ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ – ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΕΡΣΑΙΩΝ Κ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Μοντελοποίηση της παρουσίας σχολείων νεαρών ατόμων του γαύρου (*Engraulis encrasicolus* L.) και της σαρδέλας (*Sardina pilchardus* W.) σε σχέση με περιβαλλοντικούς παράγοντες στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου»

Πυρουνάκη Μαρία-Μυρτώ

Οκτώβριος 2008

Μέλη της διμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής:

Διευθυντής ερευνών Α. Μαχιάς (Επιβλέπων)

Αναπληρωτής Καθηγητής Ι. Καρακάσης

Ηράκλειο, Οκτώβριος 2008

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο Ινστιτούτο Θαλάσσιων Βιολογικών Πόρων (ΙΘΑΒΙΠ) του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) υπό την ευθύνη του Διευθυντή ερευνών του ΙΘΑΒΙΠ Αθανάσιου Μαχιά και του Αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος Βιολογίας Ιωάννη Καρακάση. Τελειώνοντας τον μεταπτυχιακό κύκλο σπουδών, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν και με στήριξαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διατριβής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αθανάσιο Μαχιά για την επίβλεψη και την καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τον κ. Ιωάννη Καρακάση, που δέχτηκε να είναι μέλος της συμβουλευτικής επιτροπής μου. Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην ερευνήτρια Γιαννουλάκη Μαριάννα, για την συνεχή επιστημονική της καθοδήγηση και την συμπαράσταση της όλη αυτή τη χρονιά. Η συνεργασία μαζί της ήταν πολύ προσοδοφόρα, καθώς μου μετέδωσε πλήθος γνώσεων, σε κάθε κομμάτι της παρούσας διατριβής. Ευχαριστώ θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Κωνσταντίνο Τσαγκαράκη για τη βοήθεια που προσέφερε τόσο κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας αλλά και για τις πολύτιμες συμβουλές του κατά την επεξεργασία και τη συγγραφή των δεδομένων. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στο Λευτέρη Πινάκη και τον Νίκο Νικολιουδάκη για την καλή τους διάθεση να βοηθήσουν όποτε υπήρχε ανάγκη.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τη φίλη και συνοδοιπόρο μου στο μεταπτυχιακό κύκλο σπουδών, Τερέζα Μανουσάκη, καθώς και την παλιά μου φίλη, Άννα Λαγαρία για τη συντροφιά και την συμπαράστασή τους όλον αυτόν τον καιρό και όλους τους φίλους που ήταν πάντα δίπλα μου όταν τους χρειαζόμουν. Τον Γιώργο Κοντογιαννίδη που με στηρίζει και με ενθαρρύνει τα τελευταία χρόνια σε κάθε προσπάθεια μου και μοιράζεται τις αγωνίες μου και πάνω απ' όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για όλα όσα μου έχει προσφέρει μέχρι σήμερα και συνεχίζει απλόχερα να μου προσφέρει.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή…….……..1

1.1 ΓΕΝΙΚΑ…….……1

1.2 ΗΧΟΒΟΛΙΣΜΟΣ……..3

1.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ…….…….7

1.4 ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΑ ΕΙΔΗ……9

1.4.1 Ο Ευρωπαϊκός γαύρος……9

1.4.2 Η Ευρωπαϊκή σαρδέλα……11

1.5 ΣΚΟΠΟΣ……13

2. Υλικά και μέθοδοι ……..…..14

2.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΝΕΑΡΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΤΟΥ ΓΑΥΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ…….……..14

2.1.1 Ακουστική δειγματοληψία……...….14

2.1.2 Βιολογική δειγματοληψία με πελαγική τράτα……...…..16

2.1.3 Διάκριση σχολείων……...……..17

2.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ…….……19

2.2.1 In situ περιβαλλοντικά δεδομένα και βιολογικά χαρακτηριστικά……...19

2.2.2 Δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα……20

2.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ…….……..22

2.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ…….……29

3. Αποτελέσματα…….……31

3.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΝΕΑΡΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΤΟΥ ΓΑΥΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ…….……31

3.1.1 Βιολογικά δεδομένα……...31

3.1.2 Διάκριση σχολείων……34

3.1.3 Χάρτες κατανομής……38

3.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ……40

3.2.1 In situ περιβαλλοντικά δεδομένα……...……...40

3.2.1.1 Θερινές δειγματοληψίες…….……40

3.2.1.2 Χειμερινή δειγματοληψία…….……..44

3.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ…….……46

3.3.1 Επεξηγηματικά μοντέλα με βάση in situ περιβαλλοντικές παραμέτρους……..46

3.3.1.1 Επίδραση των in situ περιβαλλοντικών παραμέτρων στα νεαρά άτομα της σαρδέλας…….46

3.3.1.2 Επίδραση των in situ περιβαλλοντικών παραμέτρων στα νεαρά άτομα του γαύρου…….50

3.3.2 Μοντέλα πρόβλεψης με βάση δορυφορικές περιβαλλοντικές παραμέτρους….……..55

3.3.2.1 Προβλεπόμενη κατανομή των νεαρών ατόμων της σαρδέλας……..55

3.3.2.2 Προβλεπόμενη κατανομή των νεαρών ατόμων του γαύρου……60

3.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ……63

3.4.1 Αξιολόγηση των επεξηγηματικών μοντέλων …….……..63

3.4.1.1 Αξιολόγηση μοντέλων αφθονίας ήχου…….63

3.4.1.2 Αξιολόγηση μοντέλων παρουσίας/απουσίας…….65

3.4.2 Αξιολόγηση των μοντέλων πρόβλεψης……68

3.4.2.1 Αξιολόγηση μοντέλων αφθονίας ήχου……69

3.4.2.2 Αξιολόγηση μοντέλων παρουσίας/απουσίας……70

4. Συζήτηση…….....…74

5. Συμπεράσματα……..….81

6. Περίληψη……84

7. Summary…….…...85

8. Βιβλιογραφία…….…86

1. Εισαγωγή

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκαν τα είδη *Engraulis encrasicolus* L. (Ευρωπαϊκός γαύρος) και *Sardina pilchardus* W. (Ευρωπαϊκή σαρδέλα). Ο γαύρος και η σαρδέλα αποτελούν τα δύο πιο σημαντικά μικρά πελαγικά είδη όσον αφορά στην οικονομία της Μεσογείου (Lleonart & Maynou 2003) και αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 40% των συνολικών ετήσιων εκφορτώσεων. Στην Ελλάδα, τα είδη αυτά αποτελούν το 18% με 25% των συνολικών εκφορτώσεων και το 60% με 70% των συνολικών εκφορτώσεων από γρι-γρι (Stergiou *et al.* 1997a). Λόγω της μεγάλης οικονομικής τους αξίας, η εκτίμηση των αποθεμάτων τους και η κατανομή των ειδών είναι ιδιαίτερης σημασίας.

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στην αλιευτική διαχείριση είναι η αξιολόγηση της κατάστασης των ηλικιακών κλάσεων που δεν αλιεύονται. Το δυναμικό της στρατολόγησης[1] πολλών ειδών καθορίζεται όταν τα άτομα έχουν ήδη περάσει στο στάδιο των νεαρών ατόμων. Αυτό έχει αποδειχθεί για διάφορα πελαγικά ψάρια, όπως είναι η ρέγγα (*Clupea harengus*; Leblanc *et al*., 1998) και ο γαύρος (*Engraulis mordax*; Smith, 1985). Επομένως, όπου μπορούν να εκτιμηθούν τα νεαρά άτομα, οι εκτιμήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη του δυναμικού της μελλοντικής «στρατολόγησης» στην αλιεία (Carrera *et al.* 2006). Επίσης, η γνώση μας όσον αφορά στην κατανομή διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης των ειδών είναι θεμελιώδης στην οικολογία και στη διατήρηση των αποθεμάτων τους (Freon & Misund 1999, Reynolds *et al.* 2001) και ειδικά, στην περίπτωση της αλιευτικής διαχείρισης απαιτείται (Tsagarakis *et al.* 2008). Την κατανομή των νεαρών ατόμων του γαύρου (*Engraulis encrasicolus*) και της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) στην περιοχή του Β. Αιγαίου έρχεται να μελετήσει η παρούσα εργασία.

Ο γαύρος και η σαρδέλα σχηματίζουν σχολεία[2], τα οποία πολλές φορές οργανώνονται περαιτέρω σε συμπλέγματα σχολείων (Freon & Misund 1999, Petitgas

---

[1] Με τον όρο στρατολόγηση περιγράφεται η φυσική διαδικασία ανανέωσης των ιχθυοαποθεμάτων με την ετήσια ενσωμάτωση νέων ατόμων στον ενήλικο πληθυσμό (Blaxter & Hunter 1982).

[2] Τα σχολεία αποτελούν ομάδες ψαριών που παρουσιάζουν συγχρονισμένη και πολωμένη κολύμβηση (Pitcher 1986). Οι αποστάσεις μεταξύ των ατόμων ενός σχολείου είναι ίσες και συνήθως είναι μικρότερες από το μήκος του σώματος τους (Pitcher and Partridge 1979).

et al. 2001). Ο γαύρος και η σαρδέλας, και γενικά τα Clupeidae παρουσιάζουν εκτεταμένες κάθετες μεταναστεύσεις (Woodhead 1966, Blaxter & Hunter 1982, Giannoulaki *et al.* 1999), καθώς και οριζόντιες μετακινήσεις (Papaconstantinou *et al.* 2007), γι' αυτό και η μελέτη τους μόνο με αλιευτικές μεθόδους παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία. Στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα στον τομέα της αλιευτικής βιολογίας άρχισαν να μελετώνται οι κάθετες και οριζόντιες μεταναστεύσεις των πελαγικών ψαριών με τη χρήση υδροακουστικών. Επιπλέον, στις μέρες μας τα υδροακουστικά χρησιμοποιούνται εκτεταμένα για την εκτίμηση της αφθονίας ειδών ψαριών (Freon & Misund 1999).

Ο γαύρος και η σαρδέλα ανήκουν στα μικρά πελαγικά είδη, τα οποία παρουσιάζουν μικρή διάρκεια ζωής. Η μικρή διάρκεια ζωής έχει ως αποτέλεσμα τις μεγάλες διακυμάνσεις στην αφθονία τους και στην κατανομή τους εξαρτώμενα σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Papaconstantinou *et al.* 2007). Επίσης, λόγω της μικρής διάρκειας ζωής τους η απόκριση της ομάδας αυτής σε τυχόν επιρροές από το περιβάλλον είναι άμεσα παρατηρήσιμη.

Η τυποποίηση των ενδιαιτημάτων ενός είδους σε σχέση με περιβαλλοντικές παραμέτρους έχει επεκταθεί σημαντικά την τελευταία δεκαετία (Guisan & Zimmermann 2000, Riou *et al.* 2001, Planque *et al.* 2007). Το εργαλείο αυτό γίνεται όλο και πιο αποτελεσματικό στην κατανόηση των διαδικασιών που επηρεάζουν τις ετήσιες διακυμάνσεις της κατανομής ενός είδους, και παρέχουν ουσιαστικές πληροφορίες για οικολογικές μελέτες και διαχειριστικούς σκοπούς. Πρακτικά, τα εν δυνάμει ενδιαίτημα ενός είδους, προσδιορίζονται από τον συνδυασμό των περιβαλλοντικών παραγόντων που σχηματίζουν συνθήκες κατάλληλες για την επιβίωση του (Guisan & Zimmermann 2000, Planque *et al.* 2007). Είναι σημαντικό να προσδιορίσουμε τις περιβαλλοντικές συνθήκες που ευνοούν την παρουσία ειδών αυξημένου εμπορικού ενδιαφέροντος, όπως είναι ο γαύρος και η σαρδέλας, καθώς και η παρακολούθηση των κλιματικών αλλαγών από χρονιά σε χρονιά, έτσι ώστε να μπορούμε να εντοπίσουμε τη μεταβολή στο ενδιαίτημα των νεαρών ατόμων των ειδών αυτών.

Αρκετές μελέτες στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου αναφέρονται στην κατανομή του Ευρωπαϊκού γαύρου ή/και της Ευρωπαϊκής σαρδέλας (Bellido *et al.* 2008, Brown *et al.* 2006, Falco *et al.* 2007, Giannoulaki *et al.* 2008, Patti *et al.* 2004), των περιοχών που ωοαποθέτουν (Schismenou *et al.* 2008, Roy *et al.* 2007), καθώς και στην κατανομή των ιχθυονυμφών τους (Azeiteiro *et al.* 2006; Cuttitta *et al.* 2003;

Kideys *et al.* 1999; Lopez-Jamar *et al.* 1995; Olivar *et al.* 2003; Olivera & Stratoudakis 2008; Rodriguez 2008; Zarrad *et al.* 2006, 2008) σε σχέση με περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ωστόσο, οι πληροφορίες όσον αφορά στο συσχετισμό των περιβαλλοντικών συνθηκών με την κατανομή των νεαρών ατόμων γαύρου και σαρδέλας είναι περιορισμένες, πέραν της πρόσφατης αναφοράς των Tsagarakis *et al.* (2008) για τα νεαρά άτομα σαρδέλας.

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε ένα τμήμα του Βορείου Αιγαίο, το Θρακικό πέλαγος και ο Στρυμονικός κόλπος. Το Βόρειο Αιγαίο αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά πεδία αλιείας στην ανατολική Μεσόγειο, ειδικά όσον αφορά στην αλιεία που στοχεύει σε μικρά πελαγικά ψάρια (Stergiou *et al.* 1997a, Somarakis *et al.* 2006). Η αυξημένη αφθονία των μικρών πελαγικών οφείλεται στην αυξημένη παραγωγικότητα και την εκτεταμένη υφαλοκρηπίδα στην περιοχή αυτή (Stergiou *et al.* 1997a, Somarakis *et al.* 2006). Το Βόρειο Αιγαίο παρουσιάζει αυξημένη παραγωγικότητα συγκριτικά με το υπόλοιπο Αιγαίο και την ανατολική Μεσόγειο, γεγονός που οφείλεται στην επιρροή των νερών της Μαύρης Θάλασσας (ΝΜΘ) και στην παρουσία μιας σειράς μεγάλων ποταμών (π.χ. Στρυμονικός, Νέστος, Έβρος) στην περιοχή αυτή (Stergiou *et al.* 1997a).

1.2 ΗΧΟΒΟΛΙΣΜΟΣ

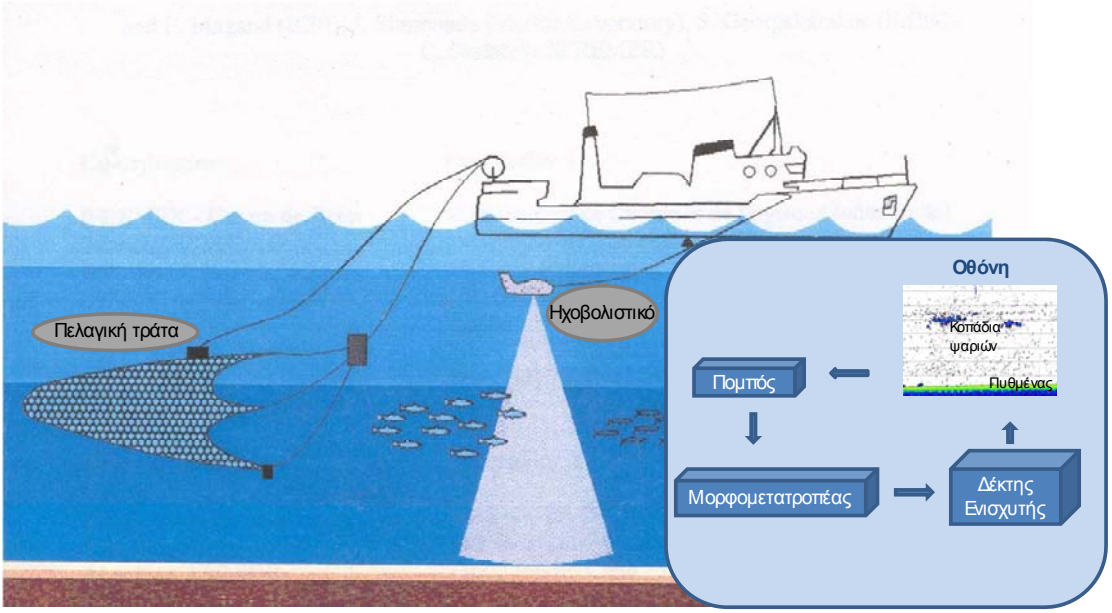
Ο ηχοβολισμός αποτελεί μια μέθοδο συλλογής δεδομένων που καθιστά δυνατή την έρευνα ενός μεγάλου όγκου νερού σε μικρό χρονικό διάστημα, ενώ οι επιστημονικές εφαρμογές των ηχοβολιστικών οργάνων επιτρέπουν την ακριβή χαρτογράφηση της κατανομής και της αφθονίας των ιχθυαποθεμάτων, με μέθοδο ανεξάρτητη της εμπορικής αλιείας. Ο ηχοβολισμός είναι ένας γενικός όρος, ο οποίος συνήθως αναφέρεται στη χρήση ήχων για την ανίχνευση στόχων, αξιοποιώντας την κυματική ιδιότητα του ήχου να σκεδάζεται όταν συναντά σώματα διαφορετικής πυκνότητας από το μέσο στο οποίο διαδίδεται (McLennan & Simmonds 1992).

Τα ηχοβολιστικά είναι όργανα τα οποία εκπέμπουν ηχητικούς παλμούς μέσω ενός μορφομετατροπέα (transducer), οι οποίοι διαδίδονται μέσα στο νερό (Εικ. 1.1). Οι μορφομετατροπείς έχουν διττή λειτουργία (MacLennan & Simmonds 1992):

- Μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε ηχητικό παλμό (ping).

° Μετατρέπουν τους ως προς αυτούς διαδιδόμενους μέσα στο νερό ήχους σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο ενισχύεται στη συνέχεια με ένα ενισχυτή (Εικ. 1.1).

Γενικά ένα ηχητικό κύμα διαδίδεται σφαιρικά (προς όλες τις κατευθύνσεις). Όμως ένα ηχοβολιστικό, ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κατασκευή του, μπορεί να εστιάζει την διάδοση της ηχητικής ενέργειας προς μια κατεύθυνση και συγκεκριμένα κάθετα ως προς το βυθό. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός ενός ηχητικού κώνου (ή δέσμης) διάδοσης των κυμάτων. Όταν ο ηχητικός παλμός συναντήσει κάποιον στόχο σκεδάζεται. Τα σκεδαζόμενα κύματα διαδίδονται εκ νέου από το αντικείμενο (τα ψάρια στην συγκεκριμένη περίπτωση), προς όλες τις κατευθύνσεις (Εικ. 1.1). και ένα τμήμα της σκεδαζόμενης ενέργειας (η οπισθοανακλώσα ενέργεια) επιστρέφει στο μορφομετατροπέα, όπου μετατρέπεται σε ηχητική ενέργεια. Η απόσταση του στόχου υπολογίζεται από το χρόνο που απαιτείται για να επιστρέψει το εκπεμπόμενο σήμα. Οι απαιτούμενες διορθώσεις γίνονται αυτόματα και το λαμβανόμενο σήμα ενισχυμένο από τα ηλεκτρικά κυκλώματα στον δέκτη του μορφομετατροπέα απεικονίζεται στην οθόνη του ηχοβολιστικού (MacLennan & Simmonds 1992).



Εικ. 1.1. Σχηματική παρουσίαση των βασικών αρχών του ηχοβολισμού. Ο ήχος από τον πυθμένα και τα σχολεία των ψαριών παρουσιάζονται στο ηχόγραμμα[3] που λαμβάνεται στην οθόνη (κατά MacLennan & Simmonds 1992)

Η ένταση του ήχου που προέρχεται από ένα στόχο, π.χ. ένα κοπάδι ψαριών, εξαρτάται από το **ηχοανακλαστικό δυναμικό (Η.Δ.)** του στόχου. Το Η.Δ. του στόχου

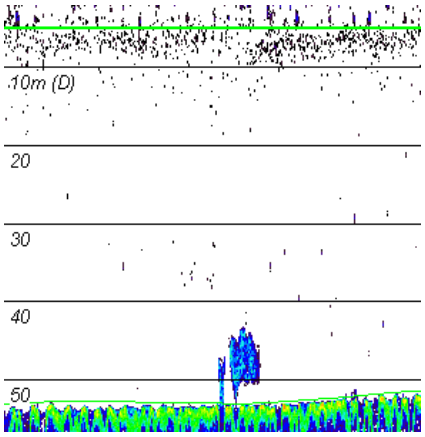
[3] Η ψηφιακή απεικόνιση των ανακλώμενων σημάτων

είναι ο αριθμός που μας δείχνει την ένταση του επιστρέφοντος ήχου που συλλαμβάνει το ηχοβολιστικό. Όσο μεγαλύτερο είναι το Η.Δ. τόσο ισχυρότερος είναι ο ήχος που επιστρέφει σε σχέση με τον αρχικά εκπεμπόμενο (McLennan & Simmonds 1992). Το Η.Δ. των ψαριών εξαρτάται από το είδος του ψαριού, το μέγεθος του και τον προσανατολισμό του σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας. Η νηκτική κύστη είναι το μέρος του σώματος του ψαριού (στα είδη που έχουν νηκτική κύστη) που συμβάλλει κατά 90%-95%, στην οπισθοανακλώμενη ενέργεια και επομένως καθορίζει κατά κύριο λόγο την τιμή του Η.Δ. του ψαριού (Foote 1980). Η νηκτική κύστη μπορεί να είναι ανοιχτή (φυσόστομοι) ή κλειστή (φυσόκλειστοι). Οι φυσόκλειστοι, όπως είναι τα είδη της οικογένειας Gadidae, διαθέτουν ένα όργανο στην κλειστή νηκτική τους κύστη που εκκρίνει/απορροφά τα αέρια του αίματος. Στα είδη της οικογένειας αυτής η νηκτική κύστη λειτουργεί ως ρυθμιστής της πλευστότητας, διατηρώντας σταθερό των όγκο της νηκτικής κύστης, παράλληλα όμως εξυπηρετεί την βελτίωση της ακοής. Η ρύθμιση της πλευστότητας στους φυσόκλειστους είναι μια αργή διαδικασία. Οι φυσόστομοι, (όπως είναι ο γάυρος και η σαρδέλα και γενικά τα είδη της οικογένειας Clupeidae) πιστεύεται ότι γεμίζουν την νηκτική τους κύστη καταπίνοντας αέρα από το άμεσο περιβάλλον και το αποβάλλουν από την έδρα. Με το μηχανισμό αυτό μπορούν να πετύχουν συχνές εικοσιτετράωρες κάθετες μεταναστεύσεις. Όσον αφορά στο Η.Δ. των δύο ομάδων ψαριών, οι φυσόκλειστοι δεν παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις, πιθανώς λόγω της περιορισμένης λειτουργίας της νηκτικής τους κύστης στην εξασφάλιση ουδέτερης πλευστότητας, ενώ οι φυσόστομοι εμφανίζουν μείωση του ηχοανακλαστικού τους δυναμικού καθώς μεταβαίνουν σε μεγαλύτερα βάθη (Misund 1997).

Το ηχόγραμμα που προέρχεται από τη σάρωση κατακόρυφου ηχοβολιστικού (echosounders) παρουσιάζει την δυσδιάστατη (2-D) όψη ενός σχολείου-στόχου, το οποίο στην πραγματικότητα καταλαμβάνει τρεις διαστάσεις (3-D) στο χώρο και αλλάζει συναρτήσει του χρόνου. Στην πραγματικότητα, το ηχοβολιστικό σαρώνει μια λεπτή φέτα, σε ένα άγνωστο σημείο, εγκάρσια του σχολείου και προσεγγίζει την πραγματικότητα με γενικεύσεις (π.χ. μέσες τιμές). Η ταξινόμηση των στόχων (echo traces) που εμφανίζονται στο ηχόγραμμα βασίζεται στην περιγραφή τους μέσω μιας ομάδας χαρακτηριστικών που χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες:

- **Καθορισμού θέσης** – Η θέση του στόχου στο χώρο και στο χρόνο π.χ. γεωγραφικό μήκος και πλάτος, βάθος, ώρα της ημέρας και εποχή κλπ

- **Μορφομετρική** – Το σχήμα του στόχου, όπως αυτό φαίνεται στο ηχόγραμμα π.χ. ύψος, εμβαδόν, περίμετρος, μήκος κλπ
- **Ενεργειακή** – Η ακουστική ενέργεια που οπισθοανακλάται από το στόχο π.χ. ολική, μέση ή μέγιστη ενέργεια, χωρική μεταβλητότητα της ενέργειας κλπ
- **Περιβαλλοντική** – Παράμετροι που περιγράφουν το άμεσο περιβάλλον του σχολείου π.χ. θερμοκρασία, αλατότητα, υπόστρωμα βυθού, τοπογραφία κλπ
- **Βιολογική** – Η ταξινόμηση των στόχων και των συναφών μεταβλητών π.χ. μήκος, βάρος, ηλικία κλπ (Reid 2000).



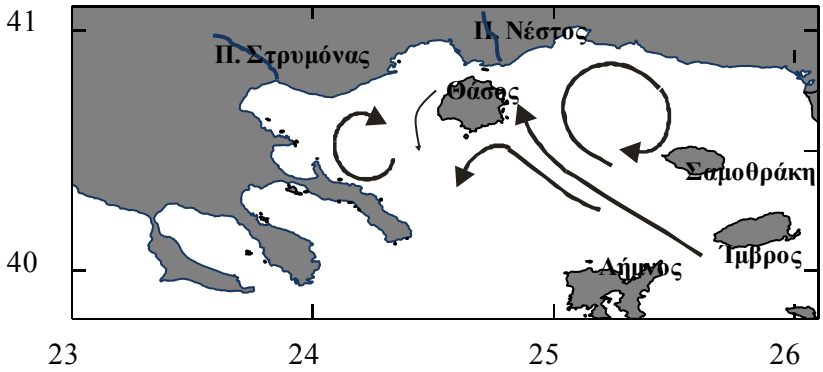
Εικ. 1.2. Τυπικό κοπάδι μικρών πελαγικών, όπως φαίνεται στο ηχόγραμμα (anonymous 2006).

Βασικό τμήμα της μεθοδολογίας της ταξινόμησης των σχολείων-στόχων αποτελεί η μορφομετρία τους, όπως αυτή παρουσιάζεται στο ηχόγραμμα (Εικ. 1.2). Για την ταυτοποίηση των σχολείων-στόχων είναι απαραίτητη η σύρση με πελαγική τράτα σε συνδυασμό με ταυτόχρονο ηχοβολισμό. Η σύνθεση του αλιεύματος συμβάλει στη συσχέτιση σχολείων με συγκεκριμένα μορφολογικά χαρακτηριστικά με συγκεκριμένα είδη μικρών πελαγικών (Reid 2000). Οι γνώσεις μας στο πεδίο αυτό είναι ελλιπείς όσον αφορά στα χαρακτηριστικά των σχολείων των νεαρών ατόμων. Σε μια προσπάθεια να καλυφθεί αυτή η έλλειψη πληροφοριών μελετήθηκαν ακουστικά δεδομένα από τα νεαρά άτομα του γαύρου (*Engraulis encrasicolus*) και της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*).

1.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

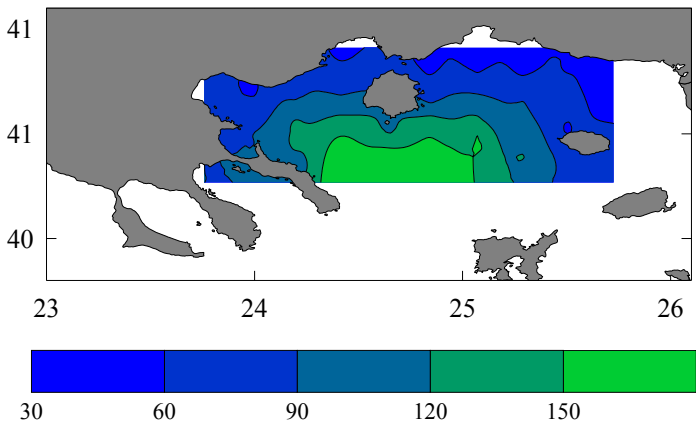
Στην παρούσα εργασία ως περιοχή μελέτης ορίστηκε το Θρακικό πέλαγος και ο Στρυμονικός κόλπος. Το Θρακικό πέλαγος εντοπίζεται βορειοανατολικά του Αιγαίου πελάγους και αποτελεί μια περιοχή που χαρακτηρίζεται από τις απορροές δύο μεγάλων ποταμών του Νέστου και του Έβρου, καθώς και από τις εισροές του νερού της Μαύρης Θάλασσας (ΜΘΝ). Το ΜΘΝ χαρακτηρίζεται από ψυχρές, χαμηλής αλατότητας υδάτινες μάζες που προέρχονται από τη Μαύρη Θάλασσα και εισέρχονται στο Αιγαίο μέσω των στενών των Δαρδανελίων ως επιφανειακό ρεύμα

νερού (Stergiou *et al.* 1997a, Isari *et al.* 2006; Somarakis & Nikolioudakis 2007). Το καλοκαίρι κάτω από την επίδραση των Ετήσιων ανέμων (ισχυροί βορειοανατολικοί άνεμοι) το ρεύμα κινείται νοτιοδυτικά, ενώ το φθινόπωρο, το χειμώνα και την άνοιξη το νερό της Μαύρης Θάλασσας (ΜΘΝ) κινείται βορειοδυτικά και εισέρχεται στο Θρακικό διαμέσου του στενού μεταξύ Λήμνου και Ίμβρου (Εικ. 1.3). Το ΜΘΝ τροφοδοτεί τους αντικυκλώνες στο πλατό της Σαμοθράκης, ένα σχεδόν μόνιμο χαρακτηριστικό που παρατηρείται καθόλη τη διάρκεια του έτους (Poulos *et al.* 1997, Stergiou *et al.*1997a), καθώς επίσης το αντικυκλωνικό σύστημα στον Στρυμονικό κόλπο και το κυκλωνικό σύστημα νότια της Θάσου που παρατηρούνται στις αρχές του καλοκαιριού (Somarakis *et al.* 2002).



Εικ. 1.3. Η κυκλοφορία του νερού στο Θρακικό πέλαγο και τον Στρυμονικό κόλπο. Τα βέλη δείχνουν την παρουσία των ρευμάτων, των κυκλώνων και των αντικυκλώνων (ανασχεδιασμένο από τους Somarakis *et al.* 2002).

Ο Στρυμονικός κόλπος, αποτελεί ένα ημίκλειστο κόλπο στο βορειοδυτικό άκρο του Θρακικού πελάγους και δέχεται τις απορροές του ποταμού Στρυμόνα. Η εκτεταμένη υφαλοκρηπίδα (Εικ. 1.4., κυριαρχούν βάθη <150 m) της περιοχής Θρακικού-Στρυμονικού κόλπου σε συνδυασμό με τις απορροές των ποταμών και τις υδάτινες μάζες που προέρχονται από τη Μαύρη Θάλασσα δημιουργούν στο Β. Αιγαίο ένα πολύπλοκο σύστημα όσον αφορά στην υδρολογία, την βιολογία, τη χημεία και την ιζηματολογία (Zervakis *et al.* 2000, Lykousis *et al.* 2002, Polymenakou *et al.* 2007).



Εικ. 1.4. Βαθυμετρία (σε m) της περιοχής μελέτης από ακουστικά δεδομένα της παρούσας μελέτης.

Σε σχέση με τον ολιγοτροφικό χαρακτήρα των Ελληνικών Θαλασσών, η περιοχή του Θρακικού-κόλπου Καβάλας, χαρακτηρίζεται από πολύ μεγαλύτερη αφθονία χλωροφύλλης-α και ζωοπλαγκτού (Stergiou & Georgopoulos 1993, Stergiou *et al.* 1997a). Το καλοκαίρι η σχετική χλωροφύλλη-α παρουσιάζει μέση τιμή 0,038±0,053 μg/l και η βιομάζα ζωοπλαγκτού 635,3±151,9 mg/m^2. Αντίστοιχα, το χειμώνα η σχετική χλωροφύλλη-α ανέρχεται στα 0,158±0,129 μg/l (Anonymous 2006), ενώ υπάρχει έλλειψη δεδομένων όσον αφορά στο ζωοπλαγκτόν. Η αυξημένη τοπική παραγωγικότητα σχετίζεται με την επίδραση των νερών της Μαύρης Θάλασσας και των απορροών των μεγάλων ποταμών της περιοχής. Η μέση τιμή αλατότητας είναι 38,1±1,37 psu και η μέση τιμή θερμοκρασίας 15,5±2,7 ^{o}C την καλοκαιρινή περίοδο. Αντίστοιχα, την χειμερινή περίοδο η μέση τιμή αλατότητας είναι 37,85±0,83 psu και η μέση τιμή θερμοκρασίας 15,9±1 ^{o}C (Anonymous 2006). Οι τιμές αυτές δεν μπορούν να συγκριθούν εφόσον αναφερόμαστε σε διαφορετικές περιοχές. Η περιοχή δειγματοληψίας το καλοκαίρι βρίσκεται στο Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο, ενώ το χειμώνα περιορίζεται στο Θρακικό πέλαγος.

1.4 ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΑ ΕΙΔΗ

1.4.1 Ο Ευρωπαϊκός γαύρος

Ο Ευρωπαϊκός γαύρος (*Engraulis encrasicolus*, Linnaeus 1758) είναι ο μόνος αντιπρόσωπος της οικογένειας Engraulidae στην Μεσόγειο (Εικ. 1.2) (Whitehead 1985). Η κατανομή του περιλαμβάνει τις ανατολικές ακτές του Ατλαντικού (Βόρεια θάλασσα-Νότια Αφρική), όλη τη Μεσόγειο, τη Μαύρη Θάλασσα και την Αζοφική Θάλασσα. Αναφορές έχουν γίνει στην Εσθονία και τον Δυτικό Ινδικό Ωκεανό (Palomera 1992, Froese & Pauly 2008). Στις Ελληνικές θάλασσες ο γαύρος αφθονεί στο Βόρειο Αιγαίο (Machias *et al.* 1997, Giannoulaki *et al.* 2005, Giannoulaki *et al.* 2008), το Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο (Machias *et al.* 2000a, Machias *et al.* 2001a).

Εικ. 1.2. Ενήλικο άτομο γαύρου (*Engraulis encrasicolus*) (Froese & Pauly 2008).

Ο γαύρος καταλαμβάνει περιοχές με πολύ διαφορετικά περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, π.χ. περιοχές με υψηλή παραγωγικότητα, περιοχές με θερμά νερά και μετρίως υψηλή παραγωγικότητα και περιοχές με χαμηλή παραγωγικότητα και ακραίες συνθήκες (π.χ. Μαύρη Θάλασσα). Το εύρος της κατανομής του περιλαμβάνει κόλπους, λιμνοθάλασσες και εκβολές ποταμών (Palomera 1992). Στη Μεσόγειο, τρία μείζονος σημασίας αποθέματα, με μειωμένες γενετικές ανταλλαγές στηρίζουν την αλιεία (Magoulas *et al.* 1996). Αυτά εντοπίζονται στην Βορειοδυτική Μεσόγειο (Θάλασσα Καταλονίας, κόλπος των Λεόντων), την Αδριατική και το Βόρειο Αιγαίο. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλή παραγωγικότητα, σε σχέση με τον ολιγοτροφικό χαρακτήρα της υπόλοιπης Μεσογειακής λεκάνης και παρουσιάζουν συνθήκες ενδεχομένως επιθυμητές για την επιβίωση των ιχθυονυμφών του είδους (Somarakis & Nikolioudakis 2007).

