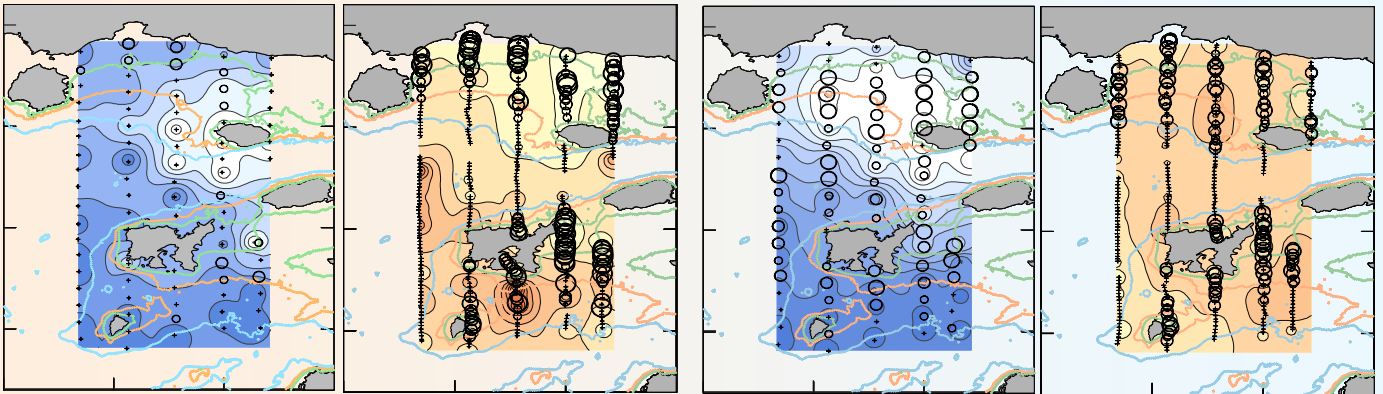


Πανεπιστήμιο Κρήτης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Βιολογίας

**«Χαρακτηρισμός του αναπαραγωγικού ενδιαιτήματος του
Ευρωπαϊκού γαύρου *Engraulis encrasicolus* στο Β. Αιγαίο με
τη χρήση στατιστικών μοντέλων»**



Μεταπτυχιακή Διατριβή
Τσουκάλη Σταυρούλα

Ηράκλειο, 2011

Εξεταστική Επιτροπή:
Καθηγητής Ι. Καρακάσης (Επιβλέπων Καθηγητής)
Ερευνητής Σ. Σωμαράκης (Επιβλέπων Ερευνητής)
Ερευνήτρια Μ. Γιαννουλάκη

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Abstract	5
1. Εισαγωγή	6
1.1 Γενικά στοιχεία βιολογίας και οικολογίας του γαύρου	6
1.2 Περιοχή μελέτης	9
1.3 Μελέτη ενδιαιτήματος	11
1.4 Στόχοι της παρούσας εργασίας	15
2. Μέθοδοι και Υλικά	17
2.1. Δειγματοληψίες Μαΐου, Ιουλίου 2010	17
2.2. Ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων	21
2.2.1 Στατιστική ανάλυση	24
2.2.2 Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα	25
2.3 Προβλέψεις και αξιολόγηση των μοντέλων	27
3. Αποτελέσματα	29
3.1 Περιβαλλοντικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του Θρακικού πελάγους το Μάιο και τον Ιούλιο του 2010	
3.1.1 Περιβαλλοντικές και βιολογικές παράμετροι	29
3.1.2 Κατανομή και αφθονία ιχθυοπλαγκτού και ενήλικων ατόμων γαύρου	42
3.2 Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα	46
3.3 Εκτίμηση της πιθανότητας παρουσίας και αξιολόγηση των μοντέλων	69
4. Συζήτηση	71
5. Συμπεράσματα	84
Βιβλιογραφία	88
Παράρτημα	94

Περίληψη

Η παρούσα εργασία είναι μια πρώτη προσπάθεια για τη διερεύνηση και κατανόηση των διαφορών που παρατηρούνται στην κατανομή και αφθονία των ενήλικων ατόμων γαύρου και των αυγών του, στην αρχή και στο μέσο της αναπαραγωγικής περιόδου στο Β. Αιγαίο και πως οι εποχικές μεταβολές στο περιβάλλον (διακύμανση βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων) επηρεάζουν την αναπαραγωγική δραστηριότητα και την κατανομή των πεδίων αναπαραγωγής. Για το σκοπό αυτό συγκρίθηκαν ακουστικά και ιχθυοπλαγκτονικά δεδομένα από την περιοχή του Β.Α. Αιγαίου που συλλέχθηκαν το Μάιο και τον Ιούλιο του 2010, στο πλαίσιο του Ερευνητικού Προγράμματος REPROdUCE. Παρατηρήθηκαν διαφορές ανάμεσα στις δύο εποχές όσον αφορά στη θερμοκρασία, την ποσότητα και χωρική κατανομή του νερού της Μαύρης Θάλασσας (BSW), αλλά και στην παραγωγικότητα. Το Μάιο παρατηρήθηκε πολύ περιορισμένη ωτοκία από το γαύρο που πιθανώς να οφείλεται στη χαμηλή βιομάζα ζωοπλαγκτού σε αντίθεση με τις αυξημένες ποσότητες φυτοπλαγκτού κατά την περίοδο αυτή. Τον Ιούλιο τα αυγά και οι ιχθυονύμφες ήταν παρόντα σχεδόν σε όλη την περιοχή δειγματοληψίας και οι υψηλότερες συγκεντρώσεις τους φάνηκε να σχετίζονται με την παρουσία του BSW.

Για τον χαρακτηρισμό των αναπαραγωγικών πεδίων του γαύρου χρησιμοποιήθηκαν, εκτός από τα ταξίδια του REPROdUCE, επιπλέον ακουστικά και ιχθυοπλαγκτονικά δεδομένα που είχαν συλλεχθεί σε παλαιότερα ερευνητικά ταξίδια και αφορούσαν την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου (2003-2006, 2008). Χρησιμοποιήθηκαν δύο ειδών επεξηγηματικές παράμετροι, δηλαδή παράμετροι που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο πεδίο (*in situ*) αλλά και παράμετροι που εκτιμήθηκαν από το επιχειρησιακό ωκεανογραφικό μοντέλο POM-ERSEM. Η μοντελοποίηση έγινε με τη χρήση Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων που αφορούσαν την παρουσία-απουσία αυγών και ενήλικων ατόμων γαύρου τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο για το ανατολικό (Stratum I) και δυτικό τμήμα (Stratum II) της περιοχής μελέτης. Διαφορές παρατηρήθηκαν ανάμεσα στις περιοχές, αλλά και στις εποχές όσον αφορά στις σημαντικότερες αβιοτικές και βιοτικές παραμέτρους και στο εύρος τιμών τους. Οι επεξηγηματικές μεταβλητές από το ωκεανογραφικό μοντέλο είχαν αντίστοιχη απόδοση με τις *in situ* μεταβλητές, υποδεικνύοντας την έντονη σχέση των αναπαραγωγικών πεδίων του γαύρου με παραγωγικά νερά χαμηλής αλατότητας. Οι προβλέψεις που έδωσαν τα μοντέλα, για την περιοχή και εποχή από την οποία προέκυψαν, ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητικές.

Abstract

The main objective of the present project was to characterize the spawning habitat of the European anchovy, *Engraulis encrasicolus*, in the North Aegean Sea and how this is affected by seasonal changes in the biotic and abiotic environment. Ichthyoplanktonic and acoustic sampling was carried out in late spring (May) and mid summer (July) 2010, i.e. during the beginning and peak of the spawning period of anchovy. Differences were observed between the two periods concerning the productivity and major hydrographic features (intensity of Black Sea Water [BSW] inflow). The spawning intensity was remarkably low in May, and this could be explained in terms of low mesozooplankton biomass in spite of increased phytoplankton concentration during the same period. In July, eggs and larvae were observed over the entire study area, and higher abundances seemed to be related to the presence of BSW.

In order to develop robust statistical models of the spawning habitat, apart from the 2010 cruises, a series of past datasets were also used concerning the North Aegean Sea and the period of June-July (2003-2006, 2008). Two types of parameters were used as explanatory variables: (a) in situ data collected during the sampling cruises (CTD, mesozooplankton biomass), and (b) output parameters of the biogeochemical model POM-ERSEM, operating within the POSEIDON Operational System (www.poseidon.hcmr.gr). Generalized Additive Models (GAMs) were used to model anchovy spawning habitats. Models were built based on ichthyoplankton as well as acoustic (adult) presence/absence data and were developed separately for each month and for the eastern (Stratum I) and western (Stratum II) part of the study area. Differences were observed between the two Strata and among different months concerning the explanatory variables that were most important in characterizing the anchovy spawning habitat. Both types of explanatory variables performed well in describing the association between the environment and the presence/absence of eggs and adults, and in predicting the probability of anchovy presence.

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή

1.1 Γενικά στοιχεία βιολογίας και οικολογίας του γαύρου

Ένα από τα πιο κοινά και άφθονα είδη μικρών πελαγικών ψαριών, ιδιαίτερης οικονομικής σημασίας για την ελληνική αλιεία, είναι ο Ευρωπαϊκός γαύρος (*Engraulis encrasicolus* L.) (Stergiou *et al.* 1997). Εκτός από τη Μεσόγειο συναντάται στη Μαύρη Θάλασσα, καθώς επίσης κατά μήκος των ανατολικών ακτών του Ατλαντικού Ωκεανού, από το νότιο άκρο της Νορβηγίας μέχρι τη νότια Αφρική.

Τα κύρια αποθέματα γαύρου στη Δ. Μεσόγειο απαντώνται στον κόλπο των Λεόντων (Gulf of Lions), στην Κεντρική Μεσόγειο στην Αδριατική και στην Α. Μεσόγειο στο Β.Αιγαίο. Στην υπόλοιπη Μεσόγειο απαντώνται μικρότεροι, έντονα μεταβαλλόμενοι πληθυσμοί. Είναι γνωστό ότι τα αποθέματα του γαύρου της δυτικής και της ανατολικής Μεσογείου είναι γενετικά διακριτά (Magoulas *et al.* 1996). Γενετικές διαφορές έχουν αναφερθεί για τα αποθέματα γαύρου μεταξύ του Ιονίου και του Αιγαίου πελάγους καθώς και ότι δεν αποτελούν ομοιογενή πληθυσμό (Magoulas *et al.* 1996; Somarakis *et al.* 2005 και εκεί αναφορές; Kristoffersen & Magoulas 2008). Τέλος, έχουν αναφερθεί γενετικές διαφορές ανάμεσα στον γαύρο της ανατολικής Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας (Magoulas *et al.* 1996; Somarakis *et al.* 2005).

Ο γαύρος, όπως και όλα τα μικρά πελαγικά ψάρια, χαρακτηρίζεται από μικρή διάρκεια ζωής, ωριμάζει αναπαραγωγικά όταν συμπληρώσει το 1^ο έτος της ηλικίας του (Somarakis *et al.* 2004), παράγει μεγάλο αριθμό αυγών και σχηματίζει χαρακτηριστικού τύπου κοπάδια (Τσαγκαράκης 2011). Η μικρή διάρκεια ζωής έχει ως αποτέλεσμα τις έντονες πληθυσμιακές διακυμάνσεις που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Freon & Misund 1999; Papaconstantinou *et al.* 2007; Checkley *et al.* 2009), διευκολύνοντας την άμεση απόκριση του πληθυσμού τους σε πιθανές περιβαλλοντικές αλλαγές.

Η πλειονότητα των μικρών πελαγικών ειδών τρέφονται με φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν, συνιστώντας έτσι σημαντικό συνδετικό κρίκο στο θαλάσσιο τροφικό

πλέγμα, καθώς τα ίδια αποτελούν το θήραμα μεγαλύτερων θηρευτών (Freon & Misund 1999). Τα ενήλικα άτομα γούρου τρέφονται κατά τη διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι, αλλά και τις πρώτες νυκτερινές ώρες το χειμώνα και καταναλώνουν ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς, κυρίως κωπήποδα και σε μικρότερο βαθμό κλαδοκεραιωτά και άλλα καρκινοειδή, όπως έχει παρατηρηθεί στο Β. Αιγαίο (Νικολιουδάκης, 2011), αλλά και στην υπόλοιπη Μεσόγειο (Palomera *et al.* 2007 και εκεί αναφορές). Πραγματοποιεί κάθετες ημερήσιες μεταναστεύσεις, που είναι συνήθεις σε πολλά είδη μικρών πελαγικών ψαριών και σχετίζονται με την ένταση του φωτός. Τα κοπάδια του γούρου συναντώνται πιο κοντά στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια της νύχτας ενώ, κατά τη διάρκεια της μέρας, μετακινούνται προς μεγαλύτερα βάθη (Palomera *et al.* 2007; Τσαγκαράκης, 2011). Επιπλέον ο γούρος φαίνεται να μετακινείται προς τα βαθύτερα κατά το τέλος του καλοκαιριού – αρχές φθινοπώρου και επιστρέφει προς τις παράκτιες περιοχές ξανά την άνοιξη (Stergiou 1990; Γιαννουλάκη 2003). Τέτοιου είδους εποχιακές μεταναστεύσεις σχετίζονται με τη θρέψη, την αναπαραγωγή και τη διαχείμαση (Freon & Misund 1999).

Στη Μεσόγειο, η αναπαραγωγική περίοδος του γούρου διαρκεί συνήθως από το Μάη μέχρι το Σεπτέμβριο (Somarakis *et al.* 2005 και εκεί αναφορές). Η μέγιστη αναπαραγωγική δραστηριότητα παρατηρείται κατά τον Ιούνιο-Ιούλιο (Somarakis *et al.* 2004). Ο γούρος είναι ένα είδος που προτιμά κατά την αναπαραγωγική του περίοδο συνθήκες που ευνοούν την θρέψη των ενήλικων ατόμων (Somarakis *et al.* 2004 και εκεί αναφορές), ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η κατά κεφαλήν πρόσληψη τροφής τόσο περισσότερο αυγά παράγονται ανά γραμμάριο του αναπαραγωγικού αποθέματος (Somarakis *et al.* in press). Το εποχικό μέγιστο της αναπαραγωγής του είδους και τα πεδία αναπαραγωγής σχετίζονται με περιόδους και περιοχές υψηλής παραγωγικότητας. Οι κυριότερες περιοχές αναπαραγωγής του γούρου στο Β. Αιγαίο χαρακτηρίζονται από εκτεταμένη ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα, ή/και περιοχές περιβαλλόμενες από χέρσο (κλειστές ή ημίκλειστες). Οι περιοχές αυτές έχουν σχετικά υψηλή παραγωγικότητα (Somarakis *et al.* 2005), σε αντίθεση με τον ιδιαίτερα ολιγοτροφικό χαρακτήρα του Αιγαίου, καθώς και ιδιαίτερα υδρογραφικά χαρακτηριστικά, όπως κυκλωνικά και αντικυκλωνικά συστήματα και εκβολές ποταμών (Somarakis *et al.* 2005).

Έκτος από την περιοχή του Β. Αιγαίου, υπάρχουν και άλλες περιοχές στη Μεσογειακή λεκάνη που συγκεντρώνουν χαρακτηριστικά ευνοϊκά για την αναπαραγωγή

του γαύρου. Σύμφωνα με τη θεωρία της 'τριάδας' (ocean triad hypothesis), η αναπαραγωγική επιτυχία είναι μεγαλύτερη όταν συνδυάζονται διαδικασίες εμπλουτισμού του νερού με θρεπτικά, συγκέντρωσης και συγκράτησης θρεπτικών και τροφής (δημιουργία μετώπων από διαφορετικής πυκνότητας μάζες νερού) και τέλος διαδικασίες κατακράτησης ή διασποράς των αυγών και ιχθυονυμφών στα κατάλληλα ενδιαιτήματα (Agostini & Bakun 2002). Οι διαδικασίες εμπλουτισμού περιλαμβάνουν τοπικές αναβλύσεις (upwelling), ανάμειξη της στήλης του νερού και εισροή νερών πλούσιων σε θρεπτικά από άλλες περιοχές (ποτάμια, νερό από τη Μαύρη Θάλασσα στο Β. Αιγαίο, νερό από τον Ατλαντικό στην Θάλασσα Αλμποράν). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συγκέντρωσης θρεπτικών είναι τα μέτωπα που δημιουργούνται μεταξύ μαζών νερού διαφορετικής πυκνότητας. Τέλος, τα κυκλωνικά και αντικυκλωνικά ρεύματα παίζουν σημαντικό ρόλο στη συγκράτηση ή τη διασπορά του ιχθυοπλαγκτού σε περιοχές που ευνοούν την επιβίωσή του. Περιοχές λοιπόν που συγκεντρώνουν τοπικά αυτά τα χαρακτηριστικά στη Μεσόγειο απαντούν στον κόλπο των Λεόντων (Gulf of Lions), στις ακτές της Καταλονίας, στα στενά της Σικελίας (Straits of Sicily), στη Θάλασσα του Αλμποράν (Alboran Sea) και στην Αδριατική Θάλασσα (Agostini & Bakun 2002). Όλες οι περιοχές εκτός της Σικελίας χαρακτηρίζονται από την εισροή νερού χαμηλής αλατότητας που προκαλεί ισχυρή στρωμάτωση της στήλης του νερού.

Δύο είδη μικρών πελαγικών που συναντιούνται στις ίδιες περιοχές με τον γαύρο είναι η σαρδέλα (*Sardina pilchardus*) και η φρίσσα (*Sardinella aurita*). Η αναπαραγωγή της σαρδέλας, σε αντίθεση με το γαύρο, λαμβάνει χώρα κατά του χειμερινούς μήνες. Η αναπαραγωγική περίοδος του γαύρου επικαλύπτεται χρονικά και χωρικά με αυτή της φρίσσας που στη Β.Δ. Μεσόγειο διαρκεί από τον Ιούλιο μέχρι τον Οκτώβρη (Palomera *et al.* 2007) ενώ στο Β. Αιγαίο από τον Μάιο μέχρι τον Ιούλιο (Tsikliras & Antonopoulou 2006). Τα αυγά της φρίσσας όπως αναφέρουν οι Palomera *et al.* (2007) και οι Schismenou *et al.* (2008) σχετίζονται με υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες (>23 °C) και είναι πιο άφθονα σε ρηχές περιοχές στις οποίες τα αυγά του γαύρου παρουσιάζουν γενικά χαμηλές αφθονίες.

1.2 Περιοχή μελέτης

Η Μεσόγειος και ιδιαίτερα το ανατολικό τμήμα της χαρακτηρίζεται ως ολιγοτροφική περιοχή. Υπάρχουν όμως ορισμένες περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας όπως κάποιες περιοχές του Β. Αιγαίου. Έτσι, η συγκέντρωση θρεπτικών, η αφθονία φυτοπλαγκτού και ζωοπλαγκτού είναι κατά μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερες στο Βόρειο Αιγαίο σε σύγκριση με το Νότιο Αιγαίο και το Ιόνιο πέλαγος (Stergiou *et al.* 1997). Ένα μεγάλο μέρος του τροφικού άνθρακα (fixed carbon) διοχετεύεται μέσω της μικροβιακής αλυσίδας στα κωπήποδα (Siokou-Frangou *et al.* 2002), που αποτελούν κύρια πηγή τροφής για το γαύρο. Η ροή ενέργειας από τους πρωτογενείς παραγωγούς μέχρι τα ψάρια είναι πιο αποτελεσματική στο Β.Α. Αιγαίο σε σχέση με το υπόλοιπο Αιγαίο.

Η περιοχή μελέτης της παρούσας διατριβής περιλαμβάνει την υφαλοκρηπίδα της Λήμνου, το Θρακικό πέλαγος, το Στρυμονικό κόλπο, το Θερμαϊκό κόλπο, τις Β. Σποράδες και τους κόλπους της Χαλκιδικής (Fig.1). Το Αιγαίο γενικά χαρακτηρίζεται από πολύπλοκη τοπογραφία με την παρουσία πολλών νησιών, αλλά και ημίκλειστων περιοχών που επικοινωνούν με ανοιχτές περιοχές, ενώ περιοχές με εκτεταμένη υφαλοκρηπίδα χωρίζονται μεταξύ τους από βαθιές τάφρους.

Μια περιοχή με εκτεταμένη υφαλοκρηπίδα συναντάται στο Θρακικό πέλαγος, το λεγόμενο πλατό της Σαμοθράκης. Η λεκάνη της Λήμνου διαχωρίζει το πλατό της Σαμοθράκης από το πλατό της Λήμνου, ενώ το μέγιστο βάθος της λεκάνης φτάνει τα 1550 m. Όσον αφορά την υδρογραφία της περιοχής, βασικό χαρακτηριστικό είναι η εισροή νερού από τη Μαύρη Θάλασσα (Black Sea Water, BSW) μέσω του στενού των Δαρδανελίων. Το νερό της Μαύρης Θάλασσας είναι η κύρια πηγή νερού χαμηλής αλατότητας στο Β. Αιγαίο και περιορίζεται στα πρώτα 20-50 m βάθος, δημιουργώντας ένα επιφανειακό στρώμα. Απόρροια της εισροής BSW είναι ο σχηματισμός ενός μόνιμου αντικυκλωνικού ρεύματος που περιβάλλει τη Σαμοθράκη όπου και εγκλωβίζεται μεγάλο μέρος του BSW (Zervakis & Georgopoulos 2002, Somarakis *et al.* 2002, Isari *et al.* 2011). Η ένταση της εισροής BSW είναι εντονότερη την άνοιξη-αρχές καλοκαιριού (Zervakis & Georgopoulos 2002, Isari *et al.* 2006). Η κίνηση του νερού στον αντικυκλώνα της Σαμοθράκης προκαλεί τη βύθιση του νερού χαμηλής αλατότητας (ταπείνωση των ισοθέρμων και ισοάλων) και τη δημιουργία στην παράκτια περιοχή της

Θράκης ασθενούς ανάβλυσης (ανύψωση των ισοθέρμων και ισοάλων). Κάτω από το επιφανειακό στρώμα του BSW, το νερό έχει την τυπική θερμοκρασία και αλατότητα του νερού προέλευσης Ν. Αιγαίου και Λεβαντινής που φτάνει μέχρι τα 400 m βάθος. Τέλος, στα νότια της περιοχής μελέτης, στο πλατό της Λήμνου, το BSW συναντά το αλμυρό νερό Λεβαντινής προέλευσης δημιουργώντας ένα ισχυρό μέτωπο που χαρακτηρίζεται από υψηλή παραγωγικότητα (Isari *et al.* 2006; Siokou-Frangou *et al.* 2009). Στο Στρυμονικό κόλπο παρατηρείται επίσης συχνά ένα αντικυκλωνικό ρεύμα (Somarakis & Nikoliodakis 2007). Τόσο το τελευταίο όσο και ο αντικυκλώνας της Σαμοθράκης συνδέονται με ένα κυκλωνικό σύστημα που σχηματίζεται νότια της Θάσου (Somarakis *et al.* 2002; Giannoulaki *et al.* 2008). Εκτός από το BSW, η περιοχή επηρεάζεται και από πολλά ποτάμια που καταλήγουν στην περιοχή, όπως ο Έβρος, ο Νέστος και ο Στρυμόνας. Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν στην αυξημένη πρωτογενή και δευτερογενή παραγωγικότητα της περιοχής του Β.Α. Αιγαίου (Isari *et al.* 2006, 2007).

