	4103	34911	19115	0.55	0.9651	0.4947
2002	5637	19982	11483	0.57	0.8446	0.4991
2003	5762	21366	8260	0.39	0.4939	0.3877
2004	5682	22919	8660	0.38	0.4019	0.3515
2005	5011	27190	14444	0.53	0.7308	0.4846
2006	4878	20058	12984	0.65	0.8169	0.5129
2007	5515	17811	9064	0.51	0.6604	0.4633
2008	9551	17695	9700	0.55	0.7074	0.4869
2009	258					



Εικ. 3.5.1.2.1. Τα γραφήματα της πληθυσμιακής δομής, της στρατολόγησης, της αναπαραγωγικής βιομάζας, του λόγου της παραγωγής προς την αναπαραγωγική βιομάζα, του μέσου ρυθμού αλιευτικής θνησιμότητας και του ρυθμού εκμετάλλευσης, όπως προκύπτουν από τα αποτελέσματα του XSA για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο.

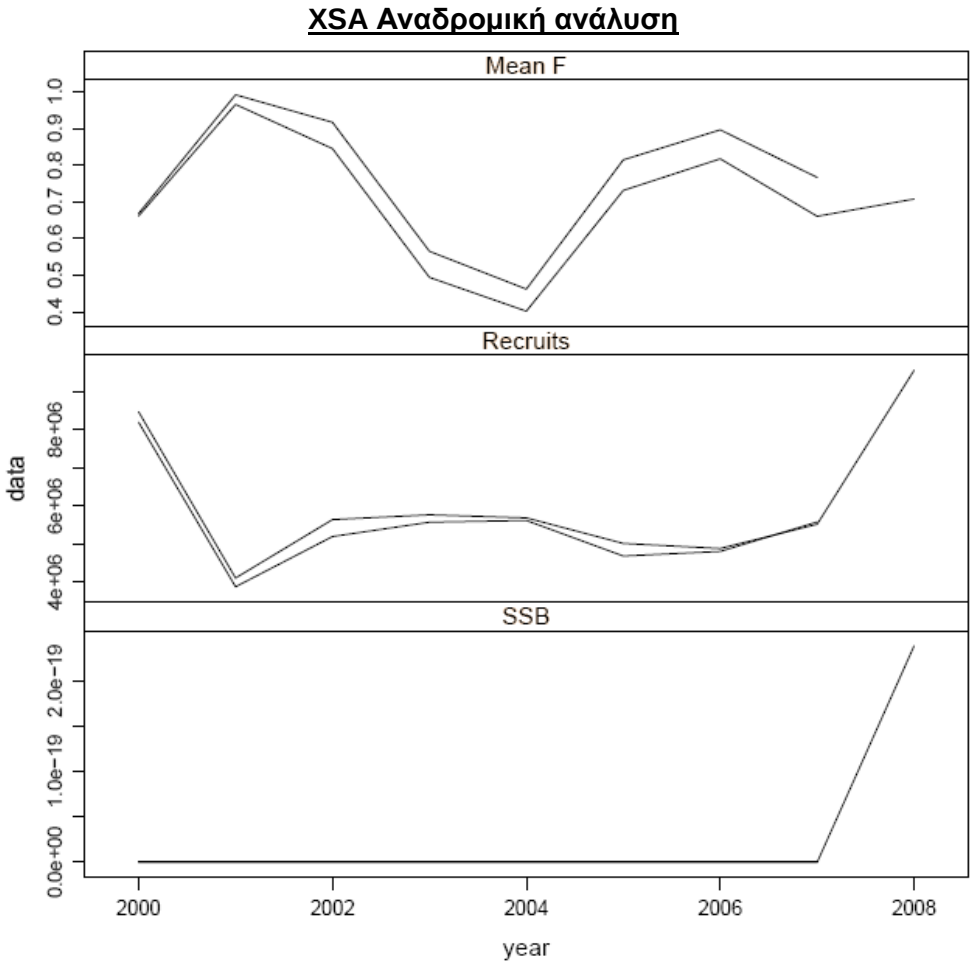
XSA Γραφικά διαγνωστικά



Εικ. 3.5.1.2.2. Γραφικά διαγνωστικά του XSA για τις ηλικίες 1-3, που είναι ενδεικτικά της προσαρμογής του μοντέλου, όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο.

Πίνακας 3.5.1.2.3. Μέση λογαριθμική διαθεσιμότητα αλίευσης (μέση Log q) και σταθερό σφάλμα (s.e.) των ηλικιών με q ανεξάρτητη της επίδρασης της ετήσιας κλάσης και σταθερή με το χρόνο.

Ηλικία	2	3
Μέση Log q	7.89	8.07
S.E. (Log q)	0.80	0.42



Εικ. 3.5.1.2.3. Η αναδρομική ανάλυση του XSA για το μεσο ρυθμό αλιευτικής θνησιμότητας (Mean F), τη στρατολόγηση (Recruits) και την αναπαραγωγική βιομάζα του αποθέματος (SSB) της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο, όπως προκύπτει από την εφαρμογή του FLXSA.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου (Εικόνα 3.5.1.2.1), παρατηρείται μια υπερεκτίμηση για τη στρατολόγηση το 2008 και μια πιθανότατα λανθασμένη υποεκτίμηση για το 2009 οπότε το μοντέλο προβλέπει μηδενική τιμή για τον αριθμό των ατόμων ηλικίας 0. Η αναπαραγωγική βιομάζα (SSB) εμφανίζει μια συνεχή πτωτική τάση μέσα στη χρονοσειρά ενώ ο λόγος της παραγωγής προς την SSB χαρακτηρίζεται μεταβαλλόμενος με το χρόνο δείχνοντας μια ανοδική πορεία. Μεταβαλλόμενος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονοσειράς είναι και ο μέσος ρυθμός αλιευτικής θνησιμότητας του οποίου οι τιμές κυμαίνονται από 0.4 (2004) ως 1 (2001). Ο ρυθμός εκμετάλλευσης Ε κυμαίνεται από 0.38 ως 0.51 εμφανίζοντας τιμές χαμηλότερες του 0.4 (σημείο αναφοράς

του Patterson, 1992) κατά τα έτη 2003 και 2004. Από το 2005 μέχρι και το τέλος της χρονοσειράς φαίνεται να σταθεροποιείται στην τιμή 0.5.

Τα γραφικά διαγνωστικά της Εικόνας 3.5.1.2.2 δείχνουν καλή προσαρμογή του μοντέλου στα αποτελέσματα της ακουστικής δειγματοληψίας καθώς δε φαίνεται κάποια ομαδοποίηση των υπολειπόμενων (residuals) που να δείχνει έντονη επίδραση του έτους ή της ηλικίας (Darby & Flatman 1994). Το σταθερό σφάλμα της λογαριθμικής διαθεσιμότητας (S.E. Log q, Πίνακας 3.5.1.2.3) για την ηλικία 2 είναι μεγαλύτερο του 0.5 που σημαίνει ότι τα δεδομένα των ακουστικών για αυτήν την ηλικία είναι προβληματικά (Darby & Flatman 1994).

Η αναδρομική ανάλυση του XSA (Εικόνα 3.5.1.2.3) για το μέσο ρυθμό αλιευτικής θνησιμότητας (Mean F), τη στρατολόγηση (Recruits) και την αναπαραγωγική βιομάζα του αποθέματος (SSB) της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο, που εφαρμόστηκε με την αφαίρεση του τελευταίου έτους της χρονοσειράς (2000 – 2008), δεν έδειξε αναδρομικά προβληματική εκτίμηση για το τελευταίο έτος (Darby & Flatman 1994). Η εφαρμογή της ανάλυσης με την αφαίρεση περισσότερων ετών ήταν αδύνατη λόγω της μικρής χρονοσειράς.

3.5.2 Ιόνιο Πέλαγος

Εκτεταμένη ανάλυση επιζώντων (Extended Survivors Analysis, XSA) για το απόθεμα της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*)

Τα δεδομένα για τη σαρδέλα στο Ιόνιο Πέλαγος της περιόδου 2000 – 2008 στα οποία εφαρμόστηκε το μοντέλο XSA παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.2.1.

Πίνακας 3.5.2.1. Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο XSA για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Ιόνιο Πέλαγος (δείκτης συντονισμού: οι εκτιμήσεις της παραγωγής ανά μονάδα αλιευτικής προσπάθειας, CPUE).

Αλίευμα ανά ηλικία (αριθμός ατόμων x 10^6)

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	10838	6085	5320	8615	14333	27347	2192	1304	14252
1	29650	25971	27057	52229	27159	76349	47190	19115	118828
2	5827	5317	5579	11066	6086	17269	13234	5250	31000
3	1376	1368	1366	1671	1565	2448	2099	1449	3842
4	1006	1008	1007	1010	1023	1037	1029	1013	1094

Βάρος ανά ηλικία στο αλίευμα (Kg)

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0.0097	0.0110	0.0107	0.0102	0.0091	0.0087	0.0150	0.0141	0.0112
1	0.0178	0.0182	0.0184	0.0185	0.0179	0.0183	0.0217	0.0212	0.0173
2	0.0222	0.0223	0.0217	0.0210	0.0257	0.0243	0.0246	0.0248	0.0222
3	0.0283	0.0264	0.0257	0.0248	0.0328	0.0302	0.0285	0.0296	0.0288
4	0.0565	0.0294	0.0297	0.0303	0.0492	0.0378	0.0390	0.0434	0.0447

Φυσική θνησιμότητα (εξίσωση Probiom)

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
2	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
3	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
4	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57

Πίνακας 3.5.2.1. (συνέχεια)

Αναπαραγωγική ωριμότητα

	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1

CPUE (kg / day): παραγωγή ανά μονάδα αλιευτικής προσπάθειας (ηλικίες 1 – 3+)

	Έτος					
Ηλικία	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
1	255	164	291	268	100	483
2	61	53	88	85	32	161
3	4	7	9	9	4	22

Τα αποτελέσματα του μοντέλου για τη σαρδέλα στο Ιόνιο Πέλαγος (2000 – 2008) παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.2.2 και απεικονίζονται γραφικά στην Εικόνα 3.5.2.1. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα γραφικά διαγνωστικά που είναι ενδεικτικά της προσαρμογής του μοντέλου για τις ηλικίες 1 ως 3 (Εικόνα 3.5.2.2), τα στατιστικά διαγνωστικά (Πίνακας 3.5.2.3) καθώς και η αναδρομική ανάλυση του μοντέλου (Εικόνα 3.5.2.3).

Πίνακας 3.5.2.2. Αποτελέσματα XSA για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Ιόνιο Πέλαγος (δείκτης συντονισμού: οι εκτιμήσεις της παραγωγής ανά μονάδα αλιευτικής προσπάθειας, CPUE).