Ο γαύρος είναι κατ' εξοχήν ζωοπλαγκτονοφάγος οργανισμός. Τρέφεται κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας, συνήθως με μικρού μεγέθους (<2 mm) κωπήποδα και κατά δεύτερο λόγο με κλαδοκεραιωτά, νύμφες μαλακίων και οστρακοειδών, καθώς και μεγαλύτερα άτομα, όπως νύμφες δεκαπόδων και ψαριών, αμφίποδα, κωπηλάτες κ.α. (Tudela & Palomera 1997). Στη Δυτική Μεσόγειο η

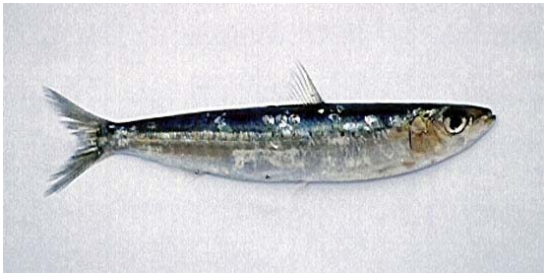
ένταση τις διατροφής κορυφώνεται κατά τις απογευματινές ώρες και φαίνεται να εξαρτάται από το βάθος όπου παρατηρείται το μέγιστο της χλωροφύλλης (deep chlorophyll maximum – Tudela & Palomera 1997)

Μελέτες της μακροδομής των ωτολίθων από το σύνολο της περιοχής εξάπλωσης του είδους έχουν δείξει ότι ο γαύρος δεν ξεπερνά τα 3-4 έτη ζωής (Matzouni *et al.* 2007, Karacam & Duzgunes 1990). Στις Ελληνικές θάλασσες ωριμάζει αναπαραγωγικά πρώτη φορά με τη συμπλήρωση του πρώτου έτους ζωής και σε μήκος 100-110 mm (Matzouni *et al.* 2007) και είναι πολλαπλός γεννήτορας (Palomera 1992). Η αναπαραγωγική περίοδος του γαύρου στις Ελληνικές θάλασσες διαρκεί από τον Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο. Ωστόσο, το μέγιστο της αναπαραγωγής του παρατηρείται τον Ιούνιο σε όλες τις περιοχές που έχουν μελετηθεί μέχρι στιγμής στα όρια των Ελληνικών θαλασσών (Σωμαράκης 1993, Machias *et al.* 2000b). Στην Αδριατική έχει παρατηρηθεί ότι τα νεαρά άτομα του γαύρου περνάνε στο στάδιο των ενηλίκων τον μήνα Ιούνιο, ταυτόχρονα με την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας τον μήνα αυτό (Sinovčić 1998, 2004).

Η ένταση και τα πεδία αναπαραγωγής σχετίζονται με τις εποχές/ περιοχές υψηλής παραγωγικότητας και συγκεκριμένα με συνθήκες ευνοϊκές για τη διατροφή των ενηλίκων (π.χ. χερσαίες εκροές, ανοδικά ρεύματα (upwellings), και μετωπικά συστήματα (fronts) (Palomera 1992, Garcia & Palomera 1996, Motos *et al.* 1996).

1.4.2 Η Ευρωπαϊκή σαρδέλα

Η Ευρωπαϊκή σαρδέλα (*Sardina pilchardus*, Walbaum 1792) της οικογένειας Clupeidae (Εικ. 1.3), εκτείνεται από τον Βορειοανατολικό Ατλαντικό και τη Βόρεια Θάλασσα ως τη Σενεγάλη, στη Μεσόγειο (κοινό είδος στη δυτική Μεσόγειο και την Αδριατική και σπάνιο στην Ανατολική Μεσόγειο), στη Θάλασσα του Μαρμαρά και στη Μαύρη Θάλασσα (Froese & Pauly 2008). Στις Ελληνικές θάλασσες παρατηρείται κυρίως, όπως και ο γαύρος, στο Βόρειο Αιγαίο



Εικ. 1.3. Ενήλικο άτομο σαρδέλας (*Sardina pilchardus*) (Froese & Pauly 2008).

(Giannoulaki *et al.* 2002, Giannoulaki *et al.* 2003, Giannoulaki *et al.* 2005), το Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο (Giannoulaki *et al.* 2001, Giannoulaki *et al.* 2003).

Για λόγους αποτίμησης και διαχείρισης των πληθυσμών της, έχουν θεωρηθεί οχτώ αποθέματα σαρδέλας στη Μεσόγειο, με τα πιο άφθονα και παραγωγικά να εντοπίζονται βόρεια της Ισπανίας και στον κόλπο των Λεόντων (GFCM 2006). Τα αποθέματα σαρδέλας της Μεσογείου αναπαράγονται σε πολύ ολιγοτροφικά νερά. Η Ανατολική Λεκάνη της Μεσογείου, με εξαίρεση το Βόρειο Αιγαίο, θεωρείται μια από τις πιο ολιγοτροφικές περιοχές του πλανήτη (Stergiou *et al.* 1997b).

Το είδος *Sardina pilchardus* τροφοληπτικά χαρακτηρίζεται ως επιλεκτικό πλαγκτόνοφάγο (Whitehead 1985, Γιαννουλάκη 2003). Στη δίαιτα των ενηλίκων κυριαρχεί το ζωοπλαγκτόν, αλλά και το φυτοπλαγκτόν υπάρχει σε μεγάλα ποσοστά (Culley 1970, Γιαννουλάκη 2003). Τα μέγιστα της διατροφής του έχουν παρατηρηθεί στο λυκόφως μετά τη δύση του ήλου (Vucetic 1961, Γιαννουλάκη 2003). Μελέτες αναφέρουν την συσχέτιση της κατανομής και των μετακινήσεων της σαρδέλας με την κατανομή των ζωοπλαγκτονικών ειδών (Culley 1970; Skrivanic & Zavodnik 1973; Τσιμενίδης και συνεργάτες 1996, Γιαννουλάκη 2003). Στην Ελλάδα, αναφέρονται μετακινήσεις της σαρδέλας προς τις ακτές κατά τους καλοκαιρινούς μήνες όταν βρίσκεται εκτός αναπαραγωγικής περιόδου (Τσιμενίδης και συνεργάτες 1996, Γιαννουλάκη 2003). Οι κάθετες ημερονύχτιες μετακινήσεις είναι γνωστό ότι σχετίζονται με τη φωτεινή ακτινοβολία όταν δεν εμποδίζονται από το βάθος του βυθού (Giannoulaki *et al.* 1999).

Μελέτες της μακροδομής των ωτολίθων από το σύνολο της περιοχής εξάπλωσης του είδους έχουν δείξει ότι η σαρδέλα σπανίως φτάνει τα 5-6 έτη ζωής (Τσιμενίδης & Καρακίτσου 1984; Whitehead 1985, Γιαννουλάκη 2003), αλλά το μεγαλύτερο μέρος των ατόμων που βρέθηκαν στη θάλασσα δεν ξεπερνάει τα 3 έτη ζωής (van der Lingen & Castro 2004). Στις Ελληνικές θάλασσες η σαρδέλα ωριμάζει αναπαραγωγικά για πρώτη φορά με τη συμπλήρωση του πρώτου χρόνου και σε μήκος περίπου 120 mm (Γκάνιας και συνεργάτες 2000, Γιαννουλάκη 2003). Το μήκος της πρώτης ωρίμανσης ποικίλει από έτος σε έτος, διότι οι οικολογικές συνθήκες και πιο συγκεκριμένα η τροφή και η θερμοκρασία, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την σεξουαλική ωριμότητα των ψαριών (Sinovsic *et al.* 2008). Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι τα άτομα της σαρδέλας περνάνε από το στάδιο της ιχθυονύμφης, στο στάδιο των

νεαρών ατόμων με πιο γρήγορο ρυθμό συγκριτικά με τα άτομα του γαύρου (Alvarez & Marales-Nin 1992).

Το είδος *Sardina pilchardus* είναι πολλαπλός γεννήτορας (Ganias *et al.* 2004) με συνεχόμενη γαμετογένεση, εξωτερική γονιμοποίηση και δεν παρουσιάζει γονική φροντίδα (Sinovčić *et al.* 2008). Σύμφωνα με δεδομένα του γοναδοσωματικού δείκτη της σαρδέλας στο Βόρειο Αιγαίο, η αναπαραγωγική περίοδος της σαρδέλας λαμβάνει μέρος από τον Οκτώβριο ως τον Μάιο, και παρουσιάζει δύο μέγιστα αναπαραγωγής: ένα το Νοέμβρη-Δεκέμβρη και ένα δεύτερο το Μάρτιο (Σωμαράκης 1993, Voulgaridou & Stergiou 2003). Στις Ελληνικές θάλασσες έχει παρατηρηθεί ότι στις αρχές του καλοκαιριού οι πληθυσμοί της σαρδέλας παρουσιάζουν υψηλές αφθονίες νεαρών ατόμων (Machias *et al.* 2007).

1.5 ΣΚΟΠΟΣ

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τις περιοχές κατανομής των νεαρών ατόμων ειδών με ιδιαίτερο εμπορικό ενδιαφέρον, όπως είναι ο γαύρος και η σαρδέλα καθώς και τις περιβαλλοντικές συνθήκες που σχετίζονται με τις περιοχές αυτές. Ωστόσο, οι γνώσεις μας όσον αφορά το θέμα αυτό είναι ελλιπείς. Επίσης, η έλλειψη πληροφοριών σχετικά με τη μορφομετρία και την θέση των σχολείων των νεαρών ατόμων των υπό μελέτη ειδών στο χώρο και στο χρόνο καθιστά δύσκολη τη διάκριση τους στα ηχογράμματα που λαμβάνονται κατά τον ηχοβολισμό. Το κενό αυτό στη γνώση προσπαθήσαμε να καλύψουμε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, όπου:

- Προσδιορίστηκαν τα χαρακτηριστικά σχολεία νεαρών ατόμων γαύρου και σαρδέλας σύμφωνα με τα σχήματα που παρουσιάζουν στα ηχογράμματα, και διακρίθηκαν τα σχολεία των νεαρών και ενήλικων ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας.
- Προσδιορίστηκε η κατανομή των νεαρών ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας στο Βόρειο Αιγαίο (εντοπισμός περιοχών προτίμησης).
- Συσχετίστηκε η οριζόντια κατανομή των δύο ειδών με περιβαλλοντικές παραμέτρους, και βρέθηκαν οι παράμετροι, που επιδρούν στην αφθονία και στην κατανομή των νεαρών ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά μοντέλα που βασίστηκαν σε *in situ* περιβαλλοντικά δεδομένα.
- Εκτιμήθηκαν στατιστικά μοντέλα ως εύχρηστα εργαλεία για την πρόβλεψη περιοχών με συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες που θα μπορούσαν να αποτελέσουν δυνητικά ενδιαιτήματα για τα νεαρά άτομα του γαύρου και της σαρδέλας, καθώς και της μεταβολής των περιοχών αυτών στο χώρο και στο χρόνο, λόγω των κλιματικών αλλαγών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης που βασίστηκαν σε δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα. Η πληροφόρηση μας στο θέμα αυτό συμβάλει στην λήψη διαχειριστικών αποφάσεων.

2. Υλικά και μέθοδοι

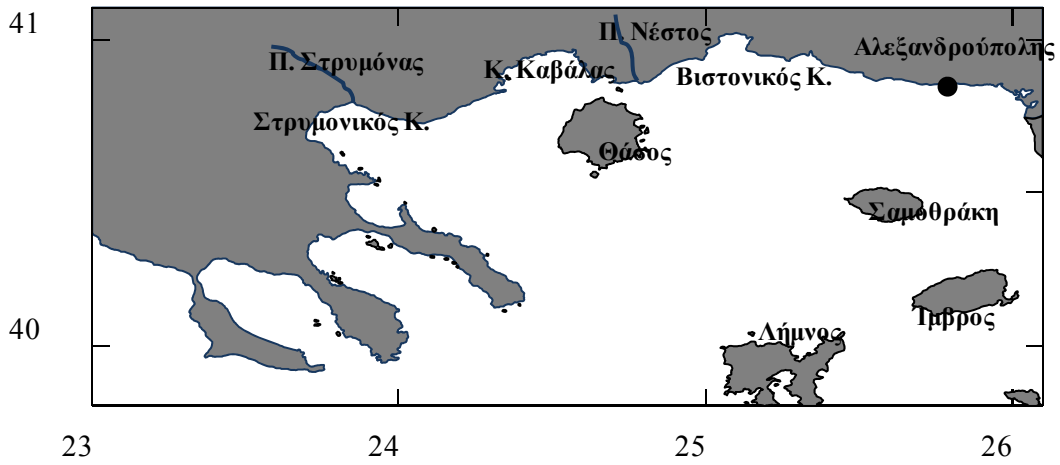
2.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΝΕΑΡΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΤΟΥ ΓΑΥΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1.1 Ακουστική δειγματοληψία

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης συλλέχθηκαν ακουστικά δεδομένα κατά την διάρκεια πέντε ερευνητικών πλόων με το Ε/Σ ΦΙΛΙΑ (μήκος σκάφους 26,10 m, μέγιστο πλάτος 7,27m, ιπποδύναμη 450 hp). Αναλυτικότερα, τα ακουστικά δεδομένα προέρχονται από:

Α) τρεις ερευνητικές αποστολές που πραγματοποιήθηκαν στον Στρυμονικό κόλπο και το Θρακικό πέλαγος τον Ιούνιο του 2004, 2005, 2006, και

Β) μια ερευνητική αποστολή που πραγματοποιήθηκε στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007.

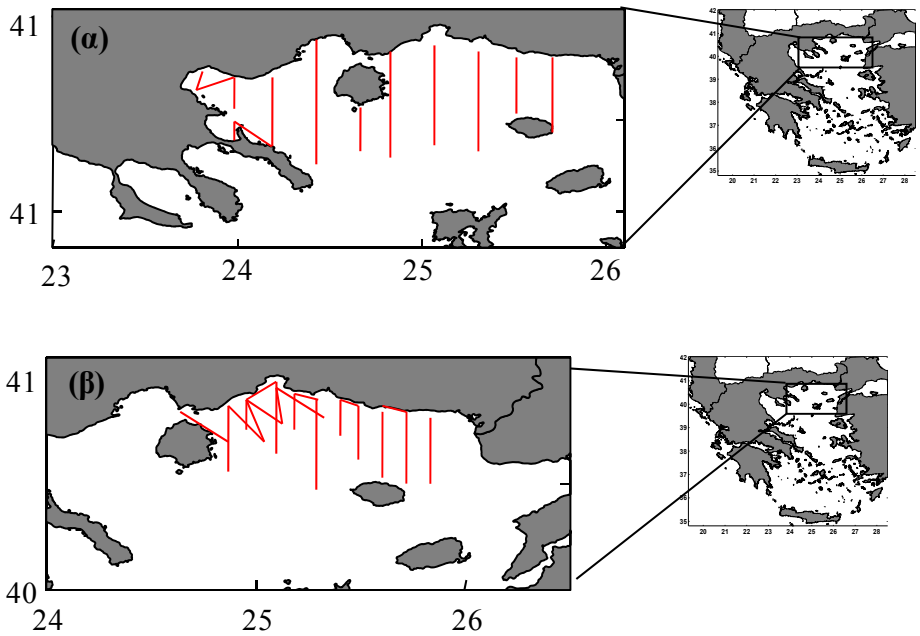


Εικ. 2.4 Τοπωνύμια της περιοχής μελέτης. Κ.: Κόλπος, Π.: Ποταμός.

Με τις παραπάνω δειγματοληψίες θεωρείται ότι εξασφαλίζεται η ολοκληρωμένη εικόνα της κατανομής των υπό μελέτη ειδών στην περιοχή δειγματοληψίας εφόσον συλλέγονται δεδομένα από διαφορετικές εποχές όπου διαφοροποιείται: α) η κατανομή των αβιοτικών παραγόντων, και β) το αναπτυξιακό στάδιο των ψαριών. Οι δειγματοληψίες του 2004-2006 πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του Εθνικού Προγράμματος Συλλογής Αλιευτικών Δεδομένων 2002-2006, και του 2007 στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος «SARDONE» (Improving

assessment and management of small pelagic species in the Mediterranean). Η δειγματοληψία του Δεκεμβρίου του 2007 αποτελεί στοχευμένη δειγματοληψία για τα νεαρά άτομα του γαύρου.

Ο ηχοβολισμός πραγματοποιήθηκε κατά μήκος 13 προκαθορισμένων διατομών τον Ιούνιο του 2004, 2005, 2006 και κατά μήκος 20 διατομών τον Δεκέμβριο του 2007 (Εικ. 2.2). Το σχέδιο της ακουστικής δειγματοληψίας ήταν σύμφωνο με το σχέδιο του Bazigos (1974). Έτσι, οι διατομές ήταν παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες ως προς την ακτογραμμή στο Θρακικό πέλαγος, ενώ στις κλειστές περιοχές όπως είναι ο Στρυμονικός κόλπος και η περιοχή μεταξύ Θάσου και Βιστονικού κόλπου σχημάτιζαν ζικ-ζακ με τριγωνικό σχέδιο (Εικ. 2.2α,β). Όσον αφορά στον Δεκέμβριο του 2007, πραγματοποιήθηκε επιπρόσθετα ακουστική δειγματοληψία παράλληλα ως προς την ακτογραμμή του Θρακικού πελάγους (Εικ. 2.2β). Οι αποστάσεις μεταξύ των παράλληλων διατομών ήταν 10 nmi (Bazigos 1974) και η ταχύτητα του σκάφους κατά τη διάρκεια του ηχοβολισμού 8 nmi/h.



Εικ. 2.5. Προκαθορισμένες διατομές όπου πραγματοποιήθηκε ο ηχοβολισμός τον Ιούνιο του 2004, 2005, 2006 (α) και το Δεκέμβριο του 2007 (β).

Ο ακουστικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από το ηχοβολιστικό κάθετης σάρωσης Biosonic σχιστής δέσμης DT-X (38 kHz), το οποίο ηχοβολεί καθόλη τη διάρκεια της πορείας του σκάφους κατά μήκος των διατομών και συλλέγει ακουστικά δεδομένα, και ένα ηχοβολιστικό Scanmar RX400 (50 kHz.). Το τελευταίο προσαρμόζεται πάνω στην πελαγική τράτα ώστε να επιτρέπεται η ρύθμιση από το σκάφος του βάθους αλιείας και να δίνονται πληροφορίες για τα σχολεία που εισέρχονται μέσα στην τράτα.

Το επιστρεφόμενο σήμα του ηχοβολιστικού κάθετης σάρωσης αντιστοιχήθηκε με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος με ακρίβεια ενός ping[4] με τη βοήθεια ενός φορητού GPS το οποίο συνδεόταν με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Στη συνέχεια, η επεξεργασία των αποτελεσμάτων του κάθε ερευνητικού ταξιδιού έγινε με το λογισμικό πρόγραμμα Sonardata Echoview v4.30 και για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε ως κατώτερο όριο οπισθοανακλώμενου ήχου τα -70 dB. Το μέγεθος της Στοιχειώδους Μονάδας Δειγματοληψίας (Elementary Distance Sampling Unit - EDSU), δηλαδή το μήκος της πορείας του σκάφους που γίνεται ολοκλήρωση του ήχου, σύμφωνα με τους MacLennan & Simmonds (1992) ήταν το 1 nmi. Ως μονάδα μέτρησης του οπισθοανακλώμενου ήχου χρησιμοποιήθηκε το m^2/nmi^2 (Nautical Area Scattering Coefficient – NASC). Σε ό,τι αφορά στην βαθμονόμηση του ηχοβολιστικού, πραγματοποιήθηκε με μεταλλικές σφαίρες γνωστού Η.Δ. (Foote *et al*., 1987) ώστε να είναι δυνατή η ποσοτική μέτρηση των καταγραφών των ηχοβολιστικών. Εφόσον το Η.Δ. του καταγεγραμμένου ψαριού είναι γνωστό, το αποτέλεσμα της ολοκλήρωσης του ήχου μπορεί να μετατραπεί σε μονάδες πυκνότητας ψαριών (MacLennan & Simmonds 1992).

2.1.2 Βιολογική δειγματοληψία με πελαγική τράτα

Για την ταυτοποίηση των ψαριών διεξήχθησαν αναγνωριστικές σύρσεις με πελαγική τράτα κατά μήκος των ακουστικών διατομών, ώστε να εξασφαλιστούν αντιπροσωπευτικά δείγματα από την περιοχή μελέτης. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 13 σύρσεις τον Ιούνιο του 2004, 16 τον Ιούνιο του 2005, 18 τον Ιούνιο του 2006 στο Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο και 14 σύρσεις τον Δεκέμβριο του 2007

[4] Το ping είναι ένας εκπεμπόμενος από τον μορφομετατροπέα ηχητικός παλμός.

στο Θρακικό πέλαγος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε μια πελαγική τράτα με 8 mm μάτι σάκου από κόμβο σε κόμβο, οριζόντιο άνοιγμα 24m, και κάθετο άνοιγμα 10m. Οι σύρσεις έγιναν με ταχύτητα 4-5 nmi/h και ταυτόχρονα με την αλιεία πραγματοποιήθηκε και ηχοβολισμός. Η αλιεία συγκεκριμένων σχολείων που διεξάχθηκε ταυτόχρονα με τον ηχοβολισμό τους επέτρεψε τη σύγκριση των ακουστικών δεδομένων (δηλ. στόχων στα αντίστοιχα ηχογράμματα) με την σύσταση του αλιεύματος (π.χ. γαύρο ή σαρδέλα, νεαρά ή ενήλικα άτομα του γαύρου και της σαρδέλας), και στη συνέχεια τη διάκριση των σχολείων των νεαρών ατόμων γαύρου/σαρδέλας σε σχέση με αυτά των ενηλίκων στα ηχογράμματα. Επίσης, από τα αλιευτικά δεδομένα διεξήχθη η σχέση μήκους-βάρους των αλιευόμενων ειδών. Ως νεαρά άτομα γαύρου θεωρήθηκαν τα άτομα που δεν ξεπερνούσαν τα 110 mm, διότι ο γαύρος στις Ελληνικές θάλασσες ωριμάζει αναπαραγωγικά πρώτη φορά σε μήκος 100-110 mm (Matzouni *et al.* 2007, Uriarte *et al.* 1996). Αντίστοιχα, ως νεαρά άτομα σαρδέλας θεωρήθηκαν τα άτομα που δεν ξεπερνούσαν τα 120 mm, καθώς η σαρδέλα στις Ελληνικές θάλασσες ωριμάζει αναπαραγωγικά πρώτη φορά σε μήκος 120 mm (Γκάνιας και συνεργάτες 2000, Γιαννουλάκη 2003).

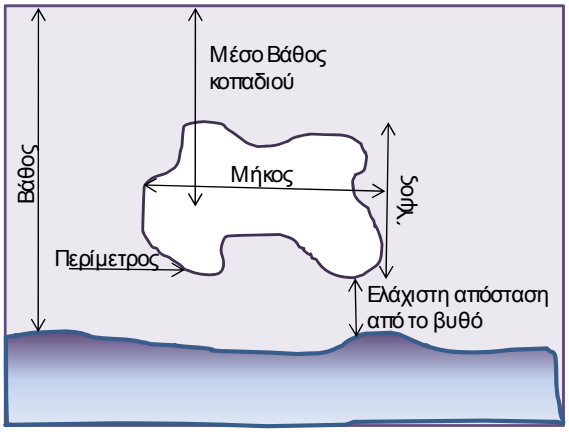
2.1.3 Διάκριση σχολείων

Η ταξινόμηση των σχολείων, όπως αυτά παρουσιάζονται στο ηχόγραμμα, βασίστηκε σε μια σειρά μορφομετρικών χαρακτηριστικών και αναγνωρίστηκαν τέσσερις βασικοί τύποι σχολείων: ενήλικου γαύρου, νεαρών ατόμων γαύρου, ενήλικης σαρδέλας, νεαρών ατόμων σαρδέλας. Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά παρέχουν πληροφορίες για κάθε κοπάδι περιγράφοντας την γεωμετρία του και τη θέση του στην κολώνα του νερού. Με βάση τη σύσταση του αλιεύματος από τις σύρσεις με την πελαγική τράτα και των ακουστικών δεδομένων επιλέχθηκαν κάποια σχολεία στο ηχόγραμμα ως αντιπροσωπευτικά κάθε τύπου. Τα σχολεία μελετήθηκαν κατά τη διάρκεια της μέρας, διότι τότε τα σχολεία είναι πιο συμπαγή και διακριτά σε σύγκριση με τη νύχτα. Τη νύχτα σχηματίζουν πιο χαλαρές δομές και τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα (Zwolonski *et al.* 2007).

Τα σχολεία των τεσσάρων τύπων περιγράφονται από τα ακόλουθα μορφομετρικά χαρακτηριστικά, που εξάγονται από το λογισμικό Echoview v.4.30 της Sonardata:

- Το **ύψος** (m), που είναι το μέγιστο ύψος των σχολείων (Εικ. 2.3).
- Το **μήκος** (m), που είναι το μέγιστο μήκος των σχολείων (Εικ. 2.3).
- Η **περίμετρος** (m) (Εικ. 2.3).
- Η **επιφάνεια** (m^2).
- Το **μέσο βάθος σχολείου** (m) (Εικ. 2.3).

Από τις παραμέτρους αυτές προκύπτουν, άλλες τέσσερις παράμετροι που χρησιμοποιούνται ευρέως στην περιγραφή σχολείων:



Εικ. 2.3. Μορφομετρικά χαρακτηριστικά που δίνουν πληροφορίες για την θέση και την γεωμετρία των κοπαδιών (τροποποιημένο από τους Bahri & Fréon 2000).

- Η **επιμήκυνση,** που είναι το πηλίκο του μήκους διά του ύψους των σχολείων. Οι υψηλότερες τιμές είναι ενδεικτικές των σχολείων που είναι πιο εκτεταμένα οριζοντίως (Mackinson & Van der Kooij 2006).
- Ο **δείκτης πολυπλοκότητας** του σχήματος των σχολείων, που υπολογίστηκε από την εξίσωση:

  Δείκτης πολυπλ.=2*ln(Περιμέτρου/4)/ ln(Επιφάνειας) (εξίσωση 2.1)

  Οι μικρότερες τιμές δείχνουν πιο ομοιόμορφο σχήμα, ενώ οι μεγαλύτερες αντιπροσωπεύουν σχολεία με ακανόνιστο σχήμα (Mackinson & Van der kooij 2006).
- Η **ελάχιστη απόσταση από το βυθό** (m), που περιγράφει την απόσταση μεταξύ του βυθού και του κατώτερου ορίου του σχολείου (Bahri & Fréon 2000) (Εικ. 2.3).
- Η **σχετική απόσταση από το βυθό** (%), που υπολογίζεται σύμφωνα με τους Bahri & Fréon (2000) από την εξίσωση:

  σχ. αποστ.=100*(Βάθος – Μέσο βάθος του σχολείου)/ Βάθος (εξίσωση 2.2)

Τα χαρακτηριστικά των σχολείων που εξάγονται από το Echoview διορθώνονται με μια αυτόματη διαδικασία σύμφωνα τον αλγόριθμο του Diner (2001). Οι αποκλίσεις των μετρήσεων από την πραγματική τιμή εξαρτώνται από το άνοιγμα της δέσμης του ήχου που εκπέμπει το ηχοβολιστικό Οι διορθώσεις δεν εφαρμόζονται στα πολύ μικρά σχολεία που έχουν μήκος το πολύ μέχρι 1,5 φορά το άνοιγμα της δέσμης (Diner 2001).

Στη συνέχεια, εκτιμήθηκαν οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις για το μήκος, το ύψος, την επιμήκυνση, το δείκτη πολυπλοκότητας, την ελάχιστη απόσταση και τη σχετική απόσταση από το βυθό των σχολείων των νεαρών ατόμων και των ενήλικων ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας. Με βάση τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των αντιπροσωπευτικών σχολείων και τις διαφοροποιήσεις τους μεταξύ των τεσσάρων τύπων σχολείων διακρίθηκαν τα σχολεία νεαρών και ενήλικων ατόμων της σαρδέλας και του γαύρου στο ηχόγραμμα. Τέλος, αθροίστηκε ο οπισθοανακλώμενος ήχος των σχολείων των νεαρών ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας ανά ναυτικό μίλι. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αναγνώριση των σχολείων έγινε με βάση τον ενσωματωμένο αλγόριθμος του Echoview v.4.30 της Sonardata, προσαρμοσμένου για την αναγνώριση μικρού μεγέθους σχολείων που αφθονούν στην περιοχή μελέτης (ελάχιστο ύψος: 1m, ελάχιστο μήκος: 5m).

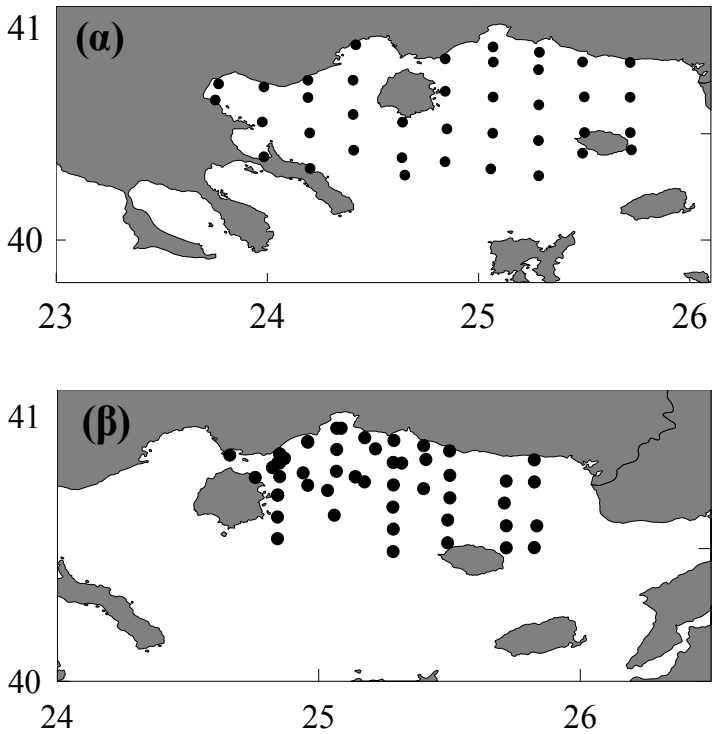
2.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.2.1 In situ περιβαλλοντικά δεδομένα και βιολογικά χαρακτηριστικά

Κατά τη διάρκεια των ερευνητικών ταξιδιών και κατά μήκος της πορείας που ακολούθησε το πλοίο για την ακουστική δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε συλλογή αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων σε προκαθορισμένους σταθμούς (Εικ. 2.4). Πιο συγκεκριμένα συλλέχθηκαν δεδομένα στον Στρυμονικό κόλπο και το Θρακικό πέλαγος από (α) 38 σταθμούς το 2004, 2005 και 2006 (Εικ. 2.4α)., και στο Θρακικό πέλαγος από (δ) 53 σταθμούς το Δεκέμβριο του 2007 (Εικ. 2.4β).

Η δειγματοληψία των αβιοτικών παραμέτρων πραγματοποιήθηκε με το Ε/Σ «ΦΙΛΙΑ» και χρησιμοποιήθηκε ένα SBE-25 CTD (κατασκευή της Sea Bird), το οποίο ήταν επιπλέον εξοπλισμένο με ένα fluometer Wetlabs. Σε κάθε σταθμό λαμβάνονταν μετρήσεις α) θερμοκρασίας (^{o}C) β) αλατότητας (psu), γ) χλωροφύλλης-α (μg/l) και δ) φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (Photosynthetically Active Radiation - PAR) (Ein/m^2/day) ανά 1 m από την επιφάνεια και μέχρι τον πυθμένα ή ως τα 250m από την επιφάνεια σε σταθμούς με μεγαλύτερα βάθη. Η επεξεργασία των στοιχείων έγινε με την βοήθεια των λογισμικών προγραμμάτων Seasave & Seaplot της Seabird. Επιπλέον, μετρήθηκε η βιομάζα ζωοπλαγκτού ανά μονάδα επιφάνειας (mg/m^2) που

συλλέχθηκε με κάθετες σύρσεις πλαγκτονικού διχτυού WP2 (200 μm άνοιγμα ματιού) σε βάθος 5m από τον βυθό ως την επιφάνεια ή από τα 250m ως την επιφάνεια, σε σταθμούς με μεγαλύτερα βάθη. Δεδομένα βιομάζας ζωοπλαγκτού διατίθενται μόνο για τον Ιούνιο του 2004, 2005, 2006. Οι χάρτες κατανομής των περιβαλλοντικών παραμέτρων σχεδιάστηκαν με το πρόγραμμα Surfer v8.0 της Golden Software, Inc. Όσον αφορά στη βαθυμετρία της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν, για μεγαλύτερη ακρίβεια, οι τιμές που κατέγραψε το ηχοβολιστικό (Εικ. 1.4).



Εικ. 2.4. Οι σταθμοί δειγματοληψίας στο Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005, 2006 (α) και στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007(β).

2.2.2 Δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα

Η περιοχή μελέτης παρακολουθείται δορυφορικά δίνοντας μια ικανοποιητική εικόνα των περιβαλλοντικών παραμέτρων ανά μήνα (Πίνακας 2.1). Συγκεκριμένα, η κατανομή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας (Sea Surface Temperature - SST σε ^{o}C), η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α (CHLO σε mg/m^3), η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR σε Ein/m^2/day), η κατανομή της αλατότητας στην επιφάνεια της θάλασσας (Sea Surface Salinity - SSS in psu BCC

GODAS model, Liu *et al.*, 2005) και η αυξομείωση του επιπέδου της θάλασσας (Sea Level Anomaly - SLA σε cm) συλλέχθηκαν μέσω διαδικτύου από αντίστοιχες βάσεις δεδομένων (Πίνακας 2.1). Το SLA περιγράφει ωκεάνιες διαδικασίες, όπως είναι οι κυκλώνες, οι αντικυκλώνες, οι στρόβιλοι και τα μέτωπα (Larnicol *et al.*, 2002; Pujol & Larnicol, 2005), που αυξάνουν την παραγωγικότητα και συχνά λειτουργούν ως φυσικά εμπόδια διαφοροποιώντας την κατανομή ειδών ή των αναπτυξιακών σταδίων ενός είδους. Οι παράμετροι που προαναφέρθηκαν μπορεί να είναι σημαντικοί είτε επιδρώντας άμεσα στην κατανομή των νεαρών ατόμων γαύρου και σαρδέλας, είτε επηρεάζοντας άλλους παράγοντες (Bellido *et al.,* 2001). Για παράδειγμα, η PAR, η οποία ορίστηκε ως η κβαντική ενεργειακή ροή από τον ήλιο στην επιφάνεια με φασματικό εύρος 400-700 nm, και αντιπροσωπεύει το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται από τα φυτά για να φωτοσυνθέσουν (Frouin *et al.*, 2003), μπορεί να είναι ενδεικτική του εύρους της εύφωτης ζώνης. Το μεγαλύτερο βάθος της εύφωτης ζώνης ορίζεται ως το βάθος αυτό στο οποίο οι τιμές της PAR μειώνονται στο 0,1 % των μετρήσεων στην επιφάνεια (Hader *et al.,* 1994). Η βαθυμετρία επίσης υπολογίστηκε μέσω επεξεργασίας ενός συνόλου σημειακών δεδομένων τα οποία προήλθαν από το συνδυασμό βυθομετρήσεων που συλλέχθηκαν από πλοία και λεπτομερών πληροφοριών της αυξομείωσης της βαρύτητας που εξασφαλίστηκε από τις Geosat και ERS-1 δορυφορικές αποστολές υψομετρίας (Smith & Sandwell, 1997).