Ο κόλπος του Θερμαϊκού είναι μια ρηχή θαλάσσια περιοχή που περικλείεται από στεριά και στα νότια επικοινωνεί με θάλασσα. Στην περιοχή αυτή εκβάλλουν αρκετά ποτάμια (Αξιός, Αλιάκμονας, Λουδίας, Γαλλικός και Πηνειός) που παίζουν ρόλο στον εμπλουτισμό του κόλπου με θρεπτικά και οργανικό υλικό. Η κυκλοφορία στο Θερμαϊκό είναι συνήθως αντικυκλωνική στο εσωτερικό του και κυκλωνική στην είσοδο του κόλπου (Somarakis & Nikoliodakis 2007). Η Χαλκιδική χαρακτηρίζεται από ημίκλειστους κόλπους με μεγάλα βάθη (>200 m), ενώ, τέλος, οι Σποράδες έχουν περιορισμένη υφαλοκρηπίδα.

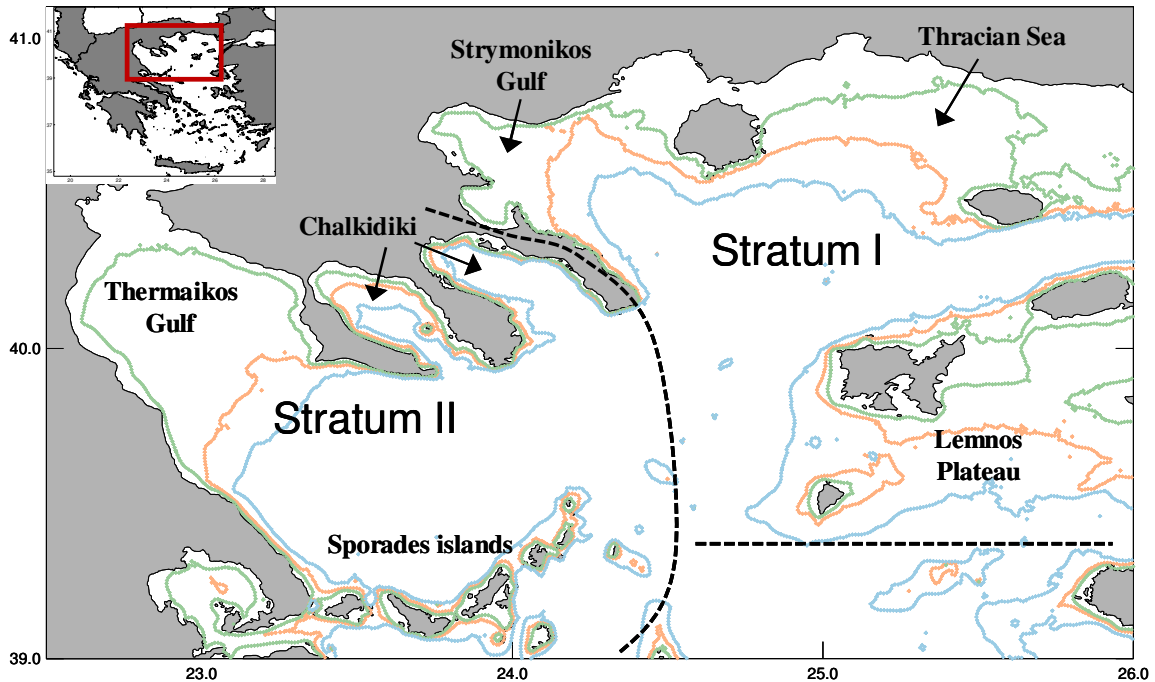


Figure 1. Map of the study area. Stratum 1 and Stratum 2 are the statistical, regional strata considered in the routine acoustic and egg production surveys in the region.

1.3 Μελέτη ενδιαιτήματος

Το ενδιαίτημα ενός οργανισμού είναι ένα σύμπλεγμα φυσικών και βιοτικών παραγόντων που καθορίζουν ή περιγράφουν το μέρος όπου αυτός ο οργανισμός ζει (Freon & Misund 1999). Το περιβάλλον ενός πελαγικού οικοσυστήματος χαρακτηρίζεται από πολυάριθμους αβιοτικούς και βιοτικούς παράγοντες. Αβιοτικοί παράγοντες είναι η θερμοκρασία, το οξυγόνο, η αλατότητα, η ένταση του φωτός, η ταχύτητα των ρευμάτων κ.ά., ενώ βιοτικοί παράγοντες είναι η παρουσία ατόμων του ίδιου είδους και η παρουσία λείας ή θηρευτών.

Λόγω της οικονομικής τους σημασίας τα μικρά πελαγικά έχουν αποτελέσει το αντικείμενο εκτενούς μελέτης της βιολογίας τους και κυρίως της κατανομής και της αφθονίας τους (Freon & Misund 1999 και εκεί αναφορές). Από βιολογικής σκοπιάς τα μικρά πελαγικά έχουν ιδιαίτερο ρόλο στο τροφικό πλέγμα καθώς είναι ένας σημαντικός συνδετικός κρίκος για τη μεταφορά της ενέργειας από τα χαμηλότερα τροφικά επίπεδα (φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν) προς τους ανώτερους θηρευτές. Οι έντονες πληθυσμιακές

διακυμάνσεις που τα χαρακτηρίζουν εξαρτώνται έντονα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις αλλαγές αυτών (Freon & Misund 1999; Papaconstantinou *et al.* 2007). Οι περιβαλλοντικές διακυμάνσεις δρουν είτε έμμεσα στον ενήλικο πληθυσμό, επηρεάζοντας την παραγωγή αυγών και τη διάρκεια και συχνότητα της αναπαραγωγικής δραστηριότητας, είτε άμεσα στα αυγά και τις ιχθυονύμφες επηρεάζοντας την ανάπτυξη, την επιβίωση και την κατανομή τους (Somarakis *et al.* 2011 και εκεί αναφορές). Έτσι, οι περιβαλλοντικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο και καθορίζουν την επιτυχία της αναπαραγωγικής περιόδου ενός είδους. Ο χαρακτηρισμός των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν κατά την αναπαραγωγική περίοδο και πως αυτές εξελίσσονται από μήνα σε μήνα είναι σημαντική πληροφορία για τον καθορισμό του αναπαραγωγικού ενδιαιτήματος ενός είδους.

Τα ενήλικα άτομα είναι αυτά που εξαρχής επιλέγουν τις κατάλληλες τοποθεσίες στις οποίες θα ελευθερώσουν τα αυγά τους. Επιπλέον, η αναπαραγωγική περίοδος στα περισσότερα Μεσογειακά μικρά πελαγικά είδη διαρκεί αρκετούς μήνες, όχι όμως με την ίδια ένταση παραγωγής αυγών καθ' όλη τη διάρκεια της αναπαραγωγικής περιόδου. Η αναπαραγωγική περίοδος του γαύρου διαρκεί από την άνοιξη μέχρι το φθινόπωρο και καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία και τη διαθεσιμότητα τροφής (Palomera *et al.* 2007). Η παραγωγή αυγών μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής, όπως επίσης και οι συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον. Η θερμοκρασία, η σταθερότητα της στήλης του νερού, η διαθεσιμότητα τροφής είναι μερικές σημαντικές παράμετροι που αλλάζουν όσο προχωράμε από την άνοιξη προς το καλοκαίρι και προς το φθινόπωρο.

Μελέτες σχετικά με την κατανομή και αφθονία των αυγών, ιχθυονυμφών ή ενηλίκων ατόμων γαύρου και τη συσχέτιση τους με περιβαλλοντικούς παράγοντες και τα υδρογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης έχουν πραγματοποιηθεί στη Δ. Μεσόγειο (Palomera *et al.* 2007 και εκεί αναφορές, Sabates *et al.* 2007a; Sabates *et al.* 2007b) και στις ευρωπαϊκές ακτές του Ατλαντικού (Ribeiro *et al.* 1996; Planque *et al.* 2007; Allain *et al.* 2007).

Όσον αφορά το Αιγαίο, οι δημοσιευμένες εργασίες για το γαύρο αφορούν τις αρχές καλοκαιριού, κυρίως τον μήνα Ιούνιο, δηλαδή την περίοδο που ξεκινάει η μέγιστη αναπαραγωγική δραστηριότητα του είδους. Η παρουσία και κατανομή των ενηλίκων ατόμων γαύρου και η συσχέτιση τους με περιβαλλοντικές παραμέτρους είναι αντικείμενο

μελέτης στο Β. Αιγαίο τα τελευταία μόνο χρόνια (Giannoulaki *et al.* 2005, Giannoulaki *et al.* 2008; Giannoulaki *et al.* 2010). Όσον αφορά την κατανομή και αφθονία των αυγών στο Β. Αιγαίο υπάρχει μόνο μία μελέτη των εν δυνάμει αναπαραγωγικών πεδίων που βασίζεται σε δορυφορικά δεδομένα (Schismenou *et al.* 2008). Αντιθέτως, αρκετές εργασίες έχουν γίνει σχετικά με την ημερήσια παραγωγή αυγών και την εφαρμογή της μεθόδου DEPM (Daily Egg Production Method) για την εκτίμηση της βιομάζας του αποθέματος στο Β. Αιγαίο (Somarakis *et al.* 2002α; Somarakis 2005; Somarakis *et al.* in press). Τέλος, η κατανομή των ιχθυονυμφών του γαύρου έχει μελετηθεί για διαδοχικά έτη και έχει συσχετισθεί με τις περιβαλλοντικές διακυμάνσεις από έτος σε έτος αλλά και με τα υδρογραφικά χαρακτηριστικά του Β. Αιγαίου, κυρίως με την παρουσία του νερού της Μαύρης Θάλασσας (Somarakis *et al.* 2000; Somarakis *et al.* 2002β; Somarakis & Nikoliodakis 2007; Isari *et al.* 2008; Somarakis *et al.* 2011).

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο μελέτης το λεγόμενο «realized spawning habitat» όπως ορίζεται στην εργασία των Planque *et al.* (2007) ως το ενδιαίτημα όπου η αναπαραγωγή πράγματι συμβαίνει σε συγκεκριμένο χρόνο και στιγμή. Οι παράγοντες που κυρίως επηρεάζουν την γεωγραφική θέση και την έκταση των αναπαραγωγικών πεδίων σχετίζονται εκτός άλλων και από πυκνοεξααρτώμενες διαδικασίες, δηλαδή το μέγεθος και την ηλικιακή δομή του ενήλικου πληθυσμού (Somarakis *et al.* 2004).

Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα ιχθυοπλαγκτού αλλά και δεδομένα κοπαδιών ενηλίκων ατόμων γαύρου που προέρχονται από ακουστικές έρευνες στην περιοχή του Β. Αιγαίου. Η εκτίμηση της κατανομής και της αφθονίας των μικρών πελαγικών με ακουστικά μέσα είναι ευρέως διαδεδομένη και θεωρείται από τις πιο αξιόπιστες μεθοδολογίες (MacLennan & Simmonds 1992; Γιαννουλάκη 2003 και εκεί αναφορές). Σήμερα οι υδροακουστικές μέθοδοι επιτρέπουν την ανίχνευση και τον ακριβή εντοπισμό των ψαριών συνιστώντας έτσι ένα πολύτιμο εργαλείο για την αλιευτική έρευνα. Επιπλέον, 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 αποτελεί μια μέθοδο συλλογής δεδομένων που καθιστά δυνατή την έρευνα ενός μεγάλου όγκου νερού σε μικρό χρονικό διάστημα. Η κατανομή όμως των πληθυσμών στη φύση δεν είναι ομοιόμορφη, αλλά αντιθέτως παρουσιάζει μεγάλη

ετερογένεια. Τα κοπάδια των μικρών πελαγικών ψαριών είναι ανομοιογενώς κατανεμημένα στο χώρο με αποτέλεσμα η παρουσία κοπαδιών να περιορίζεται σε μια μικρή έκταση σε σχέση με την έκταση της περιοχής δειγματοληψίας. Επιπλέον, η οριζόντια κατανομή των αυγών στο χώρο καθορίζεται καταρχήν από τα ενήλικα άτομα και τις περιοχές όπου αυτά επιλέγουν να ελευθερώσουν τα αυγά τους. Εν συνεχεία όμως, τα αυγά εξαρτώνται από τα υδρογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, τα οποία είτε συγκρατούν τα αυγά σε συγκεκριμένες περιοχές είτε τα μεταφέρουν μακριά από τα σημεία ωοτοκίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη κατανομή και παρουσία τους στο χώρο.

Ως εκ τούτου, τα δεδομένα των ιχθυοπλαγκτονικών και των ακουστικών ερευνών με τα οποία διαπραγματευόμαστε στην παρούσα εργασία χαρακτηρίζονται από μεγάλο αριθμό μηδενικών τιμών (απουσίες) σε σχέση με την παρουσία είτε αυγών είτε κοπαδιών. Τα χωρικά πρότυπα της κατανομής των μικρών πελαγικών σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για την εφαρμογή στατιστικών μοντέλων, συγκεκριμένα των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων (GAM's), με σκοπό τον καθορισμό των περιβαλλοντικών παραμέτρων που σχετίζονται με το αναπαραγωγικό ενδιαίτημα.

Η μοντελοποίηση του ενδιαιτήματος ενός είδους σε σχέση με περιβαλλοντικές παραμέτρους συμβάλλει στην κατανόηση των διαδικασιών που επηρεάζουν τις ετήσιες και εποχιακές διακυμάνσεις της κατανομής και της αφθονίας ενός είδους αλλά και της αναπαραγωγικής του δραστηριότητας, και παρέχει πληροφορίες βασικής σημασίας όσον αφορά στην οικολογία και τη διαχείριση του είδους. Ολοένα και περισσότερο, η χρήση στατιστικών μοντέλων αποκτά σημαντική θέση στη μελέτη και τον καθορισμό του αναπαραγωγικού ενδιαιτήματος μικρών πελαγικών ψαριών όπως ο γαύρος (Planque *et al.* 2007, Schismenou *et al.* 2008; Weber & McClatchie 2010) και η σαρδέλα (Stratoudakis *et al.* 2003; Bernal *et al.* 2007; Stratoudakis *et al.* 2007; Zwolinski *et al.* 2009).

1.4 Στόχοι της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία είναι μια πρώτη προσπάθεια για τη διερεύνηση και κατανόηση των διαφορών που παρατηρούνται στην κατανομή και αφθονία των ενηλίκων ατόμων γαύρου, καθώς και των αυγών του στο πλαγκτόν, ανάμεσα σε διαφορετικές φάσεις της αναπαραγωγικής περιόδου (αρχή και μέσο της αναπαραγωγικής περιόδου) στο Β. Αιγαίο. Δηλαδή πως οι εποχικές μεταβολές στο περιβάλλον (διακύμανση βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων) επηρεάζουν την αναπαραγωγική δραστηριότητα και την κατανομή των πεδίων αναπαραγωγής. Για το σκοπό αυτό συγκρίνονται ακουστικά και ιχθυοπλαγκτονικά δεδομένα από την περιοχή του ΒΑ Αιγαίου που συλλέχθηκαν το Μάιο και τον Ιούλιο του 2010, στο πλαίσιο του Ερευνητικού Προγράμματος REPROdUCE.

Επιπλέον γίνεται η πρώτη προσπάθεια μοντελοποίησης και χαρακτηρισμού του ενδιαιτήματος των ενηλίκων (ακουστικά δεδομένα) και των αυγών (ιχθυοπλαγκτονικά δεδομένα) γαύρου με χρήση δύο διαφορετικών τύπων περιβαλλοντικών δεδομένων:

- ‘*In situ*’ δεδομένα, δηλαδή, δεδομένα από κατακόρυφα προφίλ περιβαλλοντικών παραμέτρων και δεδομένα βιομάζας μεσοζωοπλαγκτού που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια των ακουστικών και ιχθυοπλαγκτονικών δειγματοληψιών.
- ‘Ωκεανογραφικά’ δεδομένα, δηλαδή δεδομένα που εξάχθηκαν από την εφαρμογή ενός τρισδιάστατου, μοντέλου κυκλοφορίας/βιογεωχημείας POM - Princeton Ocean Model και ERSEM - European Regional Seas Ecosystem Model το οποίο εφαρμόζεται στην περιοχή του Αιγαίου (Triantafyllou *et al.* 2005) και είναι διαθέσιμο στο Επιχειρησιακό Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ του ΕΛΚΕΘΕ (www.poseidon.hcmr.gr). Το μοντέλο POM είναι ένα 3-D ωκεανογραφικό μοντέλο κυκλοφορίας και το ERSEM (συνδεδεμένο με το POM) είναι ένα βιογεωχημικό μοντέλο και περιγράφει τις διαδικασίες που καθορίζουν τους κύκλους του άνθρακα, αζώτου, φώσφορου και πυριτίου στο πελαγικό και βενθικό περιβάλλον, αλλά και πως συνδέονται αυτά τα δύο (Triantafyllou *et al.* 2005 και εκεί αναφορές). Το βιογεωχημικό μοντέλο εκτίμησε προβλέψεις συγκεκριμένων παραμέτρων (π.χ. θερμοκρασία, ταχύτητα ρεύματος, χλωροφύλλη, ζωοπλαγκτόν) για τις γεωγραφικές συντεταγμένες και τις χρονικές περιόδους των ακουστικών και ιχθυοπλαγκτονικών δειγματοληψιών.

Για τη μοντελοποίηση του ενδιατήματος του γαύρου χρησιμοποιήθηκαν ακουστικά και ιχθυοπλαγκτονικά δεδομένα, όχι μόνο από τους πλόες του Προγράμματος REPROdUCE (Μάιος και Ιούλιος 2010), αλλά και όλα τα διαθέσιμα δεδομένα που είχαν συλλεχθεί στο πλαίσιο του 'Εθνικού Προγράμματος Συλλογής Αλιευτικών Δεδομένων'. Συγκεκριμένα, ακουστικά δεδομένα και δεδομένα αφθονίας αυγών την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου των ετών 2003-2006 και 2008 (πέντε έτη).

Συνοπτικά, η εργασία αυτή περιλαμβάνει:

- Την εργαστηριακή ανάλυση των ακουστικών, ιχθυοπλαγκτονικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων και την επεξεργασία των δεδομένων από τις δειγματοληψίες του Μάιου και Ιουλίου του 2010. Ιδιαίτερη έμφαση δίνετε στις διαφορές των δύο εποχών όσον αφορά στις αβιοτικές παραμέτρους, την παραγωγικότητα αλλά και την οριζόντια και κάθετη κατανομή των περιβαλλοντικών παραμέτρων.
- Το χαρακτηρισμό των αναπαραγωγικών πεδίων γαύρου από τη σκοπιά της κατανομής των ενήλικων ατόμων, δηλαδή του αναπαραγόμενου πληθυσμού, αλλά και από τη μεριά της κατανομής των αυγών, δηλαδή των προϊόντων της αναπαραγωγικής διαδικασίας, στο πλαγκτόν.
- Τη διερεύνηση εποχικών διαφορών όσον αφορά στην επίδραση του περιβάλλοντος. Χρήση των δεδομένων (2003-2010) από διαφορετικούς μήνες, δηλαδή το Μάιο, τον Ιούνιο και τον Ιούλιο και ανάπτυξη ξεχωριστών στατιστικών μοντέλων παρουσίας/απουσίας για κάθε μήνα.
- Σύγκριση δύο διακριτών περιοχών, με ιδιαίτερα υδρογραφικά χαρακτηριστικά η κάθε μια, δηλαδή της ανατολικής (Stratum I) και δυτικής περιοχής (Stratum II) του Β. Αιγαίου.
- Ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων με δύο ειδών επεξηγηματικές παραμέτρους, δηλαδή από *in situ* καταγραφές και από το επιχειρησιακό βιογεωχημικό μοντέλο. Χρήση των μοντέλων για την πρόβλεψη πιθανότητας παρουσίας αυγών και ενήλικων ατόμων γαύρου.
- Σύγκριση των τελικών μοντέλων ως προς τις παραμέτρους που εισέρχονται σε αυτά αλλά και ως προς την ικανότητα πρόβλεψης της πιθανότητας παρουσίας των αυγών και των ενήλικων ατόμων γαύρου.

Κεφάλαιο 2^ο

Μέθοδοι και Υλικά

2.1. Πλόες Μαΐου, Ιουλίου 2010

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από δύο δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν με το ερευνητικό σκάφος «ΦΙΛΙΑ» του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσιών Ερευνών και έγιναν το Μάιο (4-11/5) και τον Ιούλιο (4-14/7) του 2010 στο βορειοανατολικό Αιγαίο (Fig. 2.2). Ο στόχος των δειγματοληψιών ήταν η μελέτη των αναπαραγωγικών πεδίων του ευρωπαϊκού γαύρου (*Engraulis encrasicolus*) στην αρχή και το μέσο (μέγιστο) της αναπαραγωγικής περιόδου του είδους. Και στα δύο ερευνητικά ταξίδια πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα δειγματοληψίες ιχθυοπλαγκτού και ακουστικών.

Οι ακουστικές δειγματοληψίες έγιναν με τη χρήση του ηχοβολιστικού Biosonic Split Beam DT-X (38 kHz), κατά μήκος προκαθορισμένων διατομών (Fig. 2.2) και η ταχύτητα του σκάφους κατά τη διάρκεια του ηχοβολισμού ήταν 8 ναυτικά μίλια (nm). Σύμφωνα με το σχέδιο του Bazigos (1974), οι διατομές ήταν κάθετες προς την ακτογραμμή και παράλληλες μεταξύ τους (απόσταση 10 nm)

Ο ηχοβολισμός γίνεται καθ' όλη τη διάρκεια της πορείας, κατά μήκος των διατομών και συλλέγει ακουστικά δεδομένα. Το επιστρεφόμενο σήμα του ηχοβολιστικού κάθετης σάρωσης αντιστοιχίστηκε με το γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος με ακρίβεια ενός ring (εκπεμπόμενος ηχητικός παλμός από το μορφομετατροπέα) με τη βοήθεια φορητού GPS που συνδεόταν με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η επεξεργασία των δεδομένων κάθε ερευνητικού ταξιδιού έγινε με το πρόγραμμα Myriax Echoview software v4.30, και για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε ως κατώτερο όριο οπισθοανακλώμενου ήχου τα -70 dB. Το ελάχιστο μέγεθος μήκους και ύψους για την ανίχνευση των σχολείων ορίστηκε σε 3 και 1 m αντίστοιχα, ενώ η μέγιστη κάθετη και οριζόντια απόσταση μεταξύ των σχολείων ορίστηκε σε 0.10 και 5 m αντίστοιχα. Το μέγεθος της στοιχειώδους μονάδας δειγματοληψίας (EDSU, Elementary Distance Sampling Unit) δηλαδή το μήκος της πορείας του σκάφους που γίνεται ολοκλήρωση του ήχου (MacLennan & Simmonds 1992) ήταν το ένα ναυτικό μίλι (nm). Ως μονάδα μέτρησης του οπισθοανακλώμενου

ήχου χρησιμοποιήθηκε το m^2/nm^2 (NASC, Nautical Area Scattering Coefficient). Στο ηχοβολιστικό γινόταν βαθμονόμηση συχνά με μεταλλικές σφαίρες γνωστού ηχοανακλαστικού δυναμικού (Η.Δ.) (Foote *et al.* 1987) ώστε να είναι δυνατή η ποσοτική μέτρηση των καταγραφών των ηχοβολιστικών. Παράλληλα με τις ακουστικές δειγματοληψίες διεξήχθησαν και σύρσεις με πελαγική τράτα (κάθετο άνοιγμα 10 m, μάτι δικτυού στο σάκο, 8 mm). Στα ηχογράμματα αναγνωρίστηκαν κοπάδια από ενήλικα και νεαρά άτομα γαύρου και σαρδέλας καθώς και κοπάδια φρίσσας και σκουμπριού. Η διάκριση των ήχων των διάφορων ειδών έγινε βάσει των χαρακτηριστικών σχημάτων των σχολείων στα ηχογράμματα αλλά και από τη σύσταση του αλιεύματος από τις δειγματοληψίες με την πελαγική τράτα. (MacLennan & Simmonds 1992; Giannoulaki *et al.* 2008). Ειδικότερα, τα χαρακτηριστικά βάσει των οποίων έγινε η διάκριση των σχολείων αφορούν το μέγεθος (ύψος, πλάτος), το σχήμα, την ένταση του ανακλώμενου ήχου, τη θέση του σχολείου στη στήλη του νερού (Τσαγκαράκης 2011). Για παράδειγμα τα τυπικά κοπάδια του γαύρου είναι μικρότερα από 10 m σε ύψος και απαντούν σε μικρή απόσταση από το βυθό (Fig. 2.1a), ενώ τα κοπάδια του σκουμπριού είναι μεγάλα σε ύψος και εμφανίζουν με καμπανοειδές σχήμα (Fig. 2.1b). Η σαρδέλα σχηματίζει μεγάλα σε ύψος κοπάδια, τα οποία αντανakλούν σε υψηλότερες εντάσεις ήχου σε σχέση με το γαύρο, ενώ τα κοπάδια των νεαρών ατόμων σαρδέλας σχηματίζουν επιμήκη σχηματισμούς που μοιάζουν με κορδέλες (Fig. 2.1c).