Αλιευτική θνησιμότητα

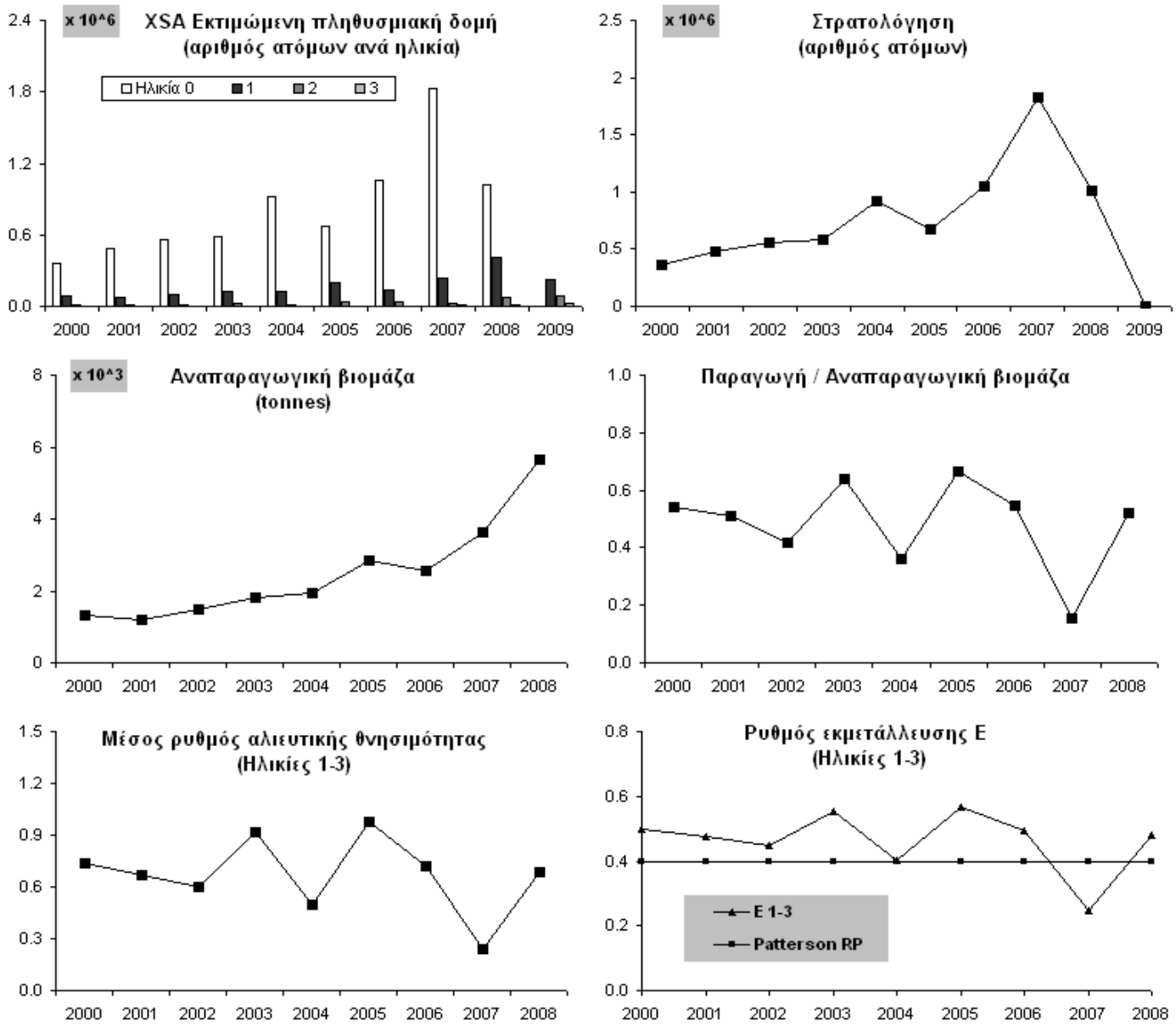
	Έτος								
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
0	0.0591	0.0244	0.0184	0.0286	0.0303	0.0816	0.0040	0.0014	0.0274
1	0.7502	0.6986	0.4839	0.9523	0.3884	0.8182	0.7068	0.1341	0.5709
2	0.7302	0.6458	0.7167	0.8795	0.5946	1.1369	0.7365	0.3222	0.7433
3	0.7402	0.6722	0.6003	0.9178	0.4989	0.9671	0.7106	0.2688	0.7452
4	0.7402	0.6722	0.6003	0.9178	0.4989	0.9671	0.7106	0.2688	0.7452

Αφθονία πληθυσμού (επιζώντες x 10^3)

	Έτος									
Ηλικία	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
0	362.13	485.31	561.76	587.38	922.41	667.13	1054.90	1824.80	1014.70	0.00
1	82.52	76.17	105.67	123.06	127.36	199.67	137.19	234.44	406.60	220.30
2	14.94	14.92	14.50	24.94	18.18	33.07	33.73	25.91	78.50	87.96
3	3.39	3.61	3.92	3.55	5.19	5.03	5.32	8.10	9.42	18.72
4	2.48	0.88	1.00	1.17	0.77	1.71	1.04	1.42	3.36	2.43

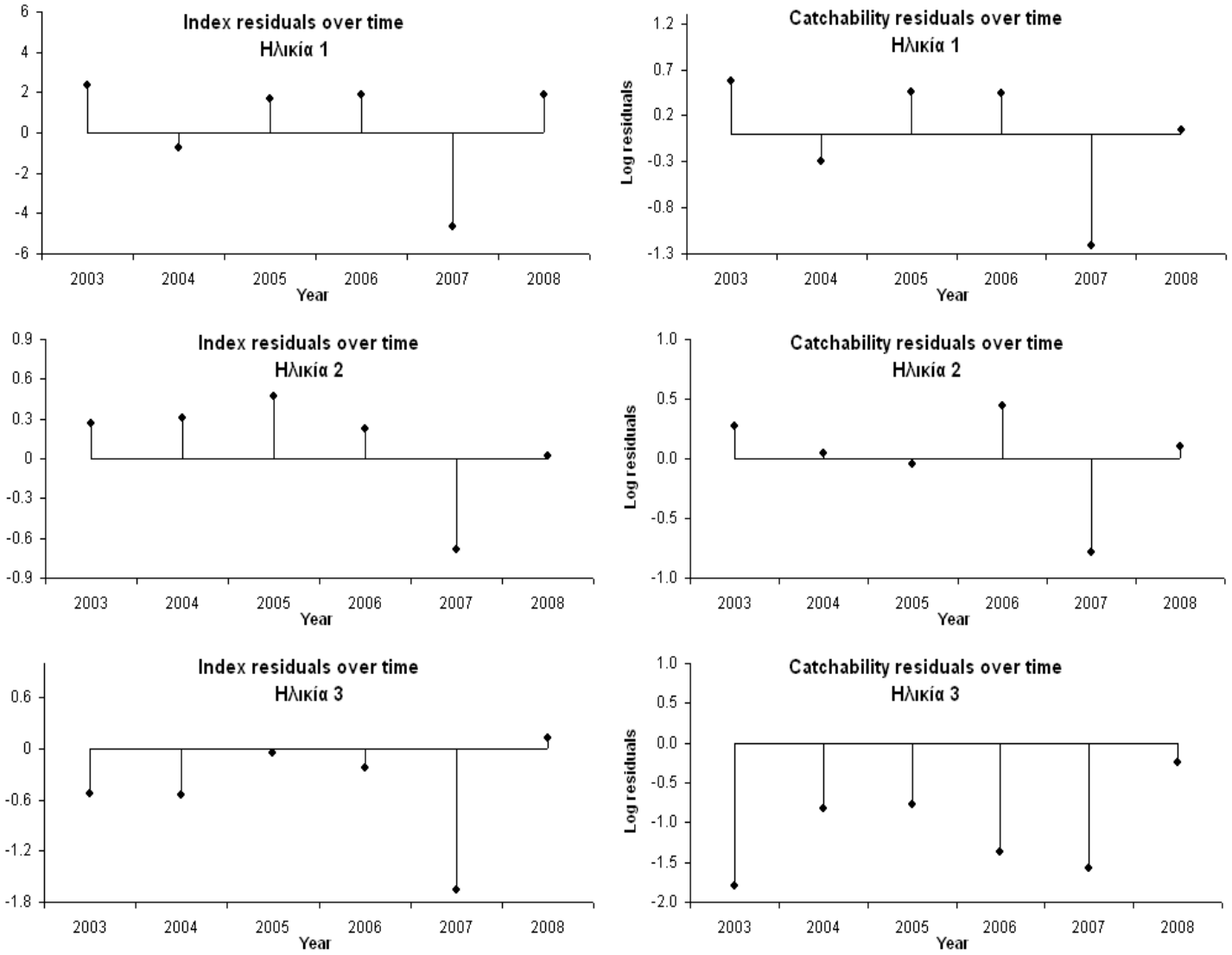
Περίληψη αποθέματος

Έτος	**Στρατολόγηση (Ηλικία 0) x 10^3**	**SSB (tonnes)**	**Εκφορτώσεις (tonnes)**	**Εκφορτώσεις / SSB**	**Μέση F (Ηλικίες 1-3)**	**Ρυθμός Εκμετάλλευσης (Ηλικίες 1-3)**
2000	362.13	1302	706	0.5422	0.7402	0.5003
2001	485.31	1199.44	611	0.5094	0.6722	0.4763
2002	561.76	1473.65	617	0.4187	0.6003	0.4469
2003	587.38	1815.17	1159	0.6385	0.9165	0.553
2004	922.41	1944.35	698	0.359	0.494	0.4003
2005	667.13	2863.1	1900	0.6636	0.974	0.5652
2006	1054.9	2571.76	1402	0.5452	0.718	0.4928
2007	1824.8	3613.15	561	0.1553	0.2417	0.2489
2008	1014.7	5650.76	2943	0.5208	0.6865	0.4805
2009	0					



Εικ. 3.5.2.1. Τα γραφήματα της πληθυσμιακής δομής, της στρατολόγησης, της αναπαραγωγικής βιομάζας, του λόγου της παραγωγής προς την αναπαραγωγική βιομάζα, του μέσου ρυθμού αλιευτικής θνησιμότητας και του ρυθμού εκμετάλλευσης όπως προκύπτουν από τα αποτελέσματα του XSA για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Ιόνιο Πέλαγος.