Όλες οι δορυφορικές εικόνες μηνιαίων μέσων τιμών επεξεργάστηκαν ως κανονικά πλέγματα μέσω Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information Systems - GIS) χρησιμοποιώντας το λογισμικό ArcInfo GRID (ESRI, 1994). Οι μέσες μηνιαίες τιμές των περιβαλλοντικών παραμέτρων για τον Ιούνιο του 2004, 2005, 2006, και τον Δεκέμβριο του 2007 εκτιμήθηκαν για όλα τα εξεταζόμενα σημεία ακουστικών δεδομένων βάσει της διαθέσιμης χωρικής διακριτικής ικανότητας των δορυφορικών δεδομένων (Valavanis *et al.*, 2004).

Πίνακας 2.1. Οι περιβαλλοντικές δορυφορικές παράμετροι και τα χαρακτηριστικά τους.

Παράμετροι	**Συντομογραφία**	**Αισθητήρας/Μοντέλο**	**Εύρος/Μέσος όρος**	**Ανάλυση**	**Πηγή**
Χλωροφύλλη-α στην επιφάνεια της θάλασσας	CHLO	MODISA	0.07-24.62/0.32 mg/m³	4 km	oceancolor.gsfc.nasa.gov
Θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας	SST	AVHRR	18.5-28.9/22.9 °C	1.1km	eoweb.dlr.de:8080
Φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία	PAR	SeaWiFS	20.3-64.7/57.8 Einstein/m²/day	9 km	oceancolor.gsfc.nasa.gov
Μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας	SLA	Merged Jason-1, Envisat, ERS-2, GFO, T/P	-12.3-0.7/-5.3 cm	0.25°	www.jason.oceanobs.com
Αλατότητα στην επιφάνεια της θάλασσας	SSS	CARTON-GIESE SODA & CMA BCC GODAS models	38.3-38.9/38.6 psu	0.5°	iridl.ldeo.columbia.edu

2.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τα Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα (**Generalized Additive Models - GAMs**) για να τυποποιήσουμε:

α) την παρουσία/απουσία σχολείων νεαρών ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας, και

β) τον οπισθοανακλώμενο ήχο (NASC σε m^2/nmi^2) σχολείων νεαρών ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας,

συναρτήσει περιβαλλοντικών παραμέτρων, με κύριο στόχο την κατανόηση των μηχανισμών που ρυθμίζουν την κατανομή τους. Η θεωρία των GAMs περιγράφεται εκτενώς στους (Hastie & Tibshirani 1986, Hastie & Tibshirani 1990, Swartzman *et al.* 1992). Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε είναι:

$$Y=a+\sum_{j=1}^{p} f_j(X_j)+\varepsilon \qquad \text{(εξίσωση 2.3)}$$

Όπου:

a: η τιμή της σταθεράς,

p: ο αριθμός των περιβαλλοντικών παραμέτρων

x_j: η τιμή της περιβαλλοντικής παραμέτρου j, j=1..p

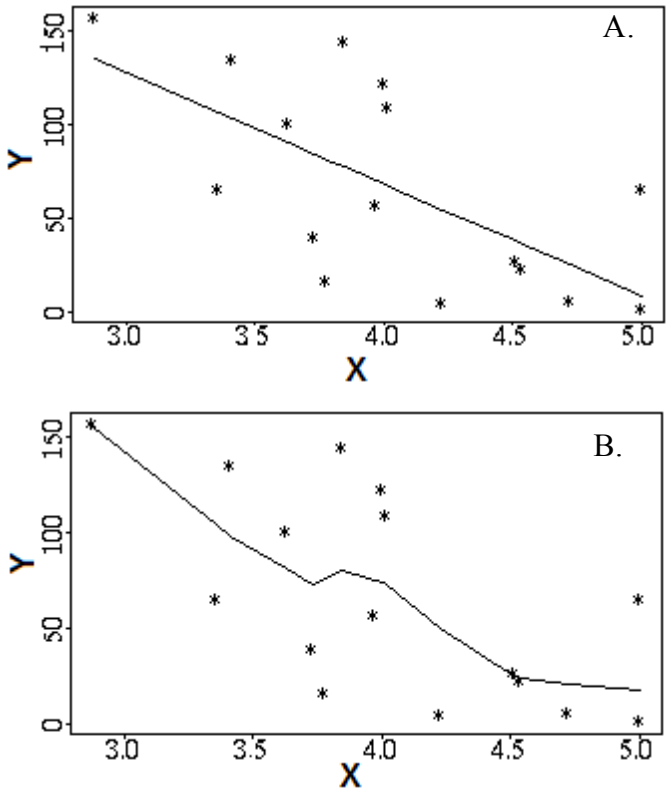
y: 0 (απουσία)/ 1 (παρουσία) σχολείων νεαρών ατόμων γαύρου/σαρδέλας, είτε η τιμή οπισθοανακλώμενου ήχου σχολείων νεαρών ατόμων γαύρου/σαρδέλας (σε m^2/nmi^2) στη ΣΜΔ i,

$f_j(\ )$: η τιμή της εξομαλυσμένης συνάρτησης της περιβαλλοντικής παραμέτρου j, j=1..p

ε: το σφάλμα

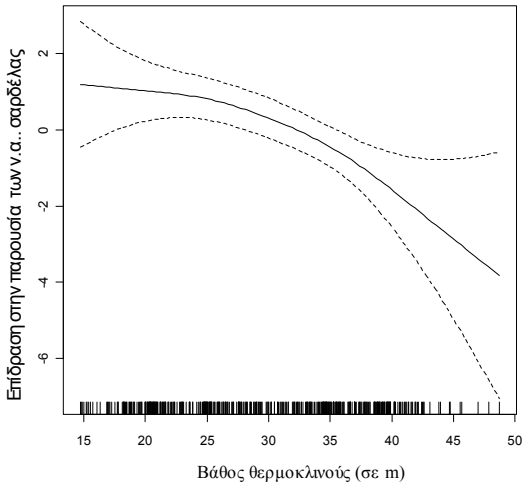
Τα GAMs είναι μια μέθοδος μη παραμετρικής παλινδρόμησης με λιγότερο αυστηρές προϋποθέσεις όσον αφορά στην κανονικότητα και στη γραμμικότητα, σε σχέση με την γραμμική παλινδρόμηση. Στηρίζονται σε μια υποθετική σχέση (ή αλλιώς μια συνάρτηση σύνδεσμο – link function) ανάμεσα στην τιμή του οπισθοανακλώμενου ήχου (NASC) των ψαριών ή την παρουσία/απουσία ψαριών και στην εξομαλυσμένη (smoothed) συνάρτηση της εκάστοτε περιβαλλοντικής παραμέτρου. Επιπλέον η τυπική προϋπόθεση για την κανονικότητα γενικεύεται για να συμπεριλάβει όλες τις κατανομές πιθανοτήτων (π.χ. την Poisson, την Gamma, την διωνυμική και την αντίστροφη κανονική κατανομή).

Ένα από τα πλεονεκτήματα των GAMs είναι ότι επιτρέπουν τον υπολογισμό ευέλικτων μη γραμμικών σχέσεων των εξαρτημένων μεταβλητών (π.χ. οπισθοανακλώμενος ήχος ψαριών και παρουσίας/ απουσίας ψαριών) με τις ανεξάρτητες μεταβλητές (π.χ. των περιβαλλοντικών παραμέτρων). Σε κάθε GAM η παρουσία/ απουσία ή ο οπισθοανακλώμενος ήχος του γαύρου/ της σαρδέλας τυποποιήθηκε ως το προσθετικό άθροισμα απροσδιόριστων μη παραμετρικών εξομαλυσμένων συναρτήσεων των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Στην εικόνα 2.7 παρουσιάζεται η εφαρμογή ενός γραμμικού μοντέλου (Εικ. 2.5Α) και ενός γενικευμένου γραμμικού μοντέλου με μια παράμετρο (Εικ. 2.5Β), στην ίδια ομάδα δεδομένων. Ουσιαστικά, στα GAMs δεν ελέγχεται η εφαρμογή ενός συγκεκριμένου παραμετρικού μοντέλου στα δεδομένα, αλλά τα ίδια τα δεδομένα είναι αυτά που προσδιορίζουν την σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη και στην ανεξάρτητη μεταβλητή (Guisan *et al.* 2002).



Εικ. 2.5. Η προσαρμογή Α. ενός γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης και Β. γενικευμένου προσθετικού μοντέλου με μια μεταβλητή, στην ίδια ομάδα δεδομένων.

Τα διαγράμματα τα οποία ελήφθησαν από τα GAMs παρουσιάζουν την επίδραση μιας περιβαλλοντικής παραμέτρου στην παρουσία/ απουσία ή στον οπισθοανακλώμενο ήχο των σχολείων νεαρών ατόμων του γαύρου/ της σαρδέλας, θεωρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους που εισέρχονται στο μοντέλο αμετάβλητες. Η θετική επίδραση κάθε μεταβλητής (δηλ. η αυξημένη πιθανότητα παρουσίας ή η αυξημένη εκτίμηση οπισθοανακλώμενου ήχου) παρατηρείται σε τιμές που βρίσκονται πάνω από τον άξονα που διέρχεται από το μηδέν. Ένα παράδειγμα διαγράμματος GAM παρατηρούμε στην εικόνα 2.6.



Εικ. 2.6. Επίδραση του βάθους του θερμοκλινούς (σε m) στην παρουσία των νεαρών ατόμων (ν.α.) σαρδέλας. Οι διακεκομμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν τα τυπικά σφάλματα. Το «χαλί» (rug) κάτω από το διάγραμμα επίδρασης της μεταβλητής είναι ενδεικτικό της πυκνότητας των σημείων για διαφορετικές τιμές της μεταβλητής.

Τα GAMs μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως επεξηγηματικά μοντέλα (explanatory models) αλλά και ως μοντέλα πρόβλεψης (predictive models) (Guisan *et al.* 2002). Τα επεξηγηματικά μοντέλα προσπαθούν να εντρυφήσουν στις οικολογικές διεργασίες που οδηγούν στα πρότυπα κατανομής των ειδών, ενώ τα μοντέλα πρόβλεψης θέτουν μια στατιστική σχέση που συνδέει την παρουσία ή τον οπισθοανακλώμενο ήχο του είδους με μια σειρά παραμέτρων προβλέποντας τελικά την πιθανότητα παρουσίας του είδους σε θέσεις που δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία (Γιαννουλάκη 2003). Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκαν τα GAMs και ως επεξηγηματικά μοντέλα αλλά και ως μοντέλα πρόβλεψης. Τα επεξηγηματικά GAM μοντέλα βασίστηκαν σε *in situ* περιβαλλοντικά δεδομένα, για να μας πληροφορήσουν για τις προτιμήσεις των υπό μελέτη ειδών στο περιβάλλον στο οποίο ζουν, ενώ τα μοντέλα πρόβλεψης βασίστηκαν σε δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα, τα οποία αποτελούν ένα ευέλικτο εργαλείο για την παρακολούθηση των μεταβολών του ενδιαιτήματος στο χώρο και στο χρόνο.

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 1.4.2, υψηλές αφθονίες νεαρών ατόμων σαρδέλας παρατηρούνται στις αρχές του καλοκαιριού, ενώ αντίστοιχα νεαρά άτομα γαύρου συλλέχθηκαν κυρίως την χειμερινή περίοδο. Επομένως, για τη τυποποίηση της παρουσίας/ οπισθοανακλώμενου ήχου των νεαρών ατόμων σαρδέλας χρησιμοποιήθηκαν τα ακουστικά δεδομένα των θερινών δειγματοληψιών. Ωστόσο, ο

μικρός αριθμός διαθέσιμων δεδομένων που αφορούν νεαρά σχολεία σαρδέλας οδήγησε στην εκτίμηση ενός συνολικού μοντέλου για το σύνολο των δεδομένων 2004-2006. Σε ό,τι αφορά στα νεαρά άτομα γαύρου, η παρουσία/ οπισθοανακλώμενος ήχος των σχολείων μελετήθηκε με βάση τα δεδομένα της χειμερινής δειγματοληψίας. Τα GAMs εφαρμόστηκαν σε ακουστικά δεδομένα από το σύνολο της περιοχής δειγματοληψίας των νεαρών ατόμων του γαύρου (Θρακικό πέλαγος) και της σαρδέλας (Θρακικό πέλαγος & Στρυμονικός κόλπος).

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης προκειμένου να μελετηθεί η συσχέτιση των ψαριών με τις *in situ* περιβαλλοντικές παραμέτρους χρησιμοποιήθηκε:

- το βάθος βυθού,
- η μέση τιμή της θερμοκρασίας,
- η μέση τιμή της αλατότητας,
- η μέση τιμή της πυκνότητας,
- η μέση τιμή της σχετικής[5] συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α, και
- η μέση τιμή της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας

των ακόλουθων στρωμάτων της κολώνας του νερού: (α) του επιφανειακού στρώματος ανάμιξης (surface mixed layer - SML), (β) του ανώτερου στρώματος ανάμιξης (upper mixed layer – UML) και (γ) του στρώματος του βυθού (bottom layer – BL) (Laprise & Pepin 1995).

Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν:

- η μέση τιμή της σχετικής συγκέντρωση χλωροφύλλης-α,
- η συνολική σχετική συγκέντρωση χλωροφύλλης-α, και
- η βιομάζα του ζωοπλαγκτού ανά μονάδα επιφάνειας

στο σύνολο της κολώνας του νερού.

Το SML ορίζεται ως το ομογενές στρώμα το άμεσα υποκείμενο της επιφάνειας της θάλασσας στο οποίο η θερμοκρασία είναι ως 1 ^{o}C μικρότερη της επιφανειακής (Laprise & Pepin 1995). Το UML ορίζεται ως το στρώμα της κολώνας του νερού από την επιφάνεια ως το βάθος όπου η θερμοκρασία είναι ως 1 ^{o}C υψηλότερη από την θερμοκρασία στον πυθμένα και το BL ορίστηκε ως το στρώμα της κολώνας του νερού που εφάπτεται του βυθού και εκτείνεται 8m πάνω από αυτόν. Η έκταση του BL (8m) καθορίστηκε από τη συστηματική παρουσία σχολείων νεαρών ατόμων γαύρου στο στρώμα αυτό. Το SML είναι το υπερκείμενο του θερμοκλινούς

[5] Εκφρασμένη ως ποσοστό της μέγιστης τιμής.

στρώμα της κολώνας του νερού, το UML είναι το στρώμα εκείνο της κολώνας του νερού που περιλαμβάνει το θερμοκλινές και το BL είναι το υπερκείμενο του βυθού στρώμα της κολώνας του νερού.

Η μέθοδος παρεμβολής της αντίστροφης απόστασης (inverse distance) εφαρμόστηκε για να προβλεφθούν όλες οι παραπάνω μεταβλητές συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους και του γεωγραφικού μήκους σε όλη την έκταση της περιοχής δειγματοληψίας. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο της τοπικής παλινδρόμησης (**local regression model** ή ***Loess***) (Cleveland 1979) για να ληφθούν οι τιμές των παραπάνω μεταβλητών συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους και του γεωγραφικού μήκους στις θέσεις που καταγράφηκαν νεαρά άτομα γαύρου και σαρδέλας. Το μοντέλο της τοπικής παλινδρόμησης αποτελεί μια μέθοδο εκτίμησης της επιφάνειας παλινδρόμησης, εφαρμόζοντας μια συνάρτηση των ανεξάρτητων μεταβλητών (δηλ. του γεωγραφικού πλάτους και του γεωγραφικού μήκους) τοπικά και με τρόπο ανάλογο αυτού του κινούμενου μέσου όρου στην ανάλυση χρονοσειρών (Cleveland & Devlin 1988). Η επιφάνεια παλινδρόμησης εφαρμόζεται με τη μέθοδο των σταθμισμένων ελαχίστων τετραγώνων (weighted least squares) η οποία εξασφαλίζει ότι τα «γειτονικά» σημεία είναι περισσότερο επιδραστικά. Ο αριθμός των «γειτονικών» σημείων (δηλ. το μέγεθος της γειτνίασης), που εκφράζεται συνήθως ως ποσοστό (span) των σημείων, είναι ο παράγοντας εξομάλυνσης. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε γειτνίαση στο επίπεδο του 5% (span=0,05). Τα μοντέλα τοπικής παλινδρόμησης παρέχουν μεγάλη ευελιξία καθώς για κάθε σημείο που προβλέπεται εφαρμόζεται μια πολυωνυμική επιφάνεια που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μόνο τα γειτονικά σημεία (Venables & Ripley 1994).

Οι δορυφορικές περιβαλλοντικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα πρόβλεψης για την παρακολούθηση των μεταβολών των ενδιαιτημάτων στο χώρο και στο χρόνο είναι οι εξής:

- το βάθος του βυθού
- η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας,
- η αλατότητα στην επιφάνεια της θάλασσας,
- η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α,
- η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία, και
- η μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας.

Στις περιπτώσεις που οι ανεξάρτητες μεταβλητές (δηλ. οι περιβαλλοντικές παράμετροι) παρουσίασαν μεγάλη μεταβλητότητα στις τιμές τους και απόκλιση από την κανονική κατανομή πραγματοποιήθηκε μετασχηματισμός των τιμών (νεπέριος λογάριθμος ή κυβική ρίζα) (Hastie & Tibshirani 1990). Ο κατάλληλος τύπος μετασχηματισμού επιλέχθηκε βάση του ελέγχου των Quantile-Quantile γραφημάτων (Q-Q plots) ώστε οι μετασχηματισμένες μεταβλητές να ακολουθούν την κανονική κατανομή. Τέλος, έγινε έλεγχος για να αποκλεισθεί το ενδεχόμενο οι ανεξάρτητες μεταβλητές να είναι συσχετισμένες μεταξύ τους (Hastie & Tibshirani 1990).

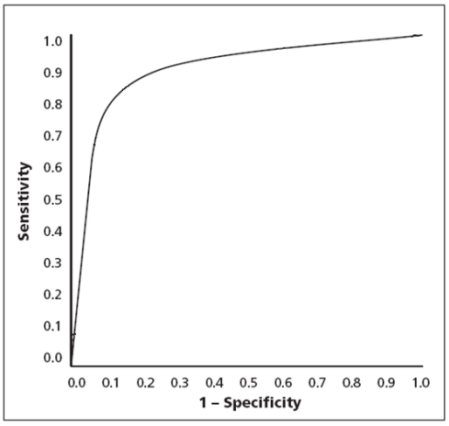
Η επιλογή των GAMs βασίστηκε στη μεθοδολογία που προτάθηκε από τους Wood & Augustin (2002), χρησιμοποιώντας την 'mgcv' βιβλιοθήκη στο στατιστικό λογισμικό της R (R Development Core Team, 2005). Το καλύτερο GAM επιλέχθηκε βάσει μιας σταδιακής προς τα εμπρός μεθόδου επιλογής (stepwise forward selection), η οποία μειώνει το πρόβλημα της συγγραμμικότητας ξεκινώντας από ένα απλό αρχικό μοντέλο με λίγες ανεξάρτητες μεταβλητές (Sacau *et al.* 2005). Συγκεκριμένα, η σύγκριση των μοντέλων βασίστηκε στο ποσοστό της απόκλισης που ερμηνεύεται από το μοντέλο (deviance explained-DE, 0-100%), και σε τρία κριτήρια: (α) το Akaike Information Criterion (AIC), (β) το Un-biased Risk estimator (UBRE) και (γ) το Generalized Cross-Validation score (GCVscore). Όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές κατατάχθηκαν και η επιλογή του τελικού μοντέλου βασίστηκε στην ελαχιστοποίηση τον παραπάνω κριτηρίων, καθώς και την μεγιστοποίηση του DE (%). Επιπρόσθετα, ο βαθμός εξομάλυνσης κάθε παραμέτρου επιλέχθηκε βάσει των παρατηρούμενων δεδομένων και της μεθόδου Cross Validation που προτάθηκε από τον Wood (2006) και ενσωματώθηκε στην 'mgcv' βιβλιοθήκη. Ο **cubic spline εξομαλυντής s** (Hamming 1973) χρησιμοποιήθηκε για την εισαγωγή των περιβαλλοντικών παραμέτρων στα GAM και η διωνυμική και quasipoisson κατανομή σφαλμάτων επιλέχθηκε για τα μοντέλα που ερμήνευαν την παρουσία/απουσία ψαριών και τον οπισθοανακλώμενο ήχο των ψαριών (NASC, m^2/nmi^2), αντίστοιχα. Τέλος, εξετάστηκαν όλες η πρώτης τάξεως αλληλεπιδράσεις των παραμέτρων που συμπεριλήφθησαν στο τελικό μοντέλο.

Στο επόμενο στάδιο, τα τελικά GAM που βασίστηκαν σε δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα εφαρμόστηκαν για να εκτιμηθεί η πιθανότητα παρουσίας ή ο οπισθοανακλώμενος ήχος των υπό μελέτη ειδών στην ευρύτερη περιοχή του Θρακικού πελάγους και του Στρυμονικού κόλπου τον Ιούνιο του 2004, 2005, 2006 και τον Δεκέμβριο του 2007, αντίστοιχα. Συνεπώς, ένας συγκεκριμένος συνδυασμός

τιμών δορυφορικών περιβαλλοντικών δεδομένων αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη πιθανότητα παρουσίας ή τιμή οπισθοανακλώμενου ήχου των υπό μελέτη ειδών. Τα αποτελέσματα της πρόβλεψης χαρτογραφήθηκαν με τη βοήθεια του Surfer v8.0 του λογισμικού Golden Software Inc.

2.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Η αξιολόγηση των τελικών μοντέλων οπισθοανακλώμενου ήχου ελέγχθηκε συγκρίνοντας τα παρατηρούμενα δεδομένα οπισθοανακλώμενου ήχου των νεαρών ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας με τις εκτιμήσεις των τελικών μοντέλων (π.χ. τις προβλεπόμενες τιμές οπισθοανακλώμενου ήχου) στις περιοχές που χρησιμοποιήθηκαν για τη τυποποίηση και ανά έτος. Για την αξιολόγηση των τελικών μοντέλων παρουσίας/.απουσίας, εκτιμήθηκαν τα Receiver Operating Characteristic (ROC)-γραφήματα (Fieldings & Bell 1997, Guisan & Zimmerman 2000) και το κριτήριο AUC (area under the ROC curve). Το κριτήριο AUC χρησιμοποιείται εκτενώς στην βιβλιογραφία που αφορά στην τυποποίηση της κατανομής ειδών, εκτιμώντας την ικανότητα του μοντέλου να διακρίνει τις θέσεις όπου το είδος είναι παρών, από τις θέσεις όπου αυτό απουσιάζει (Hanley & MacNeil 1982). Η μέθοδος αυτή, παρέχει ένα δείκτη χρησιμότητας των μοντέλων όσον αφορά στη διάκριση περιοχών σε σχέση με την σημαντικότητα τους ως ενδιαιτήματα για ένα συγκεκριμένο είδος. Για να σχηματιστεί η ROC καμπύλη, υπολογίζεται η «ευαισθησία» (sensitivity) και η «εξειδίκευση» (specificity) σε διαφορετικά κατώφλια πιθανοτήτων παράγοντας ζεύγη τιμών ευαισθησίας/εξειδίκευσης (Εικ. 2.7). Οι μεταβλητές αυτές δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις:



Εικ. 2.7. Παράδειγμα ROC καμπύλης που δείχνει υψηλή διακριτική ικανότητα (AUC=0,97) (Fan *et al.* 2006).

$$\text{Ευαισθησία} = \frac{\text{αριθμός πραγματικών θετικών τιμών}}{\text{αριθμός πραγματικών θετικών τιμών} + \text{αριθμό λανθασμένων αρνητικών τιμών}}$$

(εξίσωση 2.4)

$$\text{Εξειδίκευση} = \frac{\text{αριθμός πραγματικών αρνητικών τιμών}}{\text{αριθμός πραγματικών αρνητικών τιμών} + \text{αριθμό λανθασμένων θετικών τιμών}}$$

(εξίσωση 2.5)

Ως ευαισθησία ορίζεται η πιθανότητα το μοντέλο να δώσει μια θετική πρόβλεψη εκεί όπου το είδος πράγματι απαντάται (δηλ. 1), ενώ εξειδίκευση είναι η πιθανότητα να προβλέπονται χαμηλές πιθανότητες παρουσίας όπου το είδος απουσιάζει (δηλ. 0). Απεικονίζοντας την ευαισθησία ως συνάρτηση της 1-εξειδίκευση για κάθε κατώφλι παίρνουμε την ROC καμπύλη. Από αυτήν την ROC καμπύλη, μπορούμε να υπολογίσουμε την επιφάνεια κάτω από την καμπύλη (area under the curve – AUC) ως ένδειξη της διακριτικής ικανότητας του μοντέλου (Boyce *et al.* 2002). Όσο πιο κοντά βρίσκεται η κορυφή της καμπύλης στην πάνω αριστερή γωνία του διαγράμματος τόσο καλύτερη είναι η διακριτική ικανότητα του μοντέλου (δηλ. η αναλογία των πραγματικών θετικών τιμών είναι υψηλή (ευαισθησία) και η αναλογία των λανθασμένων θετικών τιμών (1-εξειδίκευση) είναι χαμηλή) (Fan *et al.* 2006). Οι τιμές της AUC κυμαίνονται από 0 μέχρι 1, όπου η τιμή 1 δείχνει πλήρη διάκριση, η τιμή 0,5 σημαίνει διακριτική ικανότητα η οποία δεν είναι καλύτερη από τυχαία υπόθεση και τιμές <0,5 δείχνουν διακριτική ικανότητα χειρότερη από τυχαία υπόθεση (Boyce *et al.* 2002, Elith *et al.* 2006). Όσον αφορά οικολογικά μοντέλα παρουσία/απουσίας, σύμφωνα με τους Manel *et al.* (2001), τιμές AUC μεταξύ 0,5 και 0,7 δηλώνουν χαμηλή διακριτική ικανότητα, τιμές από 0,7 μέχρι 0,9 αντιστοιχούν σε μοντέλα αξιόπιστα για εφαρμογές και τιμές >0,9 δηλώνουν υψηλή διακριτική ικανότητα (Manel *et al.* 2001). Οι εκτιμήσεις πραγματοποιήθηκαν με την Presence/absence βιβλιοθήκη (Freeman 2007) του στατιστικού λογισμικού της R. Η αξιολόγηση των τελικών μοντέλων των νεαρών ατόμων σαρδέλας έγινε στο Θρακικό πέλαγος και το Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005 και 2006 και των νεαρών ατόμων γαύρου στο Θρακικό πέλαγος το Δεκέμβριο του 2007.

3. Αποτελέσματα

3.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΝΕΑΡΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΤΟΥ ΓΑΥΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1.1 Βιολογικά δεδομένα

Η σύσταση του αλιεύματος στο σύνολο των σύρσεων έδειξε ότι τα κυρίαρχα είδη στην περιοχή μελέτης ήταν ο γαύρος (*Engraulis encrasicolus*) και η σαρδέλα (*Sardina pilchardus)*. Τα είδη που παρατηρήθηκαν επιπλέον ήταν η φρίσσα (*Sardinella aurita*), το σαυρίδι (*Trachurus mediterraneus*) και το σκουμπρί (*Scomber scombrus*).

Η αναλογία ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας στο συνολικό αλίευμα και η αναλογία των νεαρών ατόμων και των ενήλικων ατόμων των δύο ειδών ανά σύρση πελαγικής τράτας τον Ιούνιο του 2004, 2005, 2006 και τον Δεκέμβριο του 2007 παρουσιάζονται στο πίνακα 3.1. Ως νεαρά άτομα γαύρου θεωρήθηκαν άτομα μικρότερα από 110 mm (βλ. ενότητα 1.4.1) και ως νεαρά άτομα σαρδέλας θεωρήθηκαν άτομα μικρότερα από 120 mm (βλ. ενότητα 1.4.2). Τα αποτελέσματα όσον αφορά στην αναλογία νεαρών και ενήλικων ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας έδειξαν ότι στις θερινές δειγματοληψίες κυριαρχούσαν άτομα γαύρου μήκους >110 mm και άτομα σαρδέλας <120 mm (Πίνακας 3.1). Αντίθετα, κατά τη χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας παρατηρήθηκαν σε αυξημένα ποσοστά άτομα γαύρου μήκους <110 mm και σαρδέλες μήκους >120 mm (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1 Ποσοστό αριθμού ατόμων σαρδέλας στο συνολικό αλίευμα, νεαρών ατόμων (ν.α.) σαρδέλας στο αλίευμα της σαρδέλας, ενήλικων ατόμων (ε.α.) σαρδέλας στο αλίευμα της σαρδέλας, καθώς και ποσοστό αριθμού ατόμων γαύρου στο συνολικό αλίευμα, νεαρών ατόμων (ν.α.) γαύρου στο αλίευμα του γαύρου και ενήλικων ατόμων (ε.α.)γαύρου στο αλίευμα του γαύρου ανά περίοδο δειγματοληψίας και ανά σύρση πελαγικής τράτας.

Περίοδος δειγματο-ληψίας	***Σύρση πελαγικής τράτας***	***Ποσοστό σαρδέλας στο συνολικό αλίευμα (%)***	***Ποσοστό ν.α. στο αλίευμα σαρδέλας (%)***	***Ποσοστό ε.α. στο αλίευμα σαρδέλας (%)***	***Ποσοστό γαύρου στο συνολικό αλίευμα (%)***	***Ποσοστό ν.α. στο αλίευμα γαύρου (%)***	***Ποσοστό ε.α. στο αλίευμα γαύρου (%)***
Ιούνιος 2004	1	35,3	27,3	72,7	0	0	0
	2	0,06	0	100	98,5	0	100
	3	0	0	0	100	2,4	97,6
	4	0	0	0	99,4	0	100
	5	0	0	0	89	0	100
	6	0,84	100	0	99,16	9,7	90,3
	7	0	0	0	99,6	0,5	99,5
	8	0	0	0	98,8	1,2	98,8
	9	0	0	0	95,9	0	100
	10	99,2	99,9	0,1	0,2	100	0
	11	99,6	100	0	0	0	0
	12	100	100	0	0	0	0
	13	96,2	99,8	0,2	3,2	1	99
Ιούνιος 2005	1	19,1	100	0	80,2	8	92
	2	22	100	0	74,9	0	100
	3	3,8	100	0	95,9	8,5	91,5
	4	4,5	57	43	81,3	9,5	90,5
	5	2	88,2	11,8	97,3	0	100
	6	7,2	2,8	97,2	58,5	0	100
	7	0,04	0	100	97,9	0	100
	8	0	0	0	99,7	0	100
	9	7,4	0	100	22,2	0	100
	10	0,08	50	50	92	0	100
	11	0,02	0	100	96,1	0	100
	12	8	85,7	14,3	0	0	0
	13	13,3	100	0	0	0	0
	14	0	0	0	98	2,7	97,3
	15	3,3	95,7	4,3	90,8	5,3	94,7
	16	0	0	0	99,4	2,7	97,3
Ιούνιος 2006	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	96,1	0	100
	4	0	0	0	98	0	100
	5	0	0	0	97,4	0	100
	6	0	0	0	99,7	0	100
	7	0	0	0	100	0	100

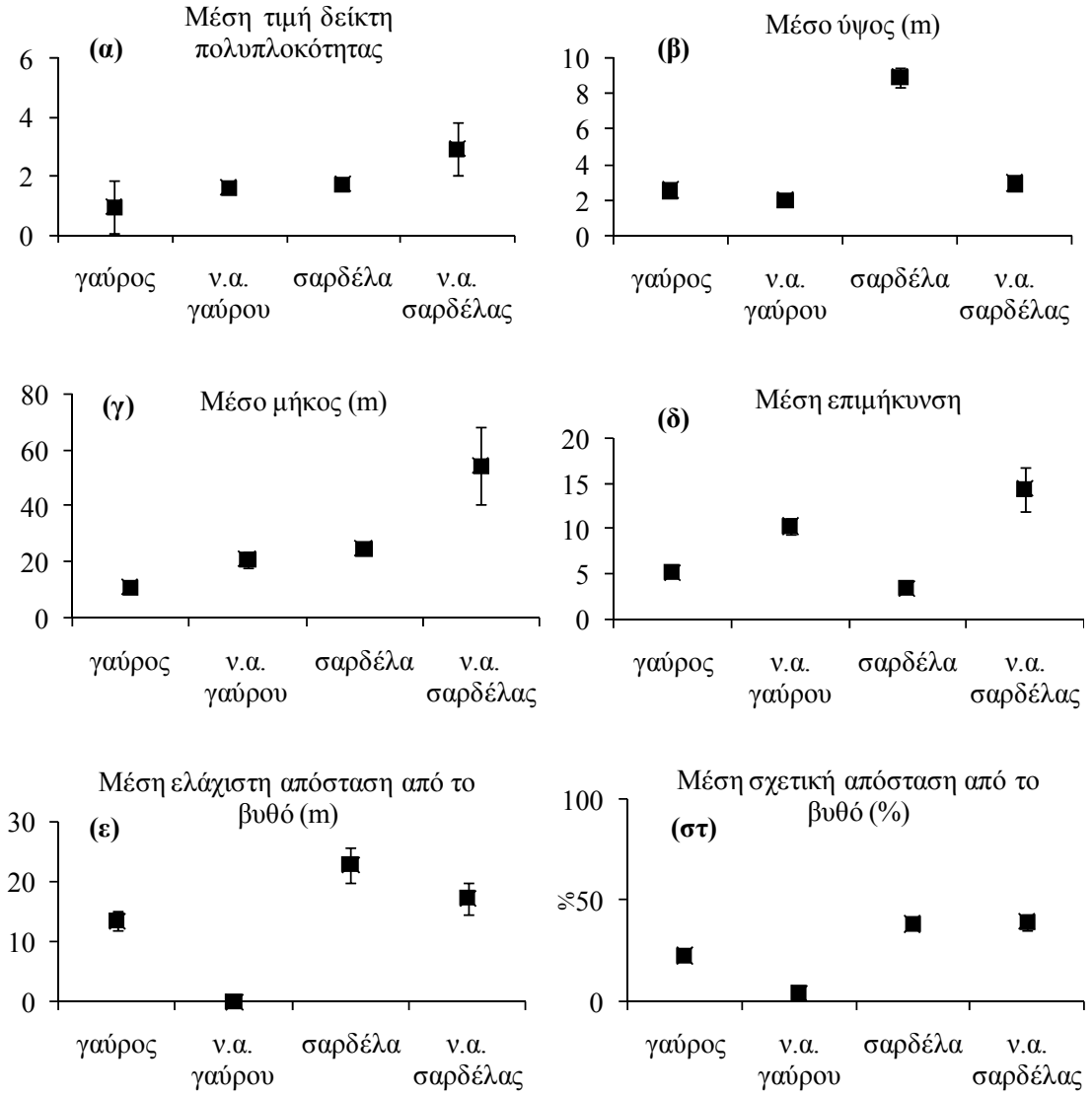
Πίνακας 3.1. (Συνέχεια)

Περίοδος δειγματο-ληψίας	*Σύρση πελαγικής τράτας*	*Ποσοστό σαρδέλας στο συνολικό αλίευμα (%)*	*Ποσοστό ν.α. στο αλίευμα σαρδέλας (%)*	*Ποσοστό ε.α. στο αλίευμα σαρδέλας (%)*	*Ποσοστό γαύρου στο συνολικό αλίευμα (%)*	*Ποσοστό ν.α. στο αλίευμα γαύρου (%)*	*Ποσοστό ε.α. στο αλίευμα γαύρου (%)*
Ιούνιος 2006	8	0	0	0	100	0	100
	9	99,6	7,7	92,3	0	0	0
	10	99,3	10,9	89,1	0,4	33,3	66,7
	11	0	0	0	98	0	100
	12	0	0	0	99	0	100
	13	0	0	0	99,4	0	100
	14	0	0	0	97,8	4,5	95,5
	15	3,7	100	0	95,9	31,3	68,7
	16	6,7	98,7	1,3	92,2	42,7	57,3
	17	0	0	0	98,6	9,6	90,4
	18	0,04	100	0	99,2	24	76
Δεκέμβριος 2007	1	0,1	22,2	77,8	99,5	99,1	0,9
	2	0,4	40	60	99,4	98,6	1,4
	3	0,7	73,3	26,7	98,9	98,2	1,8
	4	16,2	61,3	38,7	83,7	95,6	4,4
	5	22,3	54,3	45,7	65,7	99,3	0,7
	6	0	0	0	99,9	99,8	0,2
	7	0,9	36,7	63,3	99	99,7	0,3
	8	1,4	55,4	44,6	95,3	99	1
	9	0,7	40	60	99,2	98,6	1,4
	10	5,5	46,8	53,2	94,3	99,4	0,6
	11	2,6	73,4	26,6	97,3	91,9	8,1
	12	12,4	59,7	40,3	86,4	98,4	1,6
	13	5,4	22,6	77,4	93,5	99,7	0,3
	14	10,2	5	95	89,8	100	0

3.1.2 Διάκριση σχολείων

Η ταξινόμηση των σχολείων βασίστηκε στη μορφομετρία τους. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν έξι μορφομετρικά χαρακτηριστικά: ο δείκτης πολυπλοκότητας του σχήματος, το ύψος, το μήκος, η επιμήκυνση, η ελάχιστη απόσταση από το βυθό και η σχετική απόσταση από το βυθό για να διακρίνουμε τους τέσσερις τύπους σχολείων (σχολεία νεαρών ατόμων γαύρου, (ενήλικου) γαύρου, νεαρών ατόμων σαρδέλας, (ενήλικης) σαρδέλας). Τα σχολεία των νεαρών ατόμων σαρδέλας παρουσιάζουν την υψηλότερη μέση τιμή του δείκτη πολυπλοκότητας (δηλ. το πιο πολύπλοκο σχήμα) (Εικ. 3.1α), καθώς και τη μεγαλύτερη τιμή μέσου μήκους και επιμήκυνσης (Εικ. 3.1β,γ). Επίσης, παρουσιάζουν μέση σχετική απόσταση από το βυθό, περίπου 50%, επομένως απαντώνται στο μέσο της στήλης του νερού (Εικ. 3.1στ). Στη συνέχεια, τα σχολεία σαρδέλας παρουσιάζουν πιο «ομαλό» σχήμα από τα σχολεία των νεαρών ατόμων σαρδέλας (Εικ. 3.1α) και εμφανίζουν το μεγαλύτερο μέσο ύψος συγκριτικά με τους υπόλοιπους τύπους σχολείων, το οποίο φτάνει τα 9 μέτρα (Εικ. 3.1β).