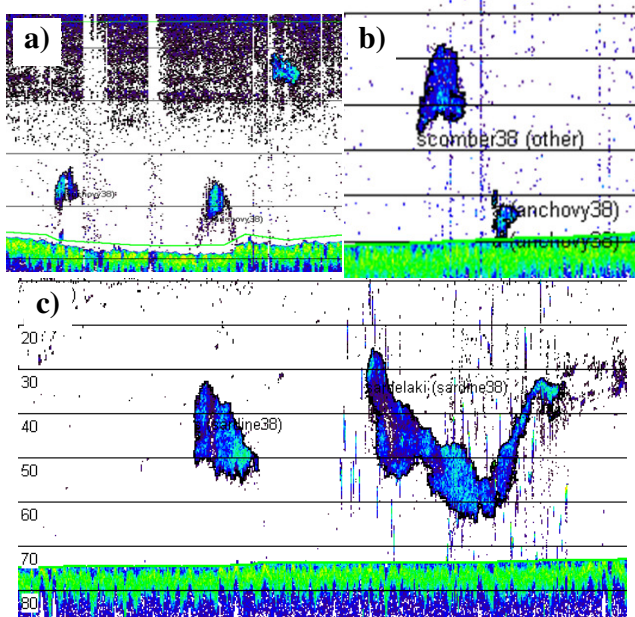


Figure 2.1. Representative schools of anchovy, sardine, juvenile sardine and scomber as shown on the echograms.

Τα δείγματα ζωοπλαγκτού συλλέχθηκαν και τις δύο εποχές σε ένα δίκτυο 83 προκαθορισμένων σταθμών (Fig. 2.2), με κάθετες σύρσεις του δειγματολήπτη WP2 (επιφάνεια δειγματοληψίας: 0.255 m², άνοιγμα ματιού γάζας: 0.200-mm). Οι σύρσεις γίνονταν από τα 5 m πάνω από το βυθό μέχρι την επιφάνεια για τους ρηχούς σταθμούς ή από τα 100 m μέχρι την επιφάνεια στους βαθύτερους σταθμούς. Τα δείγματα μονιμοποιήθηκαν σε διάλυμα φορμόλης 10% ρυθμισμένης σε pH: 8.5-9 με βόρακα.

Στο εργαστήριο τα αυγά και οι ιχθυονύμφες του γαύρου αφαιρέθηκαν από τα δείγματα, καταμετρήθηκαν και διαχωρίστηκαν σε 11 στάδια εμβρυονικής ανάπτυξης, όπως περιγράφονται στον Moser *et al.* (1985). Η διάκριση των ιχθυονυμφών διαφορετικών ειδών (κυρίως μεταξύ γαύρου και φρίσσας) έγινε βάσει της υπάρχουσας βιβλιογραφίας (Σωμαράκης 1999). Τέλος, ο αριθμός των αυγών και των ιχθυονυμφών κάθε αναπτυξιακού σταδίου εκφράστηκε σαν αριθμός ανά τετραγωνικό μέτρο (m⁻²) (Σωμαράκης 1999). Η διάκριση των αυγών γαύρου που ήταν ηλικίας μιας ημέρας (ηλικία 0), δηλαδή αυτά που γεννήθηκαν το αμέσως προηγούμενο βράδυ, έγινε συναρτήσει της ώρας δειγματοληψίας και της επιφανειακής θερμοκρασίας (στα 5 m βάθους) (Σωμαράκης 1999). Έτσι, εκτιμήθηκε ο αριθμός αυγών ηλικίας 0 ανά τετραγωνικό μέτρο (m⁻²). Η αφθονία των αυγών και των ιχθυονυμφών απεικονίστηκε σε χάρτες με τη χρήση του προγράμματος Surfer v7.0 της Golden Software, Inc.

Τα δείγματα του μεσο-ζωοπλαγκτού χωρίστηκαν σε δύο μέρη ίδιου όγκου με πιπέτα Stempel. Το ένα μέρος του δείγματος (με τυχαία επιλογή) αποθηκεύθηκε ξανά σε φορμόλη (για αναγνώριση των τάξεων του ζωοπλαγκτού). Το δεύτερο μισό του δείγματος φιλτραρίστηκε σε προζυγισμένα φίλτρα Whatman (με μικροϊνίδια γυαλιού, διάμετρος φίλτρου 25 mm) και στη συνέχεια αποξηράθηκε σε φούρνο για 24 ώρες σε σταθερή θερμοκρασία (60 °C). Τα φίλτρα ήταν αριθμημένα και κάθε ένα από αυτά αντιστοιχίστηκε σε ένα δείγμα. Μετά την αποξήρανση τα φιλτραρισμένα δείγματα ζυγίστηκαν εκ νέου και εκτιμήθηκε η ξηρή βιομάζα του μεσο-ζωοπλαγκτού σε mg m⁻² για κάθε σταθμό, ανά εποχή.

διαφορά $D=|p_z-p_{z-1}|$ έπαιρνε τη μεγαλύτερη τιμή της. Τέλος υπολογίστηκε το έλλειμμα δυναμικής ενέργειας (Potential Energy Deficit - PED) βάσει του τύπου

$$\phi = \frac{1}{H + \xi} \int_{-H}^{\xi} (\bar{\rho} - \rho_z) g * z * dz \text{ (που περιγράφεται στον Allain } et al. 2007), \text{ όπου,}$$

$$\bar{\rho} = \phi = \frac{1}{H + \xi} \int_{-H}^{\xi} \rho_z * dz$$

$dz=1$, αφού οι μετρήσεις σε κάθε σταθμό γίνονταν ανά 1 m βάθους

ρ_z : η πυκνότητα στο βάθος z ,

g : επιτάχυνση της βαρύτητας

H : το μέγιστο βάθος στο σταθμό δειγματοληψίας (ή τα 100 m για τους βαθιούς σταθμούς)

Οι χάρτες κατανομής των περιβαλλοντικών παραμέτρων, που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 3, εκτιμήθηκαν με τη μέθοδο ‘Inverse Distance to a Power’ στο πρόγραμμα Surfer v7.0 της Golden Software, Inc.

2.2. Ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων

Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκαν στατιστικά μοντέλα για τη μελέτη των αναπαραγωγικών πεδίων του γαύρου στο Β. Αιγαίο. Η μοντελοποίηση αφορούσε την παρουσία και απουσία αυγών γαύρου (ηλικίας 0) και ενήλικων ατόμων γαύρου και έγινε με τη χρήση των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων (GAM’s). Για τη δημιουργία αξιόπιστων στατιστικών μοντέλων η ανάλυση δεν περιορίστηκε στα δεδομένα του 2010, αλλά χρησιμοποιήθηκε μια σειρά δεδομένων από δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στο Β. Αιγαίο και αφορούσαν την περίοδο Μαΐου-Ιουλίου από το 2003 έως σήμερα (συγκεκριμένα 2003 έως 2006, 2008, 2010). Η ευρύτερη περιοχή μελέτης για τα προηγούμενα έτη περιλάμβανε το Θρακικό πέλαγος, το Στρυμονικό κόλπο, το Θερμαϊκό κόλπο, τη Χαλκιδική και τις Σποράδες (Fig. 1). Όπως όμως έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 1, η Β.Δ. περιοχή του Αιγαίου διαφέρει από την Β.Α περιοχή όσον αφορά τα υδρογραφικά χαρακτηριστικά. Έτσι, το Θρακικό πέλαγος και ο Στρυμονικός κόλπος διαχειρίστηκαν ως μια περιοχή (Stratum I), ενώ ο Θερμαϊκός κόλπος, η Χαλκιδική και οι Σποράδες ως μια άλλη (Stratum II), τόσο όσον αφορά τα αυγά όσο και τα ενήλικα άτομα (Fig. 1). Η μεθοδολογία της ακουστικής δειγματοληψίας

κατά τα έτη 2003-2008 περιγράφεται στους Giannoulaki *et al.* (2008), ενώ αυτή του ιχθυοπλαγκτού στους Somarakis *et al.* (2011).

Table 2. 1. Dates of the sampling cruises from 2003 to 2010. Stratum I corresponds to the Thracian Sea and Strymonikos Gulf, whereas Stratum II to Gulf of Thermaikos, Gulfs of Chalkidiki and Sporades.

Cruise	Stratum	Date	
		Start	Finish
2003	I	1/06/2003	12/06/2003
	II	12/06/2003	26/06/2003
2004	I	30/05/2004	15/06/2004
	II	15/06/2004	25/06/2004
2005	I	31/05/2005	18/06/2005
	II	18/06/2005	27/06/2005
2006	I	16/06/2006	2/07/2006
	II	1/06/2006	16/06/2006
2008	I	30/06/2008	21/07/2008
	II	19/06/2008	30/06/2008
2010	I	4/05/2010	11/05/2010
	I	4/07/2010	14/07/2010

Παράμετροι των ωκεανογραφικών μοντέλων POM, ERSEM

Μια δεύτερη ομάδα παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν ως επεξηγηματικές παράμετροι, εκτός από αυτές που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες *in situ*, ήταν αυτές που προέκυψαν από τα επιχειρησιακά ωκεανογραφικά μοντέλα POM - Princeton Ocean Model και ERSEM - European Regional Seas Ecosystem Model τα οποία εφαρμόζονται στην περιοχή του Αιγαίου (Triantafyllou *et al.* 2005) από το Σύστημα POSEIDON (www.poseidon.hcmr.gr). Το μοντέλο POM είναι ένα 3-D ωκεανογραφικό μοντέλο κυκλοφορίας και το ERSEM (συνδεδεμένο με το POM) είναι ένα βιογεωχημικό μοντέλο και περιγράφει τις διαδικασίες που καθορίζουν τους κύκλους του άνθρακα, αζώτου, φώσφορου και πυριτίου στο πελαγικό και βενθικό περιβάλλον, αλλά και πως συνδέονται αυτά τα δύο (Triantafyllou *et al.* 2005 και εκεί αναφορές).

Από τα μοντέλα αυτά υπολογίστηκε, στα σημεία (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) όπου είχαμε δεδομένα, η μέση τιμή κάθε μεταβλητής για το χρονικό διάστημα που διήρκησε το ερευνητικό ταξίδι (Table 2.1) στη συγκεκριμένη περιοχή (Stratum I ή 2). Οι μεταβλητές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2 (Table 2.2).

Table 2. 2. Parameters that are used as response variables at the GAM models. In the first column the *in situ* variables are shown. In the second column the variables derived from the oceanographic models are shown, whereas the third column shows the abbreviations that are used. * Values at 3 m depth, ** Values at the bottom or 100 m depth (for the deep stations).

<i>In situ</i> variables	POM-ERSEM	Abbreviation
Depth (m)	Depth (m)	depth
Surface temperature (°C) *	Surface temperature (°C) *	sst
Bottom temperature (°C) **	Bottom temperature (°C) **	bottemp
Surface salinity *	Surface salinity *	sss
Bottom salinity **	Bottom salinity **	botsal
Potential energy deficit (J)	Potential energy deficit (J)	PED
Pycnocline depth (m)	Pycnocline depth (m)	pycn
Meso - zooplankton biomass (mg m ⁻²)	Integrated meso-zooplankton (mgC m ⁻²)	zoopl/mesoZ
	Integrated micro-zooplankton (mgC m ⁻²)	microz
	Integrated chlorophyll (mgC m ⁻²)	chla

Συνοπτικά, τα μοντέλα GAM που δημιουργήθηκαν μπορούν να διακριθούν σε 4 ομάδες:

- Παρουσία/απουσία αυγών γούρου με *in situ* επεξηγηματικές μεταβλητές από δειγματοληψίες στο πεδίο (CTD, ζωοπλαγκτόν),
- Παρουσία/απουσία αυγών γούρου με επεξηγηματικές μεταβλητές από το μοντέλο POM-ERSEM,
- Παρουσία/απουσία ενήλικων ατόμων γούρου με *in situ* επεξηγηματικές μεταβλητές από δειγματοληψίες στο πεδίο (CTD, ζωοπλαγκτόν),
- Παρουσία/απουσία ενήλικων ατόμων γούρου με επεξηγηματικές μεταβλητές από το μοντέλο POM-ERSEM.

Για τις 4 αυτές ομάδες, δημιουργήθηκαν μοντέλα τα οποία αφορούσαν την περιοχή του Θρακικού πελάγους και του Στρυμονικού κόλπου (Stratum I, αναφέρετε ως ‘Θρακικό’ στη συνέχεια) και την περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου και των Σποράδων (Stratum II, αναφέρετε ως ‘Θερμαϊκός’ στη συνέχεια). Για τον Θερμαϊκό, τα διαθέσιμα δεδομένα περιορίζονταν στον μήνα Ιούνιο (2003-2006, 2008), ενώ για το Θρακικό αναπτύχθηκαν μοντέλα για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Ιούλιο. Το Μάιο η διαθέσιμη

πληροφορία για τα αυγά περιοριζόταν μόνο στο 2010, η παρουσία των οποίων ήταν πολύ περιορισμένη, με αποτέλεσμα να μην προκύψουν στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα.

Τέλος, για συγκριτικούς λόγους αναπτύχθηκαν GAM μοντέλα για την παρουσία/απουσία αυγών και ενήλικων ατόμων γαύρου που βασίστηκαν στην ενοποίηση των δεδομένων από όλα τα έτη και τις περιοχές.

2.2.1 Στατιστική ανάλυση

Οι μεταβλητές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1 (Table 2.1) υπολογίστηκαν συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους της περιοχής μελέτης, δηλαδή προβλέφθηκαν οι τιμές τους (inverse distance interpolation) σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης για κάθε έτος. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος της τοπικής παλινδρόμησης (Loess- local regression) ώστε να ληφθούν οι τιμές των μεταβλητών στα σημεία (γεωγραφικά μήκη και πλάτη) όπου είχαμε είτε ακουστική δειγματοληψία ενήλικου γαύρου είτε δειγματοληψία ιχθυοπλαγκτού. Το μοντέλο της τοπικής παλινδρόμησης αποτελεί μια μέθοδο εκτίμησης της επιφάνειας παλινδρόμησης, εφαρμόζοντας μια συνάρτηση ανεξάρτητων μεταβλητών (δηλαδή του γεωγραφικού πλάτους και 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 έχουν μεγαλύτερη επίδραση. Ο αριθμός των γειτονικών σημείων (δηλαδή το μέγεθος της γειτνίασης), που εκφράζεται ως ποσοστό (span) των σημείων, είναι ο παράγοντας εξομάλυνσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το span επιλέχθηκε το μικρότερο δυνατό για να εξασφαλιστεί η μεγαλύτερη ακρίβεια (R^2 αποδεκτό για εκτίμηση >0.94). Τα μοντέλα τοπικής παλινδρόμησης παρέχουν μεγάλη ευελιξία καθώς για κάθε σημείο, στο οποίο προβλέπεται μια τιμή, εφαρμόζεται μια πολυωνυμική επιφάνεια που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μόνο τα γειτονικά σημεία (Venables & Ripley 1994).

Το επόμενο βήμα ήταν η διερευνητική ανάλυση των δεδομένων ώστε να εξακριβωθεί ότι τα δεδομένα συμμορφώνονται με διάφορες υποθέσεις, προτού προχωρήσουμε στη διαδικασία της μοντελοποίησης. Τα γραφήματα των διερευνήσεων αυτών προέκυψαν με τη χρήση του προγράμματος Brodgar και αφορούν τα ακόλουθα:

- Box-plots. Ανίχνευση ακραίων τιμών (τυχόν σφάλματα), υπολογισμός του μέσου όρου, της διαμέσου, της διακύμανσης και του εύρους των τιμών μιας παραμέτρου.
- Dot-plots. Ανίχνευση παράτυπων σημείων και ομοιογένειας των τιμών. Ομοιογένεια σημαίνει ότι η διακύμανση των δεδομένων (των τιμών) δεν αλλάζει κατά μήκος της διαβάθμισης.
- QQ-plots (Quantile-Quantile plots). Εξετάζουν αν τα δεδομένα μιας μεταβλητής ακολουθούν μια συγκεκριμένη κατανομή και με ποιο μετασχηματισμό τείνουν να συγκλίνουν στην κανονική κατανομή.
- Pair-plots. Ανίχνευση των συσχετίσεων και ειδικότερα της συγγραμμικότητας μεταξύ των μεταβλητών.

Από τη διερευνητική ανάλυση προέκυψε η ανάγκη μετασχηματισμού με το φυσικό λογάριθμο του βάθους (lndepth) και του βάθους του πυκνοκλινούς (lnrycn), όσον αφορά τα μοντέλα με παραμέτρους από *in situ* δειγματοληψίες. Από τις ωκεανογραφικές παραμέτρους μετασχηματίστηκαν το βάθος (lndepth), το βάθος του πυκνοκλινούς (lnrycn), η χλωροφύλλη (lnchl) και το μικρο-ζωοπλαγκτόν (lnmicroz), με φυσικό λογάριθμο, ώστε να προσεγγίζουν την κανονική κατανομή.

2.2.2 Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα

Τα γενικευμένα προσθετικά μοντέλα είναι μη παραμετρικές προεκτάσεις των γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης. Η σχέση μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών ορίζεται από μια εξομαλυσμένη συνάρτηση σύνδεσμο. Η γενική μορφή ενός GAM μοντέλου είναι η εξής:

$$g(E(y)) = \beta_0 + \sum_k S_k(x_k)$$

Όπου $E(y)$ είναι η αναμενόμενη τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής, $g(\cdot)$ είναι η συνάρτηση σύνδεσμος, β_0 είναι η σταθερά, $S_k(\cdot)$ είναι ο εξομαλυντής και x_k είναι η τιμή της k ανεξάρτητης μεταβλητής.

Ένας εξομαλυντής είναι ένα εργαλείο που περιγράφει την τάση μιας εξαρτημένης μεταβλητής Y ως συνάρτηση ενός ή περισσότερων ανεξάρτητων (predictors) μεταβλητών και δίνει μια εκτίμηση της μέσης τάσης που είναι λιγότερο μεταβαλλόμενη (less variable) από την εξαρτημένη μεταβλητή Y . Ένας εξομαλυντής είναι μη-παραμετρικής φύσης, δηλαδή δεν υποθέτει ότι η εξάρτηση της Y από τις X_i μπορεί να

εξηγηθεί από μια αυστηρά γραμμική σχέση (rigid form). Οι περισσότεροι εξομαλυντές υπολογίζουν τοπικά τη μέση τιμή της μεταβλητής Y σε κάθε μια από τις υπό-περιοχές (γειτονιές), αλλά διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη μέθοδο που χρησιμοποιούν για να τον υπολογισμό της μέσης τιμής. Κατά μήκος του άξονα X (σε ένα scatterplot) τα σημεία στα οποία ορίζονται τα όρια της γειτνίασης ονομάζονται κόμβοι. Στα μοντέλα που αναπτύχθηκαν στην εργασία αυτή ως εξομαλυντής επιλέχθηκε ο natural cubic spline. Ο εξομαλυντής αυτός εξασφαλίζει πως οι τοπικές καμπύλες παλινδρόμησης θα ενώνονται σε κάθε κόμβο και θα είναι συνεχής. Επιπλέον, εξασφαλίζεται ότι δεν θα δημιουργηθεί ψευδής εικόνα για τη συμπεριφορά των τιμών στις άκρες της καμπύλης παλινδρόμησης (στη μικρότερη και μεγαλύτερη τιμή της επεξηγηματικής μεταβλητής) (Zuur *et al.* 2007).

Το μέγεθος της εξομάλυνσης ελέγχεται κυρίως από τους βαθμούς ελευθερίας (df) που χρησιμοποιούνται. Στη διαδικασία επιλογής των μοντέλων παρουσίας/απουσίας οι βαθμοί ελευθερίας επιλέχθηκαν με διασταυρούμενη επιλογή (cross-validation) (Wood 2006), αλλά πάντα διατηρούνταν η ισορροπία μεταξύ του συνολικού αριθμού των βαθμών ελευθερίας κάθε μοντέλου και του συνολικού αριθμού των παρατηρήσεων (Guisan *et al.* 2002).

Η διαδικασία επιλογής των μοντέλων έγινε με την επιλογή κατά βήματα (stepwise forward selection) χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα R και τη βιβλιοθήκη mgcv. Η επιλογή κάθε παραμέτρου που παρέμενε στο μοντέλο εξαρτιόταν από το p-value, AIC (Akaike's Information Criterion), το ποσοστό της επεξηγούμενης διακύμανσης και τους υπολειπόμενους βαθμούς ελευθερίας. Το κριτήριο AIC είχε όσο το δυνατόν μικρότερη τιμή ενώ η επεξηγούμενη διακύμανση όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό. Μόνο οι στατιστικά σημαντικές παράμετροι παρέμεναν στα μοντέλα. Στα μοντέλα παρουσίας/απουσίας η κατανομή των σφαλμάτων εξηγείται από τη διωνυμική κατανομή και ως συνάρτηση σύνδεσμος χρησιμοποιήθηκε η logit link.

Πριν τη διαδικασία επιλογής των μοντέλων ελέγχθηκε η σχέση μεταξύ όλων των μεταβλητών βάσει των Pair γραφημάτων και αποφεύχθηκε να μπαίνουν στο ίδιο μοντέλο ισχυρά συσχετισμένες μεταβλητές, γιατί προϋπόθεση ενός GAM μοντέλου είναι η μη-συγγραμμικότητα των ανεξάρτητων παραμέτρων (Hastie & Tibshirani 1990). Δύο μεταβλητές ισχυρά συσχετισμένες όταν βρεθούν στο ίδιο μοντέλο μπορούν να καταλήξουν ως στατιστικά μη σημαντικές, ενώ θα μπορούσε η κάθε μια να εξηγήει ένα

μεγάλο ποσοστό της επεξηγούμενης διακύμανσης (Guisan *et al.* 2002; Maunder & Punt 2004).