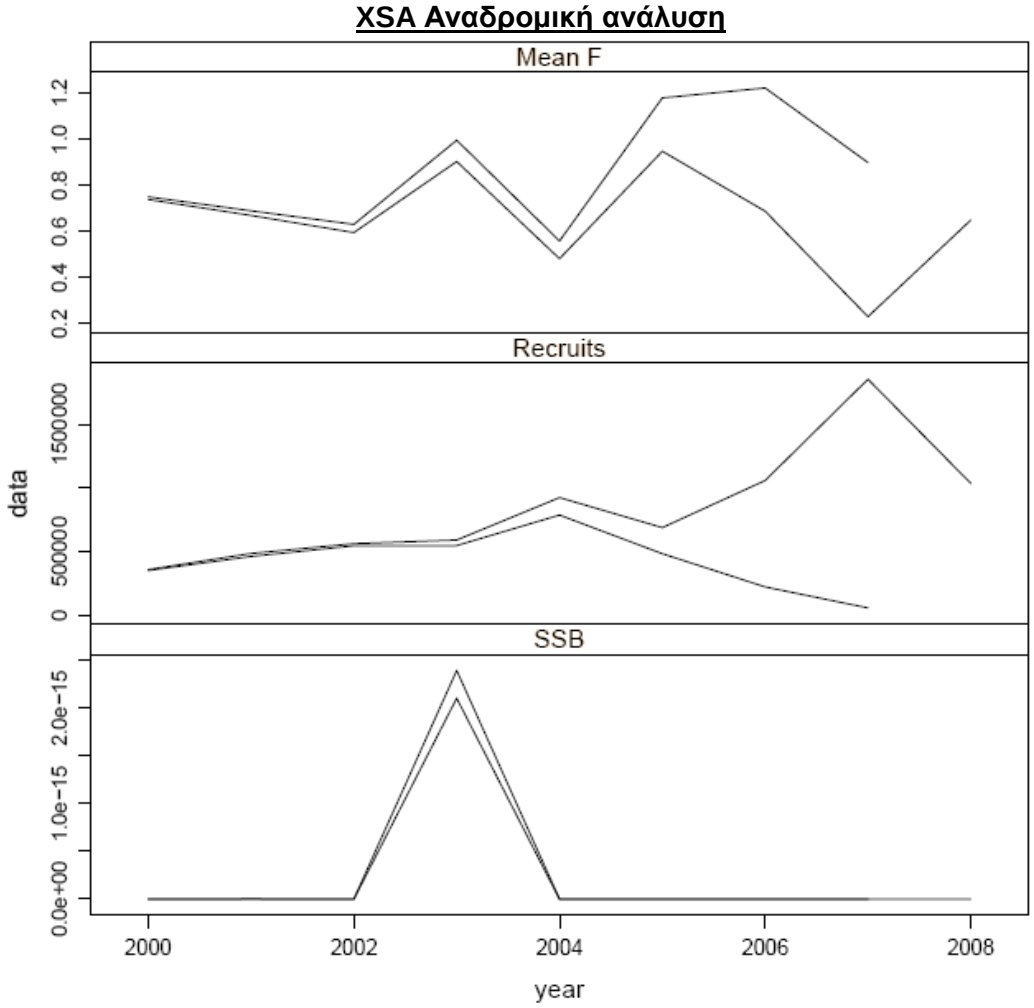
XSA Γραφικά διαγνωστικά



Εικ. 3.5.2.2. Γραφικά διαγνωστικά ενδεικτικά της προσαρμογής του XSA για τις ηλικίες 1-3 όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Ιόνιο Πέλαγος.

Πίνακας 3.5.2.3. Μέση λογαριθμική διαθεσιμότητα αλίευσης (μέση Log q) και σταθερό σφάλμα των ηλικιών με q ανεξάρτητη της επίδρασης της ετήσιας κλάσης και σταθερή με το χρόνο.

Ηλικία	1	2	3
Μέση Log q	-6.3291	-6.0343	-6.0343
S.E. (Log q)	0.683	0.4259	1.3349



Εικ. 3.5.2.3. Η αναδρομική ανάλυση του XSA για το μεσο ρυθμό αλιευτικής θνησιμότητας (Mean F), τη στρατολόγηση (Recruits) και την αναπαραγωγική βιομάζα του αποθέματος (SSB) της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Ιόνιο Πέλαγος, όπως προκύπτει από την εφαρμογή του FLXSA.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Εικόνας 3.5.2.1, το μοντέλο εκτιμά μια μεγάλη τιμή της αφθονίας των ατόμων ηλικίας 0 το 2007 η οποία μειώνεται για το 2008 στα επίπεδα του 2006. Με εξαίρεση το 2009, οπότε το μοντέλο προβλέπει μηδενική τιμή (λανθασμέμη εκτίμηση) για την ηλικία 0, η τάση της στρατολόγησης μέσα στη χρονοσειρά εμφανίζεται ανοδική. Η αναπαραγωγική βιομάζα (SSB) εμφανίζει μια συνεχή ανοδική τάση ενώ ο λόγος της παραγωγής προς την SSB χαρακτηρίζεται μεταβαλλόμενος με το χρόνο δείχνοντας γενικότερα μια σταθερή τάση. Μεταβαλλόμενος καθ’ όλη τη διάρκεια της χρονοσειράς είναι και ο μέσος ρυθμός αλιευτικής θνησιμότητας του οποίου οι τιμές κυμαίνονται από 0.25 (2007) ως 0.98 (2005) ενώ παρουσιάζει ακριβώς την ίδια τάση με το λόγο της παραγωγής προς την SSB. Ο ρυθμός

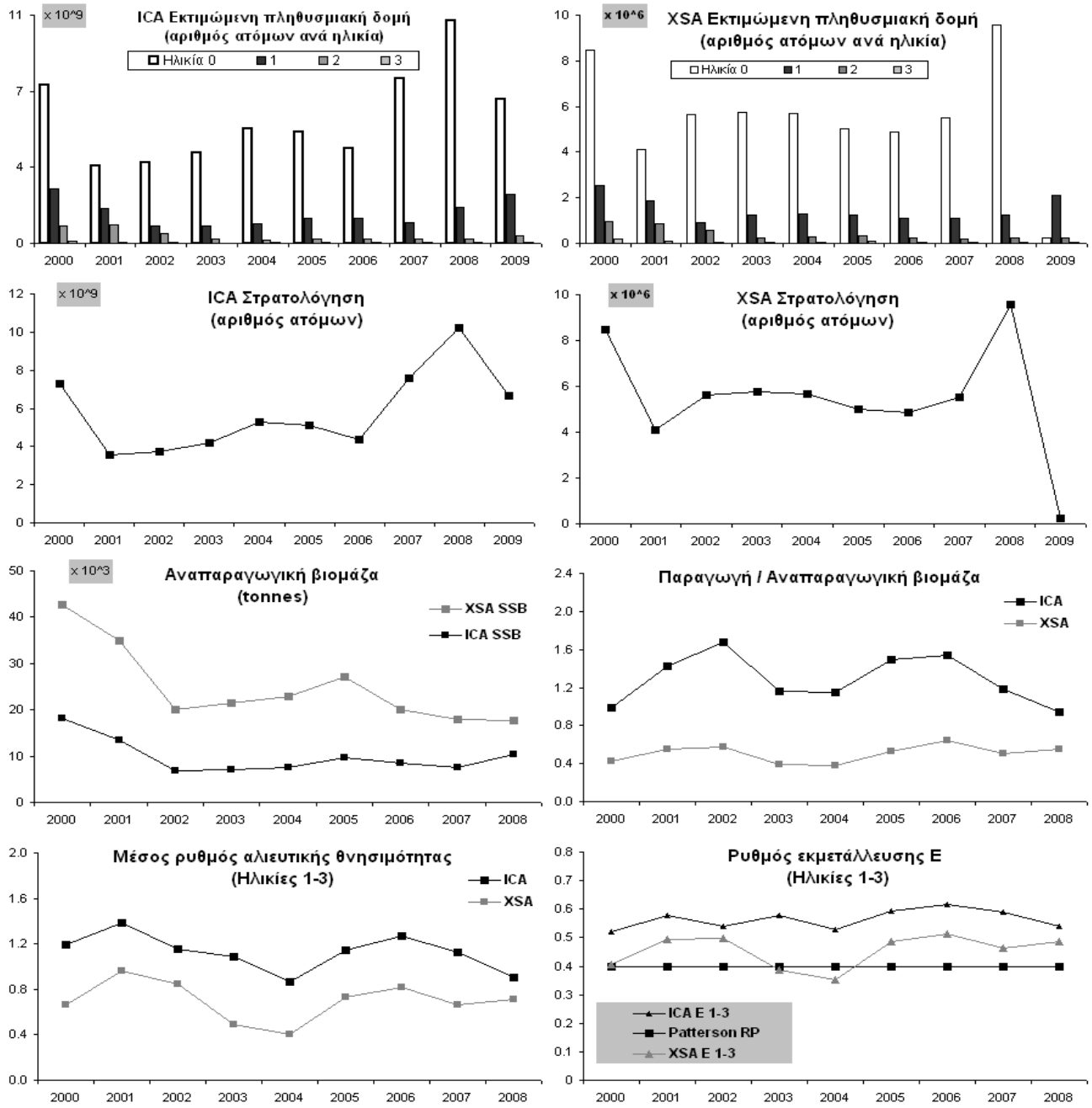
εκμετάλλευσης Ε βρίσκεται πάνω από το σημείο αναφοράς (0.4) του Patterson (1992) καθ' όλη τη διάρκεια της χρονοσειράς, κυμαινόμενος από 0.4 ως 0.56, με εξαίρεση το 2007 που εμφανίζει την τιμή 0.25.

Τα γραφικά διαγνωστικά της Εικόνας 3.5.2.2 δε δείχνουν καλή προσαρμογή του μοντέλου στο δείκτη συντονισμού για τις ηλικίες 2 και 3 σε αντίθεση με την ηλικία 1 για την οποία η προσαρμογή του μοντέλου είναι καλή. Αναφορικά με την ηλικία 2 το μοντέλο προσαρμόζεται καλά ως προς τη διαθεσιμότητα της ηλικίας για αλίευση (catchability). Το σταθερό σφάλμα της λογαριθμικής διαθεσιμότητας (S.E. Log q, Πίνακας 3.5.2.3) για τις ηλικίες 1 και 3 είναι μεγαλύτερο του 0.5 που σημαίνει ότι τα δεδομένα του δείκτη συντονισμού για αυτές τις ηλικίες είναι προβληματικά (Darby & Flatman 1994).

Η αναδρομική ανάλυση του XSA (Εικόνα 3.5.2.3) για το μέσο ρυθμό αλιευτικής θνησιμότητας (Mean F), τη στρατολόγηση (Recruits) και την αναπαραγωγική βιομάζα του αποθέματος (SSB) της σαρδέλας στο Ιόνιο Πέλαγος, που εφαρμόστηκε με την αφαίρεση του τελευταίου έτους της χρονοσειράς 2000 – 2008, δεν έδειξε αναδρομικά προβληματική εκτίμηση για το τελευταίο έτος (Darby & Flatman 1994). Η εφαρμογή της ανάλυσης με την αφαίρεση περισσότερων ετών ήταν αδύνατη λόγω της μικρής χρονοσειράς.