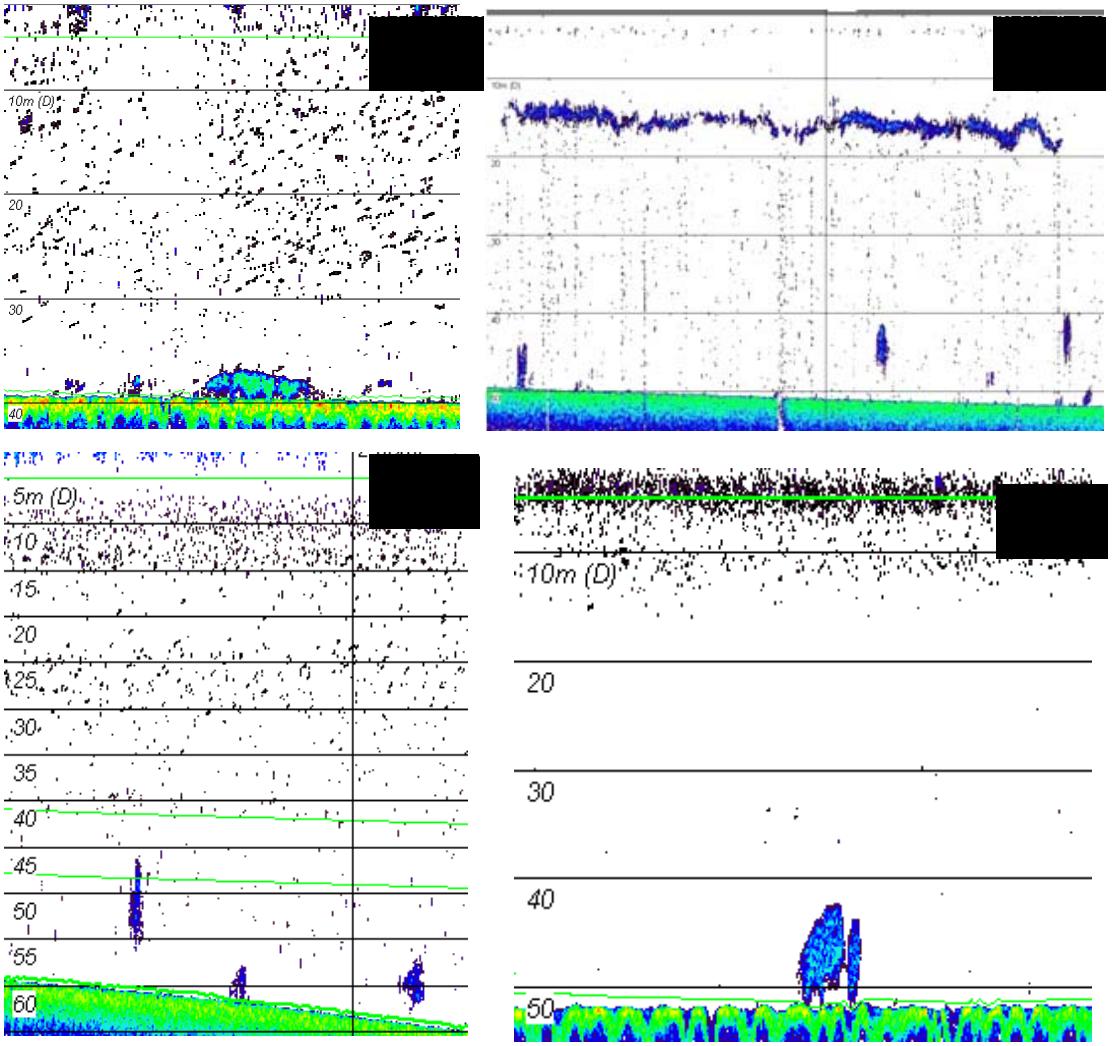
Όσον αφορά στα σχολεία νεαρών ατόμων γαύρου, παρουσιάζουν πιο «ομαλό» σχήμα από τα σχολεία νεαρών ατόμων σαρδέλας (Εικ. 3.1α), και παρόμοιο μέσο ύψος με τα σχολεία νεαρών ατόμων σαρδέλας και γαύρου (περίπου 2m) (Εικ. 3.1β). Η μέση επιμήκυνση των σχολείων των νεαρών ατόμων γαύρου προσεγγίζει αυτή των νεαρών ατόμων σαρδέλας (Εικ. 3.1δ) και η μέση ελάχιστη και μέση σχετική απόσταση από το βυθό είναι σχεδόν μηδενικές (Εικ. 3.1ε,στ). Τέλος, τα σχολεία γαύρου παρουσιάζουν το μικρότερο μέσο μήκος σε σύγκριση με τους υπόλοιπους τρεις τύπους σχολείων (Εικ. 3.1γ). Επίσης, παρουσιάζουν μικρότερη μέση σχετική απόσταση από το βυθό από τα νεαρά άτομα και ενήλικα άτομα σαρδέλας, αλλά μεγαλύτερη από αυτή των νεαρών ατόμων γαύρου (Εικ. 3.1στ).



Εικ. 3.6. Μέση τιμή του δείκτη πολυπλοκότητας (α), του ύψους (β), του μήκους (γ), της επιμήκυνσης (δ), της ελάχιστης απόστασης από το βυθό (ε) και της σχετικής απόστασης από το βυθό (στ) των σχολείων του γαύρου, των νεαρών ατόμων (ν.α) γαύρου, της σαρδέλας και των νεαρών ατόμων (ν.α) σαρδέλας. Απεικονίζεται και το τυπικό σφάλμα για κάθε περίπτωση.

Εξετάζοντας τη μέση επιμήκυνση των σχολείων, παρατηρούμε ότι τα σχολεία των νεαρών ατόμων είναι γενικά πιο επιμηκυμένα από αυτά των ενηλίκων (Εικ. 3.1α,β,γ,δ). Τα χαρακτηριστικά αυτά παρατηρούνται και στα παραδείγματα ηχογραμμάτων, όπου παρουσιάζονται τυπικά σχολεία νεαρών ατόμων γαύρου (Εικ. 3.2α), γαύρου (Εικ. 3.2γ), νεαρών ατόμων σαρδέλας (Εικ. 3.1β) και σαρδέλας (Εικ. 3.2δ) Στα ηχογράμματα αυτά βλέπουμε ότι τα σχολεία των νεαρών ατόμων γαύρου και σαρδέλας σχηματίζουν μακρόστενες δομές, καθώς επίσης ότι η μέση ελάχιστη απόσταση από το βυθό των σχολείων των νεαρών ατόμων του γαύρου είναι πολύ μικρή (σχεδόν μηδενική) σε αντίθεση με αυτή των σχολείων των νεαρών ατόμων της σαρδέλας. (Εικ. 3.2α,β).

Επιπλέον, είναι άξιο να σημειωθεί ότι στις θερινές δειγματοληψίες το μέσο βάθος βυθού που παρουσιάζονται νεαρά άτομα σαρδέλας είναι μικρότερο σε σύγκριση με των ενήλικων ατόμων σαρδέλας (μέσο βάθος βυθού νεαρών ατόμων σαρδέλας 47±17m και ενήλικη σαρδέλας 60±35m), ωστόσο η εξάπλωση τους σε κάποια βάθη επικαλύπτεται. Όσον άφορα στην χειμερινή δειγματοληψία, το μέσο βάθος βυθού που παρουσιάζονται νεαρά άτομα γαύρου είναι παρόμοιο με των ενήλικων ατόμων γαύρου (μέσο βάθος βυθού νεαρών ατόμων γαύρου 39±20m και ενήλικου γαύρου 36±15m).



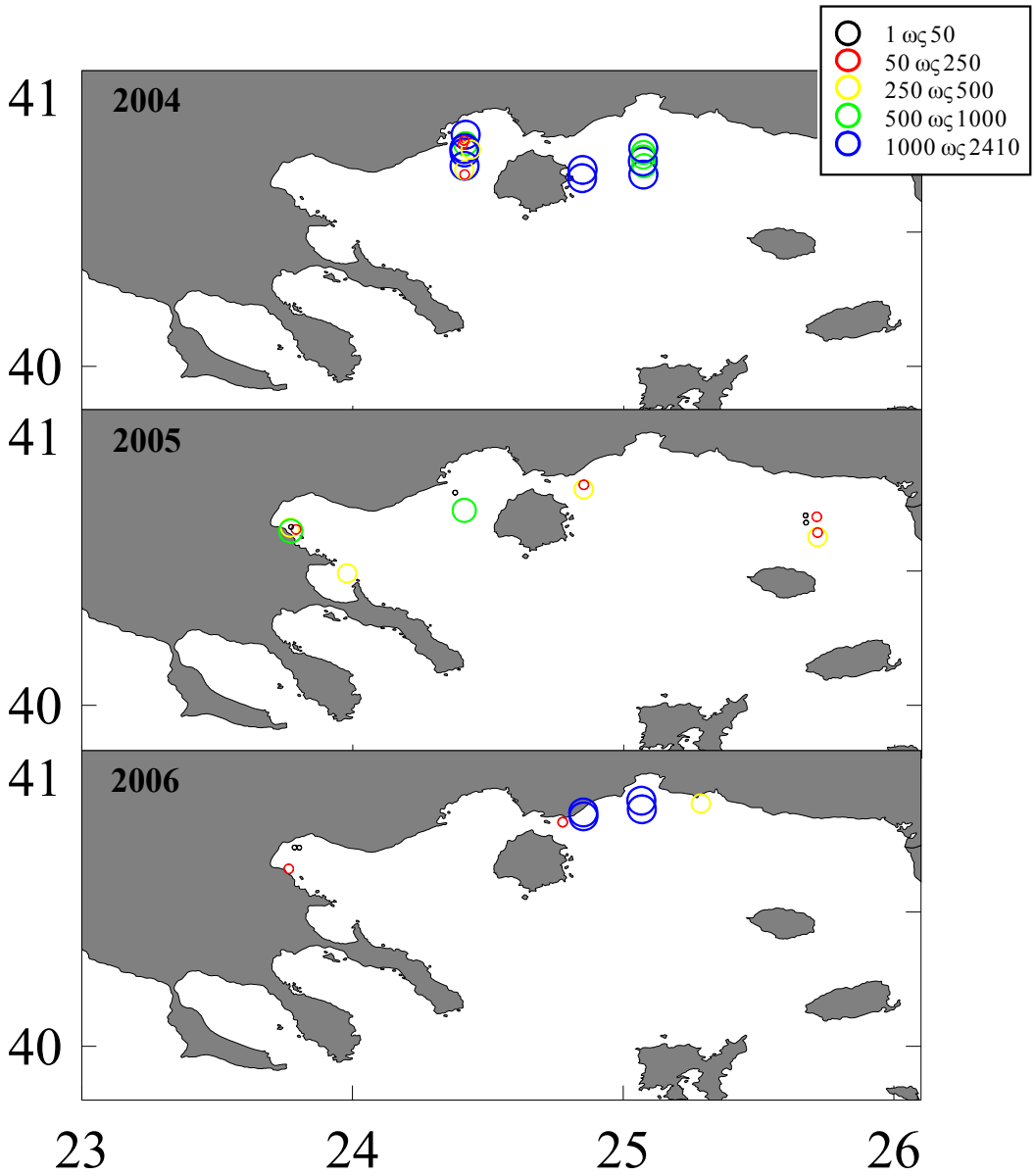
Εικ. 3.2. Απεικόνιση σε ηχόγραμμα κοπαδιού νεαρών ατόμων γαύρου (α), κοπαδιών νεαρών ατόμων σαρδέλας (β), κοπαδιών ενήλικού γαύρου (γ) και κοπαδιού ενήλικης σαρδέλας (δ).

3.1.3 Χάρτες κατανομής

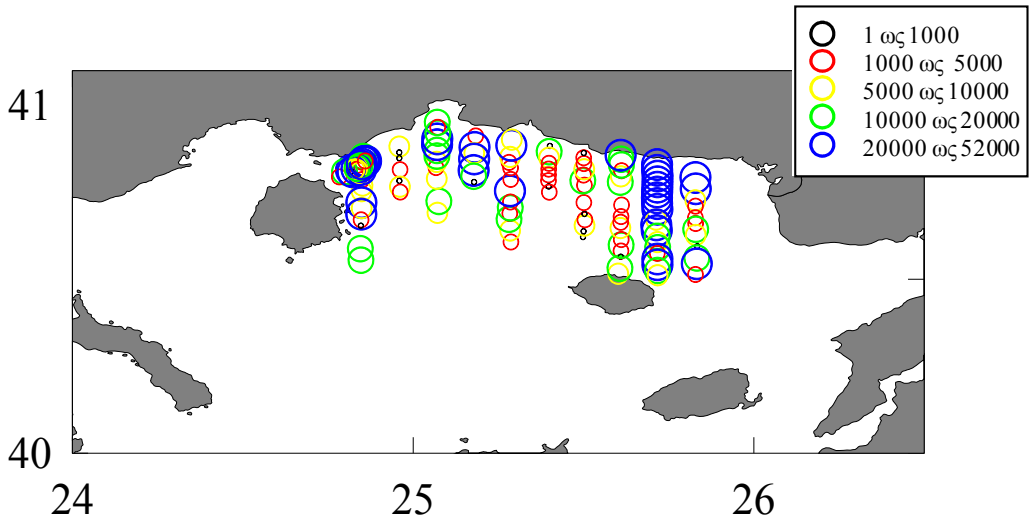
Οι χάρτες οριζόντιας κατανομής του οπισθοανακλώμενου ήχου (αφθονίας ήχου) των νεαρών ατόμων του γαύρου στο Θρακικό πέλαγος και της σαρδέλας στο Θρακικό πέλαγος και το Στρυμονικό κόλπο έδειξαν ότι τα είδη συγκεντρώνονται σε κόλπους με έντονη επίδραση ποταμών (Στρυμονικός και ο Βιστονικός κόλπος), στον κόλπο της Καβάλας, στις εκβολές του Νέστου και γενικά κοντά στις ακτές.

Συγκεκριμένα,

- τον Ιούνιο του 2004, υψηλές τιμές αφθονίας ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας παρατηρήθηκαν από τον Βιστονικό κόλπο μέχρι τα ανατολικά της Θάσου και στον κόλπο της Καβάλας (Εικ.3.1),
- τον Ιούνιο του 2005, οι μεγαλύτερες τιμές αφθονίας ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας παρατηρήθηκαν στον Στρυμονικό κόλπο και δυτικά της Θάσου, ωστόσο δεν παρατηρούνται πολύ υψηλές αφθονίες ήχου (Εικ.3.1),
- τον Ιούνιο του 2006, οι μεγαλύτερες τιμές αφθονίας ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας παρατηρήθηκαν στον Βιστονικό κόλπο και στις εκβολές του Νέστου (Εικ. 3.1), και
- τον Δεκέμβριο του 2007, υψηλές αφθονίες ήχου νεαρών ατόμων γαύρου παρατηρούνται κοντά στις ακτές και οι μεγαλύτερες αφθονίες ήχου παρατηρήθηκαν κυρίως στις εκβολές του Νέστου και μεταξύ της βορειοανατολικής Σαμοθράκης και της ηπειρωτικής ακτής (Εικ. 3.2).



Εικ. 3.3. Χάρτες κατανομής της αφθονίας ήχου (NASC, σε m^2/nmi^2) των νεαρών ατόμων σαρδέλας στο Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005 και 2006.



Εικ. 3.4. Χάρτες κατανομής της αφθονίας ήχου (m^2/nmi^2) των νεαρών ατόμων γαύρου στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007.

3.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

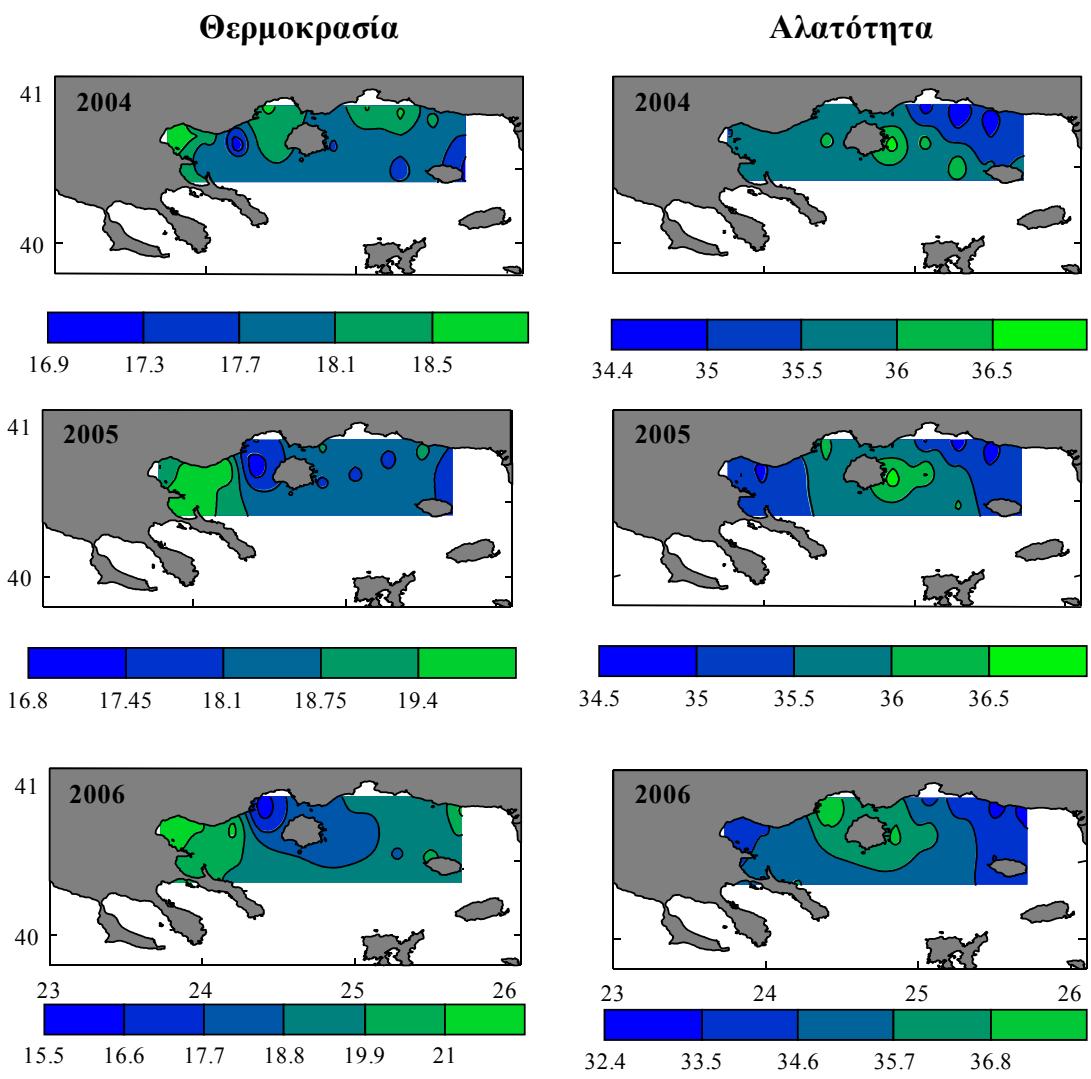
3.2.1 In situ περιβαλλοντικά δεδομένα

3.2.1.1 Θερινές δειγματοληψίες

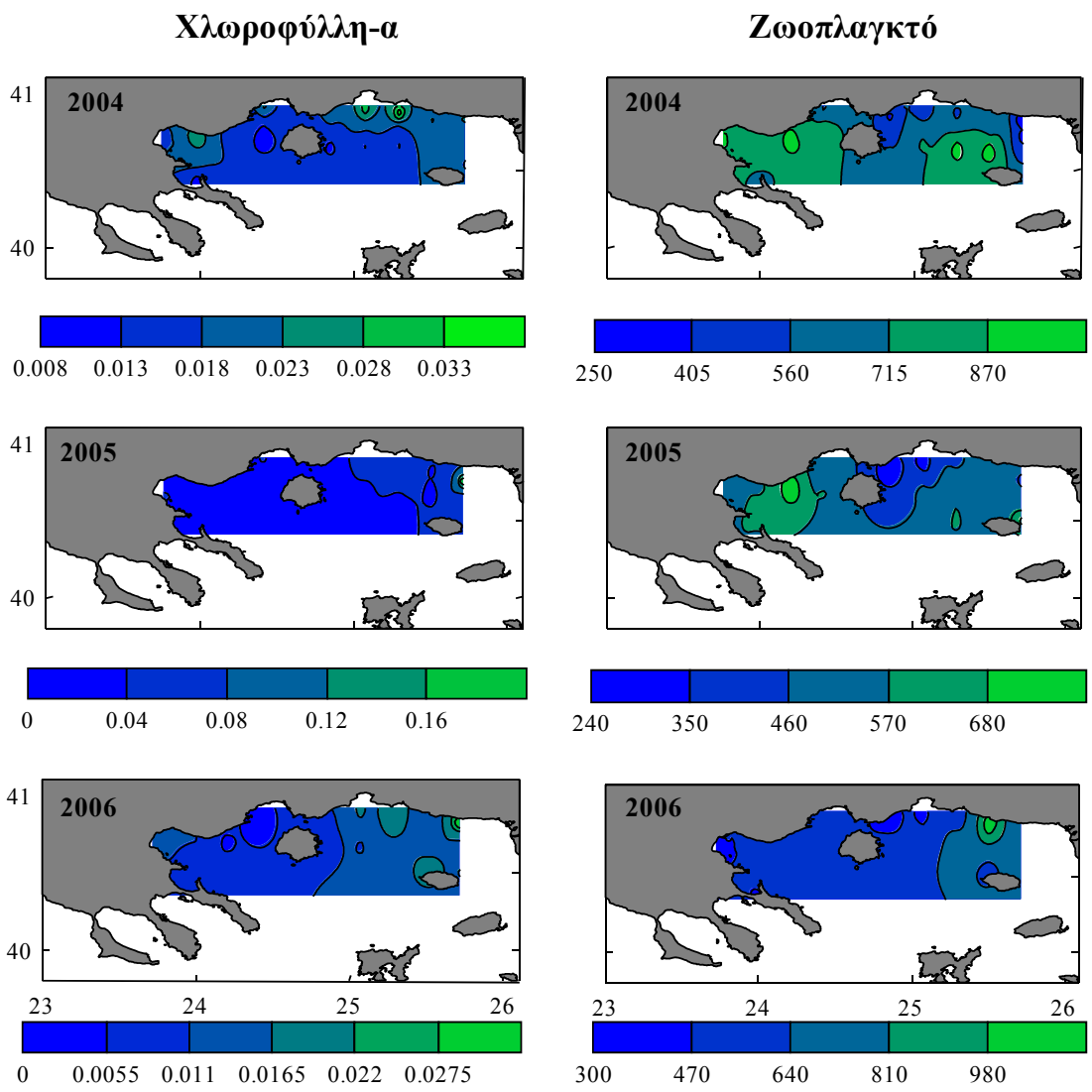
Στις εικόνες 3.10 και 3.11 παρουσιάζονται η κατανομή της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της (σχετικής) συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α στο Θρακικό πέλαγος και στο Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005 και 2006 στο ανώτερο στρώμα ανάμιξης (UML), όπου απαντήθηκαν κυρίως τα σχολεία νεαρών ατόμων σαρδέλας κατά τη διάρκεια της μέρας. Η κατανομή της βιομάζας του ζωοπλαγκτού αφορά στο σύνολο της κολώνας του νερού (Εικ. 3.11). Σύμφωνα με τα *in situ* περιβαλλοντικά δεδομένα των θερινών δειγματοληψιών το μέσο βάθος του UML είναι 37±14 m και το μέσο βάθος των σχολείων νεαρών ατόμων σαρδέλας είναι 18±4m, όπως υπολογίστηκε από τα ακουστικά δεδομένα του Ιουνίου 2004-2006. Επομένως, καταλήξαμε ότι τα σχολεία νεαρών ατόμων σαρδέλας εντοπίζονται εντός του UML.

Οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας, όσον αφορά στο UML της περιοχής μελέτης, καταγραφήκαν στον Στρυμονικό κόλπο όλες τις χρονιές και στον κόλπο της Καβάλας και στο Βιστονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004 (Εικ. 3.5). Αντίστοιχα, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν μεταξύ των κόλπων του Στρυμονικού και

της Καβάλας το 2004, βόρεια της Σαμοθράκης τον Ιούνιο του 2004, 2005 και στον κόλπο της Καβάλας τον Ιούνιο του 2005, 2006 (Εικ. 3.5). Σε ό,τι αφορά στην αλατότητα της περιοχής μελέτης στο UML οι υψηλότερες τιμές καταγράφηκαν ανατολικά της Θάσου τον Ιούνιο του 2004, 2005 και 2006, καθώς και στον κόλπο της Καβάλας τον Ιούνιο του 2006 (Εικ. 3.5). Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν από τη Σαμοθράκης μέχρι τις ηπειρωτικές ακτές το 2004, 2005 και 2006 και στον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2005, 2006 (Εικ. 3.5). Στη συνέχεια, απεικονίζεται η κατανομή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α στο UML και της βιομάζας του ζωοπλαγκτού στη στήλη του νερού στην περιοχή στο Θρακικού πελάγους και του Στρυμονικού κόλπου τον Ιούνιο του 2004, 2005 και 2006 (Εικ. 3.6). Οι υψηλότερες τιμές χλωροφύλλης-α παρουσιάζονται στο Βιστονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2006, στο Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004 και μεταξύ της Σαμοθράκης και της ηπειρωτικής ακτής τον Ιούνιο του 2005, 2006 (Εικ. 3.6). Όσον αφορά στη βιομάζα του ζωοπλαγκτού, παρατηρούμε αυξημένες τιμές στον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004 και 2005, μεταξύ Θάσου και Σαμοθράκης το 2004 και δυτικά της Αλεξανδρούπολης τον Ιούνιο του 2006 (Εικ. 3.6).



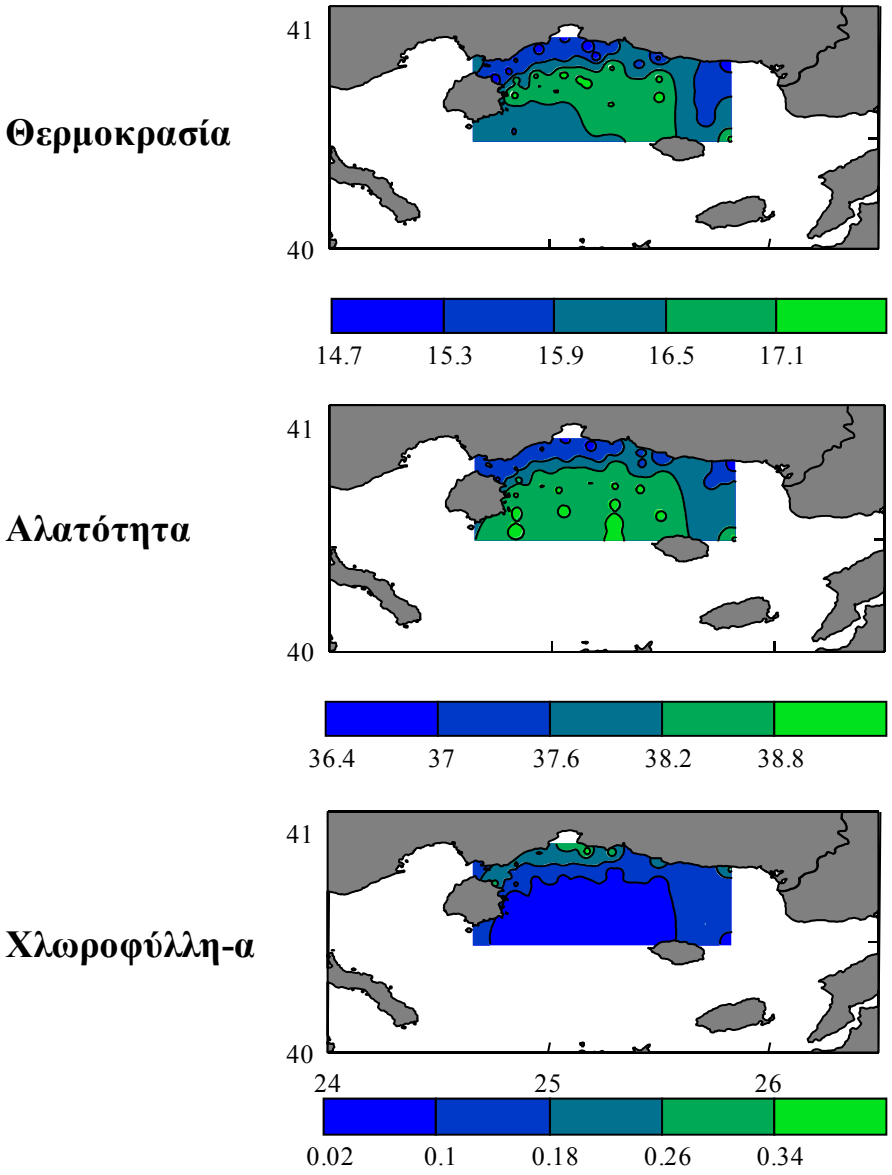
Εικ. 3.5. Η κατανομή της θερμοκρασίας (°C) και της αλατότητας (psu) στο UML, στο Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005 και 2006.



Εικ. 3.6. Κατανομή της σχετικής συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α (μg/l) στο UML και της βιομάζας του ζωοπλαγκτού (mg/m^2) στο σύνολο της κολώνας του νερού, στο Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005 και 2006.

3.2.1.2 Χειμερινή δειγματοληψία

Η κατανομή της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α στο BL (8m πάνω από το βυθό) τον Δεκέμβριο του 2007 στο Θρακικό πέλαγος απεικονίζονται στην εικόνα 3.7. Η πλειονότητα των σχολείων των νεαρών ατόμων γαύρου καταγράφηκε στο BL κι αυτός είναι ο λόγος που επικεντρωνόμαστε κυρίως στις περιβαλλοντικές παραμέτρους του συγκεκριμένου στρώματος της στήλης του νερού. Οι υψηλές θερμοκρασίες παρατηρούνται στην περιοχή μεταξύ Θάσου και Σαμοθράκης και οι χαμηλότερες θερμοκρασίες από τις εκβολές του Νέστου μέχρι το Βιστονικό κόλπο και από τη Σαμοθράκη μέχρι την ηπειρωτική ακτή (Εικ. 3.7). Σε ό,τι αφορά στην κατανομή της αλατότητας, παρατηρούμε πως συμπίπτει με την κατανομή της θερμοκρασίας, και τέλος οι υψηλότερες τιμές χλωροφύλλης-α καταγράφηκαν από τις εκβολές του Νέστου μέχρι τον Βιστονικό κόλπο (Εικ. 3.7).



Εικ. 3.7. Κατανομή της θερμοκρασίας (°C), της αλατότητας (psu) και της σχετικής συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α (μg/l) στο BL, στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007.

3.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

3.3.1 Επεξηγηματικά μοντέλα με βάση in situ περιβαλλοντικές παραμέτρους

Η επίδραση των *in situ* περιβαλλοντικών παραμέτρων στην παρουσία και στην αφθονία ήχου των νεαρών ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας μοντελοποιήθηκε με βάση τα GAMs. Στα διαγράμματα των GAMs παρουσιάζεται η επίδραση της κάθε περιβαλλοντικής παραμέτρου ως η καλύτερα εξομαλυμένη καμπύλη θεωρώντας ότι οι υπόλοιπες περιβαλλοντικές παράμετροι που εισέρχονται στο μοντέλο παραμένουν αμετάβλητες. Τα τυπικά σφάλματα κάθε μεταβλητής παρουσιάζονται με διακεκομμένες γραμμές στα αντίστοιχα διαγράμματα και η θετική επίδραση κάθε μεταβλητής (δηλ. η αυξημένη πιθανότητα παρουσίας/αφθονία ήχου) παρατηρείται σε τιμές που βρίσκονται πάνω από τον άξονα που διέρχεται από το μηδέν. Ο χ-άξονας του διαγράμματος της επίδρασης της κάθε παραμέτρου περιλαμβάνει το «χαλί» (rug) το οποίο αποτελείται από μια ακολουθία κάθετων γραμμών και είναι ενδεικτικό της πυκνότητας των σημείων της κάθε παραμέτρου που περιλαμβάνεται στο μοντέλο.