2.3 Προβλέψεις και αξιολόγηση των μοντέλων

Τα μοντέλα παρουσίας/απουσίας των αυγών και των ενήλικων ατόμων γαύρου χρησιμοποιήθηκαν ώστε να εκτιμηθεί η πιθανότητα παρουσίας τους στην περιοχή δειγματοληψίας. Τα μοντέλα παρουσίας/απουσίας δίνουν ως πρόβλεψη μια εκτίμηση της πιθανότητας παρουσίας του είδους που κυμαίνεται από 0 ως 1.

Τα μοντέλα αυτά αξιολογούνται συγκρίνοντας τα παρατηρούμενα δεδομένα (πραγματικές παρουσίες και απουσίες) με την εκτιμώμενη πιθανότητα παρουσίας των μοντέλων. Ένα βασικό κριτήριο είναι το AUC - Area Under the Curve, ενώ η καμπύλη προκύπτει από τα ROC γραφήματα (Receiver Operating Characteristic).

Τα ROC γραφήματα παρέχουν μια ανεξάρτητη μέθοδο αποτίμησης της επίδοσης των μοντέλων παρουσίας/απουσίας. Σε ένα τέτοιο γράφημα οι πραγματικές θετικές εκτιμήσεις (ευαισθησία) αναπαρίστανται έναντι των εσφαλμένων θετικών εκτιμήσεων (1.0 - εξειδίκευση), καθώς το κατώφλι κυμαίνεται από 0 έως 1. Ευαισθησία (sensitivity) είναι η αναλογία των παρατηρούμενων θετικών εκτιμήσεων που προβλέφθηκαν σωστά και δείχνει την ικανότητα πρόβλεψης της παρουσίας δεδομένου ότι το είδος πραγματικά απαντάται σε αυτή τη θέση. Εξειδίκευση (specificity) είναι η αναλογία των παρατηρούμενων αρνητικών εκτιμήσεων που σωστά προβλέφθηκαν και δείχνει την ικανότητα πρόβλεψης της απουσίας δεδομένου ότι το είδος πραγματικά δεν απαντάται σε αυτή τη θέση.

Το κριτήριο AUC είναι η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη ROC και εκτιμά την ικανότητα του μοντέλου να διακρίνει τις θέσεις όπου το είδος είναι παρών από τις θέσεις όπου αυτό απουσιάζει (Hanley & MacNeil 1982). Έτσι, η περιοχή αυτή είναι ένα καλό μέτρο εκτίμησης της επίδοσης ενός μοντέλου.

Ένα καλό μοντέλο θα πετύχει υψηλή πραγματική θετική εκτίμηση ενώ η εσφαλμένη θετική εκτίμηση παραμένει σχετικά χαμηλή. Οπότε, η καμπύλη του γραφήματος θα αυξάνεται απότομα στην αρχή και στη συνέχεια θα εξισορροπείται κοντά στην τιμή 1. Στο ROC γράφημα ενός φτωχού μοντέλου, η καμπύλη θα μένει κοντά στην διαγώνιο όπου η πραγματική θετική εκτίμηση εξισώνεται με την εσφαλμένη θετική

εκτίμηση, για οποιοδήποτε κατώφλι. Αυτό σημαίνει ότι η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου ισοδυναμεί με την τυχαία υπόθεση και αντιστοιχεί σε τιμή του AUC ίση με 0.5. 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).

Για τον υπολογισμό όλων των προαναφερθέντων κριτηρίων χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη PresenceAbsence (Freeman 2007) του στατιστικού προγράμματος της R.

Κεφάλαιο 3^ο

Αποτελέσματα

3.1 Περιβαλλοντικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του Θρακικού πελάγους το Μάιο και τον Ιούλιο του 2010

Στην ενότητα 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών του Μαΐου και Ιουλίου 2010. Παρουσιάζεται αρχικά η κατανομή των περιβαλλοντικών παραμέτρων και στη συνέχεια η κατανομή και αφθονία των αυγών, των ιχθυονυμφών και των ενήλικων ατόμων γαύρου.

3.1.1 Περιβαλλοντικές και βιολογικές παράμετροι

Για τη θερμοκρασία (°C) και την αλατότητα κατασκευάστηκαν χάρτες της χωρικής κατανομής των τιμών στα 10 m βάθους. Επίσης παρουσιάζονται οι χάρτες του ελλείμματος δυναμικής ενέργειας - PED (J), της συγκέντρωσης του μέσο-ζωοπλαγκτού (mg m^{-2}) και τις αθροιστικές τιμές του φθορισμού ($\mu\text{g l}^{-1}$) από την επιφάνεια μέχρι το μέγιστο βάθος του σταθμού δειγματοληψίας ή μέχρι τα 100 μέτρα για τους πιο βαθιούς σταθμούς. Η θερμοκρασία το Μάιο (Fig. 3.1) είχε εύρος 14-17 °C. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στους πελαγικούς σταθμούς Β.Α. της Λήμνου, δηλαδή στους σταθμούς που επηρεάζονται από το νερό της Μαύρης Θάλασσας, και στους παράκτιους σταθμούς στο πλατό της Σαμοθράκης. Στα νότια της Λήμνου η θερμοκρασία είχε ελαφρώς υψηλότερες τιμές (16.5-17 °C). Παρατηρείται δηλαδή μια διαβάθμιση στη θερμοκρασία από χαμηλές τιμές προς υψηλές, από τα βόρεια προς τα νότια. Τον Ιούλιο το εύρος τιμών της θερμοκρασίας ήταν 16-25 °C. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στους παράκτιους σταθμούς στο πλατό της Σαμοθράκης.

Όσον αφορά την αλατότητα το Μάιο (Fig. 3.1), οι χαμηλότερες τιμές (31.5-35), που είναι χαρακτηριστικές της παρουσίας νερού της Μαύρης Θάλασσας, παρατηρήθηκαν από τους πελαγικούς σταθμούς Β. της Λήμνου μέχρι το πλατό της Σαμοθράκης. Στα νότια της περιοχής μελέτης οι επιφανειακές τιμές της αλατότητας ήταν υψηλότερες (37-39). Τον Ιούλιο (Fig. 3.1) οι χαμηλές τιμές αλατότητας είχαν μικρότερη έκταση, αφού το

καλοκαίρι η εισροή του νερού από τη Μαύρη Θάλασσα μειώνεται σε ένταση και ποσότητα (Poulos *et al.* 1997, Isari *et al.* 2006).

Όσον αφορά το PED, δηλαδή την ενέργεια που χρειάζεται για την ανάμιξη της στήλης του νερού, το εύρος τιμών το Μάιο ήταν 40-440 J, ενώ τον Ιούλιο ήταν 40-600 J. Οι υψηλότερες από αυτές τις τιμές παρατηρήθηκαν και τις δύο εποχές στο πλατό της Σαμοθράκης. Δηλαδή η στρωμάτωση του νερού ήταν πιο έντονη στην περιοχή του αντικυκλώνα της Σαμοθράκης, όπου παγιδευείται μεγάλο μέρος του νερού της Μαύρης Θάλασσας (Isari *et al.* 2006, Somarakis & Nikolioudakis 2007). Χαμηλές τιμές PED παρατηρήθηκαν στα νότια της περιοχής δειγματοληψίας και στους παράκτιους σταθμούς βορείως του αντικυκλώνα. Οι σταθμοί αυτοί χαρακτηρίζονται από ασθενή ανάβλυση (week upwelling) που δημιουργείται στα ρηγά λόγω της αντικυκλωνικής κίνησης του νερού της Μαύρης Θάλασσας.

Οι βιολογικές παράμετροι που εξετάστηκαν αφορούν τις ολοκληρωμένες (integrated) τιμές του φθορισμού (από την επιφάνεια έως το βυθό ή τα 100 m για τις βαθιές περιοχές) και τη συγκέντρωση του μεσο-ζωοπλαγκτού (Fig. 3.2). Το Μάιο ο φθορισμός είχε εύρος τιμών μεταξύ 2 έως 15 $\mu\text{g l}^{-1}$. Οι υψηλότερες από αυτές τις τιμές ($>8 \mu\text{g l}^{-1}$) παρατηρήθηκαν στο πλατό της Σαμοθράκης, εκεί όπου ήταν χαρακτηριστική η παρουσία του νερού της Μαύρης Θάλασσας, ενώ χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στους παράκτιους σταθμούς στο πλατό, στη Λήμνο και νότια της Λήμνου. Τον Ιούλιο το εύρος τιμών ήταν 0.5-14.5 $\mu\text{g l}^{-1}$. Σε όλη σχεδόν την έκταση της περιοχής μελέτης οι τιμές του φθορισμού ήταν χαμηλές (0.5-5.5 $\mu\text{g l}^{-1}$), με εξαίρεση κάποιες υψηλές τιμές ανατολικά της Θάσου (στην περιφέρεια της περιοχής δειγματοληψίας). Ο φθορισμός διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ του Μαΐου και του Ιουλίου ($t_{\text{stat}}=5.31$, $p<<0.0001$).

Στην Εικόνα 3.2 (Fig. 3.2) παρουσιάζεται η βιομάζα του μέσο-ζωοπλαγκτού. Το Μάιο το εύρος τιμών ήταν 20-1120 mg m^{-2} ενώ τον Ιούλιο 120-570 mg m^{-2} . Όμως, το Μάιο, εκτός από κάποιες υψηλές τιμές (800-1120 mg m^{-2}) που παρατηρήθηκαν στην περιοχή νότια της Λήμνου και στα δυτικά της περιοχής μελέτης, η βιομάζα του μέσο-ζωοπλαγκτού ήταν σχετικά χαμηλή (20-400 mg m^{-2}). Τον Ιούλιο οι υψηλότερες τιμές (350-570 mg m^{-2}) της συγκέντρωσης ζωοπλαγκτού παρατηρήθηκαν σε περιοχές παρουσίας του νερού της Μαύρης Θάλασσας (πλατό Σαμοθράκης, Ν.Α Λήμνος). Η βιομάζα του ζωοπλαγκτού, μετασχηματισμένη με το φυσικό λογάριθμο, διέφερε

στατιστικά σημαντικά μεταξύ του Μαΐου και του Ιουλίου ($t_{\text{stat}}=-3.93$, $p<0.05$), με τη μέση βιομάζα του Ιουλίου να είναι υψηλότερη.

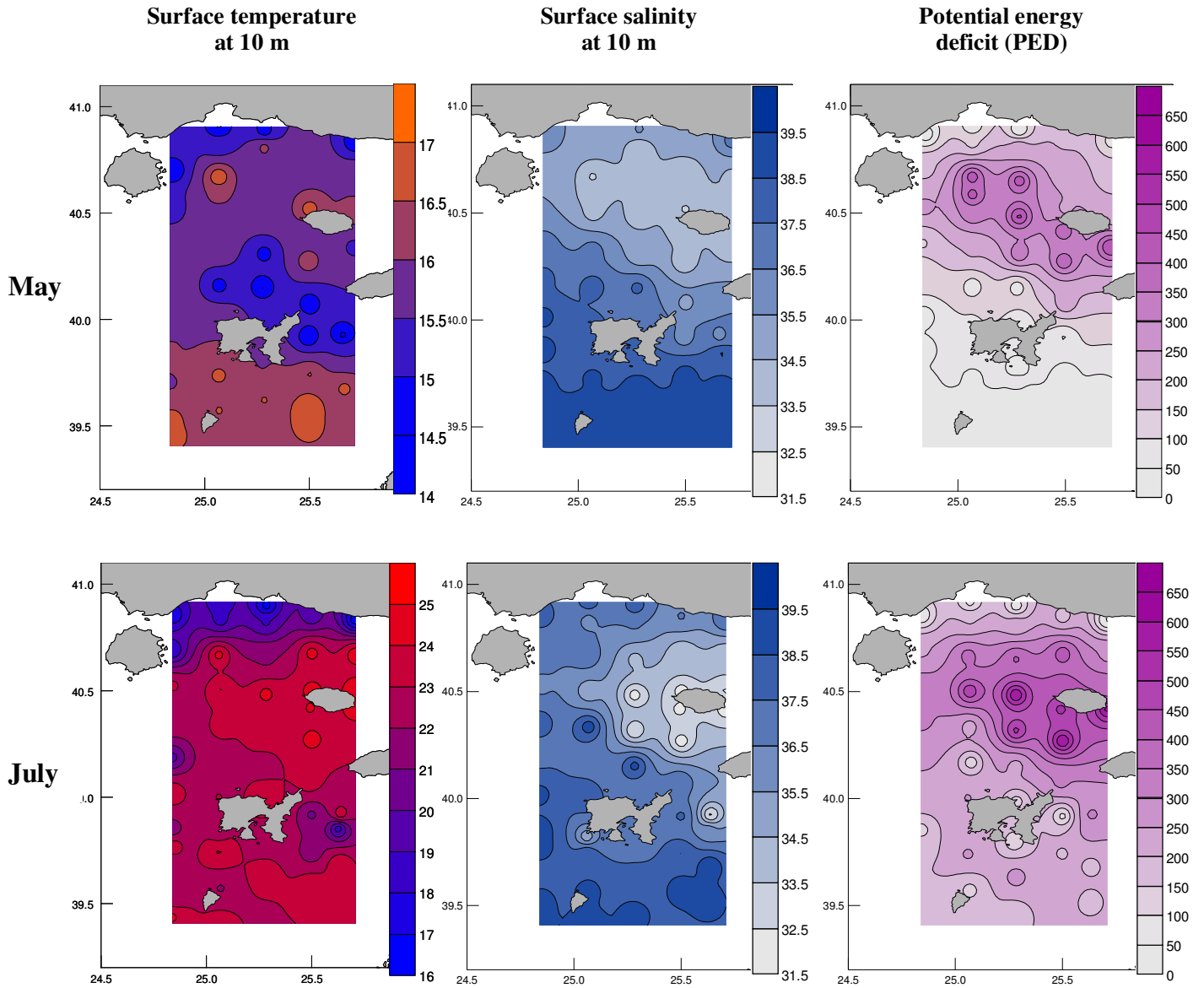


Figure 3.1. Horizontal distribution of temperature in °C (at 10 m depth), salinity (at 10 m depth) and potential energy deficit in J (PED) during May and July 2010 in the N.E. Aegean Sea.

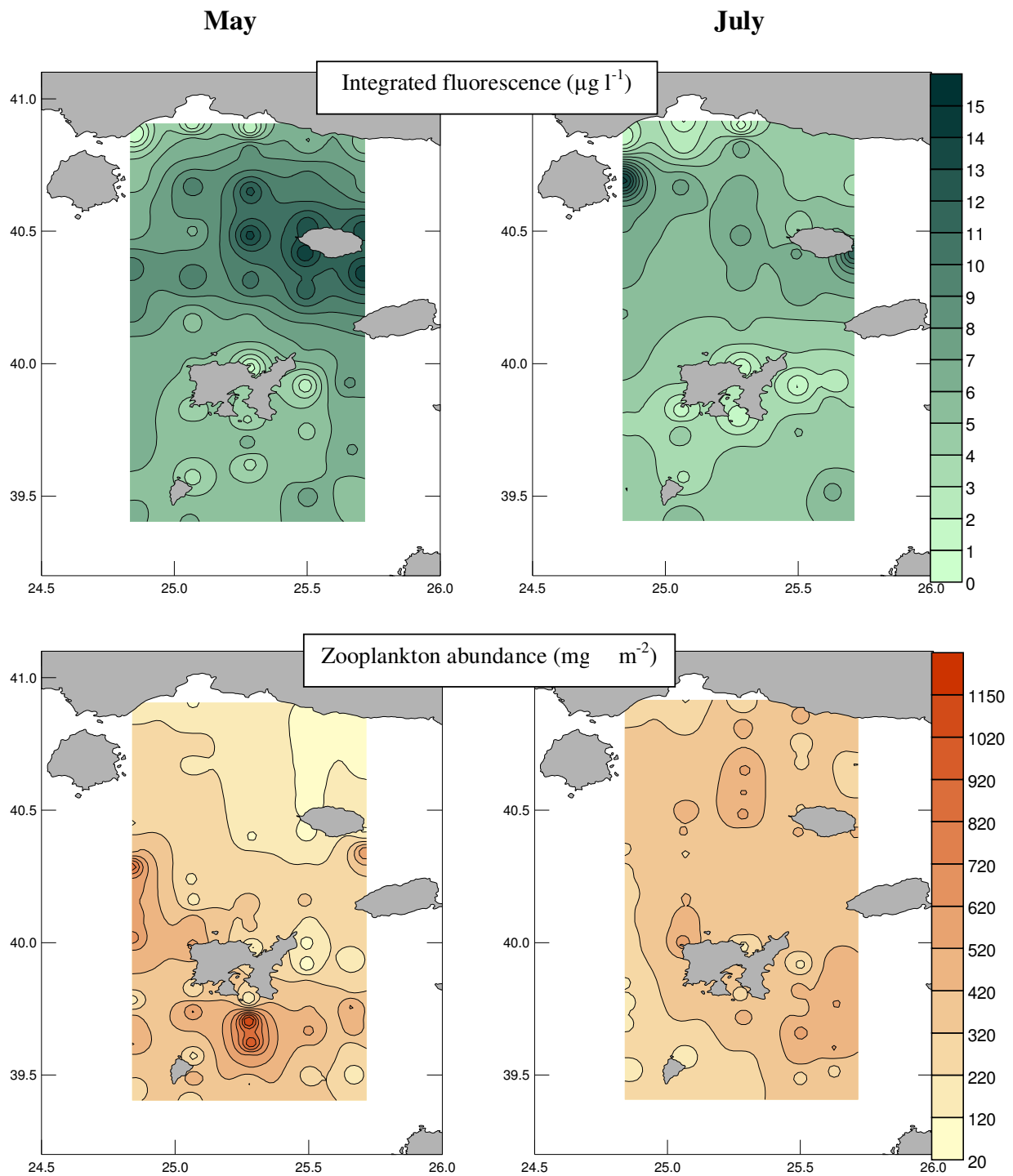


Figure 3.2. Horizontal distribution of integrated fluorescence ($\mu\text{g/l}$) and mesozooplankton biomass (mg m^{-2}) during May and July 2010 in the N.E. Aegean Sea.

Κάθετες διατομές

Επιπλέον, επιλέχθηκαν οι σταθμοί δειγματοληψίας με CTD κατά μήκος δύο διατομών (Fig.2.2) για την απεικόνιση των κάθετων προφίλ. Η μια ευθεία αφορούσε σταθμούς στο πλατό της Σαμοθράκης, η οποία τέμνει τον αντικυκλώνα, ενώ η δεύτερη αφορούσε σταθμούς της Λήμνου (διατομή 4) που βρίσκονται εντός της περιοχής εισόδου του νερού της Μαύρης Θάλασσας.

Στην Εικόνα 3.3 (Fig. 3.3) παρουσιάζονται οι κάθετες διατομές της θερμοκρασίας, της αλατότητας και του φθορισμού, κατά μήκος της επιλεγμένης ευθείας στην περιοχή του Θρακικού. Το Μάιο στην περιοχή του Θρακικού η θερμοκρασία παρουσίαζε τις υψηλότερες τιμές της (16-17 °C) από την επιφάνεια μέχρι τα 20 m βάθους, ενώ μεταξύ 30-50 m βάθους παρατηρήθηκαν οι χαμηλότερες τιμές (13-14 °C). Τον Ιούλιο οι υψηλότερες θερμοκρασίες (20-25 °C) παρατηρήθηκαν στα επιφανειακά βάθη μέχρι 20-25 m, ενώ βαθύτερα η θερμοκρασία μειωνόταν μέχρι 14.5 °C.

Οι κάθετες διατομές της αλατότητας μας δίνουν τη χαρακτηριστική εικόνα του αντικυκλώνα στο πλατό της Σαμοθράκης. Το Μάιο ο αντικυκλώνας βυθιζόταν μέχρι τα 40 m βάθους. Το νερό χαμηλής αλατότητας βυθίζεται λόγω της αντικυκλωνικής κίνησης όπως φαίνεται απ' την ταπείνωση των ισοθέμων και ισοάλων. Τον Ιούλιο το νερό της Μαύρης Θάλασσας περιοριζόταν στα πρώτα 20-25 m βάθους. Στην παράκτια περιοχή (σταθμός 57) οι υψηλές επιφανειακές τιμές της αλατότητας οφειλόταν στην ανάδυση νερού από τα πιο βαθιά (weak upwelling), όπως φαίνεται απ' την ανύψωση των ισοθέμων/ισοάλων.

Οι τιμές του φθορισμού το Μάιο (Fig. 3.3) ήταν αρκετά υψηλές ($>0.2 \mu\text{g l}^{-1}$) μέχρι τα 30 m βάθους, δηλαδή εντός του αντικυκλώνα, ενώ στα βαθύτερα νερά μειώνονταν ($<0.12 \mu\text{g/l}$). Τον Ιούλιο οι υψηλότερες τιμές του φθορισμού παρατηρήθηκαν μεταξύ 40-80 m βάθους, με εξαίρεση τις παράκτιες περιοχές (σταθμός 57) όπου οι τιμές του φθορισμού ήταν υψηλές ($0.16-0.3 \mu\text{g l}^{-1}$) προφανώς λόγω της τοπικής ανάβλυσης (upwelling).

Στην περιοχή της Λήμνου (Fig. 3.4) η εικόνα της θερμοκρασίας ειδικά το Μάιο δείχνει χαρακτηριστικά το μέτωπο που δημιουργείται, στα πρώτα 20 m βάθους, μεταξύ του πιο ψυχρού νερού της Μαύρης Θάλασσας (σταθμός 9) και του νερού προέλευσης Λεβαντινής που έρχεται από τα νότια. Τον Ιούλιο η επιφανειακή θερμοκρασία είχε

υψηλότερες τιμές, μεταξύ 22-24 °C. Το Μάιο παρατηρήθηκαν χαμηλότερες τιμές αλατότητας (νερό Μαύρης Θάλασσας) κοντά στη Λήμνο ενώ στην υπόλοιπη περιοχή σε όλη τη στήλη του νερού η αλατότητα είχε υψηλότερες τιμές χαρακτηριστικές του νερού προέλευσης Λεβαντινής. Τον Ιούλιο οι χαμηλότερες τιμές αλατότητας παρατηρήθηκαν στα πρώτα 10 m κοντά στη Λήμνο (σταθμός 19). Τέλος, το Μάιο οι υψηλότερες τιμές φθορισμού (0.14-0.24 $\mu\text{g l}^{-1}$) σχετίζονταν με της χαμηλής αλατότητας νερό της Μαύρης Θάλασσας. Στους πελαγικούς σταθμούς, οι υψηλότερες τιμές φθορισμού (0.1-0.14 $\mu\text{g l}^{-1}$) παρατηρήθηκαν βαθύτερα, μεταξύ 40-80 m βάθος (deep chlorophyll maximum). Τον Ιούλιο οι τιμές του φθορισμού ήταν γενικά χαμηλές (<0.06 $\mu\text{g l}^{-1}$), αλλά υψηλότερες (0.08-0.1 $\mu\text{g l}^{-1}$) μεταξύ 60- 80 m βάθος.