3.5.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των μοντέλων ICA – XSA στο Β. Αιγαίο

Στην Εικόνα 3.5.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται διαγραμματικά η σύγκριση των αποτελεσμάτων των μοντέλων ICA και XSA που εφαρμόστηκαν για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στο Β. Αιγαίο.



Εικ. 3.5.3.1. Σύγκριση των αποτελεσμάτων των μοντέλων ICA και XSA για το Β. Αιγαίο.

Σύμφωνα με την Εικόνα 3.5.3 οι τάσεις του εκτιμώμενου πληθυσμού και της στρατολόγησης είναι ίδιες για τα δύο μοντέλα. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι το ICA εκτιμά μεγαλύτερη αφθονία ατόμων και στο ότι το XSA προβλέπει μηδενική τιμή για την ηλικία 0 το 2009. Η αναπαραγωγική βιομάζα (SSB) που εκτιμά το XSA είναι μεγαλύτερη από αυτή του ICA και κατά συνέπεια ο λόγος της παραγωγής προς την αναπαραγωγική βιομάζα είναι μικρότερος για το XSA ενώ οι τάσεις είναι ίδιες και για τις δύο παραμέτρους. Τέλος, οι τιμές της μέσης αλιευτικής θνησιμότητας ($MeanF_{1-3}$) και του ρυθμού εκμετάλλευσης (E_{1-3}) που εκτιμά το ICA είναι μεγαλύτερες από αυτές του XSA εμφανίζοντας, όμως, την ίδια τάση.

4. Συζήτηση

Η εκτίμηση της κατάστασης ενός οικονομικά σημαντικού ιχθυοαποθέματος, όπως είναι αυτό της σαρδέλας, είναι εξέχουσας σημασίας και αποτελεί τη βάση για τη λήψη των κατάλληλων μέτρων διαχείρισης. Ο προσδιορισμός της ηλικιακής δομής του αποθέματος αποτελεί το βασικότερο παράγοντα της παραπάνω διαδικασίας και λάθη κατά την εκτίμηση της ηλικίας οδηγούν σε εκτιμήσεις ιχθυοαποθεμάτων που αποκλίνουν από την πραγματικότητα και δύνανται να οδηγήσουν σε λανθασμένες διαχειριστικές αποφάσεις.

Τα κυριότερα λάθη στην εκτίμηση της ηλικιακής δομής οφείλονται σε λάθη που γίνονται κατά την ανάγνωση των ωτολίθων. Οι λόγοι που οδηγούν σε λάθος ανάγνωση των ωτολίθων ποικίλουν ανάμεσα στους αναγνώστες. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής αντιμετωπίστηκαν διάφορα είδη δυσκολιών κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Ένα από τα βασικά προβλήματα είναι η πιθανή χαμηλή ευκρίνεια των ετήσιων δακτυλίων και γενικότερα της επιφάνειας του ωτολίθου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο αναγνώστης μπορεί να παρατηρεί λανθασμένο αριθμό δακτυλίων ή να συγχέει τους ψευδοδακτύλιους με τους κανονικούς ή να είναι αδύνατη οποιαδήποτε παρατήρηση. Όσο αναφορά στην τελευταία περίπτωση, ο ωτόλιθος είναι προτιμότερο να εξαιρείται από το δείγμα.

Στην προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος της χαμηλής ευκρίνειας της επιφάνειας ενός ωτολίθου, ο αναγνώστης μπορεί να επιβεβαιώσει την ηλικία του συγκεκριμένου ψαριού με βάση πρόσθετες πληροφορίες από το μέγεθος και το σχήμα του ωτολίθου (Castonguay *et al*. 1991, Campana & Casselman 1993). Ακόμα, το μήκος του ψαριού αποτελεί μια σημαντική πληροφορία. Οι πληροφορίες, όμως, αυτές μπορούν να λειτουργήσουν μόνο προσεγγιστικά κατά την απόδοση της ηλικίας και πάντα σε συνδυασμό με την παρατήρηση των δακτυλίων. Η διαφοροποίηση της αύξησης αντικατοπτρίζεται από το σχηματισμό των εποχικών δακτυλίων στους ωτόλιθους και εξαρτάται από τις περιοδικές μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών (π.χ. θερμοκρασία, διαθεσιμότητα τροφής, Mosegaard 1986, Mosegaard *et al*. 1988). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Morales – Nin 1992, Svedang *et al*. 1997 και εκεί αναφορές) οι αδιαφανείς (opaque) και οι υαλώδεις (hyaline) δακτύλιοι αντιστοιχούν σε καλοκαιρινούς και χειμερινούς δακτυλίους. Πολλά λάθη κατά την ανάγνωση της ηλικίας οφείλονται στο λανθασμένο προσδιορισμό του πρώτου καλοκαιρινού δακτυλίου με αποτέλεσμα την υπο- ή την υπερεκτίμηση της ηλικίας κατά ένα έτος. Γι’ αυτό,

λαμβάνοντας υπόψη τη διεθνή παραδοχή της 1^{ης} Ιανουαρίου ως ημερομηνίας γέννησης των ψαριών, ο αναγνώστης πρέπει να λαμβάνει υπόψη του και την ημερομηνία αλίευσης του δείγματος πριν προχωρήσει στην απόδοση της ηλικίας του.

Η κατασκευή της κλείδας ηλικίας – μήκους (ALK) αποτελεί το πρώτο βήμα στη διαδικασία της εκτίμησης της κατάστασης ενός ιχθυοαποθέματος. Από την εκτίμηση των ηλικιών στο δείγμα κατασκευάζεται το ALK του δείγματος και στη συνέχεια με βάση τη συνολική κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού προκύπτουν τα ποσοστά των ατόμων ανά ηλικία (Fridriksson 1934) που θα χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία της εκτίμησης όλων εκείνων των παραμέτρων που ορίζουν την κατάσταση του ιχθυοαποθέματος. Η βελτίωση της ακρίβειας των πληροφοριών που περιέχονται στο ALK μπορεί να επιτευχθεί, πέρα από τη βελτίωση της ανάγνωσης των ηλικιών, και από τη βελτίωση της δειγματοληψίας (δηλ. μεγαλύτερο δείγμα) κυρίως στις μεγάλες κλάσεις μήκους (> 160 mm).

Η διατήρηση της συνέπειας κατά την απόδοση των ηλικιών στα ψάρια μεταξύ των αναγνωστών και των εργαστηρίων είναι και πρέπει να είναι μια συνεχής διαδικασία (Panfili *et al*. 2002). Παρ' όλη την ερευνητική προσπάθεια που έχει καταβληθεί, ο προσδιορισμός της ηλικίας των ψαριών παραμένει ένα δύσκολο έργο. Στα πλαίσια διαφόρων διεθνών συμβουλευτικών οργανισμών, όπως είναι το διεθνές συμβούλιο για την εκμετάλλευση της θάλασσας (ICES), η ανάγκη για έλεγχο και αναθεώρηση των πρωτοκόλλων ηλικίας διαφόρων ειδών έχει εκφραστεί αρκετές φορές.

Πέρα από τον προσδιορισμό της ηλικιακής δομής ενός ιχθυοαποθέματος, μια άλλη παράμετρος που συνδέεται με την κατανόηση της δυναμικής του και την εκτίμηση της κατάστασής του είναι η φυσική θνησιμότητα (M). Ο προσδιορισμός της τιμής της φυσικής θνησιμότητας είναι πρακτικά αδύνατος και επιδέχεται μεγάλο ποσοστό σφάλματος και αβεβαιότητας. Οι κύριοι παράγοντες που προκαλούν το φυσικό θάνατο των ψαριών είναι η θήρευση, η κακή κατάσταση της υγείας τους (π.χ. λόγω ασθενειών, περιορισμού της τροφής ή αναπαραγωγικής πίεσης) και το γήρας (Chen & Watanabe 1989). Ο τελευταίος παράγοντας δεν αποτελεί, πλέον, φυσικό αίτιο θανάτου για είδη όπως είναι η σαρδέλα στις ελληνικές θάλασσες καθώς τα άτομα του είδους δεν προλαβαίνουν να γεράσουν λόγω αλιευτικής θνησιμότητας (αποτελέσματα παρούσας διατριβής). Άν η κακή κατάσταση της υγείας (Hutchings *et al*. 1999, Dutil & Lambert 2000) αποτελεί φυσικό παράγοντα θανάτου που είναι ανεξάρτητος της ηλικίας του ψαριού και ο παράγοντας της θήρευσης επηρεάζει σχεδόν αποκλειστικά τα νεαρότερα

άτομα ενός πληθυσμού, η τιμή της φυσικής θνησιμότητας μειώνεται με την ηλικία (Chen & Watanabe 1989, Abella *et al*. 1997, Gislason *et al*. 2008).