Οι παράμετροι που επιλέχτηκαν σε κάθε μοντέλο, οι υπολειπόμενοι βαθμοί ελευθερίας, η τιμή σημαντικότητας των τελικών μοντέλων καθώς και το ποσοστό της απόκλισης που ερμηνεύουν τα τελικά μοντέλα για την παρουσία ή για την αφθονία ήχου των νεαρών ατόμων σαρδέλας, παρουσιάζονται στους πίνακες 3.2 και 3.3 και αντιστοίχως για τα νεαρά άτομα του γαύρου παρουσιάζονται στους πίνακες 3.4 και 3.5. Τα μοντέλα των νεαρών ατόμων σαρδέλας βασίστηκαν στα συνολικά δεδομένα του Ιουνίου 2004-2006 που συλλέχθηκαν από τον Στρυμονικό κόλπο και το Θρακικό πέλαγος και τα μοντέλα των νεαρών ατόμων του γαύρου βασίστηκαν σε δεδομένα που συλλέχθηκαν τον Δεκέμβριο του 2007από το Θρακικό πέλαγος.

3.3.1.1 Επίδραση των in situ περιβαλλοντικών παραμέτρων στα νεαρά άτομα της σαρδέλας

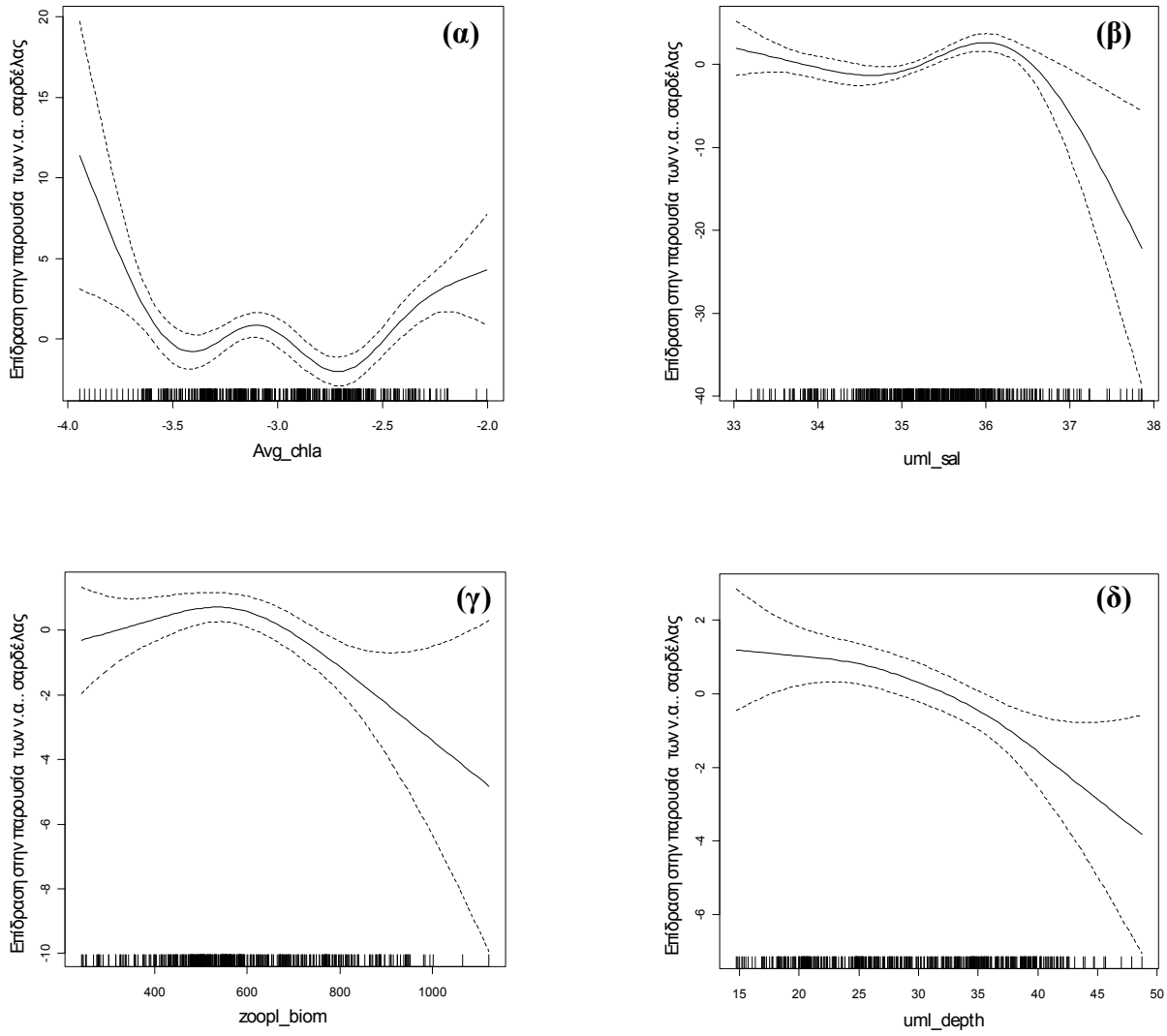
Η μέση σχετική συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α στη στήλη του νερού (Avg_chla), η βιομάζα ζωοπλαγκτού ανά m^2 στη στήλη του νερού (zoopl_biom), η μέση αλατότητα στο UML (uml_sal), το εύρος του UML (uml_depth) ήταν οι παράμετροι που εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο παρουσίας/απουσίας των νεαρών ατόμων

σαρδέλας (Πίνακας 3.2) και βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Σύμφωνα με τα διαγράμματα του GAM, σε ένα εκτεταμένο εύρος τιμών Avg_chla (0,02-0,05 μg/l & 0,08-0,14 μg/l) (Εικ. 3.8α), καθώς και σε zoopl_biom 360-630 mg/m^2 (δηλ. στις μεσαίες διαθέσιμες τιμές zoopl_biom) (Εικ. 3.8γ) παρατηρείται αυξημένη πιθανότητα παρουσίας νεαρών ατόμων σαρδέλας. Επίσης, σε τιμές uml_sal από 35,1 μέχρι 36,8 psu (δηλ. τις μεσαίες διαθέσιμες τιμές), καθώς και σε uml_depth 15-35 m εκτιμάται αυξημένη πιθανότητα παρουσίας.

Στο τελικό μοντέλο αφθονίας ήχου των νεαρών ατόμων σαρδέλας εισέρχονταν οι παράμετροι Avg_chla, uml_sal, uml_depth και το βάθος του βυθού (Πίνακας 3.3) και βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Σύμφωνα με τα διαγράμματα του GAM, στις μικρότερες διαθέσιμες τιμές Avg_chla (0,02-0,03 μg/l) (Εικ. 3.9α) και στις ίδιες τιμές uml_sal με το προηγούμενο μοντέλο (35,1-36,8 psu) (Εικ. 3.9β) παρατηρείται αυξημένη αφθονία ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας. Σε μικρά βάθη βυθού (36-48m) όταν συνδυάζονται με uml_depth 20-35m και επίσης σε πιο μεγάλα βάθη βυθού (51-85m) όταν συνδυάζονται με uml_depth 15-35m εκτιμούνται μεγάλες τιμές αφθονίας νεαρών ατόμων σαρδέλας (Εικ. 3.9γ,δ).

Πίνακας 3.2. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας:* Ανάλυση της απόκλισης (των σφαλμάτων) που εξηγούν οι συμμεταβλητές του τελικού GAM για την παρουσία/απουσία των νεαρών ατόμων της σαρδέλας στον Στρυμονικό κόλπο και το Θρακικό πέλαγος τον Ιούνιο του 2004-2006. Avg_chla: μέση σχετική συγκέντρωση χλωροφύλλης-α στη στήλη του νερού (νεπέριος λογάριθμος), ulm_sal: μέση αλατότητα στο UML, zoopl_biom: βιομάζα ζωοπλαγκτού ανά m^2 στη στήλη του νερού, ulm_depth: εύρος του UML. Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίζεται το 0,05. AIC: Akaike Information Criterion Value, P-value: τιμή σημαντικότητας.

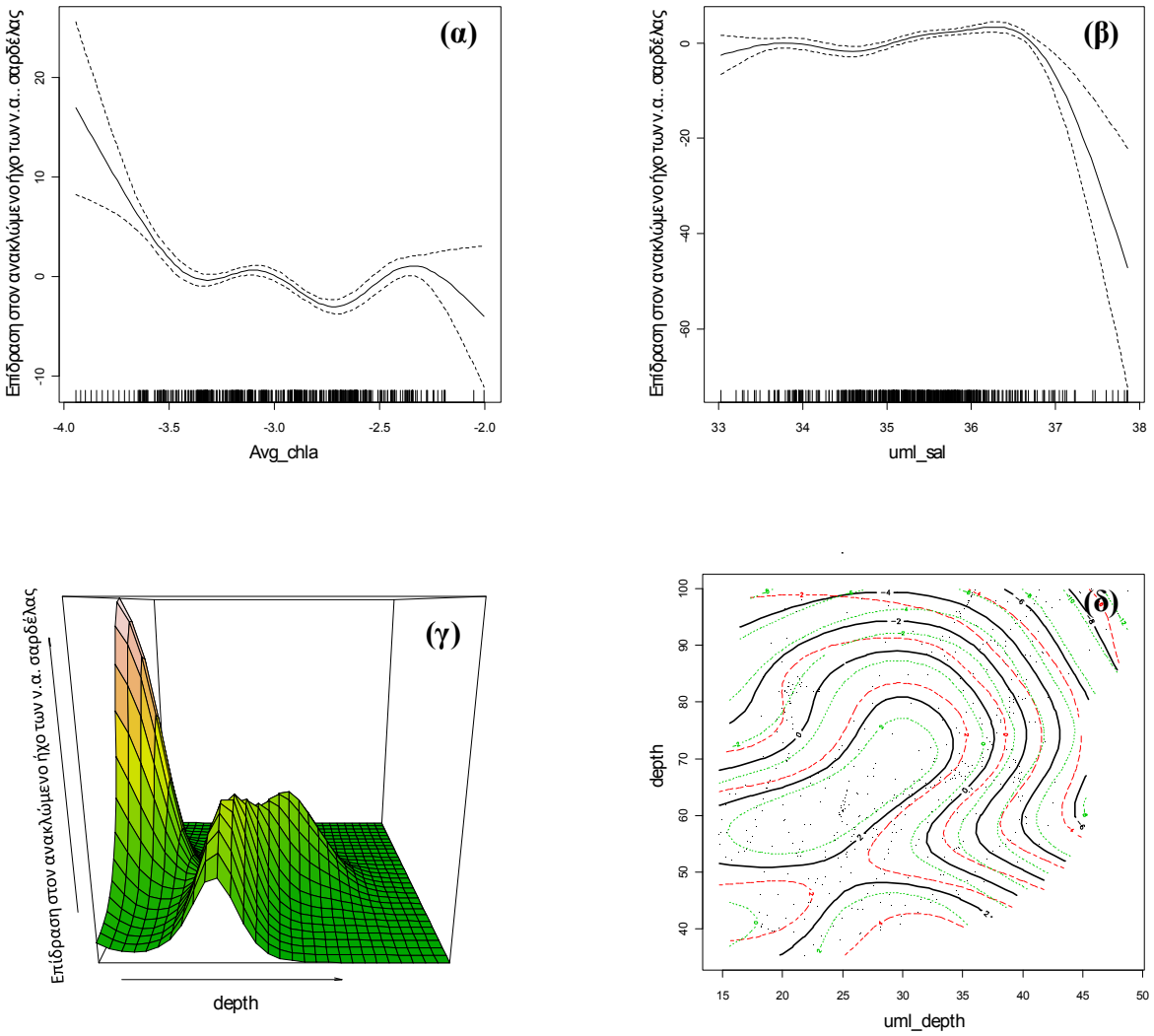
Παράμετροι	***Υπολειπόμενοι βαθμοί ελευθερίας***	***Υπολειπόμενη απόκλιση***	***Ποσοστό απόκλισης που εξηγείται (%)***	***AIC***	***p-value***
Αρχικό μοντέλο[6]	467	300,5		306	
s(Avg_chla)	461,3	271,5	10,7	285	<0,001
s(Avg_chla) + s(uml_sal)	457,5	236,5	21,9	257	<0.027
(Avg_chla) + s(uml_sal) + s(zoopl_biom)	455,6	215,3	28,4	240	<0,002
s(Avg_chla) + s(uml_sal) + s(zoopl_biom) + s(uml_depth)	452,9	199,3	33,7	229	<0,025
Συνολική απόκλιση (%) που εξηγείται			33,7		



Εικ. 3.8. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας:* Επιδράσεις της μέσης σχετικής συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α στη στήλη του νερού (σε μg/l) (νεπέριος λογάριθμος) (α), της μέσης αλατότητας στο UML (σε psu) (β), της βιομάζας του ζωοπλαγκτού ανά m^2 στη στήλη του νερού (σε mg) (γ), και του εύρους του UML (σε m) (δ) στην παρουσία των νεαρών ατόμων (ν.α.) σαρδέλας. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα τυπικά σφάλματα.

Πίνακας 3.3. *Μοντέλο αφθονίας ήχου:* Ανάλυση της απόκλισης (των σφαλμάτων) που εξηγούν οι συμμεταβλητές του τελικού GAM για την αφθονία ήχου (NASC) των νεαρών ατόμων της σαρδέλας στον Στρυμονικό κόλπο και το Θρακικό πέλαγος τον Ιούνιο του 2004-2006. uml_depth: εύρος του UML, Avg_chla: μέση σχετική συγκέντρωση χλωροφύλλης-α στη στήλη του νερού (νεπέριος λογάριθμος), ulm_sal: μέση αλατότητα στο UML, depth: βάθος βυθού. Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίζεται το 0,05. Η ένδειξη (:) δηλώνει αλληλεπίδραση. GCVscore: Generalized Cross-Validation score, P-value: τιμή σημαντικότητας.

Παράμετροι	***Υπολειπόμενοι βαθμοί ελευθερίας***	***Υπολειπόμενη απόκλιση***	***Ποσοστό απόκλισης που εξηγείται (%)***	***GCVscore***	***p-value***
Αρχικό μοντέλο	467	202867,8		1601	
s(uml_depth)	461,1	165694,6	19,4	351	<<0,000
s(uml_depth) + s(Avg_chla)	455,3	129153,3	37,1	281	<<0,000
s(uml_depth) + s(Avg_chla) + s(uml_sal)	451	107865,1	47,3	243	<<0,000
s(uml_depth:depth) + s(Avg_chla) + s(uml_sal)	442,6	85572,5	58,1	201	<<0,000
Συνολική απόκλιση (%) που εξηγείται			58,1		



Εικ. 3.9. *Μοντέλο αφθονίας ήχου:* Επιδράσεις της μέσης σχετικής συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α στη στήλη του νερού (σε μg/l) (νεπέριος λογάριθμος) (α), της μέσης αλατότητας στο UML (σε psu) (β), και της αλληλεπίδρασης του βάθους του βυθού (σε m) με το εύρος του UML (σε m) (γ,δ) στην αφθονία ήχου (NASC) των νεαρών ατόμων (ν.α.) σαρδέλας. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα τυπικά σφάλματα.

3.3.1.2 Επίδραση των in situ περιβαλλοντικών παραμέτρων στα νεαρά άτομα του γαύρου

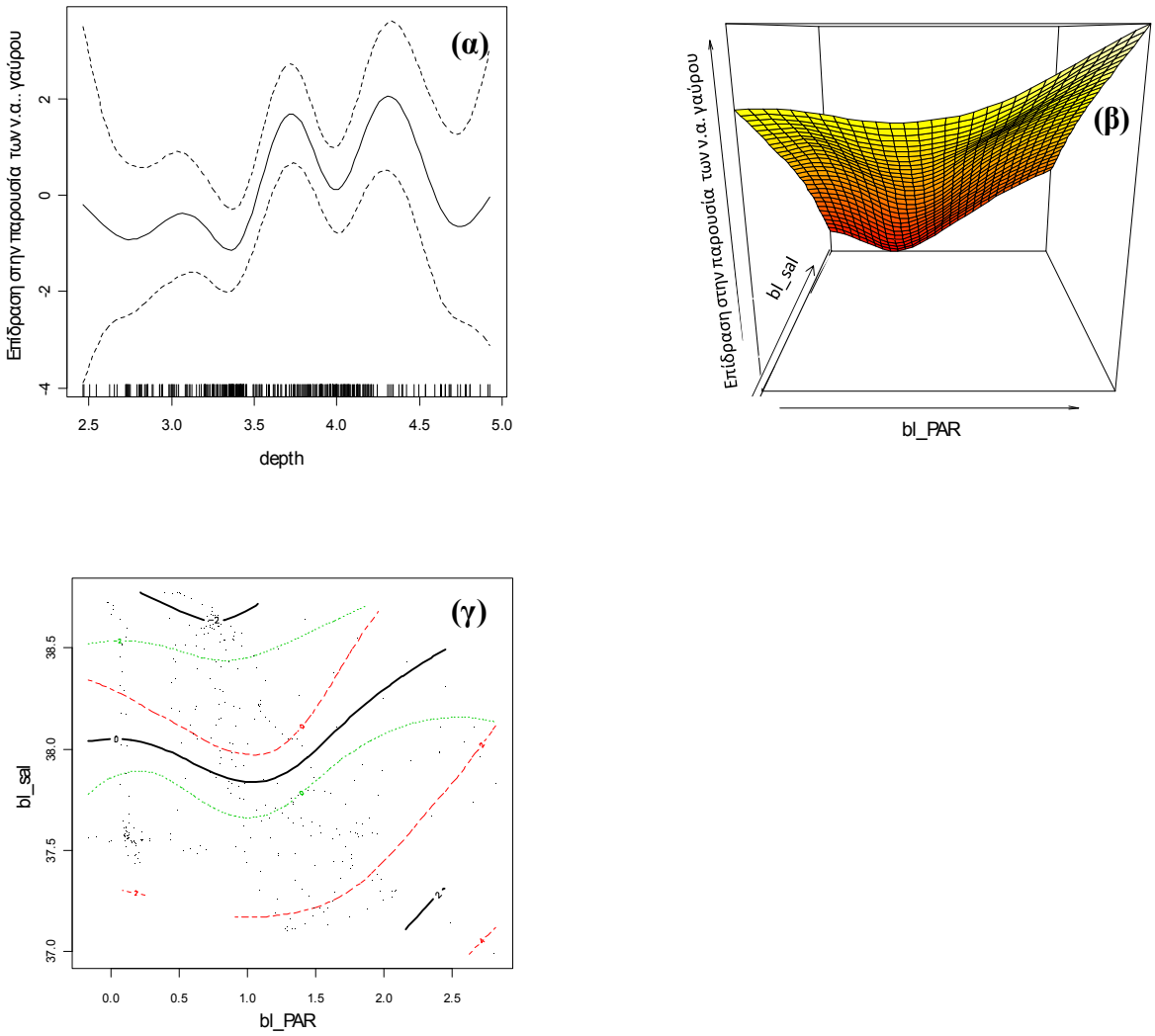
Η μέση αλατότητα στο BL (bl_sal), η μέση φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία στο BL (bl_PAR) και το βάθος του βυθού ήταν οι παράμετροι που εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο παρουσίας/απουσίας των νεαρών ατόμων γαύρου (Πίνακας 3.4) και βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Σύμφωνα με τα διαγράμματα του GAM, εκτιμάται αυξημένη πιθανότητα παρουσίας νεαρών ατόμων γαύρου σε περιοχές που παρουσιάζουν bl_sal 37-38 psu όταν συνυπάρχουν με

οποιαδήποτε τιμή bl_PAR (1-12 Ein/m^2/day), ωστόσο περιοχές που παρουσιάζουν bl_sal 38-38,4 psu επιδρούν θετικά στην παρουσία των νεαρών ατόμων γαύρου μόνον εφόσον συνδυάζονται με τις μεγαλύτερες διαθέσιμες τιμές bl_PAR (4,5-12 Ein/m^2/day) (Εικ. 3.10β,γ). Επιπρόσθετα, σε βάθη 33-102 m εκτιμάται αυξημένη πιθανότητα παρουσίας των νεαρών ατόμων του είδους (Εικ. 3.10α).

Στο τελικό μοντέλο αφθονίας ήχου των νεαρών ατόμων γαύρου εισέρχονταν οι παράμετροι Avg_chla, η μέση θερμοκρασία στο BL (bl_temp) και το βάθος του βυθού (Πίνακας 3.5) και βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Σύμφωνα με τα διαγράμματα του GAM, περιοχές με τιμές Avg_chla 0,20-0,33 μg/l (δηλ. τις υψηλότερες διαθέσιμες τιμές Avg_chla), παρουσιάζουν αυξημένες τιμές αφθονίας ήχου νεαρών ατόμων γαύρου (Εικ. 3.11α). Το ίδιο ισχύει και για περιοχές με βάθη 33-102 m που συνυπάρχουν με bl_temp 15,4-16,7 ^{o}C (μικρότερες και μεσαίες διαθέσιμες τιμές bl_temp) (Εικ. 3.11β,γ).

Πίνακας 2.4. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας:* Ανάλυση της απόκλισης (των σφαλμάτων) που εξηγούν οι συμμεταβλητές του τελικού GAM για την παρουσία/απουσία των νεαρών ατόμων του γαύρου στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007. bl_sal: μέση αλατότητα στο BL, depth: βάθος βυθού (νεπέριος λογάριθμος), bl_PAR: μέση φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία στο BL (νεπέριος λογάριθμος). Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίζεται το 0,05. Η ένδειξη (:) δηλώνει αλληλεπίδραση. AIC: Akaike Information Criterion Value, P-value: τιμή σημαντικότητας.

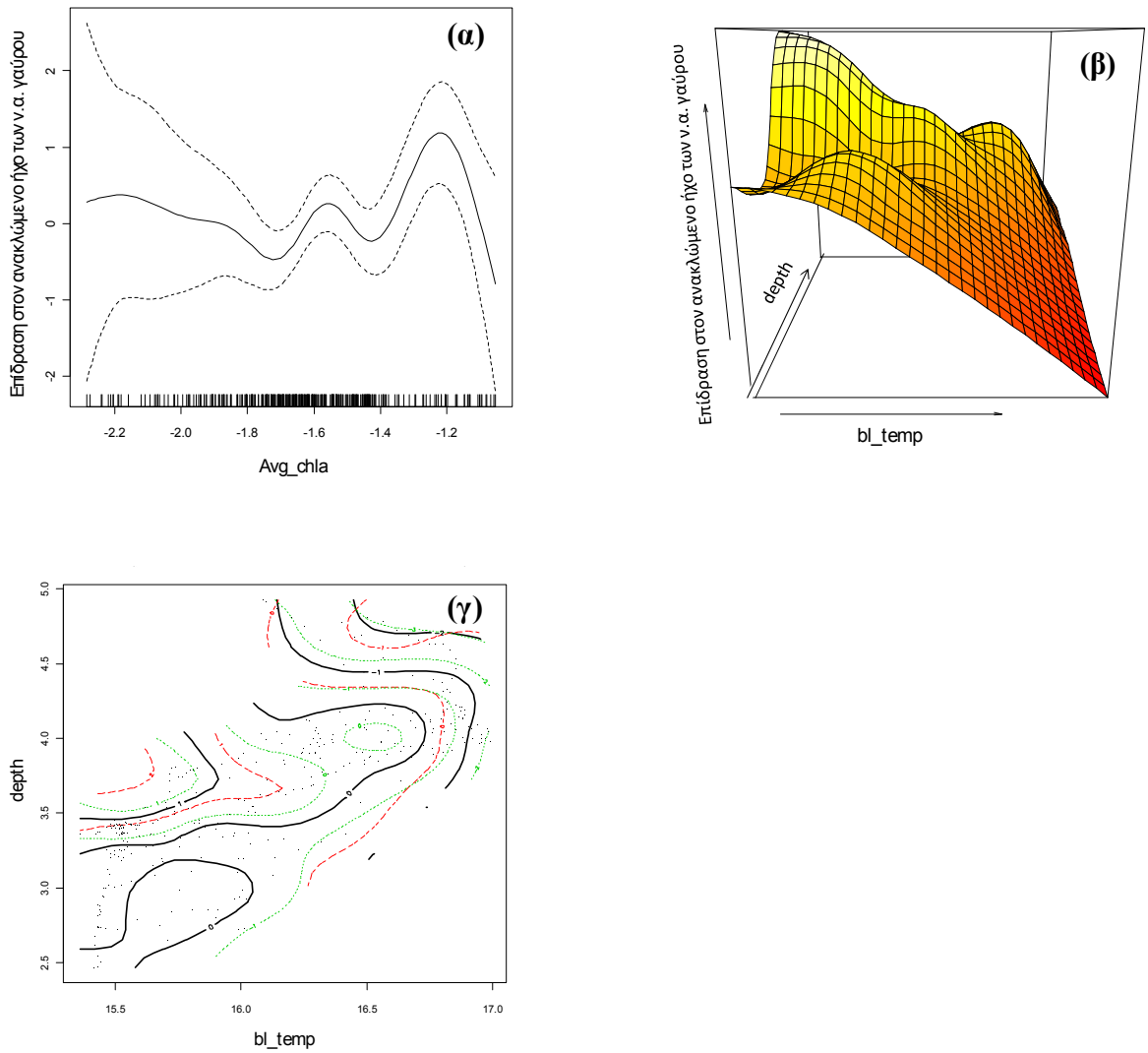
Παράμετροι	***Υπολειπόμενοι βαθμοί ελευθερίας***	***Υπολειπόμενη απόκλιση***	***Ποσοστό απόκλισης που εξηγείται (%)***	***AIC***	***p-value***
Αρχικό μοντέλο	320	389,2		413	
(bl_sal)	314,5	352,2	10,2	365	<<0,000
s(bl_sal)+ s(depth)	309,6	335	14,5	358	<0,020
s(bl_sal : bl_PAR) + s(depth)	306,2	325,1	16,5	240	<0,002
Συνολική απόκλιση (%) που εξηγείται			16,5		



Εικ. 3.10. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας:* Επιδράσεις του βάθους του βυθού (σε m) (νεπέριος λογάριθμος) (α), και της αλληλεπίδρασης της μέσης φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας στο BL(σε Ein/m^2/day) (νεπέριος λογάριθμος) με τη μέση τιμή αλατότητας στο BL (σε psu) (β,γ) στην παρουσία των νεαρών ατόμων (ν.α.) γαύρου. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα τυπικά σφάλματα.

Πίνακας 3.5. *Μοντέλο αφθονίας ήχου:* Ανάλυση της απόκλισης (των σφαλμάτων) που εξηγούν οι συμμεταβλητές του τελικού GAM για την αφθονία ήχου (NASC) των νεαρών ατόμων του γαύρου στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007. Avg_chla: μέση σχετική συγκέντρωση χλωροφύλλης-α στη στήλη του νερού (νεπέριος λογάριθμος), bl_temp: μέση θερμοκρασία στο BL, depth: βάθος βυθού (νεπέριος λογάριθμος). Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίζεται το 0,05. Η ένδειξη (:) δηλώνει αλληλεπίδραση. GCVscore: Generalized Cross-Validation score, P-value: τιμή σημαντικότητας.

Παράμετροι	***Υπολειπόμενοι βαθμοί ελευθερίας***	***Υπολειπόμενη απόκλιση***	***Ποσοστό απόκλισης που εξηγείται (%)***	***GCVscore***	***p-value***
Αρχικό μοντέλο	320	5629476		21124	
s(Avg_chla)	312,5	4760508	16,1	15546	<<0,000
s(Avg_chla) + s(bl_temp)	305,1	4314593	23,4	14934	<0,003
s(bl_temp : depth) + s(Avg_chla)	295,9	3836823	31,8	14171	<<0,000
Συνολική απόκλιση (%) που εξηγείται			31,8		



Εικ. 3.11. *Μοντέλο αφθονίας ήχου:* Επιδράσεις της μέσης σχετικής συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α στη στήλη του νερού (σε μg/l) (νεπέριος λογάριθμος) (α), και της αλληλεπίδρασης της μέσης θερμοκρασίας στο BL (σε ^{o}C) με το βάθους του βυθού (σε m) (νεπέριος λογάριθμος) (β,γ) στην αφθονία ήχου (NASC) των νεαρών ατόμων (ν.α.) γαύρου. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα τυπικά σφάλματα.

3.3.2 Μοντέλα πρόβλεψης με βάση δορυφορικές περιβαλλοντικές παραμέτρους

Η παρουσία/ αφθονία ήχου των νεαρών ατόμων γαύρου ή σαρδέλας τυποποιήθηκε με τη χρήση GAMs και δορυφορικών περιβαλλοντικών δεδομένων. Οι παράμετροι που επιλέχτηκαν σε κάθε μοντέλο, οι υπολειπόμενοι βαθμοί ελευθερίας, η τιμή σημαντικότητας των τελικών μοντέλων, καθώς και το ποσοστό της απόκλισης που ερμηνεύουν τα τελικά μοντέλα για την παρουσία ή για την αφθονία ήχου των νεαρών ατόμων σαρδέλας, παρουσιάζονται στους πίνακες 3.6 και 3.7 και αντιστοίχως για τα νεαρά άτομα του γαύρου παρουσιάζονται στους πίνακες 3.8 και 3.9. Τα μοντέλα των νεαρών ατόμων σαρδέλας βασίστηκαν σε δεδομένα από τον Στρυμονικό κόλπο και το Θρακικό πέλαγος τον Ιούνιο του 2004-2006 και χρησιμοποιήθηκαν στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που παρουσιάζουν πιθανότητα παρουσίας ή συνδέονται με αυξημένες αφθονίες ήχου των νεαρών ατόμων σαρδέλας στην ευρύτερη περιοχή του Θρακικού πελάγους και του Στρυμονικού κόλπου τον Ιούνιο του 2004, του 2005 και του 2006, ξεχωριστά. Τα αντίστοιχα μοντέλα των νεαρών ατόμων του γαύρου βασίστηκαν σε δεδομένα που συλλέχθηκαν από το Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007 και χρησιμοποιήθηκαν στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που παρουσιάζουν πιθανότητα παρουσίας ή συνδέονται με αυξημένες αφθονίες ήχου των νεαρών ατόμων γαύρου στην ευρύτερη περιοχή του Θρακικού πελάγους και του Στρυμονικού κόλπου τον Δεκέμβριο του 2007. Οι χάρτες κατανομής των τιμών που δίνουν τα παραπάνω μοντέλα παρουσιάζονται στις εικόνες 3.17- 3.20.

3.3.2.1 Προβλεπόμενη κατανομή των νεαρών ατόμων της σαρδέλας

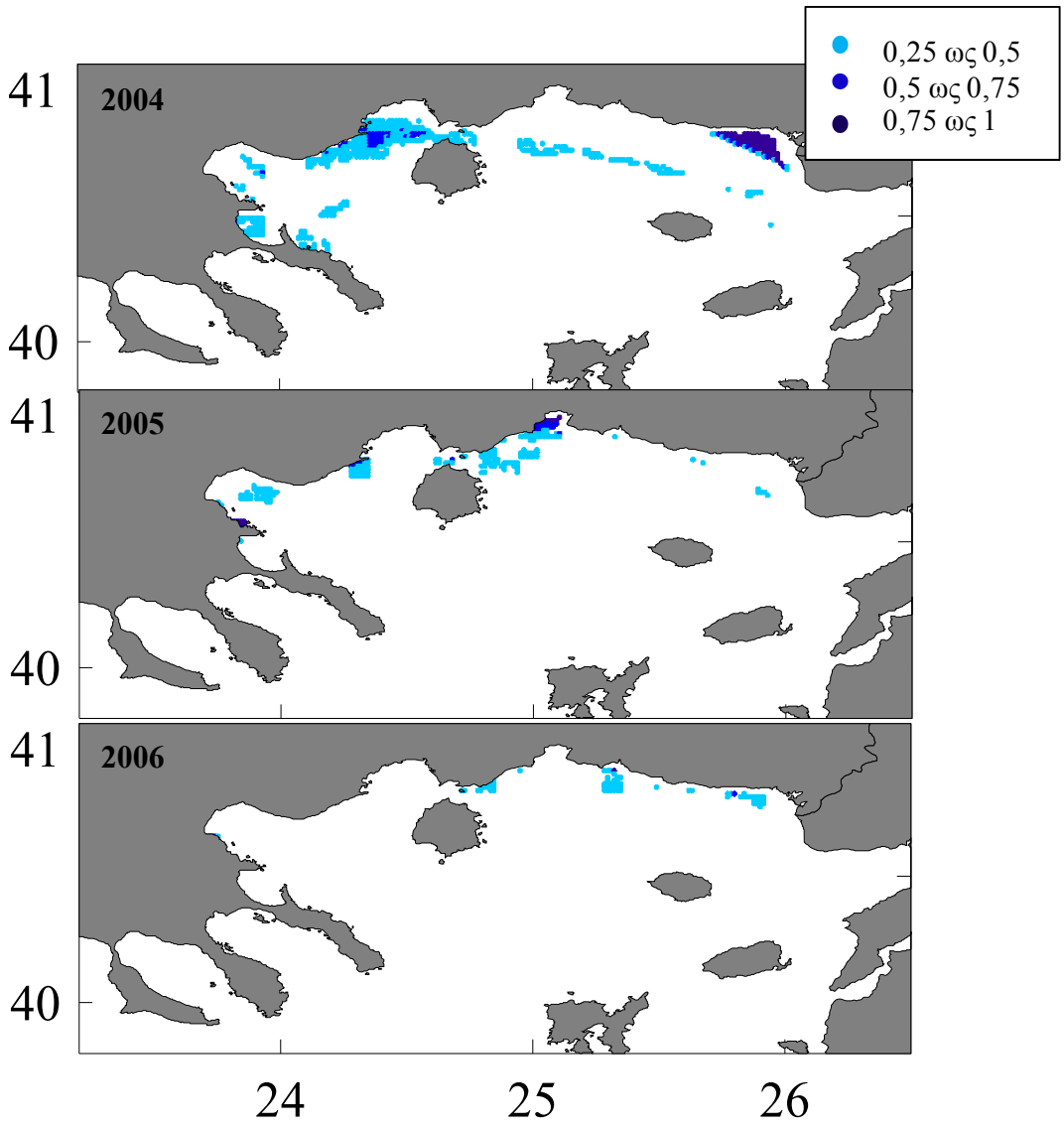
Η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας (SST), η αλατότητα στην επιφάνεια της θάλασσας (SSS), και η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) ήταν οι παράμετροι που εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο παρουσίας/απουσίας των νεαρών ατόμων σαρδέλας (Πίνακας 3.6) και βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Οι χάρτες κατανομής των περιβαλλοντικών συνθηκών για διαφορετικά εύρη πιθανοτήτων παρουσίας των νεαρών ατόμων σαρδέλας στον Στρυμονικό κόλπο και το Θρακικό πέλαγος δείχνουν ότι οι συνθήκες που συνδέονται με αυξημένη πιθανότητα παρουσίας νεαρών ατόμων σαρδέλας παρατηρούνται στον

κόλπο της Καβάλας, στον Βιστονικό κόλπο και στις ακτές της Αλεξανδρούπολης (Εικ. 3.12). Παρατηρούνται μεταβολές στην έκταση των περιοχών από χρονιά σε χρονιά ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Εικ. 3.12).