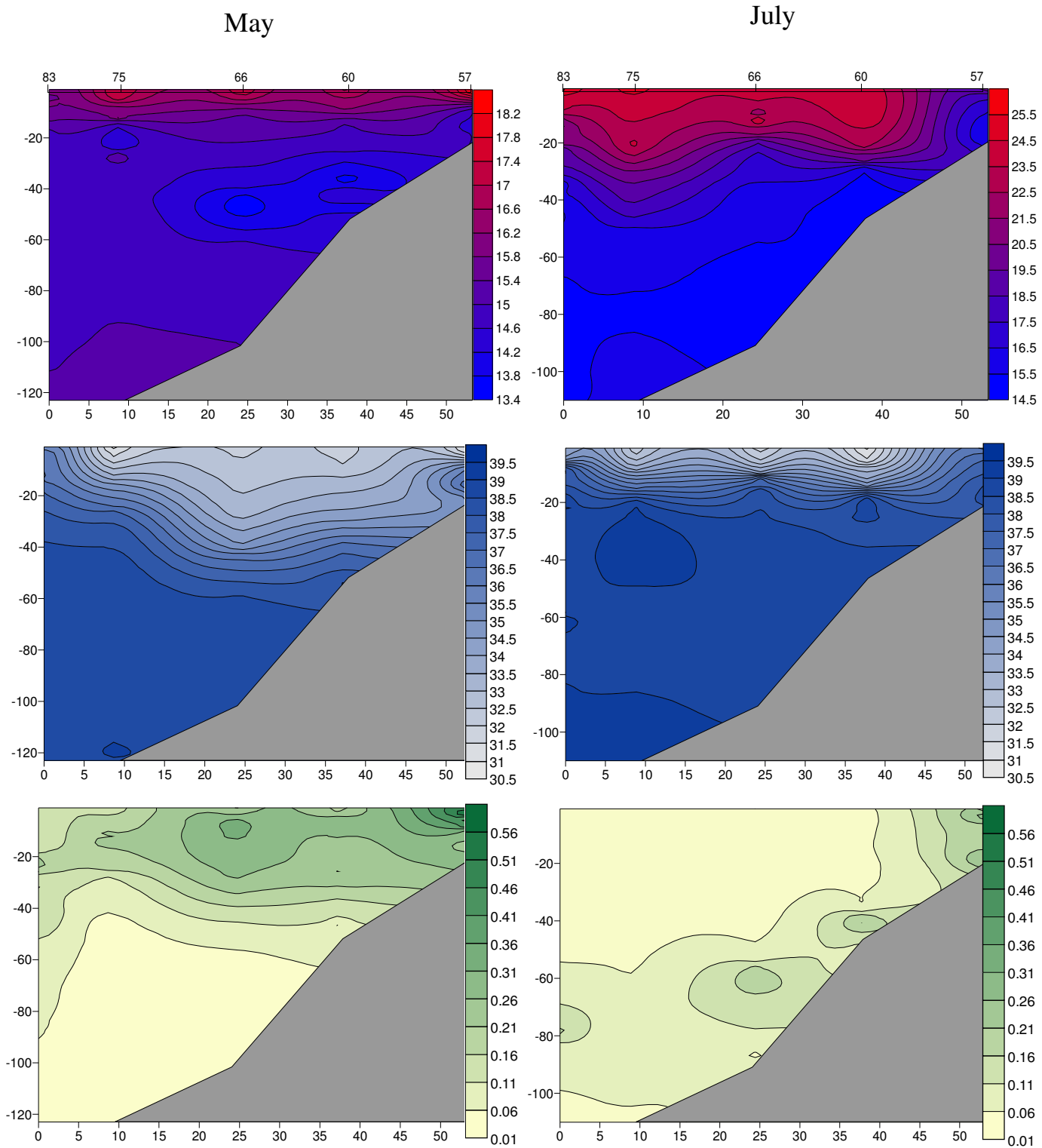


Figure 3.3. Vertical sections of temperature ($^{\circ}\text{C}$), salinity and fluorescence ($\mu\text{g l}^{-1}$) during May and July 2010 along a representative transect (stations 83, 74, 66, 60, 57) of the study area. At the top horizontal axis, the sampling stations are indicated, whereas at the bottom horizontal axis the distance (in nm) from the first to the last station is shown. The left vertical axis indicate the depth.

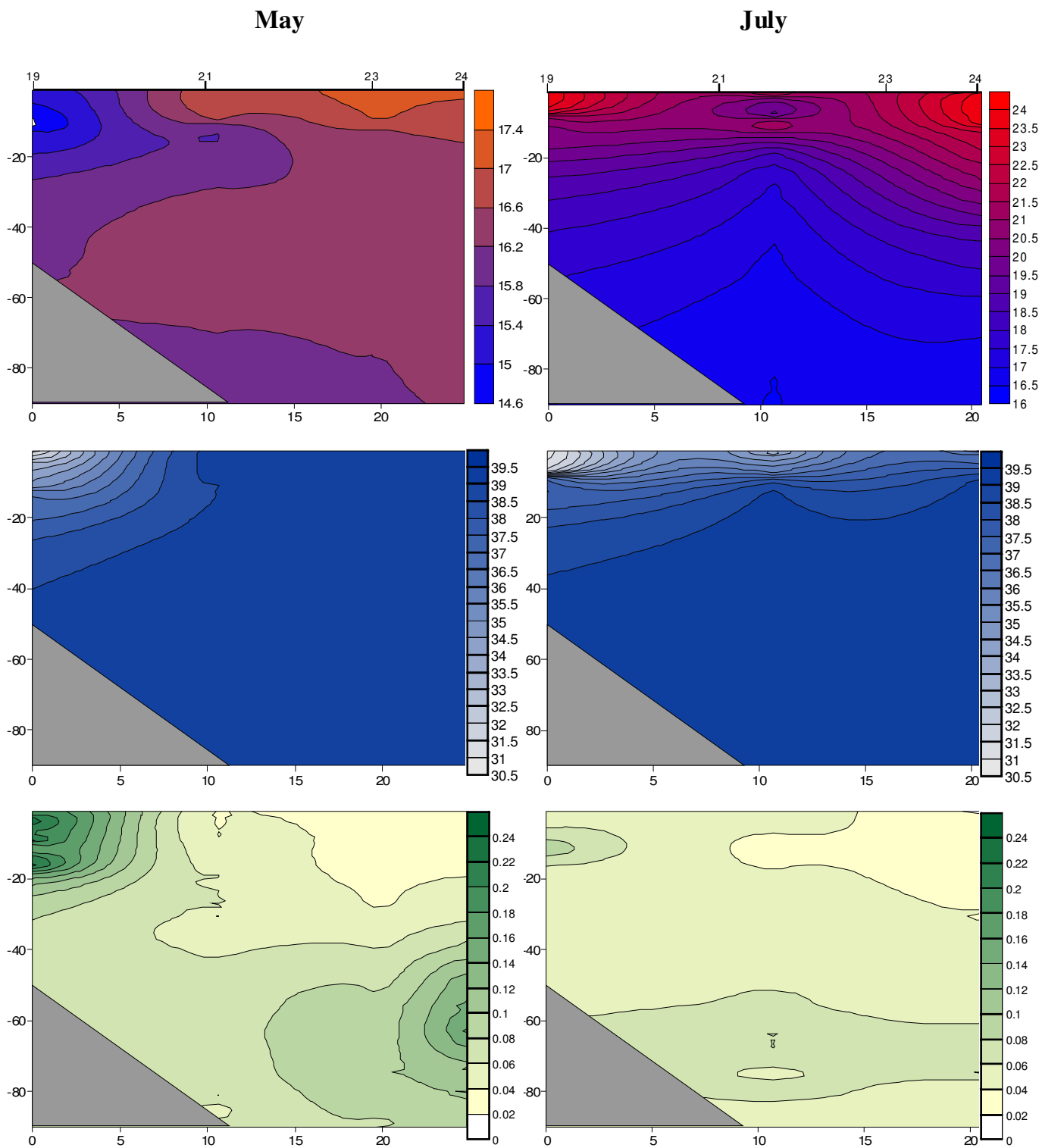


Figure 3.4. Vertical sections of temperature ($^{\circ}\text{C}$), salinity and fluorescence ($\mu\text{g l}^{-1}$) during May and July 2010 along a representative transect (transect No 4) of the study area. At the top horizontal axis the sampling stations are indicated, whereas at the bottom horizontal axis the distance (in nm) from the first to the last station is shown. The left vertical axis indicate the depth.

Μέσα κάθετα προφίλ

Τέλος, για την απεικόνιση μέσω των κάθετων προφίλ οι σταθμοί δειγματοληψίας CTD χωρίστηκαν σε 3 υπό-ομάδες, α) οι σταθμοί στο πλατό της Σαμοθράκης μέχρι την ισοβαθή των 200 m, β) οι σταθμοί της Λήμνου και οι νότιοι σταθμοί μέχρι την ισοβαθή των 200 m, γ) οι πελαγικοί σταθμοί με βάθος μεγαλύτερο από 200 m. Για κάθε μια από τις ομάδες σταθμών υπολογίστηκε ανά 1 μέτρο βάθους η μέση τιμή της θερμοκρασίας, της αλατότητας και του φθορισμού και δημιουργήθηκαν διαγράμματα με τα κάθετα προφίλ των μέσων τιμών ανά περιοχή και ανά εποχή (Fig. 3.5).

Στο Θρακικό το Μάιο παρατηρήθηκε η υψηλότερη μέση επιφανειακή θερμοκρασία (17 °C), ενώ από τα 40 m και βαθύτερα μειωνόταν στους 14-15 °C. Στους πελαγικούς σταθμούς η μέση θερμοκρασία στα πρώτα 10 m ήταν 16-17 °C και βαθύτερα 15 °C. Στην περιοχή της Λήμνου η μέση θερμοκρασία σε όλη τη στήλη του νερού ήταν 16-16.5 °C. Τον Ιούλιο ήταν χαρακτηριστική η δημιουργία θερμοκλινούς με τη μέση επιφανειακή θερμοκρασία και στις τρεις ομάδες σταθμών να κυμαίνεται μεταξύ 23-25 °C, ενώ στα βαθιά έφτανε τους 15.5-17 °C. Η μέση θερμοκρασία διέφερε μεταξύ των τριών ομάδων και αυξανόταν από τα βόρεια προς τα νότια.

Στην Εικόνα 3.5 (Fig 3.5) παρουσιάζεται το μέσο κάθετο προφίλ της αλατότητας. Το Μάιο η περιοχή του Θρακικού είχε χαμηλή μέση τιμή αλατότητας από την επιφάνεια μέχρι τα 40 m βάθος (32 έως 37 αντίστοιχα), ενώ από τα 40 m περίπου η τιμή της αλατότητας έφτανε τα 38-39. Οι πελαγικοί σταθμοί είχαν υψηλότερη μέση αλατότητα (35-38) στα πρώτα 40 m βάθους. Τέλος η περιοχή της Λήμνου είχε μέση αλατότητα 38-39 σε όλη τη στήλη του νερού. Τον Ιούλιο η μέση επιφανειακή αλατότητα στην περιοχή του Θρακικού αυξανόταν από 32 μέχρι 37 στα 25 m βάθους. Στους πελαγικούς σταθμούς η μέση αλατότητα από την επιφάνεια μέχρι τα 20 m βάθος ήταν 33-38. Από τα 20-25 m και βαθύτερα η μέση αλατότητα αυξανόταν, φτάνοντας την τιμή 39 στα μεγάλα βάθη και στις τρεις περιοχές. Παρατηρήθηκε επίσης μια διαβάθμιση από Βορά προς Νότο με αύξηση της μέσης αλατότητας.

Τέλος όσον αφορά το φθορισμό των τριών ομάδων σταθμών, το Μάιο οι μέσες τιμές ήταν αρκετά υψηλές στα πρώτα 40 m κυρίως στο Θρακικό και ελαφρώς υψηλές στην ομάδα των πελαγικών σταθμών, ενώ χαμηλότερες μέσες τιμές είχε η Λήμνος. Από τα 40 m και βαθύτερα ο μέσος φθορισμός ήταν μεταξύ 0.01-0.1 $\mu\text{g l}^{-1}$ και στις τρεις

ομάδες. Τον Ιούλιο στην περιοχή του Θρακικού οι μέσες τιμές φθορισμού κυμαίνονταν μεταξύ 0.05-0.33 $\mu\text{g l}^{-1}$, ενώ μεταξύ 40-70 m βάθους παρατηρήθηκαν οι μέγιστες από αυτές τις τιμές (0.15-0.33 $\mu\text{g l}^{-1}$) (deep chlorophyll maximum). Στους πελαγικούς σταθμούς και τη Λήμνο η μέση τιμή του φθορισμού ήταν χαμηλότερη (0.02-0.1 $\mu\text{g l}^{-1}$) σε όλη τη στήλη του νερού χωρίς την παρουσία κάποιου έντονου βαθυμέγιστου.

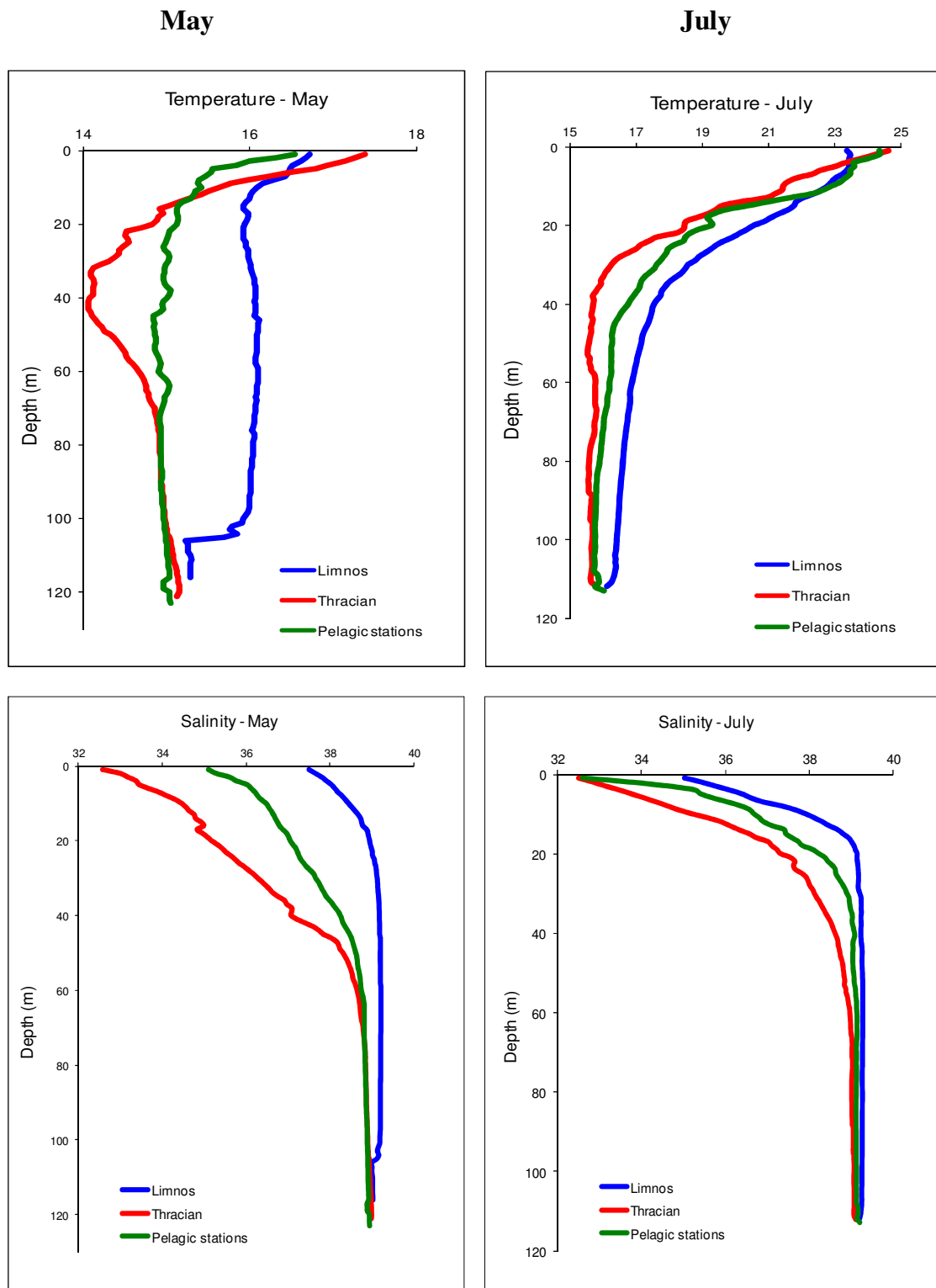
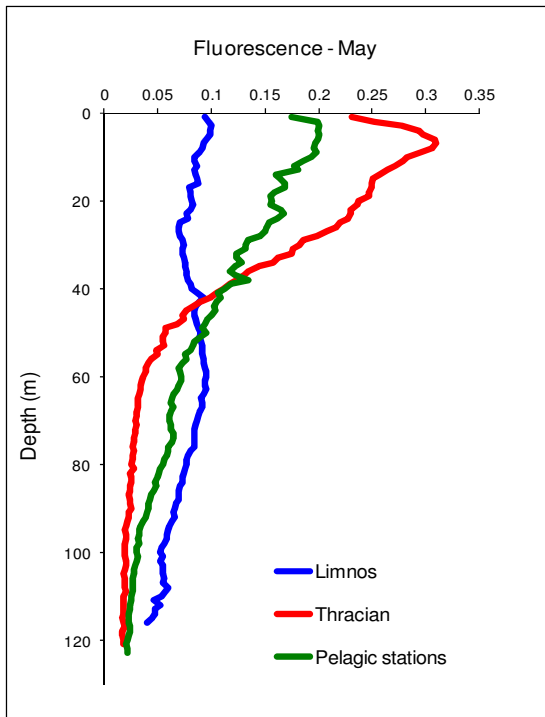


Figure 3.5. Mean vertical profiles of temperature ($^{\circ}\text{C}$), salinity and fluorescence ($\mu\text{g l}^{-1}$) for May and July 2010 for three groups of sampling stations, i.e., plateau of Samothraki stations (<200 m depth), Limnos stations (<200 m depth) and pelagic stations (>200 m depth).

May



July

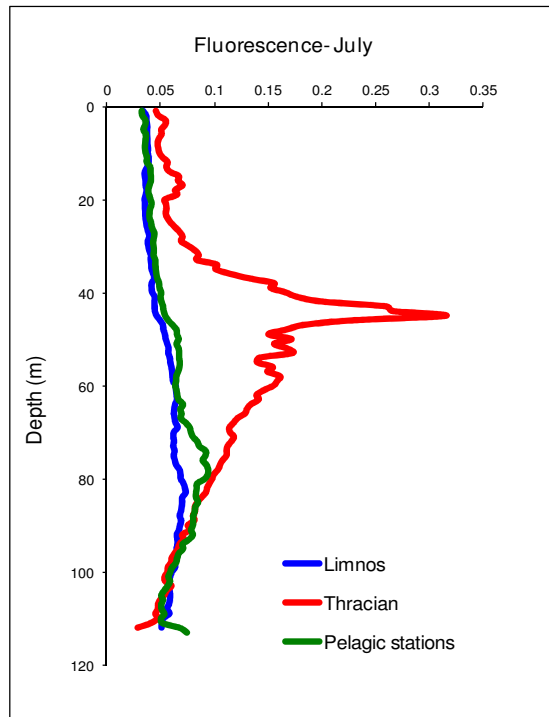


Figure 3.5. (continued)

3.1.2 Κατανομή και αφθονία ιχθυοπλαγκτού και ενήλικων ατόμων γαύρου

Στους χάρτες της Εικόνας 3.6 (Fig.3.6) παρουσιάζεται η κατανομή και αφθονία των αυγών του γαύρου το Μάιο και τον Ιούλιο του 2010. Τα αυγά ηλικίας 0 (μιας ημέρας) το Μάιο είχαν πολύ χαμηλή αφθονία (μέχρι 20 αυγά m^{-2}) και η κατανομή τους περιοριζόταν στις παράκτιες περιοχές στο πλατό της Σαμοθράκης, καθώς και μπροστά στην είσοδο του νερού της Μαύρης Θάλασσας, τα Δαρδανέλια. Ο συνολικός αριθμός αυγών γαύρου (ηλικίας μιας και δύο ημερών) έφτανε μέχρι τα 100 αυγά m^{-2} , και κατανέμονταν στο πλατό της Σαμοθράκης και στη Λήμνο μπροστά από τα Δαρδανέλια. Τον Ιούλιο τα αυγά ηλικίας 0 ήταν άφθονα όσον αφορά τον αριθμό τους (μέχρι 1115 αυγά m^{-2}) και με εκτεταμένη κατανομή. Οι υψηλότερες αφθονίες (100-1115 αυγά m^{-2}) παρατηρήθηκαν στο πλατό της Σαμοθράκης εντός της ισοβαθούς των 200 m, μπροστά από τα Δαρδανέλια καθώς και βόρεια και δυτικά της Λήμνου στους πελαγικούς σταθμούς. Ο συνολικός αριθμός αυγών γαύρου είχε κατανομή και αφθονία όμοια με αυτή των αυγών ηλικίας μιας ημέρας.

Στην Εικόνα 3.7 (Fig.3.7) παρουσιάζεται η κατανομή και αφθονία των λεκιθοφόρων ιχθυονυμφών του γαύρου. Το Μάιο η αφθονία του συνολικού αριθμού των λεκιθοφόρων ιχθυονυμφών δεν ξεπερνούσε τις 120 m^{-2} . Οι υψηλότερες αφθονίες παρατηρήθηκαν στη Λήμνο μπροστά από τα Δαρδανέλια, ενώ χαμηλότερες αφθονίες (4-20 ιχθυονύμφες m^{-2}) παρατηρήθηκαν στο πλατό της Σαμοθράκης και σε λίγους πελαγικούς σταθμούς βόρεια της Λήμνου. Τον Ιούλιο η αφθονία των λεκιθοφόρων ιχθυονυμφών ήταν μεταξύ 4-755 m^{-2} και η κατανομή τους εκτεινόταν σχεδόν σε όλη την περιοχή δειγματοληψίας. Οι υψηλότερες από αυτές τις αφθονίες παρατηρήθηκαν στη Λήμνο μπροστά από τα Δαρδανέλια και στην περιοχή της Σαμοθράκης, ενώ απουσίαζαν τελείως από πολύ λίγους παράκτιους σταθμούς στο πλατό της Σαμοθράκης και στο νότιο τμήμα της περιοχής δειγματοληψίας.

Η κατανομή των ενήλικων ατόμων γαύρου παρουσιάζεται στους χάρτες της Εικόνας 3.7 (Fig.3.7), με τη μορφή αφθονίας ήχου (NASC). Τα κοπάδια του γαύρου το Μάιο παρατηρήθηκαν στο πλατό της Σαμοθράκης εντός της ισοβαθούς των 100 m και με υψηλές αφθονίες ήχου (μέχρι 17000 m^2/nm^2). Στην περιοχή περιμετρικά της Λήμνου, υψηλότερες αφθονίες ήχου παρατηρήθηκαν εντός της ισοβαθούς των 100 m ενώ μερικά κοπάδια κατανέμονταν μέχρι την ισοβαθή των 200 m. Τον Ιούλιο τα κοπάδια είχαν

μικρότερη αφθονία ήχου (μέχρι 10010 m²/nm²) αλλά πιο εκτεταμένη κατανομή. Μεταξύ Σαμοθράκης και Θάσου τα κοπάδια κατανέμονταν μέχρι την ισοβαθή των 200 m. Περιμετρικά της Λήμνου τα κοπάδια κατανέμονταν εντός της ισοβαθούς των 200 m, κυρίως μπροστά από τα Δαρδανέλια.

Η βιομάζα του γαύρου για το Μάιο και τον Ιούλιο του 2010, καθώς και η μέση αφθονία αυγών ηλικίας έως 1 μέρα, του συνολικού αριθμού αυγών γαύρου και των λεκιθοφόρων ιχθυονυμφών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1 (Table 3.1). Η αφθονία των αυγών ηλικίας 1 μέρας, καθώς και η συνολική αφθονία αυγών και λεκιθοφόρων ιχθυονυμφών διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ Μαΐου και Ιουλίου το 2010 ($t_{\text{stat}}=-10.032$, $t_{\text{stat}}=-9.05$ αντίστοιχα, $p<<0.0001$).