Ποικίλες μέθοδοι εκτίμησης της φυσικής θνησιμότητας έχουν προταθεί κατά καιρούς από διάφορους ερευνητές. Μερικές από αυτές εξαρτώνται από την ηλικία (Peterson & Wroblewski 1984, Chen & Watanabe 1989, Abella *et al*. 1997, 1998, Andersen & Beyer 2006, Pope *et al*. 2006, Gislason *et al*. 2008) ενώ πολλές άλλες είναι ανεξάρτητες αυτής (Pauly 1980, Brander 1981, Hoening 1983, Gunderson & Dygert 1988, Charnov 1993, Jensen 1996). Στην παρούσα διατριβή, οι τιμές της φυσικής θνησιμότητας που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εφαρμογή των μοντέλων εκτίμησης των αποθεμάτων προήλθαν από την εξίσωση Probiom (Abella *et al*. 1997). Η εξίσωση αυτή προτείνεται από τις ομάδες μελέτης για την εκτίμηση των ιχθυαποθεμάτων που ασχολούνται με τα μικρά πελαγικά της Μεσογείου για τον υπολογισμό της φυσικής θνησιμότητας ενώ χρησιμοποιείται στη Βόρεια Αδριατική θάλασσα, τη Βόρεια Ισπανία και τις Βαλεαρίδες Νήσους (π.χ. SGMED 2009). Το πλεονέκτημά της έγκειται στο ότι αποδίδει διαφορετικές τιμές M σε κάθε ηλικιακή κλάση οι οποίες μειώνονται με την αύξηση της ηλικίας, σε αντίθεση με άλλες εξισώσεις που αποδίδουν μια σταθερή τιμή για όλες τις ηλικίες.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής εκτιμήθηκε η κατάσταση του ιχθυοαποθέματος της σαρδέλας στο Βόρειο Αιγαίο (από όπου προέρχεται ο κυριότερος όγκος των εκφορτώσεων του Αιγαίου Πελάγους, Stergiou *et al*. 1997, Somarakis *et al*. 2006) και του ιχθυοαποθέματος της σαρδέλας στο Ιόνιο. Η πλειοψηφία του εμπορικού αλιευτικού στόλου, τόσο στο Β. Αιγαίο όσο και στο Ιόνιο, αποτελείται από μικρά σκάφη μήκους 12 – 24 m. Ο αριθμός των σκαφών στο Β. Αιγαίο είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν του Ιονίου, όπως μεγαλύτερες είναι και οι τιμές της αλιευτικής προσπάθειας και των εκφορτώσεων. Ειδικότερα, οι εκφορτώσεις της σαρδέλας από τα εμπορικά σκάφη (γρι-γρι) στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος εμφανίζουν μια μεταβλητότητα μέσα στη χρονοσειρά 2000 – 2008 ακολουθώντας πτωτική και ανοδική τάση αντίστοιχα. Παρατηρείται μια περιοδικότητα 2 – 3 ετών στην εξέλιξη των εκφορτώσεων και για τις δύο περιοχές, φαινόμενο που έχει παρατηρηθεί και στο παρελθόν (Stergiou & Christou 1996). Σύμφωνα με τους παραπάνω συγγραφείς, που μελέτησαν την εξέλιξη των εκφορτώσεων των μικρών πελαγικών στις ελληνικές θάλασσες για την περίοδο 1964 – 1987, η περιοδικότητα των εκφορτώσεων της σαρδέλας οφείλεται πιθανότατα στην περιοδική αντικατάστασή τους από τις εκφορτώσεις του γαύρου και αντίστροφα (Stergiou 1992). Το γεγονός αυτό αποδίδεται κυρίως στην περιοδικότητα των

περιβαλλοντικών παραμέτρων που προκαλούν αλλαγές (α) στους ρυθμούς στρατολόγησης των δύο ειδών, (β) στη διαθεσιμότητα των ειδών για αλίευση (catchability) από τα εμπορικά σκάφη και (γ) στην αλιευτική προσπάθεια των σκαφών παρά σε αλλαγές της αφθονίας των δύο ειδών (Stergiou & Christou 1996).

Οι κυρίαρχες ηλικιακές κλάσεις στις εκφορτώσεις του Β. Αιγαίου είναι αυτές των ηλικιών 1 και 2. Όσο αναφορά στον πληθυσμό (ακουστική δειγματοληψία) για την ίδια περιοχή, η τάση της ολικής βιομάζας είναι σταθερά ανοδική ενώ οι πιο άφθονες ηλικιακές κλάσεις είναι αυτές των ηλικιών 0, 1 και 2. Σε αντίθεση με το Β. Αιγαίο, η ηλικιακή κλάση 1 είναι η αντιπροσωπευτική για τις εκφορτώσεις του Ιονίου. Η εντονότερη παρουσία των νεαρών ατόμων στο Ιόνιο πέλαγος φαίνεται και από τις κατά μήκος συνθέσεις και οφείλεται στην ύπαρξη διαφορετικής αλιευτικής στρατηγικής. Τα εμπορικά σκάφη του Ιονίου λόγω του μικρού μεγέθους τους, της ιδιαίτερης γεωγραφίας της περιοχής (κλειστοί κόλποι όπως ο Πατραϊκός και ο Κορινθιακός) και της ύπαρξης παραγωγικών περιοχών σε εγγύτητα με την ηπειρωτική χώρα, επιχειρούν σε περιοχές όπου τα αλιευτικά τους πεδία συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με τα πεδία των νεαρών ατόμων (Papaconstantinou *et al*. 2007).

Για την εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας, στην παρούσα εργασία, εφαρμόστηκαν δύο μοντέλα. Το μοντέλο της ολοκληρωμένης ανάλυσης πληθυσμού (ICA) εφαρμόστηκε στο Β. Αιγαίο και της εκτεταμένης ανάλυσης επιζώντων (XSA) στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2000 – 2008. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ICA, ο ρυθμός της μέσης αλιευτικής θνησιμότητας για τις ηλικίες 1 ως 3 (ηλικίες στόχοι για την αλιεία) είναι μεταβαλλόμενος εμφανίζοντας μια περιοδικότητα 4 ετών περίπου ενώ καθ' όλη τη διάρκεια της χρονοσειράς η τιμή του είναι μεγαλύτερη από 0.85. Την ίδια τάση με την αλιευτική θνησιμότητα ακολουθεί ο ρυθμός εκμετάλλευσης (E) με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0.5 και 0.6. Ο Patterson (1992), με βάση στοιχεία από αποθέματα μικρών πελαγικών από όλο τον κόσμο, πρότεινε ένα ενιαίο εμπειρικό επίπεδο αναφοράς για την προληπτική διαχείριση των μικρών πελαγικών θέτοντας το ρυθμό εκμετάλλευσης E = 0.4. Σύμφωνα με αυτόν, όταν οι τιμές του ρυθμού εκμετάλλευσης βρίσκονται στο εύρος 0.3 – 0.5 υπάρχουν σχεδόν ίσες πιθανότητες για ένα απόθεμα να μειωθεί ή να αυξηθεί. Πολύ λίγα ιχθυαποθέματα μικρών πελαγικών με E > 0.5 έχουν καταφέρει να διατηρηθούν ενώ στα περισσότερα από αυτά η αναπαραγωγική βιομάζα (SSB) έχει καταρρεύσει. Για παράδειγμα, ιχθυαποθέματα με E = 0.6 έχουν 85 % πιθανότητα κατάρρευσης. Αντίθετα, αποθέματα με E < 0.3 έχουν καταφέρει να αυξηθούν σε μέγεθος (Patterson 1992).

Με βάση, λοιπόν, τα αποτελέσματα του ICA, το απόθεμα της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο θεωρείται υπεραλιευμένο με ορατό τον κίνδυνο της κατάρρευσης. Παρ' όλα αυτά, η ολική βιομάζα και η στρατολόγηση παρουσιάζουν συνεχείς αυξητικές τάσεις δείχνοντας σημάδια ανάκαμψης για το απόθεμα. Θετικές για την ανάκαμψη του αποθέματος είναι και οι ενδείξεις της αναπαραγωγικής βιομάζας, η οποία έχει διατηρηθεί σχεδόν σταθερή μέσα στη χρονοσειρά εμφανίζοντας σημάδια αύξησης τα 2 τελευταία χρόνια.

Οι εκτιμήσεις του μοντέλου XSA για την περιοχή του Β. Αιγαίου είναι παρόμοιες με αυτές του ICA ως προς την τάση μεταβολής των πληθυσμιακών χαρακτηριστικών της σαρδέλας (π.χ. στρατολόγηση, αναπαραγωγικά ενεργή βιομάζα και αλιευτική θνησιμότητα). Για την αναπαραγωγική βιομάζα το XSA κάνει υψηλότερες εκτιμήσεις ενώ ο ρυθμός εκμετάλλευσης, αν και χαμηλότερος από αυτόν του ICA, παραμένει πάνω από το σημείο αναφοράς του Patterson (1992) κυμαινόμενος από 0.4 ως 0.5 σε όλη σχεδόν τη χρονοσειρά δηλώνοντας την υπεραλίευση του αποθέματος. Ωστόσο και τα δύο μοντέλα δείχνουν σημάδια ανάκαμψης του αποθέματος αναφορικά με την αναπαραγωγική βιομάζα και τη στρατολόγηση . Το ICA είναι πιο αυστηρό, συντηρητικό μοντέλο και εκτιμά μεγαλύτερη αλιευτική θνησιμότητα και ρυθμό εκμετάλλευσης σε σχέση με το XSA. Η διαφοροποίηση αυτή είναι πιθανό να σχετίζεται με τη μεθοδολογία που ακολουθούν τα δύο μοντέλα.

Το μοντέλο XSA χρησιμοποιεί ως δείκτη συντονισμού της VPA μόνο την αφθονία των ατόμων ανά ηλικία από τα ακουστικά σε αντίθεση με το ICA που χρησιμοποιεί και τις εκτιμήσεις της συνολικής βιομάζας του πληθυσμού. Ακόμα, το ICA βασίζεται στο διαχωρίσιμο μοντέλο για το συντονισμό της VPA σε αντίθεση με το XSA που χρησιμοποιεί την τυπική VPA (η περιγραφή των μοντέλων βρίσκεται στο κεφάλαιο 2).

Η εφαρμογή του μοντέλου XSA στο Ιόνιο Πέλαγος αποτελεί την πρώτη προσπάθεια εκτίμησης της κατάστασης του ιχθυοαποθέματος της σαρδέλας στην περιοχή αυτή. Λόγω της έλειψης ερευνητικής δειγματοληψίας, ο συντονισμός της VPA πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του δείκτη της παραγωγής ανά μονάδα αλιευτικής προσπάθειας (CPUE) από τα δεδομένα των εκφορτώσεων, όπως προτείνεται από τους Doubleday 1981, Shepherd 1992, 1999. Η προσαρμογή του μοντέλου ήταν καλή κυρίως για την ηλικία 1 που αποτελεί και την κυρίαρχη ηλικιακή κλάση των εκφορτώσεων. Οι εκτιμώμενες παράμετροι για τον πληθυσμό της σαρδέλας στο Ιόνιο ακολουθούν την ίδια τάση μεταβολής με αυτές που εκτιμήθηκαν για το Β. Αιγαίο. Ο ρυθμός εκμετάλλευσης είναι στα ίδια επίπεδα με αυτόν του Β. Αιγαίου κυμαινόμενος από 0.4 ως 0.55, πάνω

από το σημείο αναφοράς του Patterson (1992). Εξαίρεση αποτελεί το 2007 οπότε E = 0.25. Κατά συνέπεια, το απόθεμα της σαρδέλας στο Ιόνιο φαίνεται υπεραλιευμένο και εμφανίζει σημάδια ανάκαμψης αναφορικά με την αναπαραγωγική βιομάζα και τη στρατολόγηση.