Η SST, η SSS και η PAR ήταν επίσης οι παράμετροι που εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο αφθονίας ήχου των νεαρών ατόμων σαρδέλας (Πίνακας 3.7) και βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Οι χάρτες κατανομής των περιβαλλοντικών συνθηκών που συνδέονται με αφθονίες ήχου των νεαρών ατόμων σαρδέλας στον Στρυμονικό κόλπο και το Θρακικό πέλαγος δείχνουν ότι οι συνθήκες στις οποίες παρατηρούνται αυξημένες αφθονίες ήχου εντοπίζονται στον Στρυμονικό κόλπο, στον κόλπο της Καβάλας, στον Βιστονικό κόλπο, στην περιοχή μεταξύ της Σαμοθράκης και της ηπειρωτικής ακτής, κοντά στις ακτές και γενικά ρηχότερα από την ισοβαθή των 80m (Εικ. 1.4 - βαθυμετρία περιοχής μελέτης, Εικ. 3.13). Η έκταση των περιοχών μεταβάλλεται από χρονιά σε χρονιά, ωστόσο οι περιοχές όπου εκτιμώνται οι υψηλότερες αφθονίες ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας παραμένουν σταθερές (Εικ. 3.13).

Πίνακας 3.6. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας:* Ανάλυση της απόκλισης (των σφαλμάτων) που εξηγούν οι συμμεταβλητές του τελικού GAM για την παρουσία/απουσία των νεαρών ατόμων της σαρδέλας στον Στρυμονικό κόλπο και το Θρακικό πέλαγος τον Ιούνιο του 2004-2006. SSS: αλατότητα στην επιφάνεια της θάλασσας, SST: θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας, PAR: φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία. Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίζεται το 0,05. AIC: Akaike Information Criterion Value, P-value: τιμή σημαντικότητας.

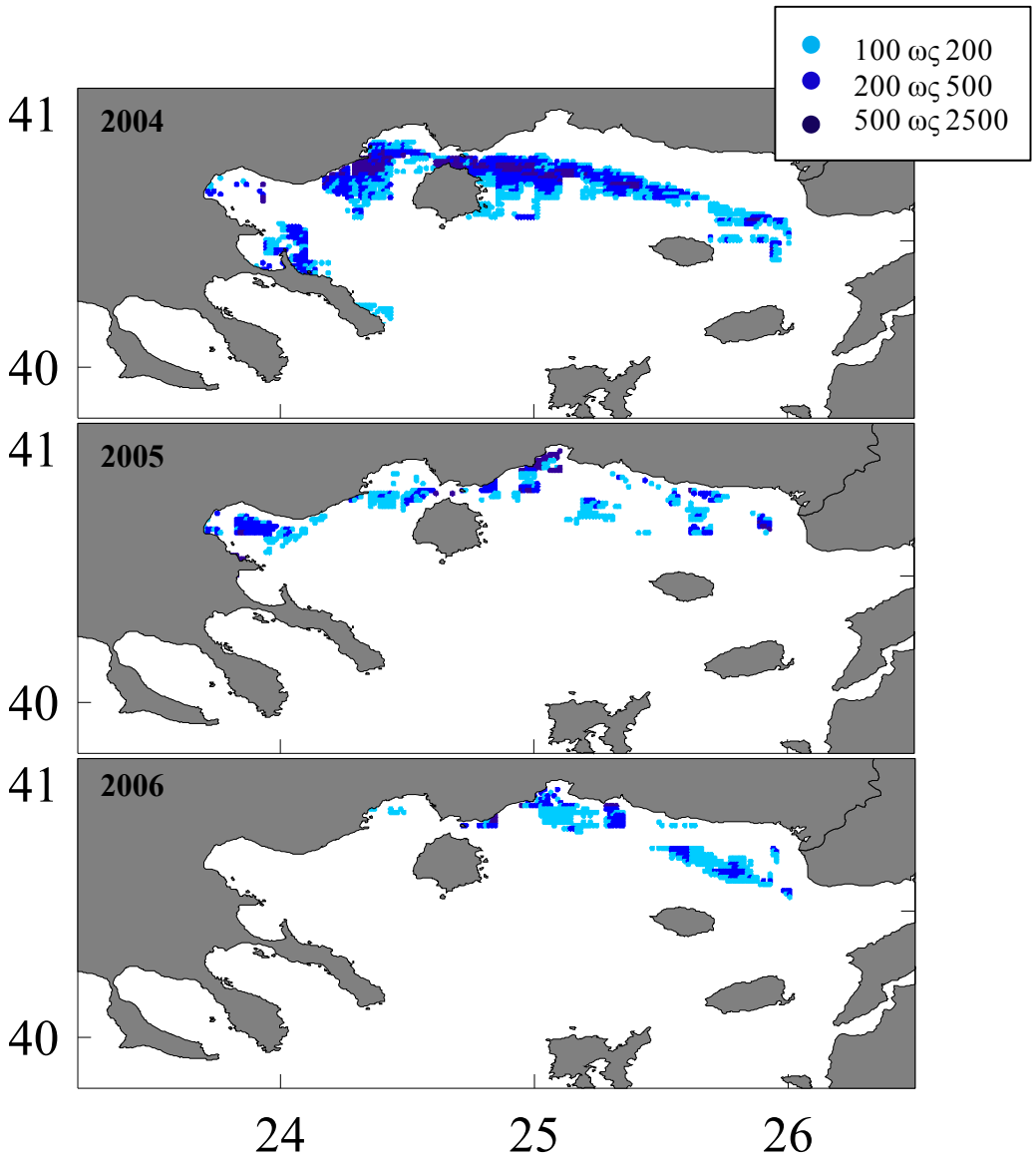
Παράμετροι	***Υπολειπόμενοι βαθμοί ελευθερίας***	***Υπολειπόμενη απόκλιση***	***Ποσοστό απόκλισης που εξηγείται (%)***	***AIC***	***p-value***
Αρχικό μοντέλο	476	255,1		306	
s(SSS)	470,1	207,2	27,4	221	<0,001
s(SSS)+s(SST)	465,2	179,6	29,6	203	<0,027
s(SSS)+s(SST)+s(PAR)	461,3	165,9	35	197	<0,020
Συνολική απόκλιση (%) που εξηγείται			35		



Εικ. 3.12. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας:* Χάρτες κατανομής περιβαλλοντικών συνθηκών που συνδέονται με εύρη προβλεπόμενης πιθανότητας παρουσίας των νεαρών ατόμων σαρδέλας στο Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005 και 2006.

Πίνακας 3.7. *Μοντέλο αφθονίας ήχου:* Ανάλυση της απόκλισης (των σφαλμάτων) που εξηγούν οι συμμεταβλητές του τελικού GAM για την αφθονία ήχου (NASC) των νεαρών ατόμων της σαρδέλας στον Στρυμονικό κόλπο και το Θρακικό πέλαγος τον Ιούνιο του 2004-2006. SSS: αλατότητα στην επιφάνεια της θάλασσας, SST: θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας, PAR: φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία. Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίζεται το 0,05. GCVscore: Generalized Cross-Validation score, P-value: τιμή σημαντικότητας.

Παράμετροι	***Υπολειπόμενοι βαθμοί ελευθερίας***	***Υπολειπόμενη απόκλιση***	***Ποσοστό απόκλισης που εξηγείται (%)***	***GCVscore***	***p-value***
Αρχικό μοντέλο	476	191627,6		1601	
s(SSS)	470,1	161506,6	16	345	<<0.000
s(SSS)+s(SST)	464,8	121643,6	36,5	269	<<0.000
s(SSS)+s(SST)+s(PAR)	458,2	92732,7	51,6	211	<<0.000
Συνολική απόκλιση (%) που εξηγείται			51,6		



Εικ. 3.13. *Μοντέλο αφθονίας ήχου:* Χάρτες κατανομής περιβαλλοντικών συνθηκών που συνδέονται με εύρη τιμών προβλεπόμενης αφθονίας ήχου (NASC) των νεαρών ατόμων σαρδέλας στο Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005 και 2006.

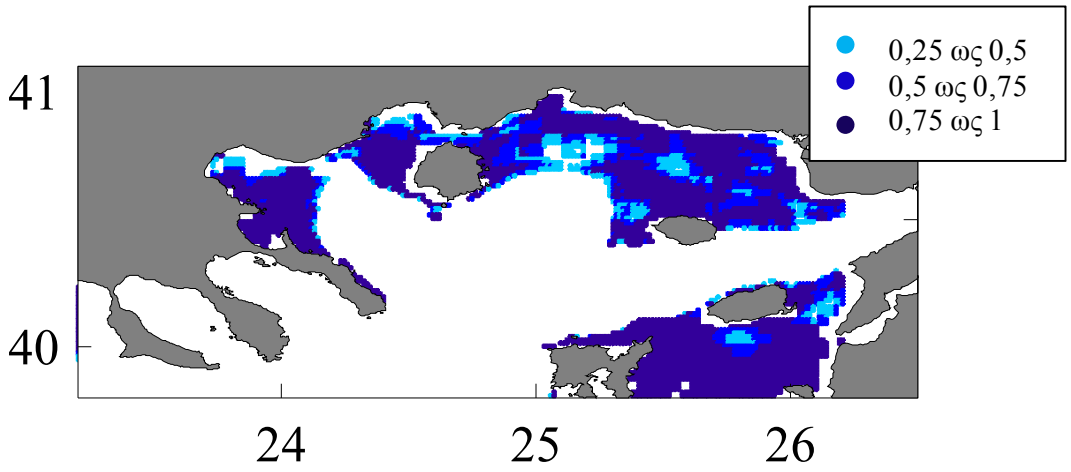
3.3.2.2 Προβλεπόμενη κατανομή των νεαρών ατόμων του γαύρου

Το βάθος του βυθού, η SSS, η PAR, καθώς και η μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας (SLA) ήταν οι παράμετροι που εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο παρουσίας/απουσίας των νεαρών ατόμων γαύρου (Πίνακας 3.8) και βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Ο χάρτης κατανομής των περιβαλλοντικών συνθηκών που συνδέονται με διάφορα εύρη προβλεπόμενης πιθανότητας παρουσίας των νεαρών ατόμων γαύρου στο Θρακικό πέλαγος και στο Στρυμονικό κόλπο δείχνει ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες που συνδέονται με αυξημένη πιθανότητα παρουσίας νεαρών ατόμων γαύρου βρίσκονται κοντά στις ακτές, κάτω από την ισοβαθή των 90m (Εικ. 1.4 - χάρτης βαθυμετρίας περιοχής μελέτης, Εικ. 3.14). Επίσης, η περιοχή μεταξύ της Λήμνου και της Ίμβρου παρουσιάζει συνθήκες που συνδέονται με αυξημένες πιθανότητες παρουσίας νεαρών ατόμων γαύρου (Εικ. 3.14).

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α (Chla), το βάθος του βυθού και η PAR ήταν οι παράμετροι που εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο αφθονίας ήχου των νεαρών ατόμων γαύρου (Πίνακας 3.9) και βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Ο χάρτης κατανομής περιβαλλοντικών συνθηκών που συνδέονται με διάφορες αφθονίες ήχου των νεαρών ατόμων γαύρου στο Θρακικό πέλαγος και στο Στρυμονικό κόλπο δείχνει ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες που συνδέονται με αυξημένη αφθονία ήχου βρίσκονται επίσης κοντά στις ακτές, κάτω από την ισοβαθή των 90m (Εικ. 1.4, 3.15). Ο κόλπος της Καβάλας, ο Βιστονικός κόλπος, η περιοχή μεταξύ της Σαμοθράκης και της ηπειρωτικής ακτής και η περιοχή περιμετρικά της Ίμβρου παρουσιάζουν συνθήκες που συνδέονται με αυξημένες αφθονίες ήχου νεαρών ατόμων γαύρου (Εικ. 3.15).

Πίνακας 3.8. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας:* Ανάλυση της απόκλισης (των σφαλμάτων) που εξηγούν οι συμμεταβλητές του τελικού GAM για την παρουσία/απουσία των νεαρών ατόμων του γαύρου στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007. Depth: βάθος βυθού (κυβική ρίζα), SSS: αλατότητα στην επιφάνεια της θάλασσας, SLA: αυξομείωση του επιπέδου της θάλασσας, PAR: φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία. Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίζεται το 0,05. Η ένδειξη (:) δηλώνει αλληλεπίδραση. AIC: Akaike Information Criterion Value, P-value: τιμή σημαντικότητας.

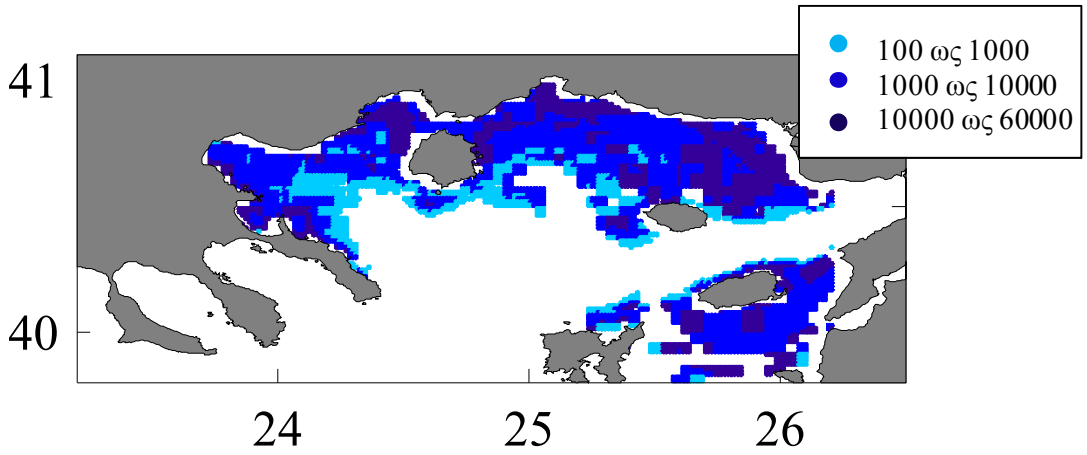
Παράμετροι	***Υπολειπόμενοι βαθμοί ελευθερίας***	***Υπολειπόμενη απόκλιση***	***Ποσοστό απόκλισης που εξηγείται (%)***	***AIC***	***p-value***
Αρχικό μοντέλο	304	379,2		413	
s(depth)	295,4	360,7	10,9	378	<0,004
s(depth) + s(SSS)	295,1	330,7	13,8	351	<0,002
s(depth) + s(SSS) + s(SLA)	286,6	307,6	19,7	345	<0,049
s(depth) + s(SSS) + s(SLA) + s(PAR)	277,5	272,4	28,2	327	<0,009
Συνολική απόκλιση (%) που εξηγείται			28,2		



Εικ. 3.14. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας:* Χάρτης κατανομής περιβαλλοντικών συνθηκών που συνδέονται με εύρη προβλεπόμενης πιθανότητας παρουσίας των νεαρών ατόμων γαύρου στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007.

Πίνακας 3.9. *Μοντέλο αφθονίας ήχου:* Ανάλυση της απόκλισης (των σφαλμάτων) που εξηγούν οι συμμεταβλητές του τελικού GAM για την αφθονία ήχου (NASC) των νεαρών ατόμων του γαύρου στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007. Chla: συγκέντρωση χλωροφύλλης-α (νεπέριος λογάριθμος), depth: βάθος βυθού (κυβική ρίζα), PAR: φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία. Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίζεται το 0,05. Η ένδειξη (:) δηλώνει αλληλεπίδραση. GCVscore: Generalized Cross-Validation score, P-value: τιμή σημαντικότητας.

Παράμετροι	***Υπολειπόμενοι βαθμοί ελευθερίας***	***Υπολειπόμενη απόκλιση***	***Ποσοστό απόκλισης που εξηγείται (%)***	***GCVscore***	***p-value***
Αρχικό μοντέλο	304	5517084		21124	
s(Chla)	295,4	5036885	11,5	17074	<0,001
s(Chla) + s(depth)	292,1	4578296	19	16078	<0,003
s(Chla) + s(depth) + s(PAR)	283,1	3963190	29,4	14968	<0,001
Συνολική απόκλιση (%) που εξηγείται			29,4		



Εικ. 3.15. *Μοντέλο αφθονίας ήχου:* Χάρτης κατανομής περιβαλλοντικών συνθηκών που συνδέονται με εύρη τιμών προβλεπόμενης αφθονίας ήχου (NASC) των νεαρών ατόμων γαύρου στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007.

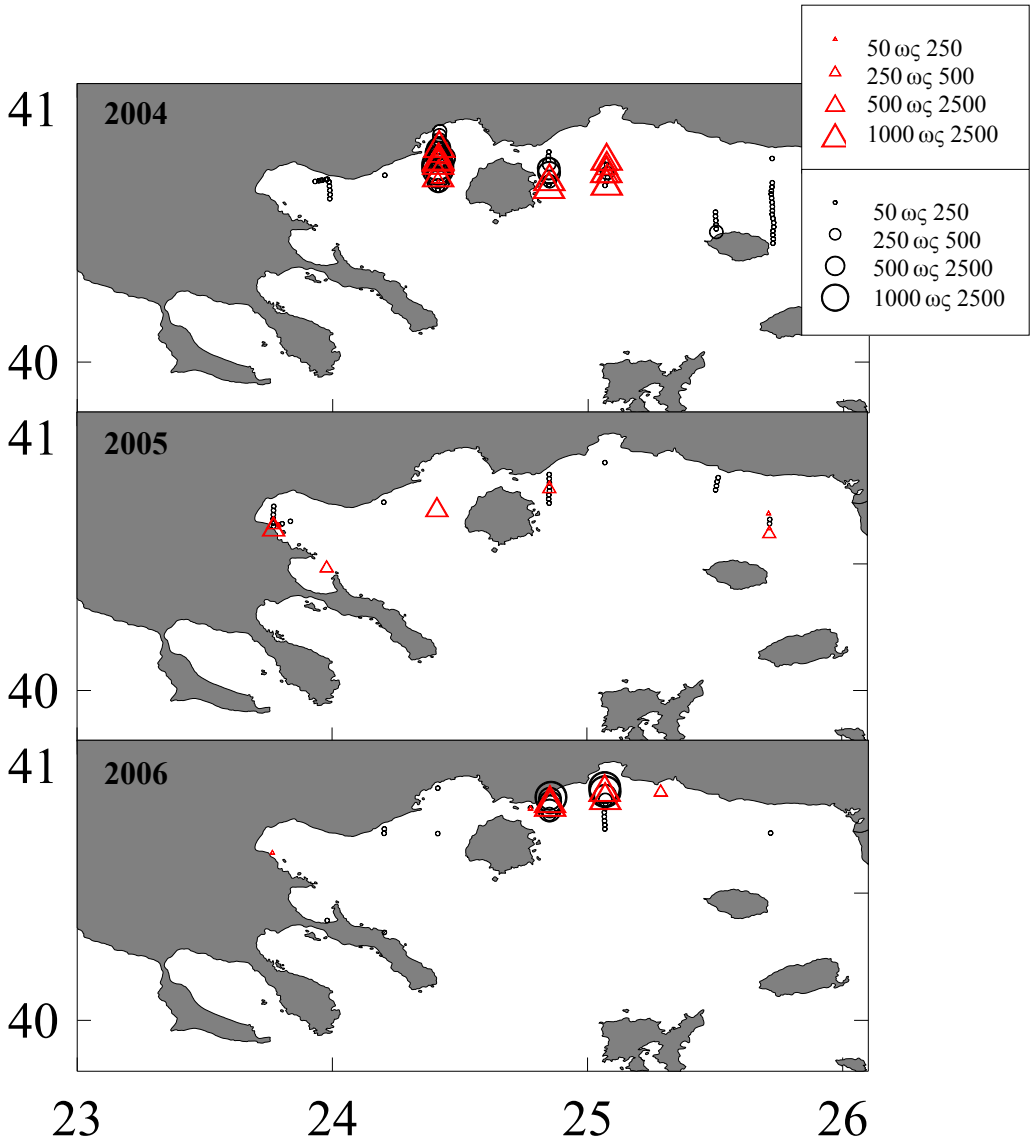
3.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

3.4.1 Αξιολόγηση των επεξηγηματικών μοντέλων

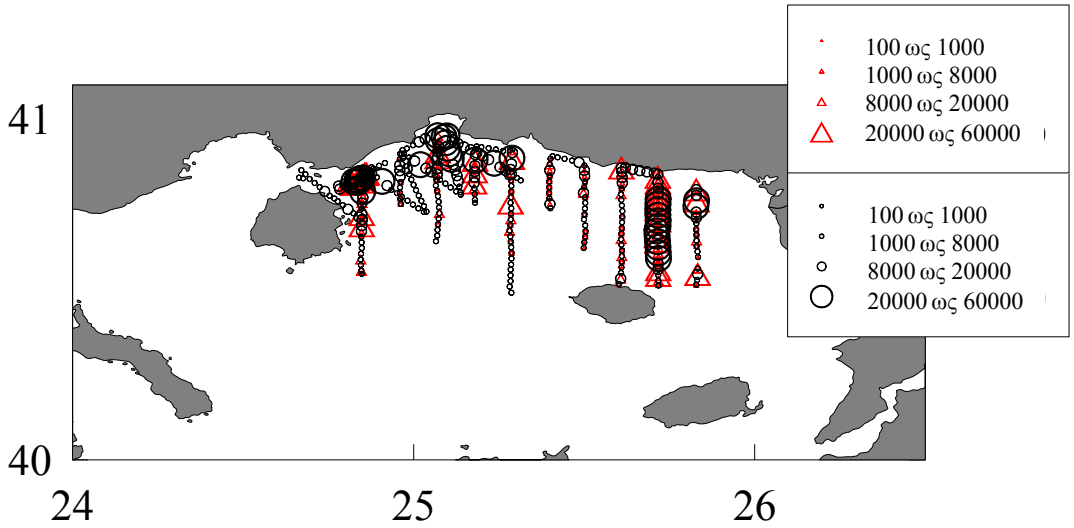
Τα επεξηγηματικά μοντέλα βασίστηκαν σε *in situ* περιβαλλοντικά δεδομένα και χρησιμοποιήθηκαν για να μας δώσουν πληροφορίες για τις περιβαλλοντικές συνθήκες που συνδέονται με την παρουσία ή την αυξημένη αφθονία ήχου των νεαρών ατόμων των υπό μελέτη ειδών. Τα επεξηγηματικά μοντέλα αφθονίας ήχου αξιολογήθηκαν μέσω της σύγκρισης των εκτιμούμενων από τα μοντέλα τιμών με τις μετρηθείσες τιμές. Αντίστοιχα, η διακριτική ικανότητα των μοντέλων παρουσία/απουσίας ελέγχθηκε με το κριτήριο AUC. Όσον αφορά στα μοντέλα των νεαρών ατόμων σαρδέλας, η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε για κάθε χρονιά χωριστά.

3.4.1.1 Αξιολόγηση μοντέλων αφθονίας ήχου

Η πλειονότητα των υψηλών τιμών αφθονίας ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας και γαύρου εκτιμήθηκαν από τα μοντέλα σε περιοχές όπου η μετρηθείσα αφθονία ήχου των ειδών αυτών ήταν υψηλή (Εικ. 3.16, 3.17). Γενικά, παρατηρείται η τάση τα μοντέλα αυτά να προβλέπουν μικρότερες μέγιστες τιμές σε σχέση με τις μετρηθείσες (Εικ. 3.16, 3.17). Επίσης, οι υψηλότερες τιμές ήχου τόσο όσον αφορά τις μετρηθείσες όσο και τις προβλεπόμενες παρατηρούνται κοντά στις ακτές (Εικ. 3.16, 3.17).



Εικ. 3.16. *Μοντέλο αφθονίας ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας-in situ περιβαλλοντικά δεδομένα:* Συγκριτικός χάρτης κατανομής της προβλεπόμενης αφθονίας ήχου (κύκλοι) και της μετρηθείσας αφθονίας ήχου (τρίγωνα) των νεαρών ατόμων σαρδέλας στο Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005 και 2006.



Εικ. 3.17. *Μοντέλο αφθονίας ήχου νεαρών ατόμων γαύρου-in situ περιβαλλοντικά δεδομένα:* Συγκριτικός χάρτης κατανομής της προβλεπόμενης αφθονίας ήχου (κύκλοι) και της μετρηθείσας αφθονίας ήχου (τρίγωνα) των νεαρών ατόμων γαύρου στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007

3.4.1.2 Αξιολόγηση μοντέλων παρουσίας/απουσίας

Το τελικό μοντέλο των συνθηκών παρουσίας/απουσίας σχολείων των νεαρών ατόμων σαρδέλας που βασίστηκε σε δεδομένα των ετών 2004-2006 αξιολογήθηκε για κάθε χρονιά πρόβλεψης χωριστά, υπολογίζοντας το κριτήριο AUC των τριών ROC γραφημάτων που αντιστοιχούν στις τρεις περιόδους (Ιούνιο 2004, 2005, 2006) (Εικ. 3.18). Εφόσον οι τιμές του κριτηρίου AUC ξεπερνούν το 0,7 και τις τρεις χρονιές (Πίνακας 3.10), σύμφωνα με τους Manel *et al.* (2001) αναφερόμαστε σε ένα μοντέλο αξιόπιστο για εφαρμογές, όσον αφορά στο Θρακικό πέλαγος και στο Στρυμονικό κόλπο. Ωστόσο, τον Ιούνιο του 2004 η τιμή του κριτηρίου AUC είναι μεγαλύτερη του 0,9 (Πίνακας 3.10), το οποίο δηλώνει την υψηλή διακριτική ικανότητα του μοντέλου για την συγκεκριμένη περίοδο (Manel *et al.* 2001). Το επεξηγηματικό μοντέλο των συνθηκών παρουσίας/απουσίας νεαρών ατόμων γαύρου παρουσιάζει τιμή AUC ίση με 0,71 (Πίνακας 3.11), δείχνοντας επίσης ότι το μοντέλο είναι αξιόπιστο για τον Δεκέμβριο του 2007 (Manel *et al.* 2001).

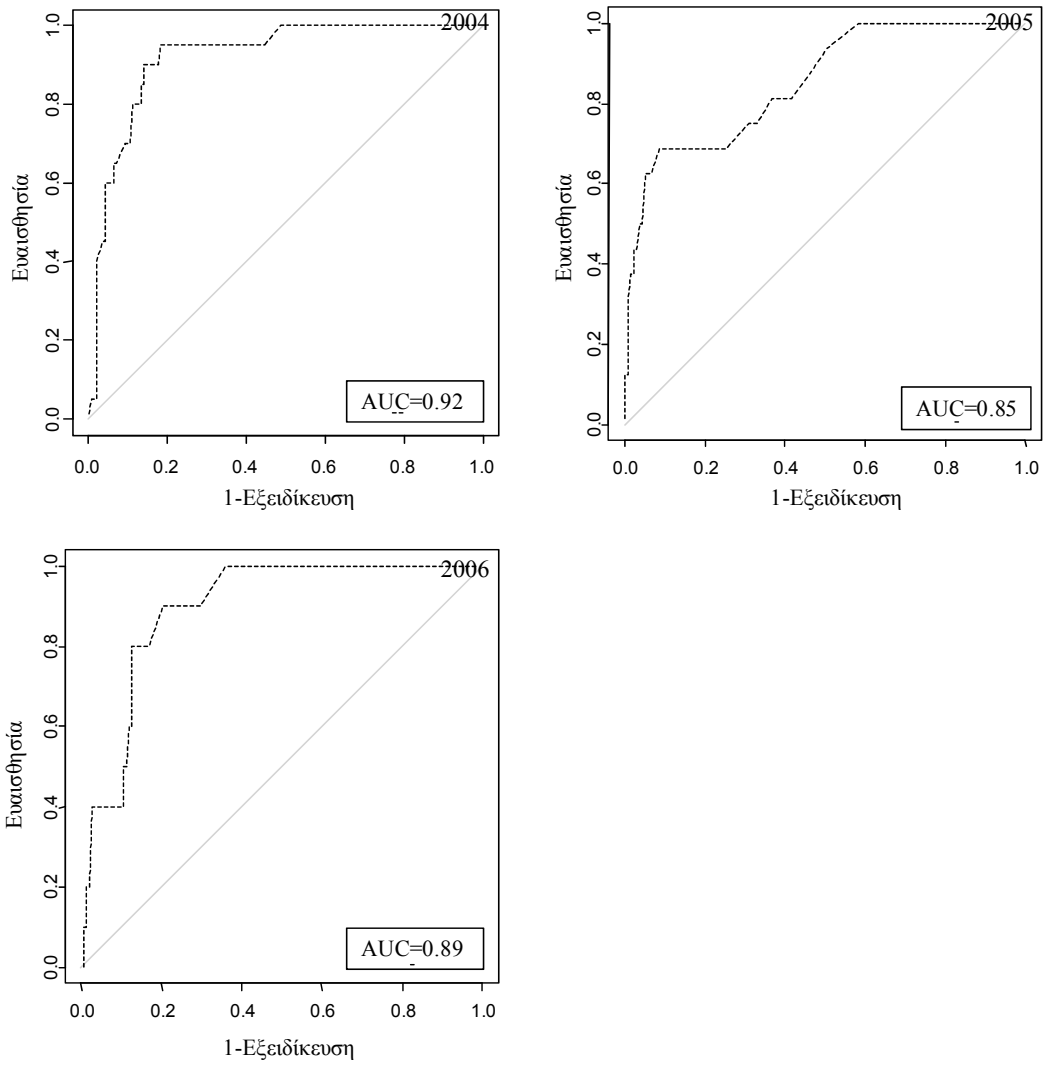
Πίνακας 3.10. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας νεαρών ατόμων σαρδέλας-in situ περιβαλλοντικά δεδομένα:* Έλεγχος διακριτικής ικανότητας του μοντέλου στο Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005, 2006. AUC: επιφάνεια κάτω από την ROC καμπύλη, N: ο αριθμός των παρατηρήσεων.

Έτος	**N**	**AUC**
2004	161	0,92
2005	155	0,85
2006	151	0,89

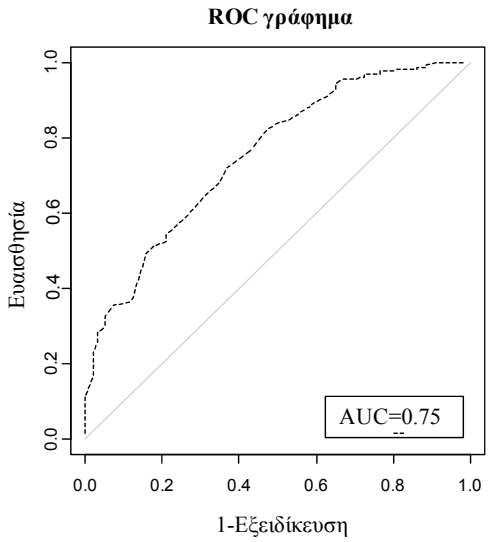
Πίνακας 4.11. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας νεαρών ατόμων γαύρου-in situ περιβαλλοντικά δεδομένα:* Έλεγχος διακριτικής ικανότητας του μοντέλου στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007. AUC: επιφάνεια κάτω από την ROC καμπύλη, N: ο αριθμός των παρατηρήσεων.

N	**AUC**
320	0,75

ROC γραφήματα



Εικ. 3.18. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας νεαρών ατόμων σαρδέλας-in situ περιβαλλοντικά δεδομένα:* ROC γράφημα του μοντέλου για το Θρακικό πέλαγος και το Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005, 2006. AUC: επιφάνεια κάτω από την καμπύλη.



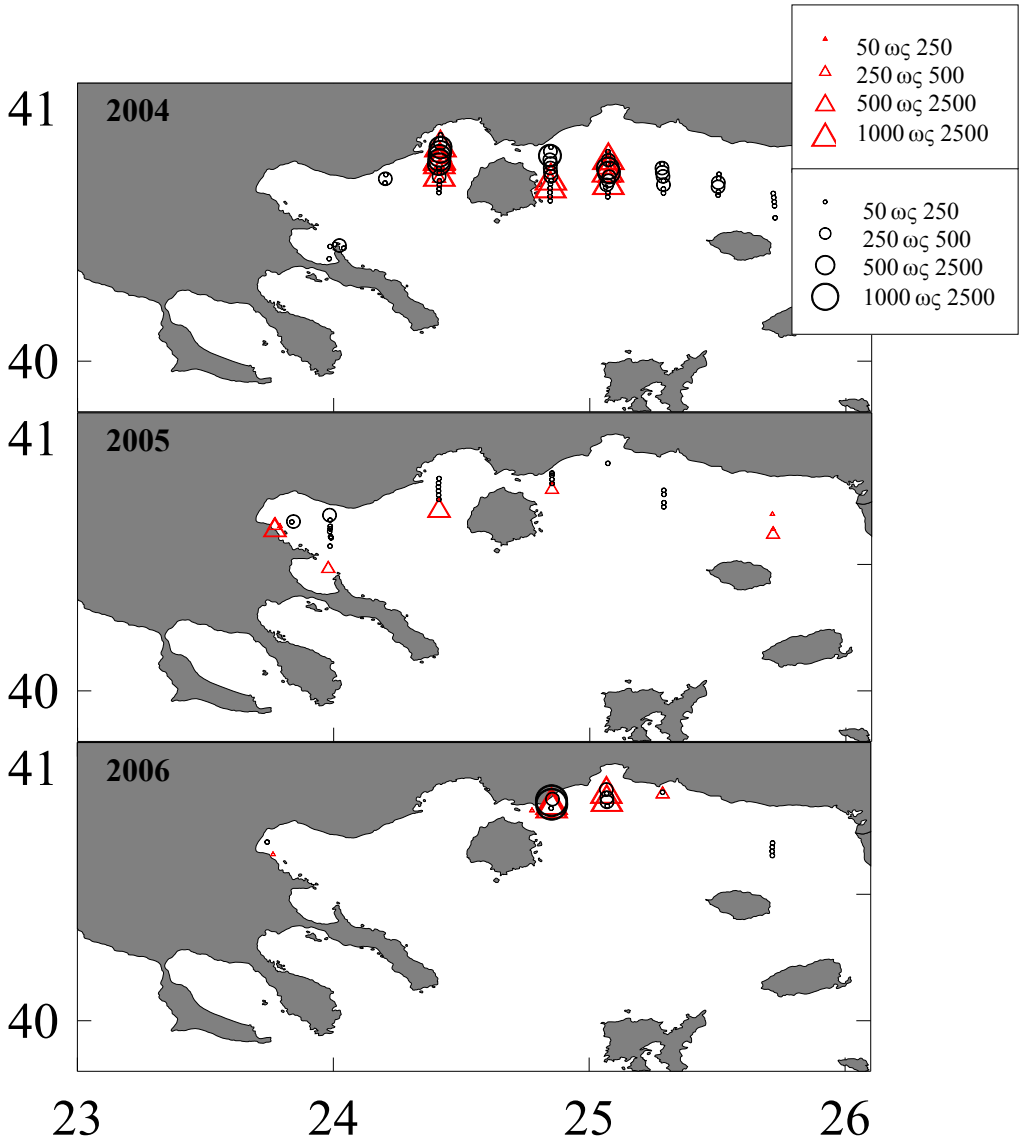
Εικ. 3.19. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας νεαρών ατόμων γαύρου-in situ περιβαλλοντικά δεδομένα:* ROC γράφημα του μοντέλου για το Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007. AUC: επιφάνεια κάτω από την καμπύλη.