Table 3. 1. Anchovy biomass during May and July 2010 in the NE Aegean Sea. Mean abundance (individuals m⁻²) of anchovy eggs younger than 1 day as well as abundance of all eggs and yolk sac larvae are also given.

	May	July
Anchovy biomass (tones)	57.000 t	32.000 t
Eggs0	1.61	119.21
Eggs	4.21	125.91
Yolk sac larvae	3.87	90.49

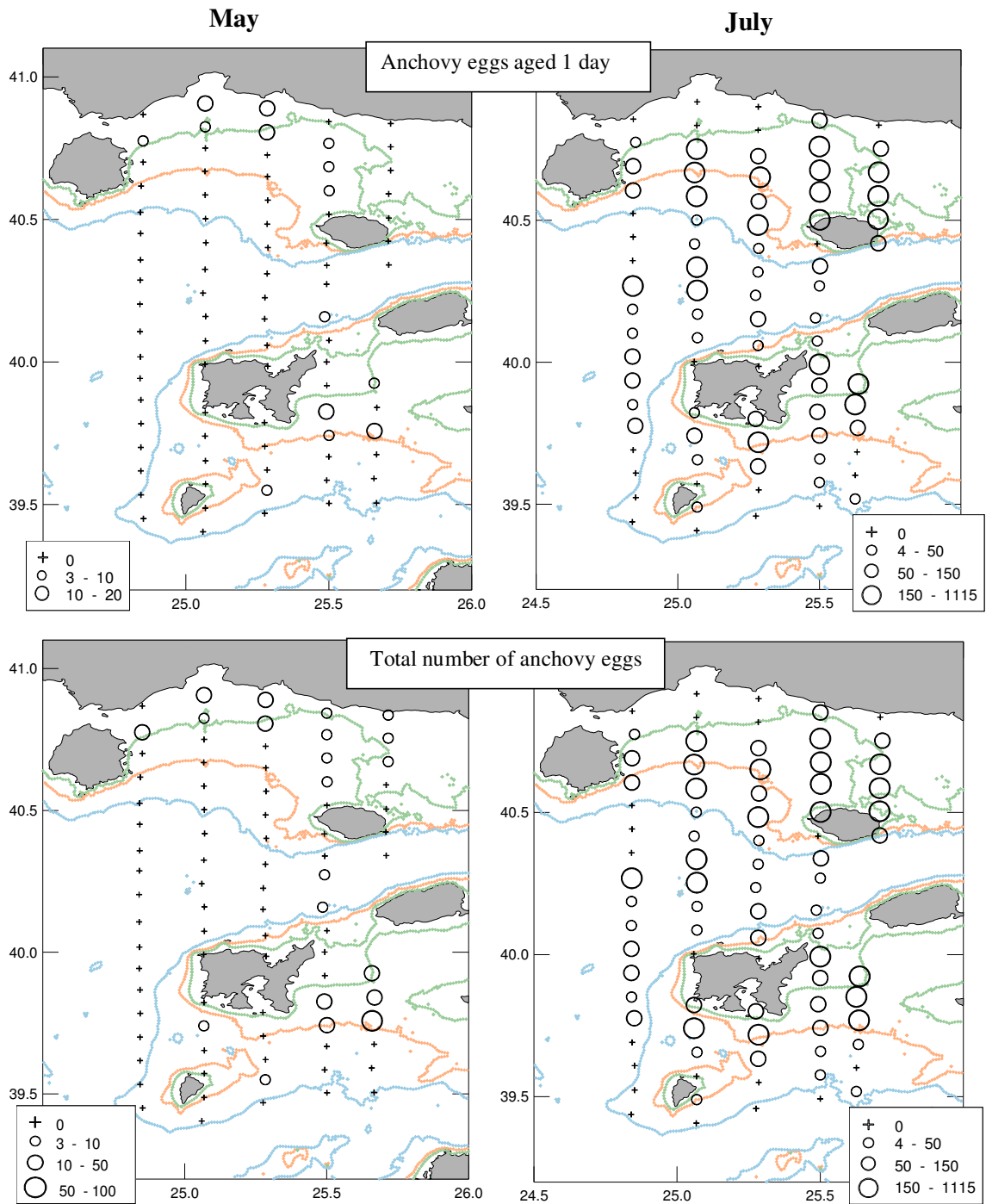


Figure 3.6. Distribution and abundance maps of anchovy eggs during May and July 2010, in the NE Aegean Sea. Upper panel: anchovy eggs aged 1 day. Lower panel: all eggs.

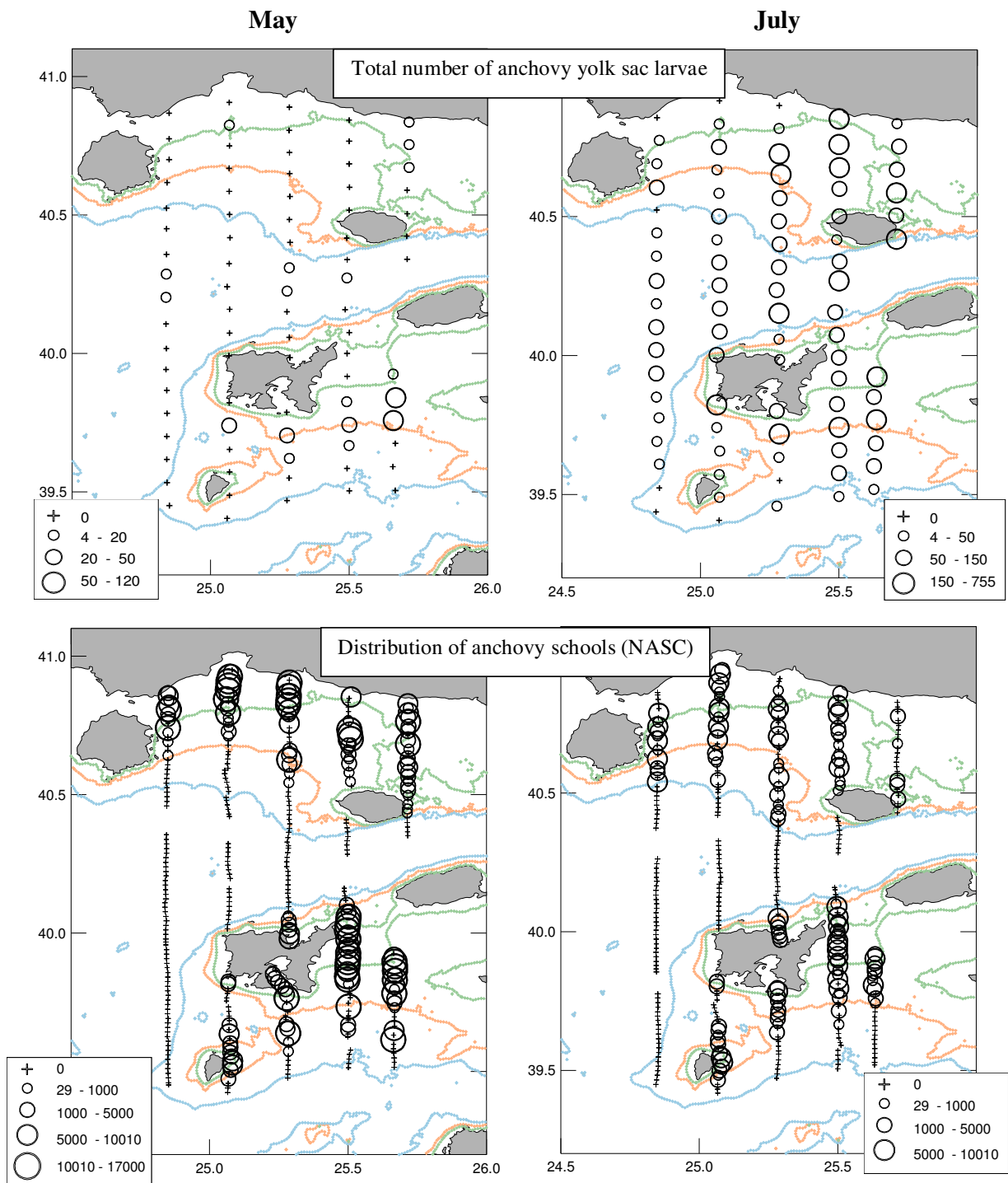


Figure 3.7. Distribution and abundance maps of anchovy yolk sac larvae and NASC (anchovy schools) during May and July 2010, in the NE Aegean Sea.

3.2 Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας μοντελοποίησης. Αρχικά παρουσιάζονται τα μοντέλα GAM που αφορούν την παρουσία/απουσία αυγών γαύρου και στη συνέχεια αυτά των ενήλικων ατόμων γαύρου. Όλα τα μοντέλα που προέκυψαν για την περιοχή του Θερμαϊκού (Stratum II) αφορούσαν την χρονική περίοδο του Ιουνίου, ενώ για το Θρακικό (Stratum I) τα μοντέλα αφορούσαν τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο για τα αυγά και Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο για τα ενήλικα άτομα. Σε κάθε μοντέλο, οι παράμετροι αναφέρονται με τη σειρά με την οποία εισήλθαν στο τελικό μοντέλο.

Μοντέλα αυγών ηλικίας 0

Το τελικό μοντέλο του Θερμαϊκού με τις *in situ* μεταβλητές (Fig. 3.8) περιελάμβανε το βάθος, την επιφανειακή θερμοκρασία και το ζωοπλαγκτόν και εξηγούσε το 32.8% της διακύμανσης. Από τα διαγράμματα των μοντέλων φαίνεται ότι τα μικρότερα βάθη, δηλαδή μέχρι τα 140 m περίπου σε συνδυασμό με τις υψηλότερες διαθέσιμες συγκεντρώσεις ($450-750 \text{ mg m}^{-2}$) μέσο-ζωοπλαγκτού είχαν θετική επίδραση στην παρουσία αυγών. Όσον αφορά την επιφανειακή θερμοκρασία (εύρος 21-27 °C) τιμές μεταξύ 22-25 °C είχαν αρνητική επίδραση στην παρουσία αυγών. Στο αντίστοιχο μοντέλο με τις ωκεανογραφικές μεταβλητές (Fig. 3.9) το βάθος, η επιφανειακή θερμοκρασία, το μέσο-ζωοπλαγκτόν και η χλωροφύλλη ήταν οι σημαντικότερες μεταβλητές που μπήκαν στο μοντέλο (32.4% της επεξηγούμενης διακύμανσης). Τα βάθη μεταξύ 30-150 m και οι υψηλότερες διαθέσιμες αφθονίες ($250-570 \text{ mg C m}^{-2}$) μέσο-ζωοπλαγκτού είχαν θετική επίδραση στην παρουσία των αυγών, ενώ οι τιμές της θερμοκρασίας μεταξύ 21.5-24 °C και η μέση διαθέσιμη συγκέντρωση χλωροφύλλης ($12-80 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$) είχαν αρνητική επίδραση στην παρουσία αυγών.

Στην περιοχή του Θρακικού τον Ιούνιο, οι σημαντικότερες *in situ* μεταβλητές που εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο ήταν η επιφανειακή αλατότητα και το βάθος και εξηγούσαν το 35.10% της διακύμανσης. Οι χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές επιφανειακής αλατότητας (30-35) σε συνδυασμό με βάθη μεταξύ 25-150 m είχαν αυξημένη πιθανότητα παρουσίας αυγών (Fig. 3.10). Οι σημαντικότερες ωκεανογραφικές μεταβλητές που εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο του Θρακικού τον Ιούνιο ήταν το βάθος, η αλατότητα στο βυθό και το μικρο-ζωοπλαγκτόν (Fig. 3.11), με σημαντική κατηγορική μεταβλητή το

έτος δειγματοληψίας και εξηγούσε το 40% της διακύμανσης. Περιοχές με πολύ μικρά (<40 m) και πολύ μεγάλα βάθη (>200 m) είχαν αρνητική επίδραση στην παρουσία αυγών, ενώ η επίδραση ήταν θετική μεταξύ 40-200 m βάθους. Το εύρος των τιμών της αλατότητας στο βυθό ήταν μικρό (37.8-38.8), όμως παρατηρήθηκε θετική επίδραση στην παρουσία αυγών στις χαμηλότερες από αυτές τις τιμές. Το μικρό-ζωοπλαγκτόν είχε θετική επίδραση στην παρουσία αυγών σε μέσες τιμές, δηλαδή μεταξύ 270-900 mgC m⁻² (εύρος 56-2040 mgC m⁻²).

Στο μοντέλο του Θρακικού τον Ιούλιο, οι σημαντικότερες *in situ* μεταβλητές ήταν το βάθος και το μέσο-ζωοπλαγκτόν (Fig. 3.12) με σημαντικό παράγοντα το έτος δειγματοληψίας, εξηγώντας το 27.8% της διακύμανσης. Βάθη μικρότερα από 130 m σε συνδυασμό με την υψηλότερη διαθέσιμη βιομάζα μεσο-ζωοπλαγκτού (300-610 mg m⁻²) είχαν θετική επίδραση στην παρουσία αυγών. Στο αντίστοιχο τελικό μοντέλο με τις ωκεανογραφικές μεταβλητές, εισέρχονταν το βάθος και το PED με το έτος δειγματοληψίας ως σημαντικό παράγοντα (Επεξ. διακύμανση 24.6%). Βάθη μικρότερα από 150 m σε συνδυασμό με υψηλότερες διαθέσιμες τιμές PED (300-450 J) είχαν θετική επίδραση στην παρουσία αυγών (Fig. 3.13).

Τέλος παρουσιάζονται τα μοντέλα που προέκυψαν από όλα τα δεδομένα (pooled data). Και το τελικό μοντέλο των *in situ* μεταβλητών (Fig. 3.14) και το αντίστοιχο των ωκεανογραφικών (Fig. 3.15) περιελάμβαναν ως σημαντικότερες μεταβλητές το βάθος, την επιφανειακή θερμοκρασία και την επιφανειακή αλατότητα και εξηγούσαν το 27% και 26% αντίστοιχα. Βάθη μέχρι 150 m ή μεταξύ 30-180 m (*in situ* και ωκεανογραφικές μεταβλητές αντίστοιχα), σε συνδυασμό με χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές επιφανειακής αλατότητας και υψηλότερες διαθέσιμες τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας είχαν θετική επίδραση στην παρουσία αυγών.

Table 3. 2. Final GAM models for anchovy eggs presence-absence. The sample number (N), residual degrees of freedom (Res.Df), residual deviance, Akaike's information Criterion (AIC), significance (p-value) and the percentage of deviance explained are presented.

Stratum Month Variable	Model Parameters	N	Res. Df	Residual Deviance	AIC	p-value	Deviance Expl. (%)
StrII-June <i>In situ</i> variables	s(Indepth)+s(sst)+s(zoopl)	327	320.86	290.99	301.42	<0.005	32.7
StrII-June Oceanographic variables	s(Indepth)+s(sst)+s(mesoZ)+s(Inchla)	333	318.79	296.57	324.10	<0.005	32.4
StrI-June <i>In situ</i> variables	s(sss)+s(Indepth)	433	427.43	358.78	369.93	<<0.000	35.1
StrI-June Oceanographic variables	s(Indepth)+s(botsalb)+s(Inmicroz)+as.factor(Cruise)	436	424.00	336.21	360.21	<<0.000	40.0
StrI-July <i>In situ</i> variables	s(Indepth)+s(zoopl)+ as.factor(Cruise)	181	172.31	178.64	196.02	<0.01	27.8
StrI-July Oceanographic variables	s(Indepth)+s(PED)+ as.factor(Cruise)	189	181.83	193.62	207.95	<0.000	24.6
Pooled data <i>In situ</i> variables	s(Indepth)+s(sst)+ s(sss)	1037	1027.12	1005.1	1024.81	<<0.000	27.0
Pooled data Oceanographic variables	s(Indepth)+s(sst)+ s(sss)	1056	1042.26	1039.73	1066.32	<<0.000	26.0

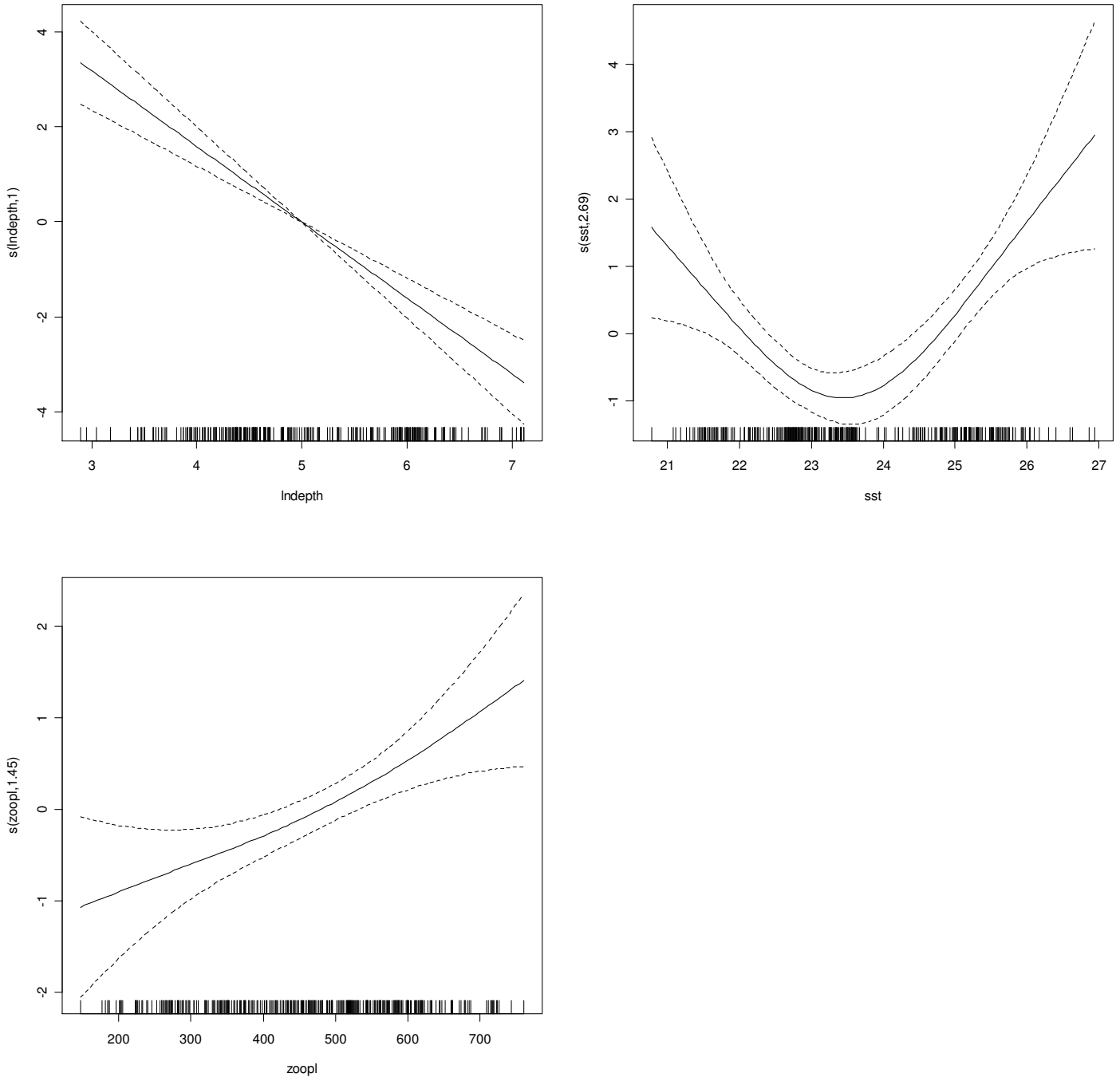


Figure 3.8. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for anchovy eggs during June in Stratum II against *in situ* variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.1. \lndepth , \ln -transformed depth in m; sst , sea surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) at 3 m depth; $zoopl$, meso-zooplankton biomass (mg m^{-2}). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

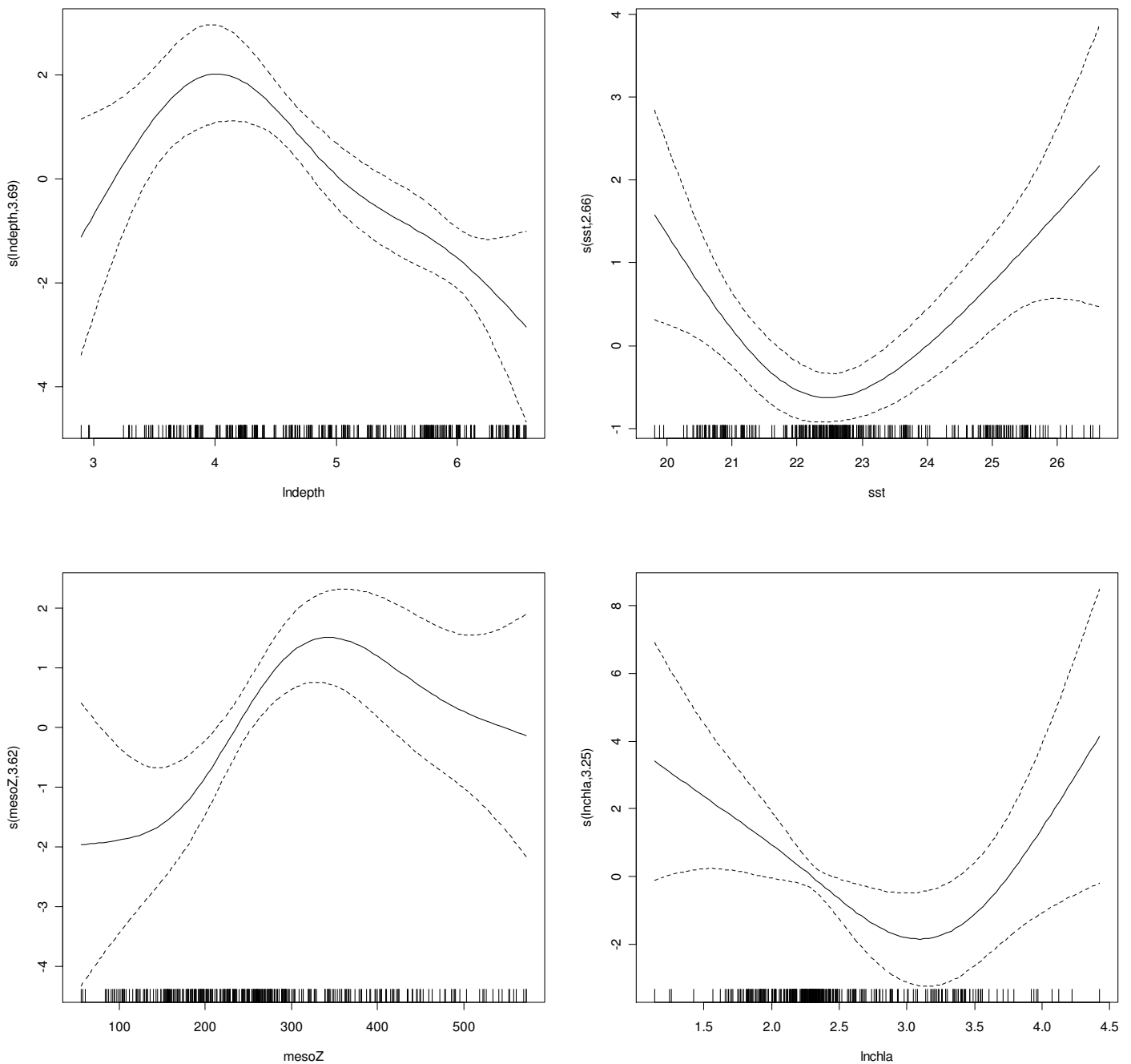


Figure 3.9. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for anchovy eggs during June in Stratum II against oceanographic variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.1. Lndepth, ln-transformed depth in m; sst, sea surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) at 3 m depth; mesoZ, integrated mesozooplankton abundance (mgC m^{-2}); lnchla, ln-transformed integrated chlorophyll (mgC m^{-2}). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