Η τελευταία πρόταση είναι αντιπροσωπευτική των εκτιμήσεων των δύο μοντέλων (ICA και XSA) για το απόθεμα της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος για την περίοδο 2000 – 2008. Παρ' όλα αυτά, οι εκτιμήσεις αυτές πρέπει να θεωρηθούν ως προκαταρκτικές καθώς η χρονοσειρά των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή τους ήταν μικρή (μικρότερη από δέκα χρόνια). Σε αυτό συμβάλλει και η ύπαρξη κενών (2007) στην εν λόγω χρονοσειρά. Η έλλειψη του 2007 ήταν σημαντική για τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων καθώς αποτελεί το προτελευταίο έτος της χρονοσειράς τη στιγμή που τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται στις εκτιμήσεις του τελευταίου έτους. Παρ' όλα αυτά, η βελτίωση της εκτίμησης του αποθέματος της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2000 – 2008 επιτεύχθηκε με τη βελτίωση της ηλικιακής δομής του πληθυσμού από την ανάγνωση των ωτολίθων. Τη βελτίωση των εκτιμήσεων επαληθεύει η καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου ICA σε σχέση με αυτήν του προηγούμενου που εφαρμόστηκε για την περίοδο 2000 – 2006 (SGMED 2008). Τέλος, δεδομένα από ερευνητικούς πλόες στο Ιόνιο Πέλαγος θα συνέβαλλαν στη βελτιστοποίηση της εκτίμησης του αποθέματος του είδους στην περιοχή.

Η κατάσταση του αποθέματος της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, φαίνεται να είναι καλύτερη σε σχέση με την κατάσταση του αποθέματος του είδους στη Βόρεια Αδριατική θάλασσα όπως παρουσιάζεται από την ομάδα μελέτης για την Μεσόγειο SGMED (2008). Οι παράμετροι της συνολικής και της αναπαραγωγικής βιομάζας καθώς και της στρατολόγησης για τον πληθυσμό της σαρδέλας στη Β. Αδριατική ακολουθούν μία συνεχή πτωτική τάση σε αντίθεση με τις αντίστοιχες παραμέτρους του πληθυσμού στην περιοχή μας που εμφανίζουν ανοδική τάση. Σύμφωνα με τα παραπάνω, και σε συνδυασμό με το ρυθμό εκμετάλλευσης η τιμή του οποίου είναι 0.48 (2005 – 2007), πάνω από το σημείο αναφοράς του Patterson (1992) για τα μικρά πελαγικά είδη, το απόθεμα της σαρδέλας στη Β. Αδριατική είναι υπεραλιευμένο ενώ οι εκτιμήσεις της αναπαραγωγικής βιομάζας και της στρατολόγησης, σε αντίθεση με αυτές της παρούσας εργασίας, δε φαίνεται να δείχνουν κάποια ανάκαμψη.

Η κατανόηση των χαρακτηριστικών της χωρικής οργάνωσης των συγκεντρώσεων (schools) της σαρδέλας, και των μικρών πελαγικών γενικότερα, είναι

μεγάλης σημασίας για την αλιευτική επιστήμη καθώς επηρεάζει άμεσα τη διαθεσιμότητα του είδους (catchability) και κατά συνέπεια τα αποτελέσματα των ερευνητικών δειγματοληψιών και των εκτιμήσεων των αποθεμάτων (Fréon & Misund 1999, Giannoulaki *et al*. 2003, 2006). Τα τελευταία χρόνια, οι συγκεντρώσεις των μικρών πελαγικών εντοπίζονται από τα εμπορικά αλιευτικά σκάφη με τη χρήση σύγχρονης τεχνολογίας όπως είναι τα ακουστικά. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της διαθεσιμότητας των ειδών για αλίευση, κυρίως στις μικρές και κλειστές περιοχές, με συνέπεια την αύξηση της αλιευτικής παραγωγής σε σύντομο χρονικό διάστημα γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τους διαχειριστικούς σχεδιασμούς. Επιπλέον, καθώς τα ρηχά και παραγωγικά νερά των μικρών και κλειστών κόλπων αποτελούν πεδία εκκόλαψης των μικρών πελαγικών (Giannoulaki *et al*. 2005), η μη αποτελεσματική διαχείριση της αλιευτικής προσπάθειας σε αυτές τις περιοχές μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες στην επιτυχημένη στρατολόγηση και τη βιομάζα του αποθέματος.

Τα μικρά πελαγικά είδη ψαριών παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην τροφική αλυσίδα ενώ αποτελούν είδη τεράστιου οικονομικού ενδιαφέροντος, σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο, καθώς η προσφορά τους σε βιομάζα είναι αποδεδειγμένα μεγάλη (Ratz *et al*. 2009). Η λήψη των κατάλληλων διαχειριστικών μέτρων ως προς την άσκηση της αλιευτικής προσπάθειας, που στοχεύει τα συγκεκριμένα είδη, είναι απαραίτητη για την ανάκαμψη των αποθεμάτων τους. Η επιστημονική συμβουλή παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην παραπάνω διαδικασία και οι πληροφορίες στις οποίες στηρίζεται πρέπει να είναι όσο το δυνατό ακριβέστερες. Η βελτίωση των μεθόδων εκτίμησης των αποθεμάτων και της ποιότητας των δεδομένων που χρησιμοποιούν αποτελεί ένα πολύ σημαντικό βήμα για τη βελτίωση της επιστημονικής πληροφορίας που παρέχεται στους φορείς διαχείρισης των ιχθυοαποθεμάτων.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε τα εξής: (α) η βελτίωση της εκτίμησης του αποθέματος της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο επιτεύχθηκε με βάση την εκτίμηση της ηλικιακής δομής του πληθυσμού από την ανάγνωση των ωτολίθων, (β) το απόθεμα της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο είναι υπεραλιευμένο εμφανίζοντας τάσεις ανάκαμψης τα τελευταία χρόνια αναφορικά με την αναπαραγωγική βιομάζα και τη στρατολόγηση και (γ) τα αποτελεσματα των εκτιμήσεων θεωρούνται προκαταρκτικά λόγω της μικρής χρονοσειράς και της έλλειψης δεδομένων για το 2007.

Περίληψη

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκε εκτίμηση του αποθέματος της ευρωπαϊκής σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στην περιοχή του Β. Αιγαίου και του Ιονίου Πελάγους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα των εκφορτώσεων της σαρδέλας που συλλέχθηκαν στο πλαίσιο διαφόρων εθνικών και ευρωπαϊκών προγραμμάτων του ΕΛΚΕΘΕ και του Ινστιτούτου Αλιευτικής Έρευνας (ΙΝΑΛΕ) της Καβάλας την περίοδο 2000–2003 καθώς και δεδομένα που συλλέχθηκαν την περίοδο 2003-2008 στο πλαίσιο του Εθνικού Προγράμματος Συλλογής Αλιευτικών Δεδομένων. Τα μοντέλα εκτίμησης ιχθυοαποθεμάτων που εφαρμόστηκαν είναι αυτά της ολοκληρωμένης ανάλυσης αλιεύματος ανά ηλικία (ICA) και της εκτεταμένης ανάλυσης επιζώντων (XSA).

Τα μοντέλα αυτά στηρίζονται στη γενική αρχή της εικονικής ανάλυσης πληθυσμού (Virtual Population Analysis) την οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση συντονίζουν με βάση δεδομένα αφθονίας από ακουστικές δειγματοληψίες (σχετικοί δείκτες αφθονίας του πληθυσμού), που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια ερευνητικών πλόων στο Β. Αιγαίο για την περίοδο 2003 – 2008. Το μοντέλο XSA εφαρμόστηκε στα δεδομένα τόσο του Β. Αιγαίου όσο και του Ιονίου ενώ το μοντέλο ICA εφαρμόστηκε μόνο στα δεδομένα του Β. Αιγαίου. Για το συντονισμό της VPA στο Ιόνιο χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης της παραγωγής ανά μονάδα αλιευτικής προσπάθειας (CPUE) όπου ως μονάδα αλιευτικής προσπάθειας χρησιμοποιήθηκαν οι ημέρες εργασίας στη θάλασσα.

Η εκτίμηση του αποθέματος της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο βασίστηκε στην ανάγνωση των ωτολίθων (*sagittae*) και την εκτίμηση της ηλικιακής δομής του πληθυσμού της σαρδέλας. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι ωτόλιθοι από 8.205 άτομα συνολικά που συλλέχθησαν την περίοδο 2003 – 2008 στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο και προέρχονται τόσο από δεδομένα εκφορτώσεων όσο και από δεδομένα ερευνητικών πλόων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μοντέλων, το απόθεμα της σαρδέλας στο Β. Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος είναι υπεραλιευμένο καθώς ο βαθμός εκμετάλλευσης ξεπερνά το εμπειρικό σημείο αναφοράς του 0.4, εμφανίζοντας ωστόσο τάσεις ανάκαμψης τα τελευταία χρόνια αναφορικά με την αναπαραγωγική βιομάζα και τη στρατολόγηση. Ωστόσο, τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων θεωρούνται προκαταρκτικά λόγω της μικρής χρονοσειράς και της έλλειψης επαρκών δεδομένων για το 2007.

Abstract

The main objective of the present study was the European sardine (*Sardina pilchardus*) stock assessment in Northern Aegean and Ionian Sea. For this purpose, sardine landings data from both regions, that have been collected in the framework of several past European and National projects (2000 to 2003) as well as data that were collected in the framework of the "Greek National Program of Fisheries Data Collection" from 2003 up to 2008 were compiled and analysed. The models of "Integrated Catch at Age Analysis" (ICA) and "Extended Survivors Analysis" (XSA), that are stock assessment models based on "Virtual Population Analysis" (VPA) method, were applied to the landings data. The XSA model was applied both to Northern Aegean and Ionian Sea while the ICA model was applied to Northern Aegean Sea only. Acoustic surveys data from Northern Aegean Sea, that were collected in June 2003-2008 and used as relative indices of stock abundance, and CPUE from Ionian Sea were used for tuning the VPA.

The stock assessment model of sardine in Northern Aegean and Ionian Sea was based on the improvement of the estimation of sardine age composition. Specifically, the otoliths (*sagittae*) from 8205 sardine specimens, that were collected from landings and surveys data in Northern Aegean and Ionian Sea during the period 2003-2008, were used for the determination of sardine age composition.

The ICA and XSA models indicated that the sardine stock in Northern Aegean and Ionian Sea is fully exploited with signs of recovery in the last years regarding stock spawning biomass (SSB) and recruitment. However, the results of this assessment should be considered as preliminary taking into consideration the short time series available as well as the lack of data in 2007.

5. Βιβλιογραφία

Abella J. Alvaro, Caddy F. John and Serena F. 1997. Do natural mortality and availability decline with age? An alternative yield paradigm for juvenile fisheries, illustrated by the hake *Merluccius rnerluccius* fishery in the Mediterranean. *Aquatic Living Resources* 10, 257-269.

Abella J. Alvaro, Caddy F. John and Serena F. 1998. Estimation of the parameters of the Caddy reciprocal M-at-age model for the constructiono f natural mortality vectors. CIHEAM - Options Mediterraneennes, 191-200.