3.4.2 Αξιολόγηση των μοντέλων πρόβλεψης

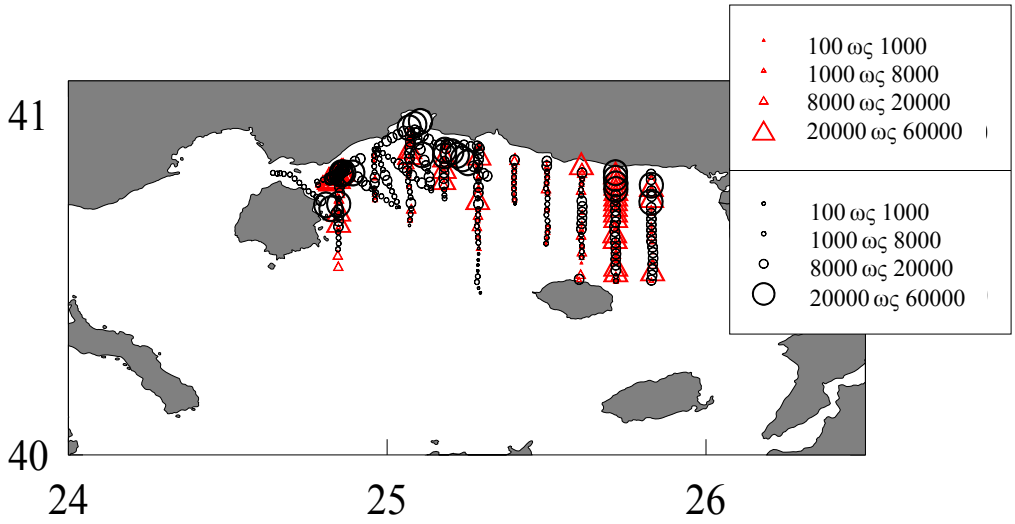
Τα μοντέλα πρόβλεψης βασίστηκαν σε δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα και χρησιμοποιήθηκαν για να μας δώσουν απεικονίσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών που συνδέονται με διαφορετικά εύρη πιθανοτήτων παρουσίας ή την αφθονία ήχου των νεαρών ατόμων των υπό μελέτη ειδών. Τα μοντέλα αφθονίας ήχου αξιολογήθηκαν μέσω της σύγκρισης των εκτιμούμενων από τα μοντέλα τιμών με τις μετρηθείσες τιμές. Αντίστοιχα, η διακριτική ικανότητα των μοντέλων παρουσία/απουσίας ελέγχθηκε με το κριτήριο AUC. Όσον αφορά στα νεαρά άτομα της σαρδέλας, η αξιολόγηση των μοντέλων πραγματοποιήθηκε για κάθε χρονιά χωριστά (Ιούνιος 2004, 2005 και 2006).

3.4.2.1 Αξιολόγηση μοντέλων αφθονίας ήχου

Η πλειονότητα των υψηλών τιμών αφθονίας ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας και γαύρου εκτιμήθηκαν από τα μοντέλα σε περιοχές όπου η μετρηθείσα αφθονία ήχου των ειδών αυτών ήταν υψηλή (Εικ. 3.20, 3.21). Γενικά, παρατηρείται η τάση τα μοντέλα αυτά να προβλέπουν μικρότερες μέγιστες τιμές σε σχέση με τις μετρηθείσες (Εικ. 3.20, 3.21). Επίσης, οι υψηλότερες τιμές ήχου τόσο όσον αφορά τις μετρηθείσες όσο και τις προβλεπόμενες παρατηρούνται κοντά στις ακτές (Εικ. 3.20, 3.21).



Εικ. 3.20. *Μοντέλο αφθονίας ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας-δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα:* Συγκριτικός χάρτης κατανομής της προβλεπόμενης αφθονίας ήχου (κύκλοι) και της μετρηθείσας αφθονίας ήχου (τρίγωνα) των νεαρών ατόμων σαρδέλας στο Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005 και 2006.



Εικ. 3.21. *Μοντέλο αφθονίας ήχου νεαρών ατόμων γαύρου-δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα:* Συγκριτικός χάρτης κατανομής της προβλεπόμενης αφθονίας ήχου (κύκλοι) και της μετρηθείσας αφθονίας ήχου (τρίγωνα) των νεαρών ατόμων γαύρου στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007.

3.4.2.2 Αξιολόγηση μοντέλων παρουσίας/απουσίας

Το τελικό μοντέλο των περιβαλλοντικών συνθηκών που συνδέονται με παρουσία/απουσία ήχου των νεαρών ατόμων σαρδέλας αξιολογήθηκε για κάθε χρονιά πρόβλεψης χωριστά, με τον υπολογισμό του κριτηρίου AUC των τριών ROC γραφημάτων που αντιστοιχούν στις τρεις περιόδους (Ιούνιο 2004, 2005, 2006) (Εικ. 3.31). Εφόσον οι τιμές του κριτηρίου AUC ξεπερνούν το 0,7 και τις τρείς χρονιές (Πίνακας 3.12), σύμφωνα με τους Manel *et al.* (2001) θεωρούμε ότι το μοντέλο είναι αξιόπιστο για εφαρμογές, όσον αφορά στο Θρακικό πέλαγος και στο Στρυμονικό κόλπο. Ωστόσο, τον Ιούνιο του 2006 η τιμή του κριτηρίου AUC είναι μεγαλύτερη του 0,9 (Πίνακας 3.12), το οποίο δηλώνει την υψηλή διακριτική ικανότητα του μοντέλου για την συγκεκριμένη περίοδο (Manel *et al.* 2001). Το μοντέλο πρόβλεψης των συνθηκών παρουσίας/απουσίας νεαρών ατόμων γαύρου παρουσιάζει τιμή AUC ίση με 0,85 (Πίνακας 3.13), δείχνοντας επίσης ότι το μοντέλο είναι αξιόπιστο για εφαρμογές στην περιοχή του Θρακικού πελάγους τον Δεκέμβριο του 2007 (Manel *et al.* 2001).

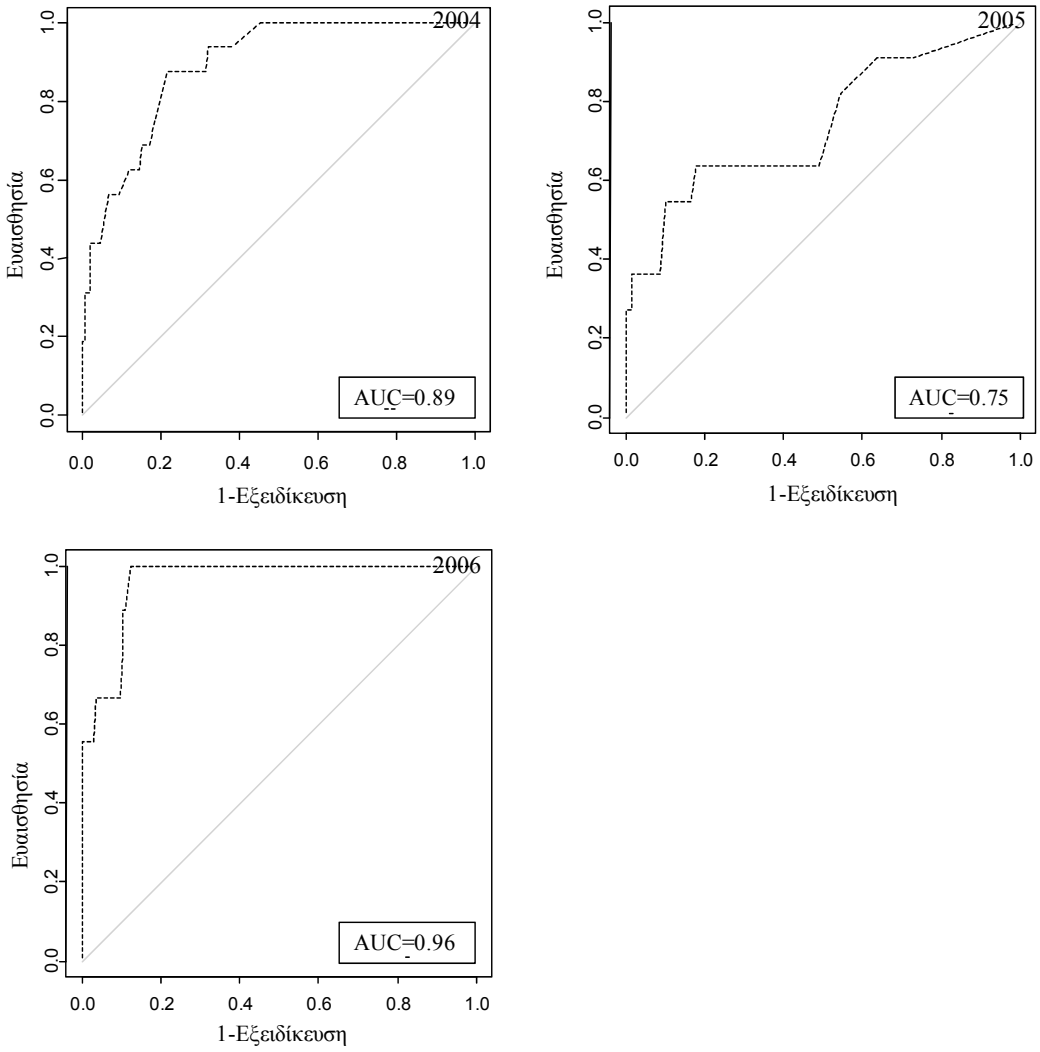
Πίνακας 3.12. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας νεαρών ατόμων σαρδέλας-δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα:* Έλεγχος διακριτικής ικανότητας του μοντέλου στο Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005, 2006. AUC: επιφάνεια κάτω από την ROC καμπύλη, N: ο αριθμός των παρατηρήσεων.

Έτος	**N**	**AUC**
2004	168	0,89
2005	152	0,75
2006	156	0,96

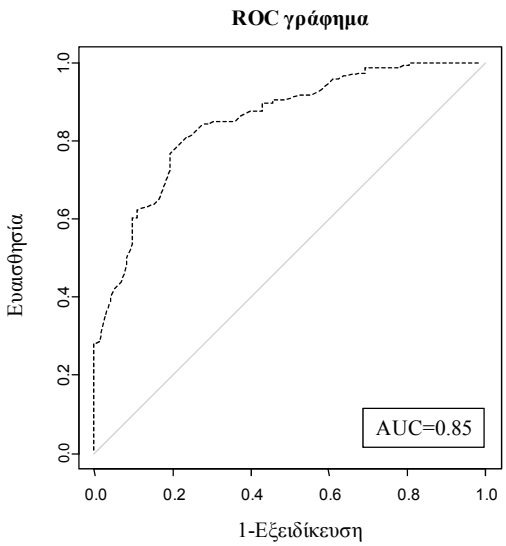
Πίνακας 3.13. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας νεαρών ατόμων γαύρου-δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα:* Έλεγχος διακριτικής ικανότητας του μοντέλου στο Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007. AUC: επιφάνεια κάτω από την ROC καμπύλη, N: ο αριθμός των παρατηρήσεων.

N	**AUC**
218	0,85

ROC γραφήματα



Εικ. 3.22. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας νεαρών ατόμων σαρδέλας-δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα:* ROC γράφημα του μοντέλου για το Θρακικό πέλαγος και το Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 2004, 2005, 2006. AUC: επιφάνεια κάτω από την καμπύλη.



Εικ. 3.23. *Μοντέλο παρουσίας/απουσίας νεαρών ατόμων γαύρου-δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα:* ROC γράφημα του μοντέλου για το Θρακικό πέλαγος τον Δεκέμβριο του 2007. AUC: επιφάνεια κάτω από την καμπύλη.

4. Συζήτηση

Τα ψάρια δεν καταλαμβάνουν το ενδιαίτημα τους με τον ίδιο τρόπο κάθε φορά. Τα μικρά πελαγικά όπως είναι ο γαύρος και η σαρδέλα οργανώνονται σε σχολεία. Το σχήμα, το μέγεθος και η πυκνότητα των σχολείων μπορεί να ποικίλει σημαντικά από είδος σε είδος και μέσα στο ίδιο είδος, στις διαφορετικές ηλικιακές κλάσεις. Τα χαρακτηριστικά του σχολείου ενός είδους μπορεί επίσης να εξαρτώνται από εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι, τα υδρογραφικά χαρακτηριστικά και η παρουσία ή απουσία θηρευτών και λείας (Coetzee 2000). Οι εσωτερικοί και εξωτερικοί παράγοντες που επιδρούν στη δομή και τη συμπεριφορά των σχολείων διαφοροποιούν την εικόνα των σχολείων στα ηχογράμματα και κάνουν δύσκολη τη διάκριση τους σε είδη και διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (π.χ. νεαρά άτομα και ενήλικα άτομα). Επιπλέον, όσον αφορά στην παρούσα μελέτη, η περιορισμένη πληροφορία για τη μορφομετρία των σχολείων του Ευρωπαϊκού γαύρου *Engraulis encrasicolus* και της Ευρωπαϊκής σαρδέλας *Sardine pilchardus* (π.χ. Muiño *et al.* 2003, Zwolonski *et al.* 2007), καθώς και των νεαρών ατόμων των ειδών αυτών κάνει την διάκριση τους ακόμη πιο δύσκολη.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης περιγράφονται τα αντιπροσωπευτικά σχολεία των νεαρών και ενήλικων ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας κατά τη διάρκεια της μέρας βάσει των μορφομετρικών χαρακτηριστικών τους σε ηχογράμματα. Κατά τη διάρκεια της μέρας τα σχολεία είναι πιο συμπαγή και διακριτά σε σύγκριση με τη νύχτα, που σχηματίζουν πιο χαλαρές δομές και τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα (Zwolonski *et al.* 2007). Σύμφωνα με τα ακουστικά δεδομένα από τέσσερα ερευνητικά ταξίδια, τα σχολεία ενήλικων και νεαρών ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας διαχωρίζονται λόγω του μεγάλου βαθμού επιμήκυνσης που παρουσιάζουν τα τελευταία, σχηματίζοντας μακρόστενες δομές.

Η δυναμική των σχολείων εξαρτάται από τη φυσιολογία των ψαριών, το μέγεθός τους και την ευαισθησία τους στην αντίληψη των κινήσεων στον περιβάλλοντα χώρο μέσω της πλευρικής γραμμή. Υπάρχουν δύο αντικρουόμενες αναφορές όσον αφορά στην επιμήκυνση των σχολείων σε σχέση με την ταχύτητα με την οποία κολυμπούν. Ο Breder (1959) αναφέρει ότι τα σχολεία που κολυμπούν γρηγορότερα είναι πιο επιμηκυμένα από αυτά που κολυμπούν πιο αργά. Αντιθέτως, οι

Partridge *et al.* (1980) υποστηρίζουν ότι τα σχολεία γίνονται πιο σφαιρικά όταν κολυμπούν με μεγαλύτερη ταχύτητα. Επομένως, εάν η ταχύτητα είναι ανάλογη του μήκους του σώματος, όπως αναφέρουν μελέτες για είδη που σχηματίζουν σχολεία (Blaxter & Hunter 1982, Hunter 1972, Misund & Aglen 1992), τότε θα μπορούσε εν μέρει να εξηγεί το επιμηκυμένο σχήμα των σχολείων των νεαρών ατόμων, εάν συμφωνήσουμε με την τελευταία αναφορά.

Τα σχολεία των ενήλικων ατόμων της σαρδέλας διακρίνονται από τα υπόλοιπα, κυρίως λόγω του μεγάλου ύψους τους, που φτάνει τα 9m. Τα σχολεία νεαρών ατόμων σαρδέλας ξεχωρίζουν λόγο του αυξημένου βαθμού πολυπλοκότητας του σχήματος τους συγκριτικά με τους άλλους τρεις τύπους σχολείων. Ένα επίσης χαρακτηριστικό που διαχωρίζει τα σχολεία νεαρών ατόμων σαρδέλας από αυτά των νεαρών ατόμων του γαύρου είναι η σχετική απόσταση τους από το βυθό. Τα σχολεία νεαρών ατόμων σαρδέλας απαντούν κυρίως στο μέσο της στήλης του νερού, το οποίο βρίσκεται ως επί το πλείστον εντός του θερμοκλινούς για τα διαθέσιμα βάθη. Αντιθέτως, τα σχολεία των νεαρών ατόμων του γαύρου απαντούν σε συνάφεια με το βυθό ή σε μικρή απόσταση από αυτόν. Βεβαίως, επειδή αντιπροσωπευτικά σχολεία νεαρών ατόμων γαύρου παρατηρήθηκαν μόνο τον χειμώνα, απαιτούνται περαιτέρω δειγματοληψίες άλλες εποχές του έτους, ώστε να διερευνηθεί αν αυτή η συμπεριφορά είναι χαρακτηριστική για τα νεαρά άτομα του είδους ή σχετίζεται με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Η μελέτη της οριζόντιας κατανομής των νεαρών ατόμων σαρδέλας επικεντρώθηκε στις αρχές του καλοκαιριού, περίοδος που οι πληθυσμοί της σαρδέλας στις Ελληνικές θάλασσες παρουσιάζουν μεγάλες αφθονίες νεαρών ατόμων (Machias *et al.* 2007). Τα νεαρά άτομα του γαύρου μελετήθηκαν το μήνα Δεκέμβριο, όποτε η πλειοψηφία τους ήταν συντριπτική έναντι των ενήλικων ατόμων. Σύμφωνα με τα στοιχεία που συλλέχθηκαν στην παρούσα μελέτη, τα νεαρά άτομα της σαρδέλας και του γαύρου συγκεντρώνονται σε κόλπους με έντονη επίδραση ποταμών, όπως είναι ο Στρυμονικός και ο Βιστονικός κόλπος, στον κόλπο της Καβάλας, στις εκβολές του Νέστου και γενικά κοντά στις ακτές. Οι μεγάλες αφθονίες των νεαρών ατόμων σαρδέλας και κυρίως των νεαρών ατόμων γαύρου μεταξύ της Σαμοθράκης και της ηπειρωτικής ακτής, πιθανώς να σχετίζεται με την παρουσία του αντικυκλώνα της Σαμοθράκης. Οι αντικυκλώνες αποτελούν περιοχές που συγκεντρώνουν μεγάλες αφθονίες ζωοπλαγκτού (Σωμαράκης 1999), δηλαδή περιοχές αυξημένης διαθεσιμότητας τροφής για τα μικρά πελαγικά. Η παρουσία νεαρών ατόμων σαρδέλας

στον Στρυμονικό κόλπο μπορεί να σχετίζεται με την αυξημένη παραγωγικότητα στις εκβολές του ποταμού Στρυμόνα. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις νεαρών ατόμων γαύρου και σαρδέλας βορειοανατολικά της Θάσου και στο Βιστονικό κόλπο, πιθανώς να οφείλονται στις εκβολές του Νέστου που αυξάνουν την παραγωγικότητα στην περιοχή. Την περίοδο του χειμώνα η συγκέντρωση των νεαρών ατόμων γαύρου σε προστατευμένες περιοχές, όπως είναι οι μικροί κόλποι και τα ρηχά, παράκτια νερά, μπορεί να είναι αποτέλεσμα της προσπάθειας τους να αποφύγουν τις δυσμενείς καιρικές συνθήκες (με τους έντονους στροβιλισμούς) στην ανοιχτή θάλασσα, είτε να σχετίζεται με την μεγαλύτερη αφθονία τροφής στις προστατευμένες περιοχές σε σύγκριση με την ανοιχτή θάλασσα (Freon & Misund 1999).

Τα αποτελέσματα όσον αφορά στα πρότυπα κατανομής των νεαρών ατόμων της σαρδέλας και του γαύρου που παρατηρήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας συμφωνούν με αναφορές για άλλες περιοχές της Ελλάδας και της Μεσογείου. Όσον αφορά στα νεαρά άτομα της σαρδέλας, έχει αναφερθεί ότι συγκεντρώνονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από τοπικά, εποχιακά ανοδικά ρεύματα ή/και εκβολές ποταμών, όπως οι παράκτιες περιοχές του Βορείου τμήματος του Κορινθιακού και Πατραϊκού κόλπου (Machias *et al.* 2001). Επίσης, στην Μεσόγειο ως περιοχές συγκέντρωσης νεαρών ατόμων σαρδέλας αναφέρονται λιμνοθάλασσες και παράκτιες περιοχές στον κόλπο των Λεόντων (Bigot 2007), και το Δέλτα του ποταμού Έμπρο στη Β. Ισπανία (Giráldez et al., 2005). Πεδία νεαρών ατόμων του γαύρου, στη Μεσόγειο, έχουν αναφερθεί στην Αδριατική (Sinovčić 2004), στο Δέλτα του ποταμού Έμπρο και στο Κόλπο ντε Ρόζας της Β. Ισπανίας (Giráldez *et al.* 2005), δηλαδή σε περιοχές κοντά στην ακτή, σε ημίκλειστες παραγωγικές περιοχές με τοπικά ανοδικά ρεύματα και κοντά σε εκβολές ποταμών.

Όσον αφορά στην χωρική κατανομή διαφόρων ειδών ψαριών, και ειδικά των μικρών πελαγικών, έχουν παρατηρηθεί διαφορετικές τάσεις στα ενήλικα και στα νεαρά άτομα. Συγκεκριμένα, για την Ευρωπαϊκή σαρδέλα έχει παρατηρηθεί χωρική διαβάθμιση στην ηλικιακή κατανομή του είδους στις ακτές της Γαλικίας (Porteiro *et al.* 1986). Από τα ακουστικά δεδομένα του Ιουνίου του 2004-2006 υπολογίστηκε ότι το μέσο βάθος βυθού όπου απαντώνται σχολεία σαρδέλας είναι μεγαλύτερο από των σχολείων νεαρών ατόμων σαρδέλας. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν σημεία όπου οι οριζόντιες κατανομές τους είναι επικαλυπτόμενες. Συγκρίνοντας, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης για την κατανομή των νεαρών ατόμων σαρδέλας με τα αποτελέσματα των Machias *et al.* (2007) για την κατανομή της

σαρδέλας την ίδια περίοδο στο Β. Αιγαίο, παρατηρήσαμε ότι ο βαθμός επικάλυψης των δύο ομάδων από χρονιά σε χρονιά μεταβάλλεται. Χωρικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ενήλικων και των νεαρών ατόμων σαρδέλας έχουν αναφερθεί και από τους Tsagarakis *et al.* (2008). Αντίθετα, από τα δεδομένα του Δεκεμβρίου του 2007 εκτιμήθηκε ότι το μέσο βάθος βυθού όπου παρατηρούνται σχολεία νεαρών ατόμων γαύρου είναι παρόμοιο με αυτό των σχολείων ενήλικων ατόμων του είδους.

Η διαφοροποίηση στην χωρική κατανομή των νεαρών και των ενήλικων ατόμων, πιθανώς να σχετίζεται με τις διαφορετικές βιολογικές τους ανάγκες όπως είναι η διατροφή, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, τα υδρογραφικά χαρακτηριστικά και τους βιοτικούς παράγοντες και μπορεί να αντικατοπτρίζει την απόκριση των ψαριών στη διαβάθμιση παρά στην ακριβή τιμή μιας παραμέτρου (Freon & Misund 1999). Αρκετές μελέτες στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου αναφέρονται στην κατανομή του Ευρωπαϊκού γαύρου ή/και της Ευρωπαϊκής σαρδέλας (Bellido *et al.* 2008, Brown *et al.* 2006, Falco *et al.* 2007, Giannoulaki *et al.* 2008, Patti *et al.* 2004), των περιοχών που ωοαποθέτουν (Schismenou *et al.* 2008, Roy *et al.* 2007), καθώς και στην κατανομή των ιχθυονυμφών τους (Azeiteiro *et al.* 2006; Cuttitta *et al.* 2003; Kideys *et al.* 1999; Lopez-Jamar *et al.* 1995; Olivar *et al.* 2003; Olivera & Stratoudakis 2008; Rodriguez 2008; Zarrad *et al.* 2006, 2008) σε σχέση με περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ωστόσο, οι πληροφορίες όσον αφορά στη σχέση των περιβαλλοντικών συνθηκών με την κατανομή των νεαρών ατόμων γαύρου και σαρδέλας είναι περιορισμένες, πέραν της πρόσφατης αναφοράς των Tsagarakis *et al.* (2008) για τα νεαρά άτομα σαρδέλας.

Στην παρούσα μελέτη έγινε μια προσπάθεια να προσδιοριστεί ο συνδυασμός των περιβαλλοντικών παραμέτρων που περιγράφουν το ενδιαίτημα των νεαρών ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας. Χρησιμοποιήθηκαν GAMs που βασίστηκαν σε *in situ* περιβαλλοντικά δεδομένα για να μας πληροφορήσουν για τις προτιμήσεις των υπό μελέτη ειδών στο περιβάλλον στο οποίο ζουν. Το μοντέλο παρουσίας/απουσίας των νεαρών ατόμων σαρδέλας έδειξε ότι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης και του ζωοπλαγκτού, η αλατότητα στο ανώτερο στρώμα ανάμιξης (UML) και το εύρος του τελευταίου (το οποίο πρακτικά αποτελεί εκτίμηση του εύρους του θερμοκλινούς) επηρεάζουν την πιθανότητα παρουσίας τους. Ειδικότερα, αυξημένη πιθανότητα παρουσίας παρουσιάζεται σε ένα εκτεταμένο εύρος τιμών συγκέντρωσης χλωροφύλλης (0,02-0,05 μg/l & 0,08-0,14 μg/l), και στις μεσαίες διαθέσιμες τιμές βιομάζας ζωοπλαγκτού (360-630 mg/m^2), το οποίο είναι λογικό εφόσον μεγάλες

συγκεντρώσεις ζωοπλαγκτού δρουν τοξικά. Οι μεγάλες τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης αποτελούν χαρακτηριστικό των περιοχών κοντά σε εκβολές ποταμών και των ημίκλειστων παραγωγικών περιοχών. Επίσης, οι μεσαίες από τις διαθέσιμες τιμές αλατότητας στο UML (35,1-36,8 psu) και εύρος του UML <35m φαίνεται να αποτελούν ευνοϊκές συνθήκες για τα νεαρά άτομα σαρδέλας.

Το GAM εκτίμησης συνθηκών που συνδέονται με αφθονίες ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας έδειξε ότι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης, η αλατότητα στο UML και το εύρος του UML, καθώς και το βάθος του βυθού επηρεάζουν την αφθονία ήχου τους. Ειδικότερα, μεγάλες αφθονίες ήχου είναι πιθανό να παρατηρούνται στις μικρότερες διαθέσιμες τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης (0,02-0,03 μg/l), στο ίδιο εύρος τιμών αλατότητας στο UML με το προηγούμενο μοντέλο, στα μικρά βάθη βυθού (36-48m) όταν συνδυάζονται με εύρος του UML 20-35m και επίσης σε πιο μεγάλα βάθη βυθού (51-85m) όταν συνδυάζονται με εύρος του UML 15-35m.

Το GAM που εκτιμά συνθήκες πιθανότητας παρουσίας νεαρών ατόμων γαύρου έδειξε ότι η μέση αλατότητα στο στρώμα του βυθού (BL), η μέση φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία στο BL και το βάθος του βυθού επηρεάζουν την πιθανότητα παρουσίας τους. Ειδικότερα, σε περιοχές με βάθη βυθού 33-102 m, με τιμές αλατότητας στο BL 37-38 psu, καθώς και σε περιοχές που παρουσιάζουν μέσες τιμές αλατότητας στο BL 38-38,4 psu και συνυπάρχουν με τις υψηλότερες διαθέσιμες τιμές φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας στο BL (4,5-12 Ein/m^2/day) εκτιμάται αυξημένη πιθανότητα παρουσίας των νεαρών ατόμων του είδους. Τα μικρά βάθη και οι μικρές τιμές αλατότητα στο BL χαρακτηρίζουν περιοχές κοντά σε εκβολές ποταμών, όπου παρατηρούμε νεαρά άτομα γαύρου. Τα μεγαλύτερα βάθη με διαυγή νερά (αυξημένες τιμές φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας) φαίνεται εξίσου να ευνοούν την παρουσία των νεαρών ατόμων του γαύρου.

Το GAM εκτίμησης συνθηκών που συνδέονται με αφθονίες ήχου νεαρών ατόμων γαύρου έδειξε ότι η συγκέντρωση χλωροφύλλης, η θερμοκρασία στο BL και το βάθος του βυθού επηρεάζουν την αφθονία ήχου τους. Ειδικότερα, περιοχές με τις υψηλότερες διαθέσιμες τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης (0,20-0,33 μg/l), παρουσιάζουν αυξημένες τιμές αφθονίας ήχου. Το ίδιο ισχύει και για τις περιοχές με βάθη 33-102 m που παρουσιάζουν θερμοκρασία στο BL 15,4-16,7 ^{o}C. Οι μεγάλες τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης και τα μικρά βάθη είναι χαρακτηριστικά των περιοχών κοντά σε εκβολές ποταμών και των ημίκλειστων παραγωγικών περιοχών.

Επίσης, χαμηλές τιμές θερμοκρασίας στο BL παρουσιάζονται σε περιοχές κοντά σε εκβολές ποταμών, ειδικά την χειμερινή περίοδο.

Η χρήση των παραπάνω μοντέλων ως μοντέλα πρόβλεψης έχει τον περιορισμό ότι τα διαθέσιμα *in situ* περιβαλλοντικά δεδομένα αφορούν συγκεκριμένες περιοχές και περιόδους. Για την πρόβλεψη των περιβαλλοντικών συνθηκών οι οποίες συνδέονται με την παρουσία ή την αυξημένη αφθονία των ψαριών και επομένως είναι δυνητικά ενδιαιτήματα των νεαρών ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας, χρησιμοποιήθηκαν GAMs που βασίστηκαν σε δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα. Το πλεονέκτημα στη χρήση δορυφορικών δεδομένων είναι η εύκολη λήψη τους για διάφορες χρονιές και περιοχές, καθώς είναι διαθέσιμα σχεδόν σε πραγματικό χρόνο. Παρόλο που τα δεδομένα αυτά δεν περιγράφουν με ακρίβεια τις συνθήκες στη θάλασσα, δίνουν μια αξιόπιστη εικόνα της περιοχής που μελετάται.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου εκτίμησης των συνθηκών που παρουσιάζουν πιθανότητα παρουσίας νεαρών ατόμων σαρδέλας για το Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο, έδειξαν ότι οι συνθήκες που παρουσιάζουν αυξημένη πιθανότητα παρουσίας εντοπίζονται στον κόλπο της Καβάλας και στον Βιστονικό κόλπο, καθώς και στις ακτές της Αλεξανδρούπολης (Εικ. 3.12). Παρατηρούνται μεταβολές στην έκταση των περιοχών από χρονιά σε χρονιά ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με την αναφορά των Tsagarakis *et al.* (2008), ότι συνθήκες κατάλληλες για τη συγκέντρωση νεαρών ατόμων σαρδέλας εντοπίζονται κοντά στην ακτή, σε ημίκλειστές παραγωγικές περιοχές, και κοντά σε εκβολές ποταμών. Το GAM που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των συνθηκών που παρουσιάζουν αυξημένη αφθονία ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας έδειξε ότι τα νεαρά άτομα σαρδέλας κατανέμονται κοντά στις ακτές, ρηχότερα από την ισοβαθή των 80m (Εικ. 3.13). Η έκταση των περιοχών μεταβάλλεται από χρονιά σε χρονιά, ωστόσο οι περιοχές όπου εκτιμώνται οι υψηλότερες αφθονίες ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας παραμένουν σταθερές.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου εκτίμησης των συνθηκών που παρουσιάζουν πιθανότητα παρουσίας νεαρών ατόμων γαύρου για το Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο, έδειξαν ότι οι συνθήκες που παρουσιάζουν αυξημένη πιθανότητα παρουσίας σχολείων εντοπίζονται κοντά στις ακτές, ρηχότερα από την ισοβαθή των 90m. Επίσης, η περιοχή μεταξύ της Λήμνου και της Ίμβρου παρουσιάζει περιβαλλοντικές συνθήκες που συνδέονται με αυξημένες πιθανότητες παρουσίας

νεαρών ατόμων γαύρου (Εικ. 3.14), το οποίο πιθανώς να σχετίζεται με το ρεύμα που εισέρχεται από τη Μαύρη Θάλασσα στο Θρακικό διαμέσου του στενού μεταξύ Λήμνου και Ίμβρου κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Τις ίδιες περιοχές προέβλεψε το GAM που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των συνθηκών που παρουσιάζουν αυξημένη αφθονία ήχου νεαρών ατόμων γαύρου (Εικ. 3.15).

Η μέθοδος εκτίμησης πεδίων με περιβαλλοντικές συνθήκες που συνδέονται με πιθανότητα παρουσίας ή αυξημένη αφθονία νεαρών ατόμων, με τη χρήση GAMs που βασίζονται σε δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα, μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικές χρονιές και περιοχές και να χρησιμοποιηθεί σε θέματα διαχείρισης, ειδικά όσον αφορά σε προληπτικά μέτρα (π.χ. προστατευόμενες περιοχές). Επιπρόσθετα, η μέθοδος αυτή αποτελεί ένα εύχρηστο εργαλείο για τον σχεδιασμό μιας δειγματοληψίας, βοηθώντας στην επιλογή ερευνητικών πεδίων για τη μελέτη των νεαρών ψαριών. Η συλλογή δεδομένων από πολλές χρονιές, εποχές και περιοχές θα βελτιώσει τον προσδιορισμό των πεδίων αυτών, ενώ η τακτική παρακολούθηση κάποιων περιοχών μπορεί να μας δώσει στοιχεία για τις μεταβολές στο ενδιαίτημα και στην οριζόντια κατανομή των νεαρών ψαριών που σχετίζονται με τις κλιματικές αλλαγές.

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στην μελέτη της οριζόντιας κατανομής των νεαρών ατόμων της σαρδέλας (*Sardina pilchardus* W.) και του γαύρου (*Engraulis encrasicolus* L.) στο Β. Αιγαίο και των περιβαλλοντικών παραμέτρων που την επηρεάζουν. Σε ένα πρώτο βήμα έγινε διάκριση των σχολείων νεαρών ατόμων γαύρου και σαρδέλας με βάση (α) τα αποτελέσματα βιολογικών δειγματοληψιών και (β) τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά τους σε ηχογράμματα. Στη συνέχεια, έγινε διάκριση του ήχου που ανήκει σε νεαρά στάδια γαύρου και σαρδέλας και ο ήχος αυτός συσχετίστηκε με περιβαλλοντικές παραμέτρους. Αναλυτικότερα:

- Η σύσταση του αλιεύματος των δειγματοληπτικών τρατών τον Ιούνιο του 2004-2006 και τον Δεκέμβριο του 2007 έδειξε ότι κυρίαρχα είδη στην περιοχή μελέτης ήταν ο γαύρος και η σαρδέλα. Επίσης, στις καλοκαιρινές δειγματοληψίες παρατηρήθηκαν μεγάλες αφθονίες νεαρών ατόμων σαρδέλας, ενώ στην δειγματοληψία του Δεκεμβρίου η πλειοψηφία των νεαρών ατόμων του γαύρου ήταν συντριπτική έναντι των ενήλικων ατόμων, λόγω της διακριτής περιόδου αναπαραγωγής των δύο ειδών (γαύρος: καλοκαίρι, σαρδέλα: χειμώνα).
- Τα σχολεία των νεαρών ατόμων παρουσιάζουν μεγαλύτερο βαθμό επιμήκυνσης σε σύγκριση με τα ενήλικα σχολεία, σχηματίζοντας μακρόστενες δομές, όπως αυτές φαίνονται στα ηχογράμματα. Επιπλέον, τα σχολεία των νεαρών ατόμων σαρδέλας απαντούν εντός του θερμοκλινούς, ενώ τα σχολεία των νεαρών ατόμων του γαύρου απαντούν σε συνάφεια με το βυθό ή σε μικρή απόσταση από αυτόν.
- Τα νεαρά άτομα της σαρδέλας και του γαύρου συγκεντρώνονται σε κόλπους με έντονη επίδραση ποταμών, όπως είναι ο Στρυμονικός και ο Βιστονικός κόλπος, στον κόλπο της Καβάλας, στις εκβολές του Νέστου και γενικά κοντά στις ακτές. Η επίδραση των ποταμών αυξάνει την παραγωγικότητα και ο αντικυκλώνας της Σαμοθράκης συγκεντρώνει μεγάλες αφθονίες ζωοπλαγκτού, αυξάνοντας την διαθεσιμότητα της τροφής στην περιοχή μεταξύ της Σαμοθράκης και της ηπειρωτικής ακτής.
- Τα νεαρά άτομα σαρδέλας συνήθως απαντούν σε μικρότερα βάθη βυθού σε σύγκριση με τα ενήλικα άτομα σαρδέλας στις αρχές του καλοκαιριού, ενώ τα

νεαρά άτομα του γαύρου το Δεκέμβριο απαντώνται σε παρόμοια βάθη με τα ενήλικα άτομα.