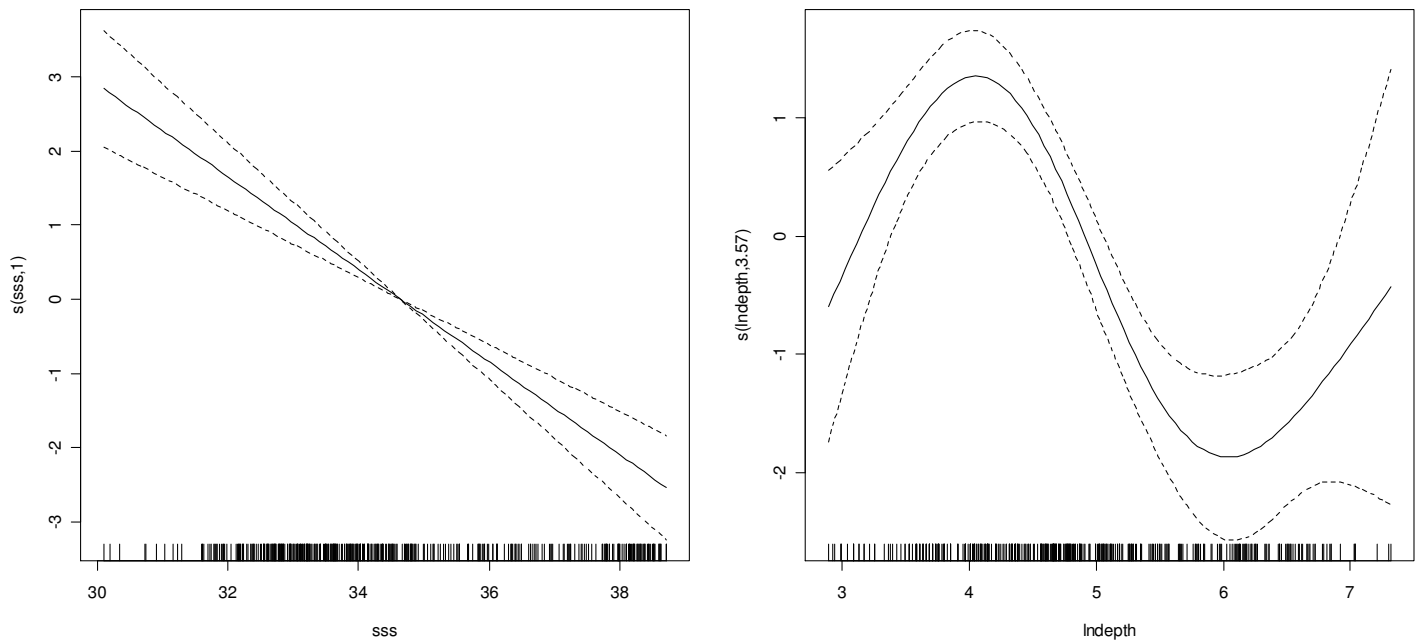


Figure 3.10. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for anchovy eggs during June in Stratum I against *in situ* variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.1. sss, sea surface salinity at 3 m depth; lndepth, ln-transformed depth in m. Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

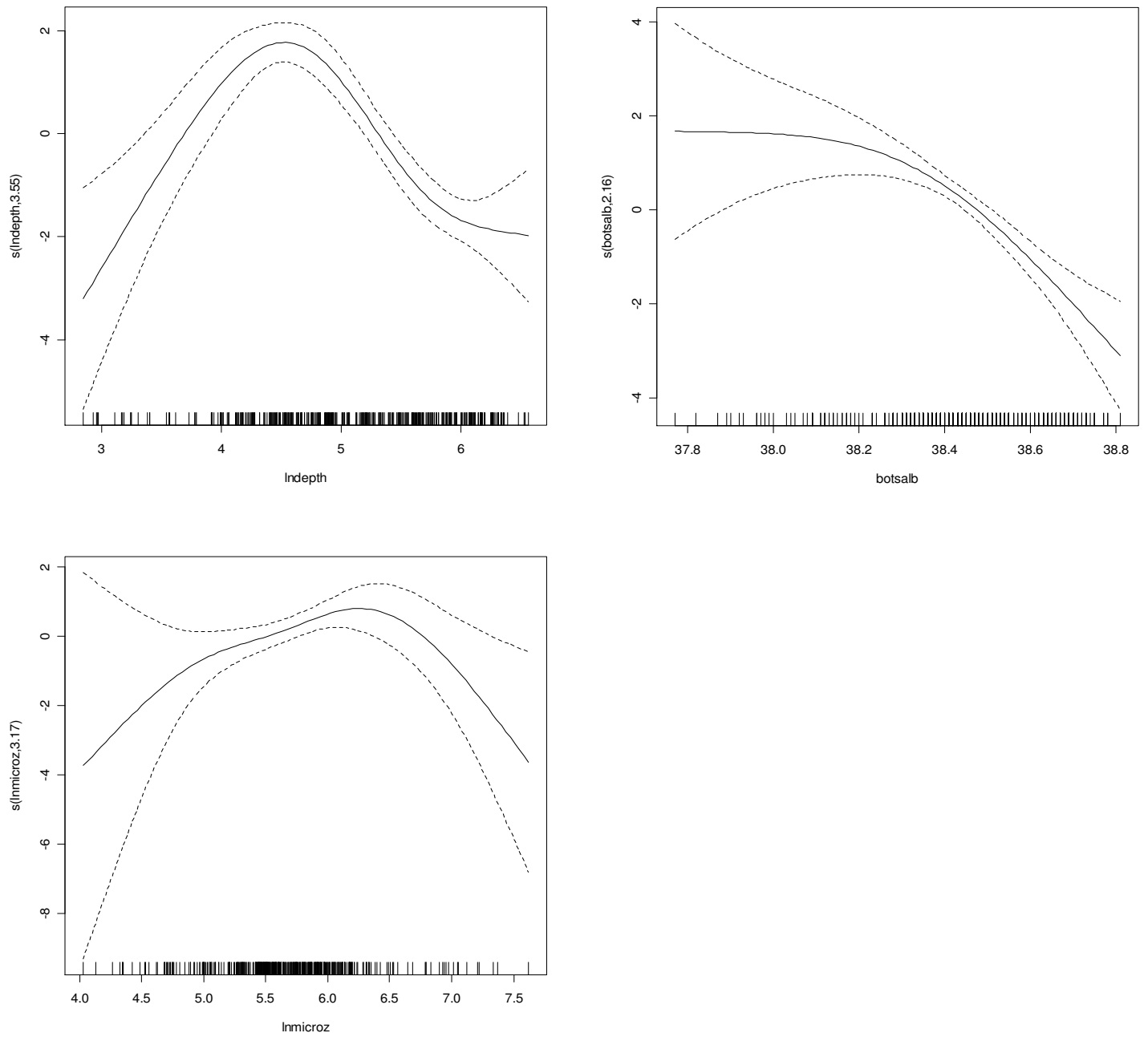


Figure 3.11 Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for anchovy eggs during June in Stratum I against oceanographic variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.1. \lndepth , \ln -transformed depth in m; $botsalb$, salinity at the bottom or at 100m depth for deeper stations; \lnmicroz , integrated micro-zooplankton (mgC m^{-2}) Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

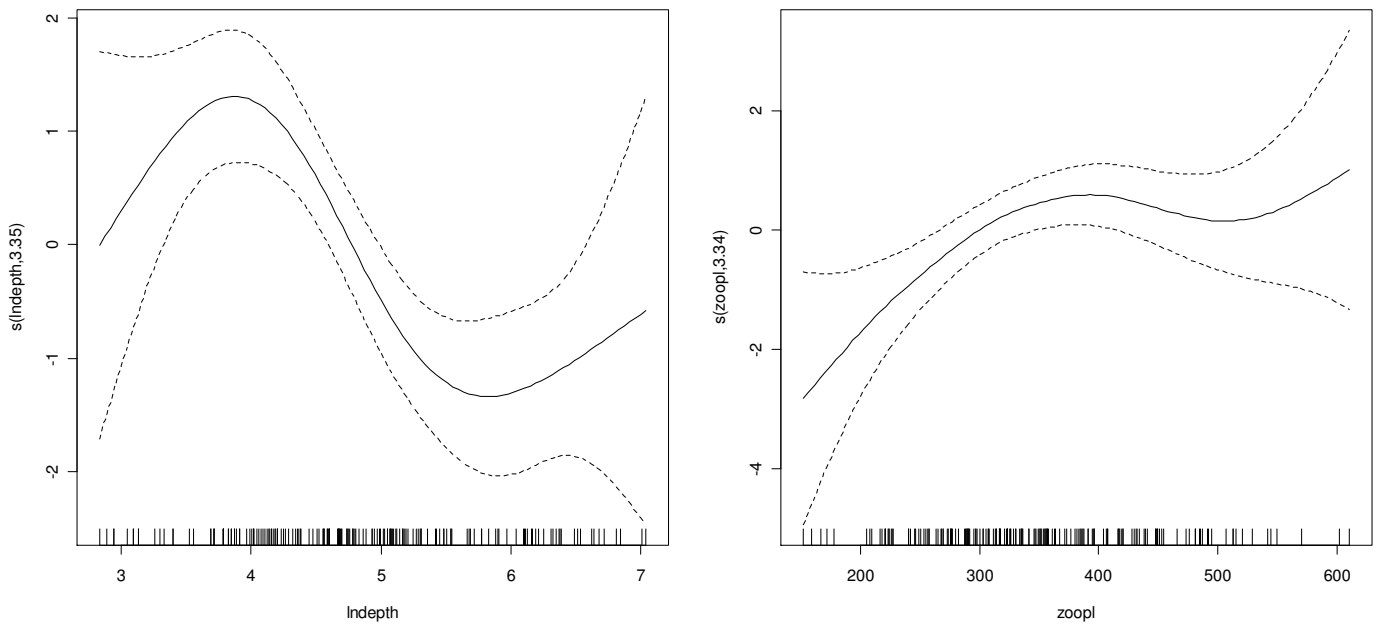


Figure 3.12. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for anchovy eggs during July in Stratum I against *in situ* variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.1. Indepth, ln-transformed depth in m; zoopl, meso-zooplankton biomass (mg m^{-2}). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

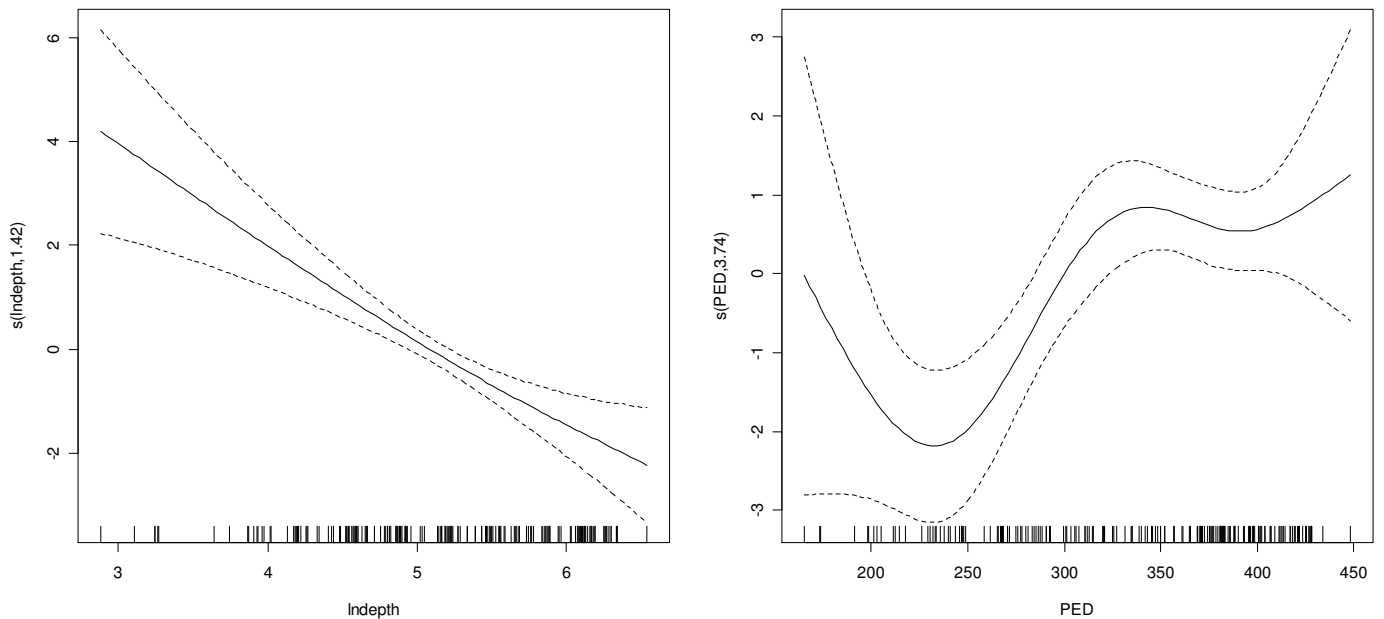


Figure 3.13. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for anchovy eggs during July in Stratum I against oceanographic variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.1. Indepth, ln-transformed depth in m; PED, potential energy deficit (J). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

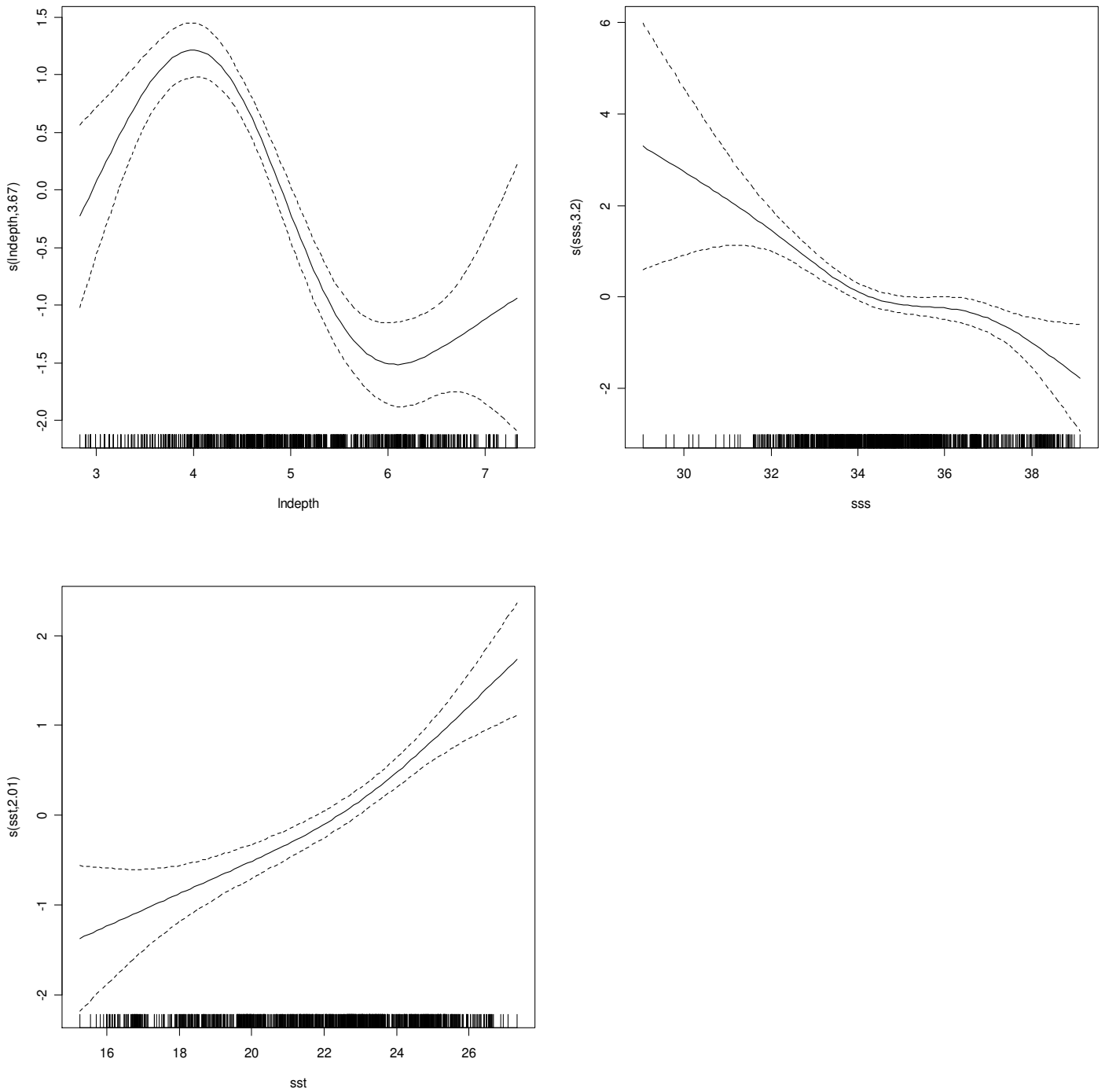


Figure 3.14. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for anchovy eggs based on all egg data available (Stratum I and II, all months, all years) against *in situ* variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.1. *ln*depth, *ln*-transformed depth in m; *sss*, sea surface salinity; *sst*, sea surface temperature(°C). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

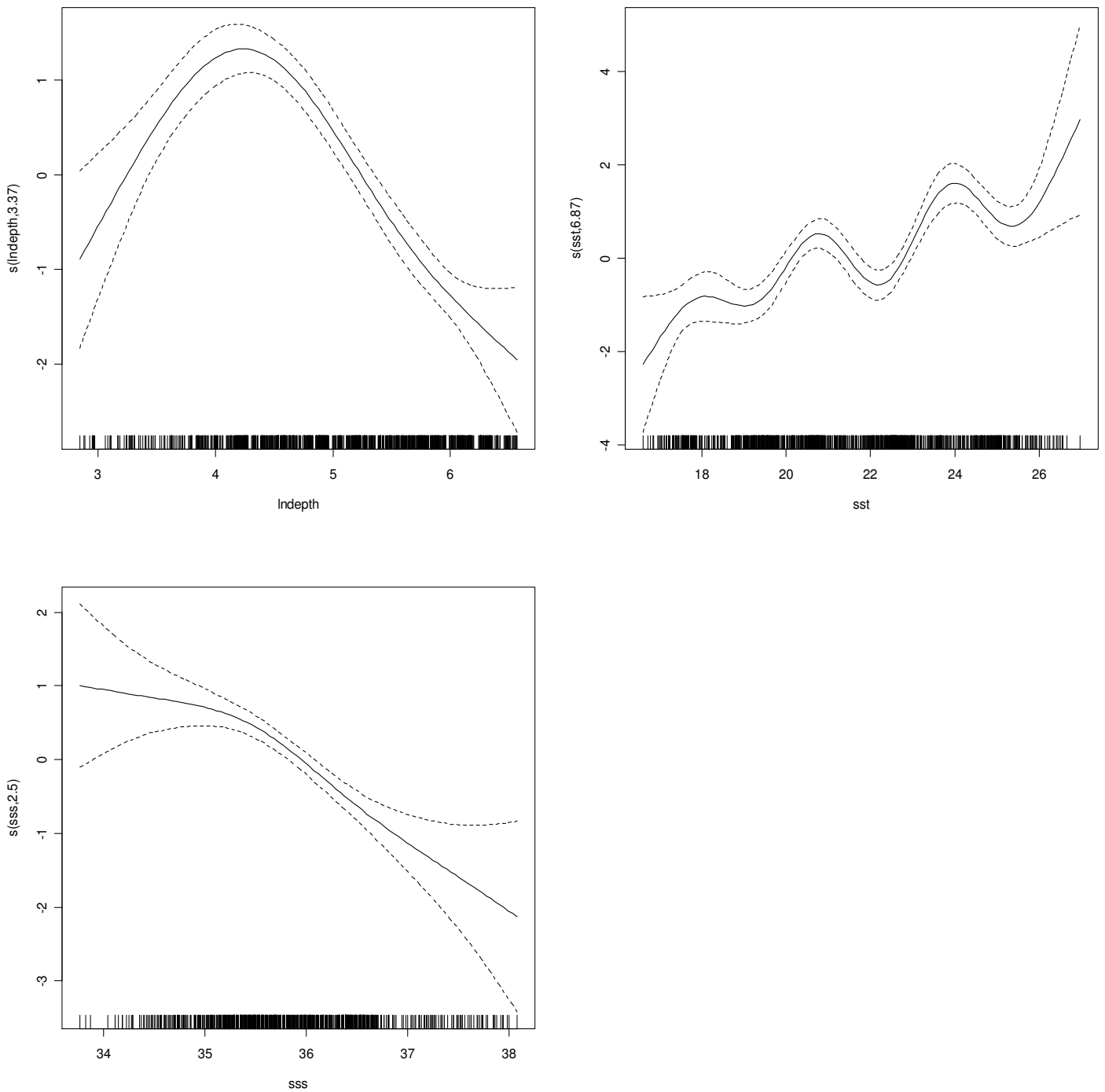


Figure 3.15. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for anchovy eggs based on all egg data available (Stratum I and II, all months, all years) against oceanographic variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.1. Indepth, \ln -transformed depth in m; sst, sea surface temperature($^{\circ}\text{C}$); sss, sea surface salinity. Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

Μοντέλα ενήλικων ατόμων γαύρου

Στα μοντέλα των ενήλικων ατόμων γαύρου το βάθος ήταν η μόνη μεταβλητή που μπήκε σε όλα τα μοντέλα ως η πρώτη σημαντικότερη επεξηγηματική μεταβλητή, εκτός από μια περίπτωση, δηλ. το μοντέλο του Θερμαϊκού με τις ωκεανογραφικές μεταβλητές.

Πιο αναλυτικά, στον Θερμαϊκό κόλπο, το τελικό μοντέλο με τις *in situ* επεξηγηματικές παραμέτρους, περιελάμβανε εκτός από το βάθος, τη θερμοκρασία στο βυθό και την επιφανειακή θερμοκρασία (Επεξ. Διακύμανση 30.4%). Παρατηρήθηκε ότι θετική επίδραση στην παρουσία ενήλικων ατόμων γαύρου είχαν τα βάθη μεταξύ 20-140 m, μαζί με χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές θερμοκρασίας είτε στο βυθό (12.7-14.5 °C) είτε στην επιφάνεια (21-22 °C) (Fig. 3.16). Στα μοντέλα GAM με τις ωκεανογραφικές μεταβλητές (Fig. 3.17), το PED, το βάθος, το μικρο-ζωοπλαγκτόν και η επιφανειακή θερμοκρασία εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο (28% της επεξηγούμενης διακύμανσης). Βάθη μεταξύ 20-140 m σε συνδυασμό με χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές PED (78-240 J) και μέσες τιμές μικρό-ζωοπλαγκτού (120-350 mgC m⁻²) είχαν θετική επίδραση στην παρουσία κοπαδιών γαύρου. Τέλος, όσον αφορά την επιφανειακή θερμοκρασία (εύρος τιμών 19.8-26.5 °C) παρατηρήθηκε ότι τα κοπάδια γαύρου είχαν θετική απόκριση σε δύο εύρη τιμών, δηλαδή στις χαμηλότερες (19.8-21.5 °C) και στις υψηλότερες (25-26.5 °C) διαθέσιμες τιμές.