Andersen K. H. and Beyer J. E. 2006. Asymptotic size determines species abundance in the marine size spectrum. *American Naturalist*, 168, 54–61.

Baranov T. I. 1918. On the question of the biological basis of fisheries. Nauchnye Issledovaniya Ikhtiologicheskii Instituta Izvestiya, 1, 81-128.

Beamish R. J. and McFarlane G. A. 1987. Current trends in age determination methodology. In: Summerfely, R. C., Hall, G. E. (Eds), Age and Growth of Fish. Iowa State University Press, Ames, Iowa, pp. 15 – 42.

Beare D. J., Needle C. L., Burns F. and Reid D. G. 2005. Using survey data independently from commercial data in stock assessment: an example using haddock in ICES Division Via. *ICES Journal of Marine Science*, 62, 996-1005.

Berg E., Sarvas T.H., Harbitz A., Fevolden S.E. and Salberg A.B. 2005. Accuracy and precision in stock separation of north-east Arctic and Norwegian coastal cod by otoliths-comparing readings, image analyses and a genetic method. *Marine and Freshwater Research* 56, 753-762.

Berra T. M. and D. D. Adey. 2004. Otolith description and age – and- growth of *Kurtus Gullivery* from northern Australia. *Journal of Fish Biology* 65, 354 – 362.

Bertalanffy L. Von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries in growth laws II). *Hum. Biol.* 10 (2), 181-213.

Beverton R. J. H. and Holt S.J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *U. K. Minist. Agric. Fish. Invest. Ser. 2.* 19, 1-533.

Bolz G. R. and Lough R. G. 1988. Growth through the first six months of Atlantic cod, Gadus morhua, and haddock, Melanogrammus aeglefinus, based on daily otolith increments. *Fish. Bull. U.S*. 86, 223–235.

Brander K. 1981. Disappearance of common skate Raia batis from Irish Sea. *Nature,* 290, 48–49.

Brehmer P., Guillard J., Guenne´gan Y., Bigot J. L. and Liorzou B.. 2006. Evidence of a variable ‘‘unsampled’’ pelagic fish biomass in shallow water (<20 m): the case of the Gulf of Lion. *ICES Journal of Marine Science*, 63, 444-451.

Caddy J. F. 1991. Death rates and time intervals: is there an alternative to the constant natural mortality axiom? *Reviews in Fish Biology and Fisheries,* 1**,** 109-138.

Campana S. E. and Casselman J. M. 1993. Stock discrimination using otolith shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 50, 1062-1083.

Carlander J. M. 1987. A history of scale age and growth studies of North American fresh water fish. In: Summerfely, R. C., Hall, G. E. (Eds), Age and Growth of Fish. Iowa State University Press, Ames, Iowa, pp. 3 - 14.

Castonguay M., Simard P and Gagnon P. 1991. Usefulness of Fourier analysis of otolith shape for Atlantic mackerel (Scomber scombrus) stock discrimination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 48, 296-302.

Charnov E. 1993. Life-history invariants: some explorations of symmetry in evolutionary ecology. Ecology and Evolution. Oxford University Press, Oxford. 128 p.

Chatfield C. 2003. The analysis of time series, an introduction. 6th edn. London, Chapman & Hall/ CRC Press.

Chen S. and Watanabe, S. 1989. Age Dependence of Natural Mortality Coefficient in Fish Population Dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi,* 55**,** 205-208.

Cury P., Shannon L., and Shin Y-J. 2003. The functioning of marine ecosystems: a fisheries perspective. In Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem, pp. 103e123. Ed. by M. Sinclair, and G. Valdimarsson. FAO and CABI Publishing. 426 pp.

Darby C. D. and Flatman S. 1994. Virtual population analysis: Version 3.1 (Windows/DOS) User Guide. MAFF Directorate of Fisheries Research IT Report 1. 85 pp.

Daskalov G. 2002. Overfishibg drives a trophic cascade in the Black Sea. *Marine Ecology Progress Series* 225, 53–63.

David A.W, Isely J.J, Grimes C.B. 1994. Differences between the sagitta, lapillus, and asteriscus in estimating age and growth in juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Fish Bull* (Wash, DC) 92, 509–515.

De Valpine P. 2002. Review of methods for fitting time-series models with process and observation errors and likelihood calculations for nonlinear, non-Gaussian state-space models. *Bull. Mar. Sci*. 70, 455–471.

Doubleday W. G. 1981. A method for estimating the abundance of survivors of an exploited fish population using commercial catch-at-age and research vessel abundance indices. *Canadian Special Publication Fisheries and Aquatic Science*, 58, 164–178.

Dutil J.D. and Lambert Y. 2000. Natural mortality from poor condition in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci*. 57, 826–836.

Espino-Barr E., Gallardo-Cabello M., Garcia-Boa A., Cabral-Solís E.G. and Puente-Gómez M. 2006. Morphologic and morphometric analysis and growth rings identification of otoliths: sagitta, asteriscus and lapillus of *Caranx caninus* (Pisces: Carangidae) in the coast of Colima, Mexico. *J. Fish. Aquat. Sci*. 1, 157-170.

FAO 1995. Precautionary approach to fisheries. Part 2. Scientific papers. FAO Fisheries Technical Paper No. 350/2. FAO, Rome.

FAO 2001. Report of the Sardine *(Sardina pilchardus)* otolith workshop Kaliningrad, Russian Federation. FAO Fisheries Report No. 685

Fargo J. and Kronlund A.R. 2000. Variation in growth for Hecate Strait English sole (Parophrys vetulus) with implications for stock assessment. *Journal of Sea Research*, 44(1–2), 3–15.

Fowler A. J. 1995. Annulus formation in otoliths of coral reef fish—a review. In: Secor DH, Dean JM, Campana SE (eds) Recent developments in fish otolith research. University of South Carolina Press, Columbia, SC, p 45–63.

Freon P. and Misund O.A. 1999. Dynamics of Pelagic Fish Distribution and Behaviour : Effects on Fisheries and Stock Assessment. Fishing New Books, Oxford.

Fryer R. F., Needle C. L. and Reeves S. A. 1998. Kalman filter assessments of cod, haddock and whiting in VIa. Working Document WD1 to the ICES Working Group on the Assessment of Northern Shelf Demersal Stocks. ICES, Copenhagen.

Giannoulaki M., Machias A. and Tsimenides N. 1999. Ambient luminance and vertical migration of the sardine *Sardina pilchardus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 178, 29-38.

Giannoulaki M., Machias A., Somarakis S., Koutsikopoulos C., Manousakis L. and Tsimenides N. 2001. The distribution of sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) in Central Aegean and Ionian sea, by means of acoustics. *Proc. 10th Hell. Conference of Ichthyologists*, 61-64.

Giannoulaki M., Machias A., Koutsikopoulos C., Somarakis S., Haralabous J. and Tsimenides N. 2002. Spatial structure of pelagic fish in Greek waters determined by acoustics. Proc 6th ICES Symp., Book of Abstracts, 120-121.

Giannoulaki M., Machias A., Koutsikopoulos C., Haralabous J., Somarakis S. and Tsimenides N. 2003. Effect of coastal topography on the spatial structure of the populations of small pelagic fish. *Marine Ecology Progress Series*. 265, 243–253.

Giannoulaki M., Machias A., Somarakis S. and Tsimenides N. 2005. The spatial distribution of anchovy and sardine in the northern Aegean Sea in relation to hydrographic regimes. *Belg. J. Zool*., 135 (2), 151-156.

Giannoulaki M., Machias A., Koutsikopoulos C. and Somarakis S. 2006. The effect of coastal topography on the spatial structure of anchovy and sardine. *ICES Journal of Marine Science*, 63 (4), 650-662.

Giannoulaki M., Machias A., Tsagarakis K., Laurinjen J. Siapatis A., Petrakis G., Tserpes G., Papaconstantinou K. Somarakis S., Schismenou E., Nikolioudakis N. Kallianiotis A., Argiri A. and Vidoris P. 2008. IMPROVEMENT OF IN YEAR MANAGEMENT OF SMALL PELAGIC FISH IN AEGEAN SEA. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Final Report. 129 p.

Gislason H., Daan N., Rice J. C. and Pope J. 2008. Does natural mortality depend on individual size? ICES Document CM 2008/F, 16:16.

Gunderson D.R. and Dygert P.H. 1988. Reproductive effort as a predictor of natural mortality rate. *J. Cons. Int. Explor. Mer*., 44, 200–209.

Hilborn R. and Walters C.J. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall. 570 pp.

Hoenig J. M. 1983. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fishery Bulletin* 81, 898–903.

Horbowy J. 1999. The comparison of Baltic herring and sprat age – length keys derived from polish commercial and research data. Bulletin of the Sea Fisheries Institute, Gdynia, Poland. 2 (147), 11 – 22.

Hutchings J.A., Pickle A., McGregor-Shaw C. R. and Poirier L. 1999. Influence of sex, body size, and reproduction on overwinter lipid depletion in brook trout. *Journal of Fish Biology* 55, 1020—1028.

ICES, 1997. Report of the study group on the precautionary approach to fisheries management, Copenhagen, Denmark, February 5–11, 1997. ICES CM 1997/Assess: 7, 41 pp.

ICES 2003. Report of the Working Group on the Assessment of the Stocks of mackerel, horse mackerel, sardine and anchovy (WGMHSA). ICES CM 2003/ACFM: 7.

ICES 2006. Report of the Working Group on the Assessment of the Stocks of mackerel, horse mackerel, sardine and anchovy (WGMHSA). ICES CM 2006/ACFM: 8.

Jennings S., Kaiser M.J. and Reynolds J.D. 2001. Marine Fisheries Ecology. Blackwell Science Ltd, Oxford, 417p.

Jensen A.L. 1996. Beverton and holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53, 820–822.

Kell L. T., Mosqueira I., Grosjean P., Fromentin J.-M., Garcia D., Hillary R., Jardim E., Mardle S., Pastoors M., Poos J. J., Scott F. and Scott R. 2007. FLR: an OpenSource framework for the evaluation and development of management strategies. ICES Journal of Marine Science 64, 640-646.

Lagardère F. 1989. Influence of feeding conditions and temperature on the growth rate and otolith-increment deposition of larval sole [Solea solea (L.)]. Rapports et Proces-Verbaux des Réunions Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer 191, 390–399

Lleonard J. and Maynou F. 2003. Fish stock assessments in the Mediterranean: state of the art. *Scientia Marina* 67, 37–49.

Longhurst and Pauly 1987. Ecology of tropical oceans. Academic Press, New York, 407 p.

Machias A., Somarakis S., Giannoulaki M., Manousakis L., Kapantagakis A. and Tsimenides N. 1997. Estimation of the N. Aegean anchovy stock by means of hydroacoustics by means of two independent methods. II. Hydroacoustics. Proc. of the 5th Hel. Symp. Oceanogr. & Fish. II, 47-50.