- Με τη χρήση GAMs και *in situ* περιβαλλοντικών δεδομένων, εκτιμήθηκε ότι αυξημένη πιθανότητα παρουσίας σχολείων νεαρών ατόμων σαρδέλας παρουσιάζεται σε ένα εκτεταμένο εύρος τιμών συγκέντρωσης χλωροφύλλης (0,02-0,05 μg/l & 0,08-0,14 μg/l), και στις μεσαίες διαθέσιμες τιμές βιομάζας ζωοπλαγκτού (360-630 mg/m^2), το οποίο είναι λογικό εφόσον μεγάλες συγκεντρώσεις ζωοπλαγκτού δρουν τοξικά. Επίσης, οι μεσαίες από τις διαθέσιμες τιμές αλατότητας στο UML (35,1-36,8 psu) και εύρος του UML <35m φαίνεται να αποτελούν ευνοϊκές συνθήκες για τα νεαρά άτομα σαρδέλας. Μεγάλες αφθονίες ήχου σχολείων νεαρών ατόμων σαρδέλας απαντώνται στις μικρότερες διαθέσιμες τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης (0,02-0,03 μg/l), στο ίδιο εύρος τιμών αλατότητας στο UML με το προηγούμενο μοντέλο, στα μικρά βάθη βυθού (36-48m) όταν συνδυάζονται με εύρος του UML 20-35m και επίσης σε πιο μεγάλα βάθη βυθού (51-85m) όταν συνδυάζονται με εύρος του UML 15-35m.
- Τα αποτελέσματα του μοντέλου εκτίμησης των συνθηκών που παρουσιάζουν πιθανότητα παρουσίας νεαρών ατόμων σαρδέλας για το Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο, έδειξαν ότι οι συνθήκες που παρουσιάζουν αυξημένη πιθανότητα παρουσίας εντοπίζονται στον κόλπο της Καβάλας και στον Βιστονικό κόλπο, καθώς και στις ακτές της Αλεξανδρούπολης Το GAM που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των συνθηκών που συνδέονται με αυξημένη αφθονία ήχου νεαρών ατόμων σαρδέλας έδειξε ότι τα νεαρά άτομα σαρδέλας κατανέμονται κοντά στις ακτές, ρηχότερα από την ισοβαθή των 80m.
- Το μοντέλο εκτίμησης συνθηκών που συνδέονται με πιθανότητα παρουσίας νεαρών ατόμων γαύρου έδειξε ότι αυξημένη πιθανότητα παρουσίας τους παρατηρείται σε βάθη βυθού 33-102 m, σε τιμές αλατότητας στο BL 37-38 psu, καθώς και σε περιοχές που παρουσιάζουν μέσες τιμές αλατότητας στο BL 38-38,4 psu όταν συνυπάρχουν με τις υψηλότερες διαθέσιμες τιμές φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας στο BL (4,5-12 Ein/m^2/day). Το μοντέλο αφθονίας ήχου εκτίμησε ότι μεγάλες αφθονίες ήχου σχολείων νεαρών ατόμων γαύρου απαντώνται στις υψηλότερες διαθέσιμες τιμές συγκέντρωσης

χλωροφύλλης (0,20-0,33 μg/l) και σε περιοχές με βάθη 33-102 m που παρουσιάζουν θερμοκρασία στο BL 15,4-16,7 ^{o}C.

- Τα αποτελέσματα του μοντέλου εκτίμησης συνθηκών που παρουσιάζουν πιθανότητα παρουσίας νεαρών ατόμων γαύρου για το Θρακικό πέλαγος και τον Στρυμονικό κόλπο, έδειξαν ότι οι συνθήκες που παρουσιάζουν αυξημένη πιθανότητα παρουσίας σχολείων εντοπίζονται κοντά στις ακτές, ρηχότερα από την ισοβαθή των 90m, καθώς επίσης στην περιοχή μεταξύ της Λήμνου και της Ίμβρου. Τις ίδιες περιοχές προέβλεψε το GAM που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των συνθηκών που παρουσιάζουν αυξημένη αφθονία ήχου νεαρών ατόμων γαύρου.

6. Περίληψη

Ακουστικά και περιβαλλοντικά δεδομένα από την περιοχή του Θρακικού πελάγους και του Στρυμονικού κόλπου χρησιμοποιήθηκαν για την τυποποίηση της παρουσίας/απουσίας και της αφθονίας οπισθοανακλώμενου ήχου των σχολείων νεαρών ατόμων γαύρου (*Engraulis encrasicolus)* και σαρδέλας (*Sardina pilchardus*). Για τη τυποποίηση χρησιμοποιήθηκαν Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα (GAMs) και δημιουργήθηκαν δύο κατηγορίες μοντέλων: (α) επεξηγηματικά GAMs που βασίστηκαν σε *in situ* περιβαλλοντικά δεδομένα για να μας πληροφορήσουν για τις προτιμήσεις των νεαρών ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας στο περιβάλλον στο οποίο ζουν και (β) GAMs πρόβλεψης που βασίστηκαν σε δορυφορικά περιβαλλοντικά δεδομένα για τον εντοπισμό περιοχών στις οποίες επικρατούν συνθήκες που συνδέονται με την παρουσία νεαρών ψαριών και επομένων αποτελούν δυνητικά ενδιαιτήματα των νεαρών ατόμων του γαύρου και της σαρδέλας στην ευρύτερη περιοχή του Θρακικού πελάγους και του Στρυμονικού κόλπου. Τα μοντέλα παρουσίας/απουσίας αξιολογήθηκαν με την εκτίμηση του κριτηρίου AUC και τα μοντέλα οπισθοανακλώμενου ήχου αξιολογήθηκαν με τη χρήση συγκριτικών χαρτών προβλεπόμενων-μετρηθέντων τιμών στην περιοχή μελέτης. Τα επεξηγηματικά μοντέλα παρουσίας/απουσίας των νεαρών ατόμων σαρδέλας και γαύρου εκτίμησαν ότι: (α) τα σχολεία νεαρών ατόμων σαρδέλας προτιμούν ένα εκτεταμένο εύρος τιμών συγκέντρωσης χλωροφύλλης (0,02-0,05 μg/l & 0,08-0,14 μg/l), τις μεσαίες διαθέσιμες τιμές βιομάζας ζωοπλαγκτού (360-630 mg/m^2), τις μεσαίες διαθέσιμες τιμές αλατότητας στο ανώτερο στρώμα ανάμιξης (UML) (35,1-36,8 psu) και εύρος του UML <35m, και (β) τα σχολεία νεαρών ατόμων γαύρου προτιμούν βάθη 33-102 m και τιμές αλατότητας στο στρώμα βυθού (BL) 37-38 psu. Τα αποτελέσματα των μοντέλων πρόβλεψης δείχνουν ότι τα σχολεία νεαρών ατόμων σαρδέλας και γαύρου συγκεντρώνονται κυρίως σε κόλπους με έντονη επίδραση ποταμών, κοντά σε εκβολές ποταμών και κοντά στις ακτές. Παρόμοια ενδιαιτήματα έχει παρατηρηθεί ότι προτιμούν τα νεαρά άτομα των δύο ειδών στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας και της Μεσογείου.

7. Summary

Acoustic and environmental data were used to model the presence/absence and sound backscatter strength of juvenile anchovy (*Engraulis encrasicolus)* and juvenile sardine (*Sardina pilchardus*) schools in the Thracian Sea and Strymonikos gulf (northern Aegean Sea). Generalized Additive Models (GAMs) were used for modelling and the models divided to two categories: (a) the explanatory GAMs based on *in situ* environmental data were used in order to inform us about the preferences of the juvenile anchovy and sardine in the environment in which they live and (b) the predictive GAMs based on satellite environmental data were used to identify those areas in the Thracian Sea and the Strymonikos gulf that could support species' presence or species' high abundance. The presence/absence models were evaluated with the estimation of Receiver Operating Characteristic (ROC)-plots and the models of sound backscatter strength were evaluated qualitatively, using comparative maps of observed-measured values in the study area. The presence/absence explanatory models estimated that: (a) juvenile sardine schools prefer a high range of chlorophyll concentrations (0,02-0,05 μg/l & 0,08-0,14 μg/l), the middle zooplankton concentrations of the available ones (360-630 mg/m^2), the middle salinity values in the upper mixed layer (UML) of the available ones (35,1-36,8 psu) and UML ranges <35m, and (b) juvenile anchovy schools prefer bottom depths 33-102m and salinity values in the bottom layer (BL) between 37 and 38 psu. The results of the predictive models indicated that juvenile sardine and anchovy schools concentrate mainly in gulfs where large rivers outflow, near estuaries and near the coasts. Similar habitats have been observed to be preferred to the juveniles of the two species in the greater Greece and Mediterranean area.

8. Βιβλιογραφία

Alvarez F. & Marales-Nin B., 1992. An attempt to determine growth and hatching dates of juvenile sardine, Sardina pilchardus, in the Western Mediterranean Sea. *Marine Biology,* **114** (2), pp. 199-203.

Anonymous, 2006. Final report of the "Greek National Project of the Fisheries Data Collection (2003-2006)". Hellenic Center for Marine Research (HCMR).

Azeiteiro U.M., Bacelar-Nicolau L., Resende P., Gonçalves F. & Pereira M.J., 2006. Larval fish distribution in shallow coastal waters off North Western Iberia (NE Atlantic). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **69** (3-4), pp. 554-566.

Bahri T. & Fréon P., 2000. Spatial structure of coastal pelagic schools descriptors in the Mediterranean Sea. *Fisheries Research*, **48**, pp. 157-166.

Bazigos G., 1974. The design of fisheries statistical surveys-inland waters. *FAO Fish. Tech. Pap.*, pp.133.

Bellido J.M., Brown A.M., Valavanis V.D., Giráldez A., Pierce G.J., Iglesias M. & Palialexis A., 2008. Identifying essential fish habitat for small pelagic species in Spanish Mediterranean waters. *Hydrobiologia*, **612** (1), pp. 171-184.

Bellido J.M., Pierce G. & Wang J., 2001. Modelling intra-annual variation in abundance of squid *Loligo forbesi* in Scottish waters using generalised additive models. *Fisheries Research*, **52**, pp. 23-39.

Bigot J.L., 2007. Stock Assessment form regarding *Sardina pilchardus* in the Gulf of Lions, GSA07 GFCM SCSA, Working Group on the Small Pelagic, Athens.

Blaxter J.S.H. & Hunter J.R., 1982. The biology of the clupeoid fishes. *Adv. Mar. Biol.*, **20**, pp. 1–23.

Boyce M.S., Vernier P.R., Nielsen S.E, & Schmiegelow F.K.A., 2002. Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling*, **157**, pp. 281-300.

Breder C.M., 1959. Studies on social groupings in fish. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.*, **117**, pp. 397–481.

Brown A.M., Bellido L.M., Valavanis V.D. & Giráldez A., 2006. Investigating the distribution of small pelagic fish in Spanish Mediterranean waters using environmental and essential fish habitat mapping. *ICES CM 2006/O:*13.

Carrera P., Churnside J.H., Boyra G., Marques V., Scalabrin C. & Uriarte A., 2006. Comparison of airborne lidar with echosounders: a case study in the coastal

Atlantic waters of southern Europe. *ICES Journal of Marine Science*, **63** (9), pp. 1736-1750.

Cleveland W.S., 1979. Robust locally weighted regression and smoothing scattetplots. *Journal of the American Statistical Association*, **74** (368), pp. 829-836.

Cleveland W.S. & Devlin S., 198). Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting. *Journal of the American Statistical Association*, **83** (403), pp. 596-610.

Coetzee J., 2000. Use of a shoal analysis and patch estimation system (SHAPES) to characterise sardine schools. *Aquatic Living Resources*, **13** (1), pp. 1-10.

Culley M. 1970. The Pilchard, biology and exploitation. *Pergamon Press*, pp. 241.

Cuttitta A., Carini V., Patti B., Bonanno A., Basilone G., Mazzola S., García Lafuente J., García A., Buscaino G., Aguzzi L., Rollandi1 L., Morizzo G. & Cavalcante C., 2003. Anchovy egg and larval distribution in relation to biological and physical oceanography in the Strait of Sicily. *Hydrobiologia*, **503**, pp. 117-120.

Diner N., 2001. Correction on school geometry and density: approach based on acoustic image simulation. *Aquat. Living Resour.*, **14**, pp. 211-222.

Elith, J., Graham C.H., Anderson R.P., Dudık M., Ferrier S., Guisan A., Hijmans R.J., Huettmann F., Leathwick J.R., Lehmann A., Li J., Lohmann L.G., Loiselle B.A., Manion G., Moritz C., Nakamura M., Nakazawa Y., McC. Overton J., Peterson A.T., Phillips S.J., Richardson K.S., Scachetti-Pereira R., Schapire R.E., Soberon J., Williams S., Wisz M.S. & Zimmermann N.E., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, **29**, pp. 129-151.

ESRI, 1994. ARC Macro Language. Environmental Systems Research Institute Inc, Redlands, CA, USA, pp. 3-37.

Falco P., Belardinelli A., Santojanni A., Cingolani N., Russo A. & Arneri E., 2007. An observing system for the collection of fishery and oceanographic data. *Ocean Science*, **3** (2), pp. 189-203.

Fan J., Upadhye S. & Worster A., 2006. Understanding receiver operating characteristic (ROC) curves. *Can. J. Emerg. Med.*, **8** (1), pp. 19-20.

Fieldings A.H. & Bell J.F., 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence: absence models. *Environmental Conservation*, **24**, pp. 38–49.

Foote K.G., 1980. Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: a comparison of gadoid and mackerel target strengths. *J. Acoust. Soc. Am.*, **67,** pp. 2084–9.

Foote K.G., 1987. Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *J. Acoust. Soc. Am.*, **82**, pp. 981–987.

Freeman E., 2007. Presence-Absence Model Evaluation. Version 1.0.0.

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

Froese R. & Pauly D., 2008. FishBase.World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (06/2008).

Frouin R., Cutchin D.L., Gross-Colzy L., Poteau A. & Deschamps P.Y., 2003. Satellite ocean-color validation using ships of opportunity. *NASA Technical Memorandum* (212251), pp. 52-72.

Ganias K., Somarakis S., Machias A. Theodorou A., 2004. Pattern of oocyte development and batch fecundity in the Mediterranean sardine. *Fisheries Research*, **67**, pp. 13–23.

Garcia A. & Palomera I., 1996. Anchovy early life history and its relation to its surrounding environment in the Western Mediterranean basin. *Sci Mar*, **60** (2), 155-166.

GFCM, 2006. Report of the eighth session of the sub-committee on stock assessment (SCSA). GFCM:SAC9/2006/Inf.8. ftp://ftp.fao.org/fi/DOCUMENT/ gfcm/sac9/inf8e.pdf.

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

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

Giannoulaki M., Machias A., Somarakis S., Koutsikopoulos C., Manousakis L. & Tsimenidis 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*, pp. 61-64.

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

Giannoulaki M., Machias A., & Tsimenides N. 1999. Ambient luminance and vertical migration of the sardine *Sardina pilchardus. Marine Ecology Progress Series*, **178**, pp. 29-38.

Giannoulaki M., Valavanis V.D., Palialexis A., Tsagarakis K., Machias A., Somarakis S., Papaconstantinou C., 2008. Modelling the presence of anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Aegean Sea during early summer, based on satellite environmental data. *Hydrobiologia*, **612** (1), pp. 225-240.

Giraldez A., Torres P., Quintanilla L. & Baro J., 2005. Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) Stock Assessment in the GFCM Geographical Sub-Area 01 (Northern Alboran Sea) and 06 (Northern Spain). WD to the GFCM SCSA, Working Group on the Small Pelagic, Roma, 26-30 September 2005.

Guisan A., Edwards T.C.Jr. & Hastie T., 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, **157**, pp. 89-100.

Guisan A. & Zimmermann N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, **135**, pp. 147–186.

Hader D.P., Worrest R.C, Kumar H.D. & Smith R.C., 1994. Effects of increased solar ultraviolet radiation on aquatic ecosystems. United Nations Environment Programme Environmental Effects of Ozone Depletion, 1994 Assessment. http://sedac.ciesin.org/ozone/UNEP/UNEP94toc.html

Hamming R.W., 1973. Numerical methods for scientists and engineers. New York, McGraw-Hill, p.721.

Hanley J.A. &. McNeil B.J, 1982. The meaning and use of the area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. *Radiology*, **143**, 29-36.

Hastie T. & Tibshirani R. 1986. Generalized Additive Models. *Statistical Science*, **1**(3), pp. 297-318.

Hastie T. & Tibshirani R. 1990. Generalized Additive Models. London, Chapman and Hall. pp. 355.

Hunter J.R., 1972. Swimming and feeding behaviour of larval anchovy (*Engraulis mordax). Fish. Bull. US*, **70**, pp. 821–838.

Isari S., Ramfos A., Somarakis S., Koutsikopoulos C., Kallianiotis A. & Fragopoulu N., 2006. Mesozooplankton distribution in relation to hydrology of the north-eastern Aegean Sea, eastern mediterranean. *J Plankton Res*, **28**, pp. 241–255.

Karacam H. & Duzgunes E., 1990. Age, growth and meat yield of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) in the Black Sea. *Fisheries Research*, **9**, pp. 181-186.

Kideys A.E., Gordina A.D., Bingel F. & Niermann U., 1999. The effect of environmental conditions on the distribution of eggs and larvae of anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) in the Black Sea. *ICES Journal of Marine Science*, **56**, pp. 58-64.

Kristoffersen J.B. & Magoulas A., 2008. Population structure of anchovy *Engraulis encrasicolus* L. in the Mediterranean Sea inferred from multiple methods. *Fisheries Research*, **91** (2-3), pp. 187-195.

Laprise R. & Pepin P. 1995. Factors influencing the spatio-temporal occurrence of fish eggs and larvae in a northern, physically dynamic coastal environment. *Marine Ecology Progress Series*, **122**, pp. 73-92.

Larnicol G., Ayoub N. & Le Traon P. Y., 2002. Major changes in Mediterranean Sea level variability from 7 years of TOPEX/Poseidon and ERS-1/2 data. *Journal of Marine Systems*, **33**, pp. 63-89.

Liu Y., Zhang R., Yin Y. & Niu T., 2005. The Application of ARGO Data to the Global Ocean Data Assimilation Operational System of NCC. *Acta Meteorological Sinica* (in English), **19**, pp. 355-365.

Lleonart J. & Maynou F., 2003. Fish stock assessment in the Mediterranean: state of the art. *Scientia Marina*, **67** (1), pp. 37-49.

Lopez-Jamar E., Coombs S.H., Garcia A., Halliday N.C., Knust R. & Nellen W., 1995. The distribution and survival of larvae of sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) off the north and north-western Atlantic coast of the Iberian Peninsula, in relation to environmental conditions. *Boletin - Instituto Espanol de Oceanografia*, **11** (1), pp. 27-46.

Lykousis V., Chronis G., Tselepides A., Price N.B., Theocharis A., Siokou-Frangou I., van Wambeke F., Danovaro R., Stavrakakis S., Duineveld G., Georgopoulos D., Ignatiades L., Souvermezoglou A. & Voutsinou-Taliadouri F., 2002. Major outputs of the recent multidisciplinary biogeochemical researches undertaken in the Aegean Sea. *Journal of Marine Systems*, **33–34**, pp. 313–314.

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

Machias A., Giannoulaki M., Somarakis S., Schismenou E., Tsagarakis K., Siapatis A., Stamataki C., Vasilopoulou V., Kallianiotis A. & Papaconstantinou C., 2007. Acoustic biomass estimates of sardine in the Aegean Sea (June 2003, 2004, 2005 and 2006). WD to the GFCM SCSA, Working Group on the Small Pelagic. Athens.

Machias A., Somarakis S., Drakopoulos P., Magoulas A. & Koutsikopoulos C., 2000b. Evaluation of the Southern Greek anchovy stocks. Project 97-0048. Institute of Marine Biology, Crete. *Final Report*, pp.105.

Machias A., Somarakis S., Giannoulaki M., Manousakis L., Kapantagakis A. & Tsimenides N., 1997. Evaluation of the anchovy stock in N, Aegean sea II. Hydroacoustics. *5th Greek Symposium of Oceanography and Fisheries,* **2**, pp. 47-50.

Machias A., Somarakis S., Koutsikopoulos C., Maraveya E., Giannoulaki M. & Tsimenides N., 2000a. Distribution of anchovy and its spawning grounds off the central Aegean and Ionian Seas. *Proc. 6th Greek Symposium of Oceanography and Fisheries*, pp. 94-98.

Machias A., Somarakis S., Magoulas A. & Koutsikopoulos C., 2001b. Evaluation of the southern Greek sardine stocks. Contract No 98/030. *Final Report to EU*, p. 105.

Mackinson S. & Van der Kooij J., 2006. Perception of fish distribution, abundance and behavior: Observaions revealed by alternative survey strategies made by scientific and fishing vessels. *Fisheries Research*, **81**, pp. 306-315.

MacLennan D.N. & Simmonds E.J., 1992. Fisheries Acoustics. Chapman & Hall.

Magoulas A, Tsimenides N, Zouros E (1996) Mitochondrial DNA phylogeny and the reconstruction of the population history of a species: the case of the European anchovy (Engraulis encrasicolus). *Mol Biol Evol*, **13**, 178–190.

Manel S., Williams H.C. & Ormerod S.J., 2001. Evaluating presence–absence models in ecology: the need to account for prevalence**.** *Journal of Applied Ecology*, **38**, pp. 921–931.

Mantzouni I., Somarakis S., Moutopoulos D.K., Kallianiotis A. & Koutsikopoulos C., 2007. Periodic, spatially structured matrix model for the study of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) population dynamics in N. Aegean Sea (E. Mediterranean). *Ecological modelling*, **208** (2-4), pp. 367–377.

Misund O.A. 1997. Underwater acoustics in marine fisheries and fisheries research. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **7,** pp. 1-34.

Misund O.A. & Aglen A., Swimming behaviour of fish schools in the North Sea during acoustic surveying and pelagic trawl sampling. *ICES J. Mar. Sci.*, **49**.

Motos L.A., Uriarte A. & Valencia V., 1996. The spawning environment of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) *Sci. Mar.*, **60** (2), pp. 117-140.

Muiño R., Carrera P. & Iglesias M., 2003. The characterization of sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum) schools off the Spanish-Atlantic coast. *ICES Journal of Marine Science*, **60** (6), pp. 1361-1372.

Olivar M.P., Catalán I.A., Emelianov M. & Fernández De Puelles M.L., 2003. Early stages of Sardina pilchardus and environmental anomalies in the Northwestern Mediterranean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **56** (3-4), pp. 609-619.

Oliveira P.B. & Stratoudakis Y., 2008. Satellite-derived conditions and advection patterns off Iberia and NW Africa: Potential implications to sardine recruitment dynamics and population structuring. *Remote Sensing of Environment*, **112** (8), pp. 3376-3387.

Palomera I., 1992. Spawning of the anchovy *Engraulis encrasicolus,* in the North-Eastern Mediterranean relative to hydrographic features in the region. *Marine Ecology Progress Series*, **79**, pp. 215-223.

Palomera I., Olivar M.P., Salat J., Sabates A., Coll M., Garcia A. & Morales-Nin B., 2007. Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: *An ecological review. Progress in Oceanography*, **74**, pp. 377–396.

Papaconstantinou C., Zenetos A., Vassilopoulou V. & Tserpes G., 2007. State of Hellenic Fisheries. SoHeLFL, *HCMR Publ.*, pp. 192, 193, 196, 197.

Partridge B.L., Pitcher T., Cullen J.M. & Wilson J., 1980. The three-dimensional structure of fish schools. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, **6**, pp. 277–288.

Patti B., Bonanno A., Basilone G., Goncharov S., Mazzola S., Buscaino G., Cuttitta A., García Lafuente J., García A., Palumbo V. & Cosimi G., 2004. Interannual fluctuations in acoustic biomass estimates and in landings of small pelagic fish

populations in relation to hydrology in the strait of Sicily. *Chemistry and Ecology*, **20** (5), pp. 365-375.

Petitgas R.P., Carera D., Iglesias P., Georgarakos M., Liorzou B. & Masse J., 2001. On the relation between schools, clusters of schools and abundance in pelagic fish stocks. *ICES Journal of Marine Science*, **58**, pp. 1150-1160.

Pitcher T.J. 1986. The behaviour of teleost fishes. Croom Helm, London & Sydney

Pitcher T.J. & Partridge B.L. 1979. Fish-school density and volume. *Marine Biology*, 54, pp. 383–394.

Planque B., Bellier E. & Lazure P., 2007. Modelling potential spawning habitat of sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Bay of Biscay. *Fisheries Oceanography*, **16**, pp. 16-30.

Polymenakou P.N., Fragkioudaki G. & Tselepides A., 2007. Bacterial and organic matter distribution in the sediments of the Thracian Sea (NE Aegean Sea). *Continental Shelf Research*, **27**, pp. 2187–2197.

Porteiro C., Alvarez F. & Pereiro J.A., 1986. Sardine (*Sardina pilchardus*, Walb.) stock differential distribution by age class in ICES Divisions VIIIc and IXa. *ICES CM H28*, pp. 19.

Poulos S.E., Drakopoulos P.G. & Collins M.B., 1997. Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean): an overview. *J. Mar. Syst.*, **13**, pp. 225–244.

Pujol M.I. & Larnicol G., 2005. Mediterranean sea eddy kinetic energy variability from 11 years of altimetric data. *Journal of Marine Systems*, **58**, pp. 121-142.

R Development Core Team, 2005. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, ISBN 3-900051-00-3, URL. http://www.R-project.org

Reid D.G., 2000. Report on Echo Trace Classification. *ICES Cooperative Research Report*, **238**, pp. 107.

Reynolds J.D., Mace G.M., Redford K.H. & Robinson J.G., 2001. Conservation of Exploited Species. Cambridge University Press, pp. 544.

Riou P., Le Pape O. & Rogers S.I., 2001. Relative contributions of different sole and plaice nurseries to the adult population in the Eastern Channel: application of a combined method using generalized linear models and a geographic information system. *Aquatic Living Resources*, **14**, pp. 125−135.

Rodriguez J.M., 2008. Temporal and cross-shelf distribution of ichthyoplankton in the central Cantabrian Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **79** (3), pp. 496-506.

Roy C., Van Der Lingen C.D., Coetzee J.C. & Lutjeharms J.R.E. 2007. Abrupt environmental shift associated with changes in the distribution of Cape anchovy Engraulis encrasicolus spawners in the southern Benguela. *African Journal of Marine Science*, **29** (3), pp. 309-319.

Sacau M., Pierce G.J., Wang J., Arkhipkin A.I., Portela J., Brickle P., Santos M.B., Zuur A.F., Cardoso X., 2005. The spatio-temporal pattern of Argentine shortfin squid Illex argentinus abundance in the southwest Atlantic. *Aquatic Living Resources*, **18**, pp. 361-372.

Schismenou E., Giannoulaki M., Valavanis V.D. & Somarakis S. 2008. Modeling and predicting potential 1spawning habitat of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and round sardinella (*Sardinella aurita*) based on satellite environmental information. *Hydrobiologia*, **612** (1), pp. 201-214.

Sinovčić G., 1998. Distribution of juvenile anchovy *Engraulis encrasicolus* (L.) in an estuarine habitat and influence of yearclass strength on its catch value. Bilješke-Notes Inst. Oceanogr. i rib. Split. **79**, pp. 1–9.

Sinovčić G., 2004. Growth and length-weight relationship of the juvenile anchovy, *Engraulis encrasicolus*, in the nursery ground (Zrmanja River estuary-eastern Adriatic Sea). *Journal of Applied Ichthyology*, **20**, pp. 79-80.

Sinovčić G , Keč V.Č. & Zorica B., 2008. Population structure, size at maturity and condition of sardine, *Sardina pilchardus* (Walb., 1792), in the nursery ground of the eastern Adriatic Sea (Krka River Estuary, Croatia). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **76,** pp. 739-744.

Skrivanic A. & Zavodnic D., 1973. Migrations of the sardine (*Sardina pilchardus*) in relations to hydrographical conditions of the Adriatic sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 7th European Symposium for Marine Biology, **7**, pp. 7-18.

Smith W.H.F. & Sandwell D.T., 1997. Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, **277**, pp. 1956–1962.

Somarakis S., Drakopoulos P. & Filippou V., 2002. Distribution and abundance of larval fishes in the northern Aegean Sea-eastern Mediterranean- in relation to early summer oceanographic conditions. *Journal of Plankton Research*, **24**, pp. 339-357.

Somarakis S. & Nikolioudakis N., 2007. Oceanographic habitat, growth and mortality of larval anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the northern Aegean Sea (eastern Mediterranean). *Mar. Biol.*, **152**, pp. 1143–1158.

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

Stergiou K.I., Christou E.D., Georgopoulos D., Zenetos A. & Souvermezoglou E., 1997a. The Hellenic Seas: physics, chemistry, biology and fisheries. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev*, **35**, pp. 415–538.

Stergiou K.I. & Georgopoulos D., 1993. The distribution of phytoplankton pigments and the fishery of anchovy (*Encraulis encrasicolus*) in the Hellenic Seas. *Naga,* **16** (2), pp. 34-37.

Stergiou K.I. & Laskaratos A., 1997b. Climatic variability and the anchovy/sardine ratio in hellenic waters. *Geojournal*, **41**, pp. 245–254.

Swartzman G., Huang C. & Kaluzny S., 1992. Spatial analysis of Berring Groundfish Survey Data Using Generalized Additive Models. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **49**, pp. 1366-1378.

Tsagarakis K., Machias A., Somarakis S., Giannoulaki M., Palialexis A. & Valavanis V.D., 2008. Habitat discrimination of juvenile sardines in the Aegean Sea using remotely sensed environmental data. *Hydrobiologia*, **612** (1), pp. 215-223.

Tudela S. & Palomera I., 1997. Trophic ecology of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Catalan Sea (northwest Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series*, **160**, pp. 121-134.

Uriarte A., Prouzet P., Villamor B., 1996. Bay of Biscay and Iberio Atlantic anchovy populations and their fisheries. *Scientia Marina*, **60** (2), pp. 237-255.

Valavanis V., Georgakarakos S., Kapantagakis A., Palialexis A. & Katara I., 2004. A GIS environmental modeling approach to Essential Fish Habitat Designation. *Ecological Modelling*, **178**, pp. 417-427.

Van der Lingen C.D. & Castro L., 2004. SPACC Workshop and Meeting on spawning habitat and assessment of small pelagic, Conception, Chile, 12th-16th January 2004. *GLOBEC Newsletter*, **10** (1), pp. 28-32.

Venables W.N. & Ripley B.D., 1994. Modern Applied Statistics with S-plus. New York, Springer-Verlag, pp. 448.

Voulgaridou P. & Stergiou K.I., 2003. Trends in various biological parameters of the European sardine, *Sardina Pilchardus* (Walbaum, 1792), in the Mediterranean Sea. *Scientia Marina*, **67** (1), pp. 269-280.

Vucetic T., 1961. Feeding habits of the adult sardine (*Sardina pilchardus* Walb.). *Gen. Fish. Coun. Medit.*, **40**, pp. 361-364.

Whitehead P.J.P., 1985. FAO species catalogue. Vol. 7. Clupeid fishes of the world. Anannotated and illustrated catalogue of the herring, sardines, pilchards, shads, anchovies and wolf-herring. Part I. Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae. *FAO Fish Synops.*, **125** (7), pp. 303.

Wood S.N., 2006. Generalized Additive Models. An Introduction with R. Chapman & Hall, London.

Wood S.N. & Augustin N.H., 2002. GAMs with integrated model selection using penalized regression splines and applications to environmental modelling. *Ecological Modelling*, **157**, pp. 157–177.

Woodhead P.M.J., 1966. The behaviour of fish in relation to light in the sea. *Oceanography and Marine Biology:* an Annual Revue, **4**, pp. 337-403.

Zarrad R., Missaoui H., Alemany F., Hamza A., Romdhane M.S., García A., Jarboui O., M'Rabet R., 2008. Distribution and abundance of early life stages of *Sardina pilchardus* in the Gulf of Tunis (Central Mediterranean Sea) in relation to environmental and biological factors. *Scientia Marina*, **72** (2), pp. 299-309.

Zarrad R., Missaoui H., Alemany F., Salah R.M., García A., Ridha M'R., Othman J. & Amor E.A., 2006. Spawning areas and larval distributions of anchovy *Engraulis encrasicolus* in relation to environmental conditions in the Gulf of Tunis (Central Mediterranean Sea). *Scientia Marina*, **70** (2), pp. 137-146.

Zervakis V., Georgopoulos D. & Drakopoulos P., 2000. The role of North Aegean in triggering the recent Eastern Mediterranean climatic changes. *Journal of Geophysical Research*, **105**, pp. 103–116.

Zwolinski J., Morais A., Marques V., Stratoudakis Y. & Fernandes P.G., 2007. Diel variation in the vertical distribution and schooling behaviour of sardine (*Sardina pilchardus*) off Portugal. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil 2007*, **64** (5), pp. 963-972.

Γιαννουλάκη Μ., 2003. Μελέτη της οριζόντιας κατανομής των μικρών πελαγικών ειδών *Sardina pilchardus W.* και *Engraulis encrasicolus L.* και των παραγόντων που την επηρεάζουν στις Ελληνικές θάλασσες. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Κρήτης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας, σελ. 1,2.

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

Σωμαράκης Σ., 1993. Συμβολή στη μελέτη των πλαγκτονικών σταδίων του γαύρου στο Αιγαίο. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Κρήτης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας, σελ. 85.

Σωμαράκης Σ., 1999. Ιχθυοπλαγκτό του Βορειο-ανατολικού Αιγαίου με έμφαση στο γαύρο *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) (Ιούνιος 1993,1994,1995,1996). Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Κρήτης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας.

Τσιμενίδης Ν. & Καραγκίτσου Η., 1984. Αλιευτική κατάσταση των αποθεμάτων σαρδέλας και γαύρου στις ελληνικές θάλασσες. *Πρακτικά Α` Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας*, Αθήνα 14-17/3/1984, σελ. 578-589.

Τσιμενίδης Ν., Μαχιάς Α., Σωμαράκης Σ. & Γιαννουλάκη Μ., 1996. Έρευνα για τα μεταναστευτικά μικρά πελαγικά ψάρια. Εκτίμηση αφθονίας και κατανομή στο Β. Αιγαίο 1995. Πανεπιστήμιο Κρήτης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας, σελ. 28.