Machias A., Giannoulaki M., Somarakis S., Koutsikopoulos C., Manousakis L., Kapantagakis A. and Tsimenides N. 2001. Stock assessment of anchovy biomass in Central Aegean and Ionian sea through acoustic method. *Proc. 10th Hell. Conference of Ichthyologists* 57-60.

Machias A., Maraveyia E., Pavlidis M., Somarakis S. and Divanach P. 2002. Validation of annuli on scales and otoliths of common dentex (Dentex dentex). *Fisheries Research* 54, 287 – 294.

Megrey B.A. 1989. Review and comparison of age-structured stock assessment models from theoretical and applied points of view. *Am. Fish. Soc. Symp*. 6, 8–48.

Morales-Nin B. (1992). Determination of growth in bony fishes from otolith microstructure. *FAO Fisheries Technical Paper* 322, 51.

Morton R. and Bravington M. 2008. Comparison of methods for estimating age composition with application to Southern Bluefin Tuna (*Thunnus maccoyii*). *Fisheries Research* 93, 22–28.

Mosegaard H. 1986. Otolith growth in salmonids. Acta Univ. Ups. Comprehensive Summ. Uppsala Diss. Fac. Sci. 52, 1-18.

Mosegaard H., Svedang H. and Taberman K. 1988. Uncoupling of somatic and otolith growth rates in Arctic char (Salvelinus alpinus) as an effect of differences in temperature response. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*. 45, 1514-1524.

Moutopoulos D. K. and Stergiou K. I. 2002. Length – weight and length – length relationships of fish species from the Aegean Sea (Greece). *J. Appl. Ichthyol*. 18, 200 – 203.

Mugiya V. 1987: Phase difference between calcification and organic matrix formation in the diurnal growth of otoliths in the rainbow trout, *Salmo gairdneri. Fishery Bulletin* 85, 395-401.

Needle C.L. 2000. The ins and outs of ICA. Fisheries Research Services, Marine Laboratory, Aberdeen. 78p.

Needle C.L. 2003. Workshop Course on Fish Stock Assessment Techniques. ICES Headquarters, Copenhagen. 182 p.

Panella G. 1980. Growth patterns in fish sagittae. In: Rhoades D. C. and Lutz R. A. (eds.), Skeletal growth of aquatic organisms, pp 519-560. Plenum Press, New York.

Panfili J., de Pontual H., Troadec H. and Wright P.J. (Eds). 2002. Manual of Fish Sclerochronology. Brest, France: Infremer-IRD coedition. 464 pp.

Papaconstantinou C., Zenetos A., Tserpes G. and Vassilopoulou V. (eds.). 2007. State of Hellenic Fisheries. HCMR Publ., 466 pp.

Parsons L.S., Powles H. and Comfort M.J. 1998. Science in support of fishery management: New approaches for sustainable fisheries. *Ocean & Coastal Management*, 39(1-2), 151– 166.

Patterson K.R. 1992. Fisheries for small pelagic species: an empirical approach to management targets. *Reviews in Fish Biology and Fisheries,* 2**,** 321-338.

Patterson K.R. 1998. Integrated catch-at-age analysis, v.1.4. Aberdeen, Marine Laboratory.

Patterson K.R. and Kirkwood G.P. 1995. Comparative performance of ADAPT and Laurec-Shepherd methods for estimating fish population parameters and in stock management. *ICES J. Mar. Sci*. 52, 183–196.

Patterson K.R. and Melvin G.D. 1996. Integrated catch-at-age analysis version 1.2. Scottish Fisheries Research Report 56. Aberdeen: FRS.

Petersen C.G.J. 1891. Eine Methode zur Bestimmung des Alters und des Wuchses der Fische. *Mitt. Dtsch. Seefisc. Ver. II*, 226-235.

Peterson I. and Wroblewski J.S. 1984. Mortality rate of fishes in the pelagic ecosystem. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41, 1117–1120.

Petrakis G. and Stergiou K. I. 1995. Weight – length relationships for 33 fish species in Greek waters. *Fisheries Research*. 21, 465 – 469.

Pope J. and Shepherd J.G. 1982. A simple method for the consistent interpretation of catch-at-age data. J. Cons. Int. Explor. Mer, 40: 176-184.

Pope J. and Shepherd J.G. 1985. A comparison of the performance of various methods for tuning VPA's using effort data. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 42, 129-151.

Pope J. G., Rice J. C., Daan N., Jennings S. and Gislason H. 2006. Modelling an exploited marine fish community with 15 parameters—results from a simple size-based model. *ICES Journal of Marine Science*, 63, 1029–1044.

Popper A.N., Ramcharitar J. and Campana S.E. 2005. Why otoliths? Insights from inner ear physiology and fisheries biology. *Marine and Freshwater Research*. 56, 497-504.

Powell D. G. 1979. Estimation of mortality and growth parameters from the length frequency of a catch. *Rapp. P.-v. Reun. CIESM* 175, 167-169.

Quinn T.J., Deriso R.B., 1999, Quantitative fish dynamics. Oxford University Press, Inc. New York.

R Development Core Team. R Project. 2003. http://www.r-project.org.

Radtke R.L., FINE M.L. and Bell J. 1985: Somatic and otolith growth in the oyster toadfish *(Opsanus tau* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 90, 259-275.

Ratz H.J., Cheilari A. and Lloret J. 2009. The effect of M on the estimation of stock state parameters and derived references for sustainable fisheries management. Working paper. STECF SG/ECA/RST/MED 09-01.

SGMED 2008. Report of the SGMED-08-04 Working Group on the Mediterranean Part IV. OCTOBER 2008, PONZA, ITALY. 728 pp.

SGMED 2009. SG-ECA/RST/MED-09-01 SUBGROUP REPORT, Lo Pagan, Murcia, 2-7 March 2009. p. 46.

Shannon L.J., Cury P. and Jarre A., 2000. Modelling effects of fishing in the Southern Benguela ecosystem. *ICES Journal of Marine Science* 57, 720–722.

Shepherd J. G. 1992. Extended Survivors' Analysis: An improved method for the analysis of catch-at-age data and catch-per-unit-effort data. Working Paper to the ICES MultispeciesWorking Group, June 1992.

Shepherd J.G. 1999. Extended survivors analysis: an improved method for the analysis of catch-at-age data and abundance indices. *ICES J. Mar. Sci*. 56, 584–591.

Silva A., Santos M. B., Caneco B., Pestana G., Porteiro C., Carrera P. and Stratoudakis Y. 2006. Temporal and geographic variability of sardine maturity at length in the northeastern Atlantic and the western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science*, 63, 663 - 676.

Smith S.J. and Gavaris S. 1993. Evaluation the accuracy of projected catch estimates from sequential population analysis and trawl survey abundance estimates. In: Smith S.J., Hunt J.J., Rivard D. (Eds.) Risk evaluation and biological reference points for fisheries management. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci*. 120, 163– 172.

Somarakis S., Tsianis D. E., Machias A. and Stergiou K. I. 2006. An overview of biological data related to anchovy and sardine stocks in Greek waters. In Palomares, M. L. D., K. I. Stergiou & D. Pauly (eds), Fishes in Databases and Ecosystems, Fisheries Centre Research Reports. Fisheries Centre, University of British Columbia, 56–64.

Sparre P., Ursin E. and Venema S.C. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. *FAO Fish. Tech. Paper No.306.1. Rome, FAO. 1989.* 337p.

Sparre P. and Venema S. 1992. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. FAO Fisheries Technical Paper No. 306/1 Rev 1. Rome. 376 pp.

Stergiou K.I. 1986. On the anchovy and pilchard fishery in Greek waters, 1964-1982. *Rapp. Comm. Int. Mer. Medit* 30, 241.

Stergiou K.I. 1992. Variability of the monthly catches of anchovy, *Engraulis encrasicolus* in the Aegean Sea. *Fish. Bull. US*, 90, 211-215.

Stergiou K.I. 2002. Overfishing, tropicalization of fish stocks, uncertainty and ecosystem management: Resharpening Ockham's razor. *Fish. Res.* 52, 1-9.

Stergiou K.I. and Christou E.D. 1996. Modelling and forecasting annual fisheries catches: comparison of regression and univariate and multivariate time series methods. *Fish. Res*., 25, 105-138.

Stergiou K.I., Christou E.D., Georgopoulos D., Zenetos A. and Souvermezoglou C. 1997. The Hellenic Seas: Physics, chemistry, biology and fisheries. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review. 35, 415-538.

Stevensen D.K. and Cambana S.E. 1992. Otolith microstructure examination and analysis. Can Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci, 117-126.

Suthers I.M., Frank K.T. and Cambana S.E. 1989. Spatial comparison of recent growth in postlarval Atlantic cod (*Gadus Morhua*) off southwestern Nova Scotia: Inferior growth in a presumed nursery area. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*. 46 (1), 113-124.

Svedang H., Ojaveer H and Urtans E. 1997. Interpretation of the otolith structures in viviparous blenny *Zoarces viviparous. J. Appl. Ichthyol*. 13, 137-142.

Tserpes G. and Tsimenides N. 1990. Evaluation of stock differences in *Sardina pilchardus* (Walb. 1792) from the Aegean and Ionian seas, in terms of growth rates. *Cybium* 15(1), 15-22.

Voulgaridou and Stergiou K. I. 2003. Trends in various biological parameters of the European sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), in the Eastern Mediterranean Sea. *Sci. Mar*. 67, 269-280.

Whitehead P.J.P. 1985. FAO species catalogue. vol. 7. Clupeoid fishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, shads, anchovies and wolf-herring. Part I. Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae. FAO Fish Synops. 125, 7, 303 p.

Xiao Y. 2007. The fundamental equations of multi-species virtual population analysis and its variants. *Ecol. Model*. 201, 477–494.

Yingbin W., Qun L. and Yanjun W. 2006. Estimation of Natural Mortality Coefficient from Fish Abundance and Catch Data Using Virtual Population Analysis (VPA). *Journal of Ocean University of China.* 6 (1), 53-59.

Γκάνιας Κ., Σωμαράκης Σ., Κουτσικόπουλος Κ., Καραγκίτσου Η., Μαχιάς Α., Τσιμενίδης Ν. και Θεοδώρου Α. 2000. Ωκεανογραφική, ιχθυοπλαγκτονική και βιολογική μελέτη της αναπαραγωγής της σαρδέλας στις παράκτιες περιοχές της κεντρικής Ελλάδας. Αλιευτικά Νέα 233, 41-48.

Στεργίου Κ. Ι. 1999. Ιχθυολογία (Αλιευτική βιολογία: αύξηση και θνησιμότητα). ΑΠΘ. σελ. 106.