Στην περιοχή του Θρακικού το Μάιο οι σημαντικότερες *in situ* παράμετροι ήταν το βάθος και η θερμοκρασία βυθού, εξηγώντας το 49.9% της διακύμανσης. Βάθη μεταξύ 20-100 m σε συνδυασμό με τις υψηλότερες διαθέσιμες τιμές θερμοκρασίας βυθού (15.2-16.2 °C) είχαν θετική επίδραση στην παρουσία κοπαδιών γαύρου (Fig. 3.18). Το αντίστοιχο μοντέλο του Μαΐου με τις ωκεανογραφικές μεταβλητές περιελάμβανε το βάθος, το PED, τη χλωροφύλλη, και την επιφανειακή αλατότητα και εξηγούσε το 48.8% της διακύμανσης. Βάθη μεταξύ 20-180 m σε συνδυασμό με τις υψηλότερες διαθέσιμες τιμές PED (200-250 J), τις μέσες τιμές χλωροφύλλης (12.5-17 mgC m⁻²) και τις χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας (16.5-17.3 °C) είχαν θετική επίδραση στην παρουσία ενήλικων ατόμων γαύρου (Fig. 3.19).

Τον Ιούνιο στο Θρακικό, τα μοντέλα με τις *in situ* μεταβλητές περιείχαν το βάθος μαζί με την επιφανειακή θερμοκρασία και είτε το βάθος του πυκνοκλινούς ή το μέσο-ζωοπλαγκτόν (Fig. 3.20), ενώ ως κατηγορική μεταβλητή έμπαινε το έτος της

δειγματοληψίας, ενώ και τα δύο μοντέλα εξηγούσαν το 28.2-28.3% της διακύμανσης. Τα μικρότερα βάθη (μέχρι 110 m) και οι υψηλότερες επιφανειακές τιμές θερμοκρασίας (22-26 °C σε εύρος τιμών 17.5-26 °C) είχαν θετική επίδραση στην παρουσία ενήλικων ατόμων γαύρου. Το βάθος του πυκνοκλινούς (εύρος τιμών 6-51 m) είχε θετική επίδραση σε τιμές μεταξύ 9-18 m, ενώ το μέσο-ζωοπλαγκτόν είχε θετική επίδραση στις χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές 200-600 mg m⁻² (εύρος 200-1200 mg m⁻²). Στο αντίστοιχο μοντέλο με τις ωκεανογραφικές μεταβλητές, το βάθος, το PED, η χλωροφύλλη και ως σημαντική κατηγορική μεταβλητή το έτος της δειγματοληψίας εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο που εξηγούσε το 24.7%. Βάθη μεταξύ 12-180 m, υψηλότερες διαθέσιμες τιμές PED (250-370 J) και μέσες τιμές χλωροφύλλης (12-30 mgC m⁻²) είχαν θετική επίδραση στην παρουσία ενήλικων ατόμων γαύρου (Fig. 3.21).

Τον Ιούλιο οι σημαντικότερες *in situ* μεταβλητές ήταν το βάθος, το ζωοπλαγκτόν και η θερμοκρασία στο βυθό. Το ποσοστό της επεξηγούμενης διακύμανσης ήταν 40.7%. Μικρότερα διαθέσιμα βάθη (12-200 m) σε συνδυασμό με χαμηλότερες διαθέσιμες συγκεντρώσεις μέσο-ζωοπλαγκτού (100-450 mg m⁻²) και υψηλότερες διαθέσιμες τιμές θερμοκρασίας στο βυθό (17-20 °C) είχαν θετική επίδραση στην παρουσία ενήλικων ατόμων γαύρου (Fig. 3.22). Το αντίστοιχο τελικό μοντέλο GAM με τις ωκεανογραφικές μεταβλητές περιελάμβανε το βάθος, την επιφανειακή αλατότητα και το μικρο-ζωοπλαγκτόν και εξηγούσε το 29.7% της επεξηγούμενης διακύμανσης. Βάθη μεταξύ 12-150 m περίπου μαζί με χαμηλές διαθέσιμες τιμές επιφανειακής αλατότητας (33.6-36) και χαμηλές διαθέσιμες τιμές μικρό-ζωοπλαγκτού (48-245 mgC m⁻²) είχαν θετική επίδραση στην παρουσία ενήλικων ατόμων γαύρου (Fig. 3.23).

Τέλος, δημιουργήθηκαν μοντέλα με όλα τα δεδομένα μαζί (pooled data). Το τελικό μοντέλο με τις *in situ* μεταβλητές περιελάμβανε το βάθος, το μέσο-ζωοπλαγκτόν, την επιφανειακή θερμοκρασία και το βάθος του πυκνοκλινούς, με σημαντική κατηγορική μεταβλητή το έτος δειγματοληψίας. Βάθη μέχρι 120 m, επιφανειακές τιμές θερμοκρασίας μεταξύ 16-19 και 22-25 °C, χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές ζωοπλαγκτού (100-600 mg m⁻²) και χαμηλότερες τιμές βάθους του πυκνοκλινούς είχαν αυξημένη πιθανότητα παρουσίας ενήλικων ατόμων γαύρου (Fig.3.24). Το αντίστοιχο μοντέλο με τις ωκεανογραφικές μεταβλητές περιλάμβανε το βάθος, την επιφανειακή αλατότητα και τη χλωροφύλλη με σημαντική κατηγορική μεταβλητή το έτος δειγματοληψίας.

Παρατηρήθηκε ότι τα ενήλικα άτομα γαύρου προτιμούσαν κυρίως βάθη μέχρι 150 m σε συνδυασμό με χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές επιφανειακής αλατότητας και μέσες τιμές χλωροφύλλης (Fig.3.25).

Table 3. 3 Final GAM models for anchovy schools' presence-absence. The sample number (N), residual degrees of freedom (Res. Df), residual deviance, Akaike's information Criterion (AIC), significance (p-value) and the percentage of deviance explained are presented.

Stratum Month Variable	Model Parameters	N	Res. Df	Residual Deviance	AIC	p-value	Deviance Expl. (%)
StrII-June <i>In situ</i> variables	s(Indepth)+s(bottemp)+s(sst)	1869	1864.24	1363.99	1383	<<0.000	30.4
StrII-June Oceanographic variables	s(PED)+s(Indepth)+s(Inmicroz)+s(sst)	1792	1778.76	1402.30	1428.76	<<0.000	28.0
StrI-May <i>In situ</i> variables	s(Indepth)+s(bottemp)	330	325.26	225.42	234.91	<<0.000	49.9
StrI-May Oceanographic variables	s(Indepth)+s(PED)+s(Inchla)+s(sst)	347	332.61	239.35	268.13	<<0.000	48.8
StrI-June <i>In situ</i> variables	s(Indepth)+s(sst)+s(Inpycn)+as.factor(Cruise)	1805	1792.97	1384.61	1408.62	<<0.000	28.3
	s(Indepth)+s(sst)+s(zoopl)+as.factor(Cruise)	1790	1778.80	1374.79	1397.22	<<0.000	28.2
StrI-June Oceanographic variables	s(Indepthb)+s(PED)+s(Inchla)+as.factor(Cruise)	1832	1820.50	1489.48	1512.50	<<0.000	24.7
StrI-July <i>In situ</i> variables	s(Indepth)+s(zoopl)+s(bottemp)	792	780.82	616.03	638.39	<<0.000	40.7
StrI-July Oceanographic variables	s(Indepth)+s(sss)+s(Inmicroz)	835	821.16	762.39	790.06	<<0.000	29.7
Pooled data <i>In situ</i> variables	s(Indepth)+s(zoopl)+s(sst)+s(Inpycn)+as.factor(Cruise)	4796	4775.10	3736.05	3777.9	<<0.000	32.0
Pooled data Oceanographic variables	s(Indepth)+s(sss)+s(Inchla)+as.factor(Cruise)	4815	4797.23	4208.03	4243.6	<<0.000	24.5

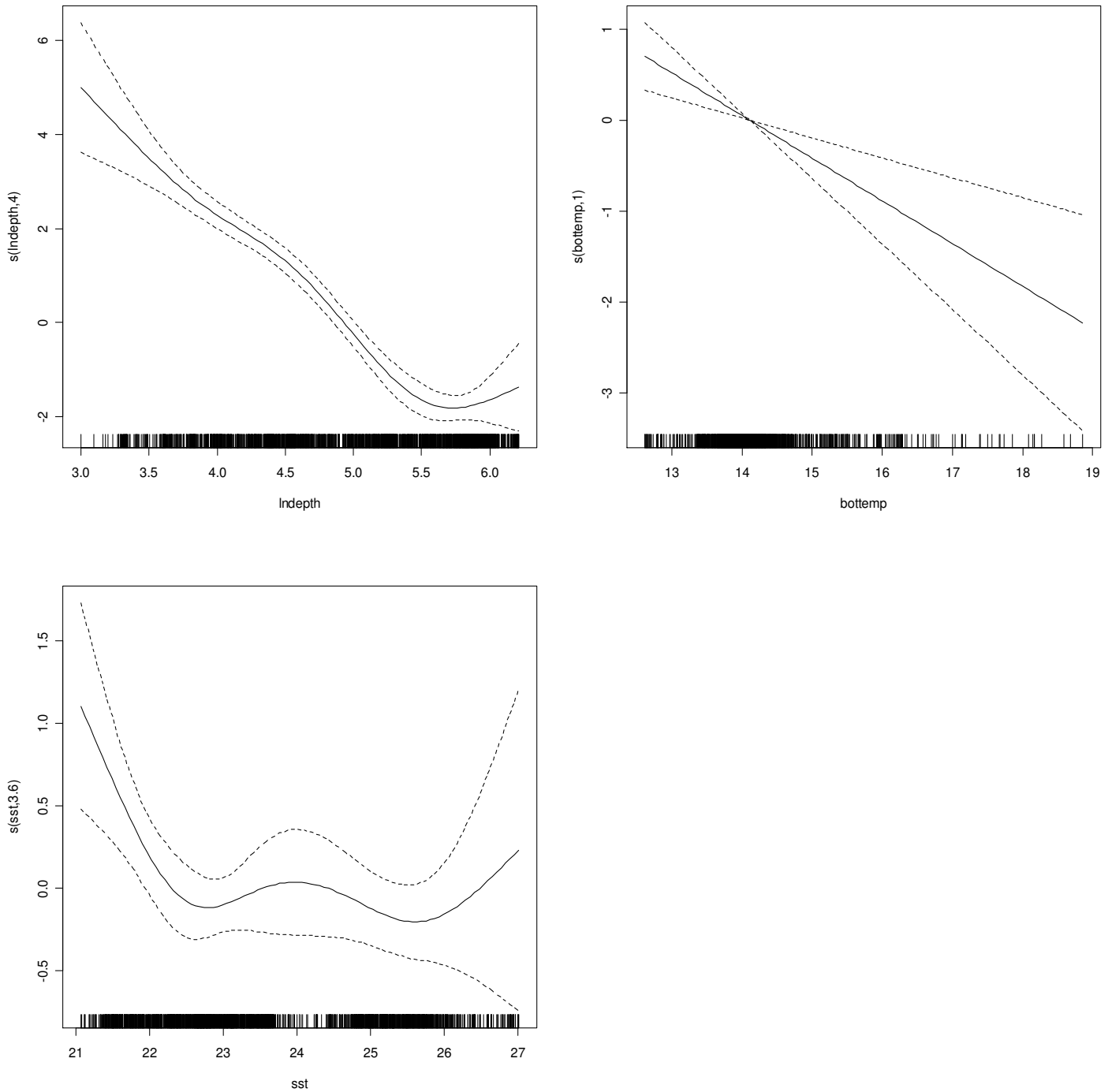


Figure 3.16. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for adult anchovy during June in Stratum II against *in situ* variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.2. Indepth, ln-transformed depth in m; bottemp, temperature ($^{\circ}\text{C}$) at the bottom or at 100m depth for deeper regions; sst, sea surface temperature ($^{\circ}\text{C}$). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

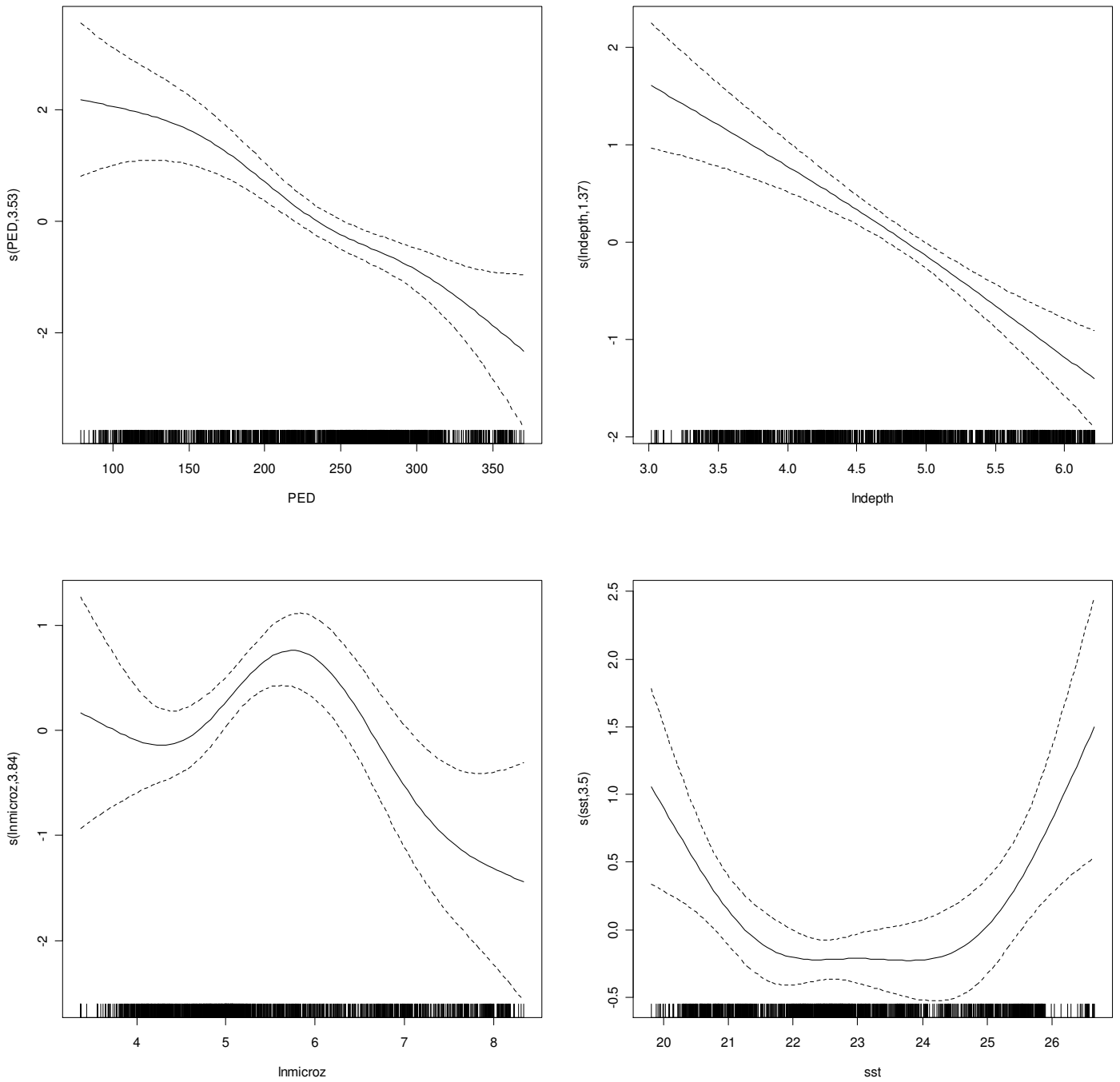


Figure 3.17. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for adult anchovy during June in Stratum II against oceanographic variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.2. PED, potential energy deficit (J); lndepth, ln-transformed depth (m); lnmicroz, ln-transformed integrated microzooplankton abundance (mgC m^{-2}); sst, sea surface temperature ($^{\circ}\text{C}$). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

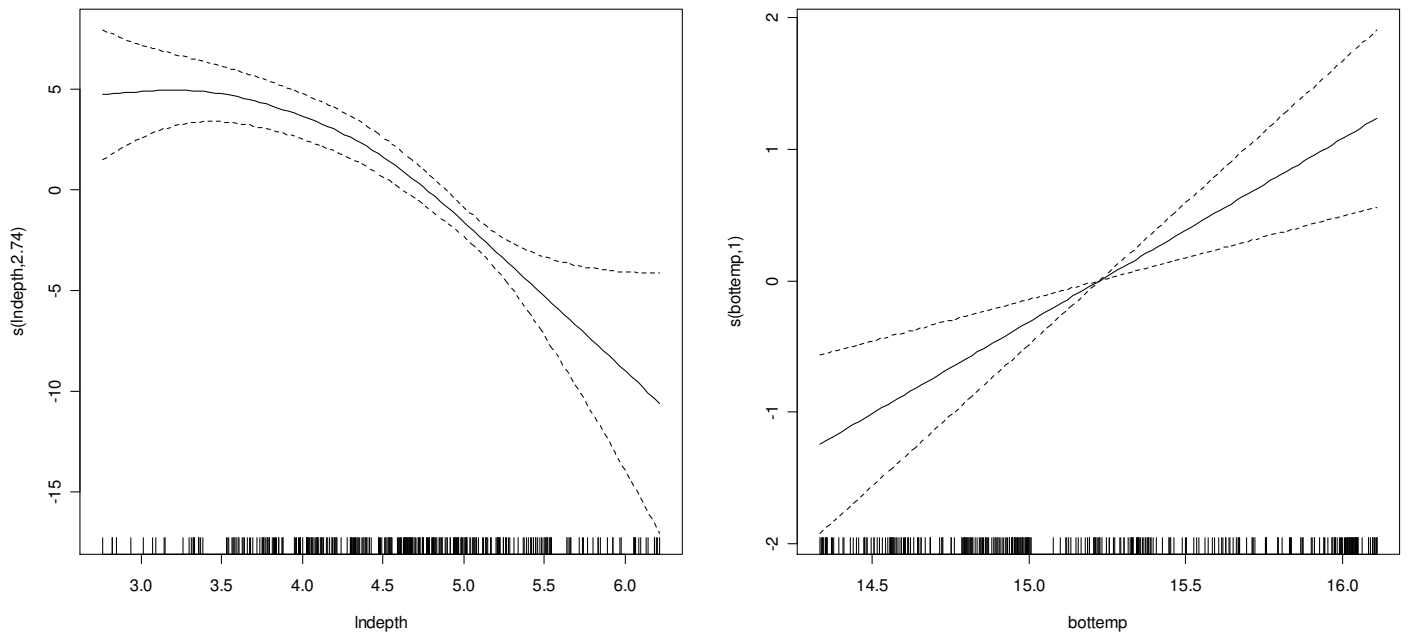


Figure 3.18. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for adult anchovy during May in Stratum I against *in situ* variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.2. *Indepth*, ln-transformed depth (m); *bottemp*, temperature ($^{\circ}\text{C}$) at the bottom or at 100m depth for deeper regions. Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P=0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

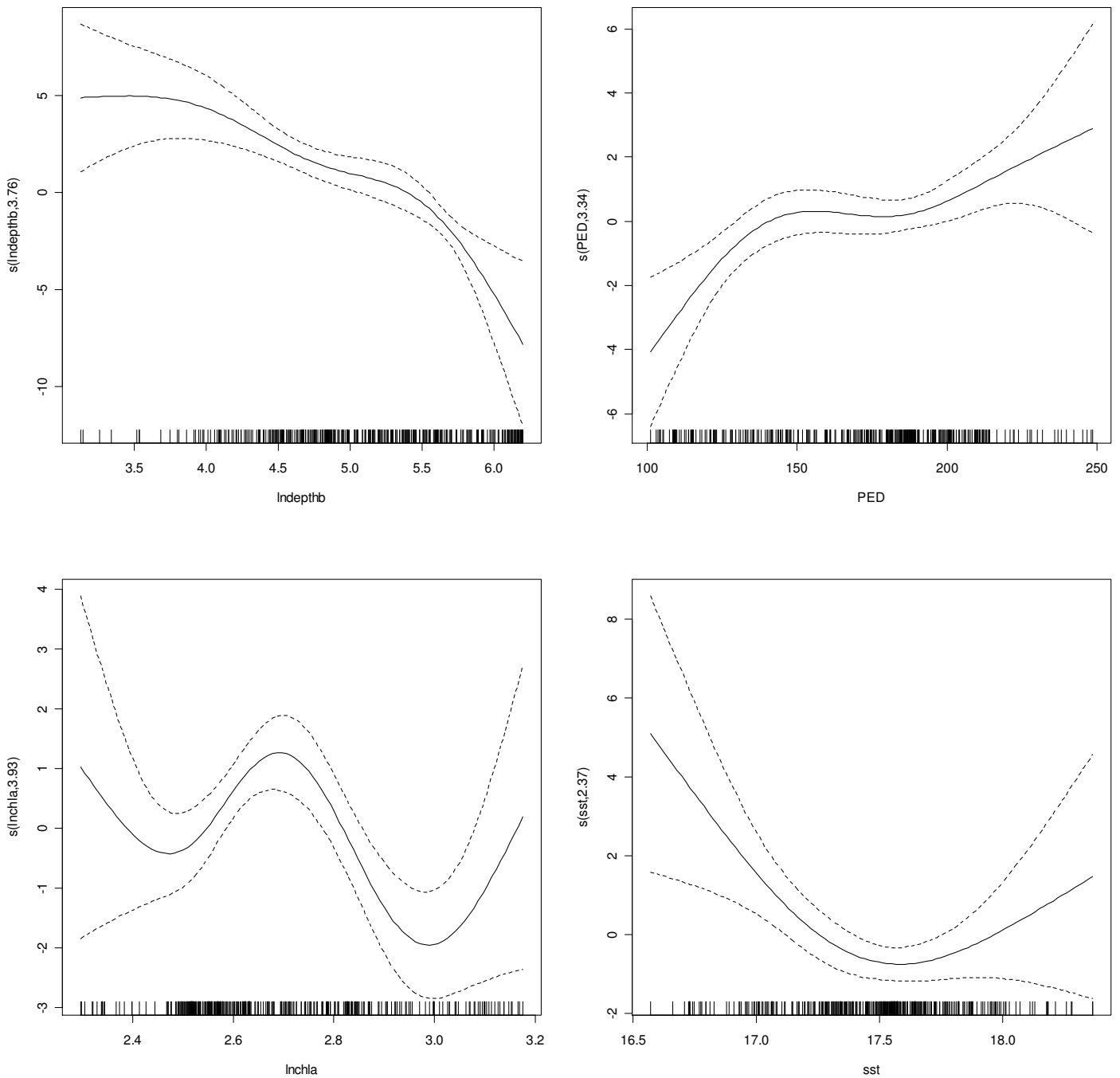


Figure 3.19. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for adult anchovy during May in Stratum I against oceanographic variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.2. $\ln(\text{depthb})$, \ln -transformed depth (m); PED, potential energy deficit (J); $\ln(\text{chla})$, \ln -transformed integrated chlorophyll (mgC m^{-2}); sst, sea surface temperature ($^{\circ}\text{C}$). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

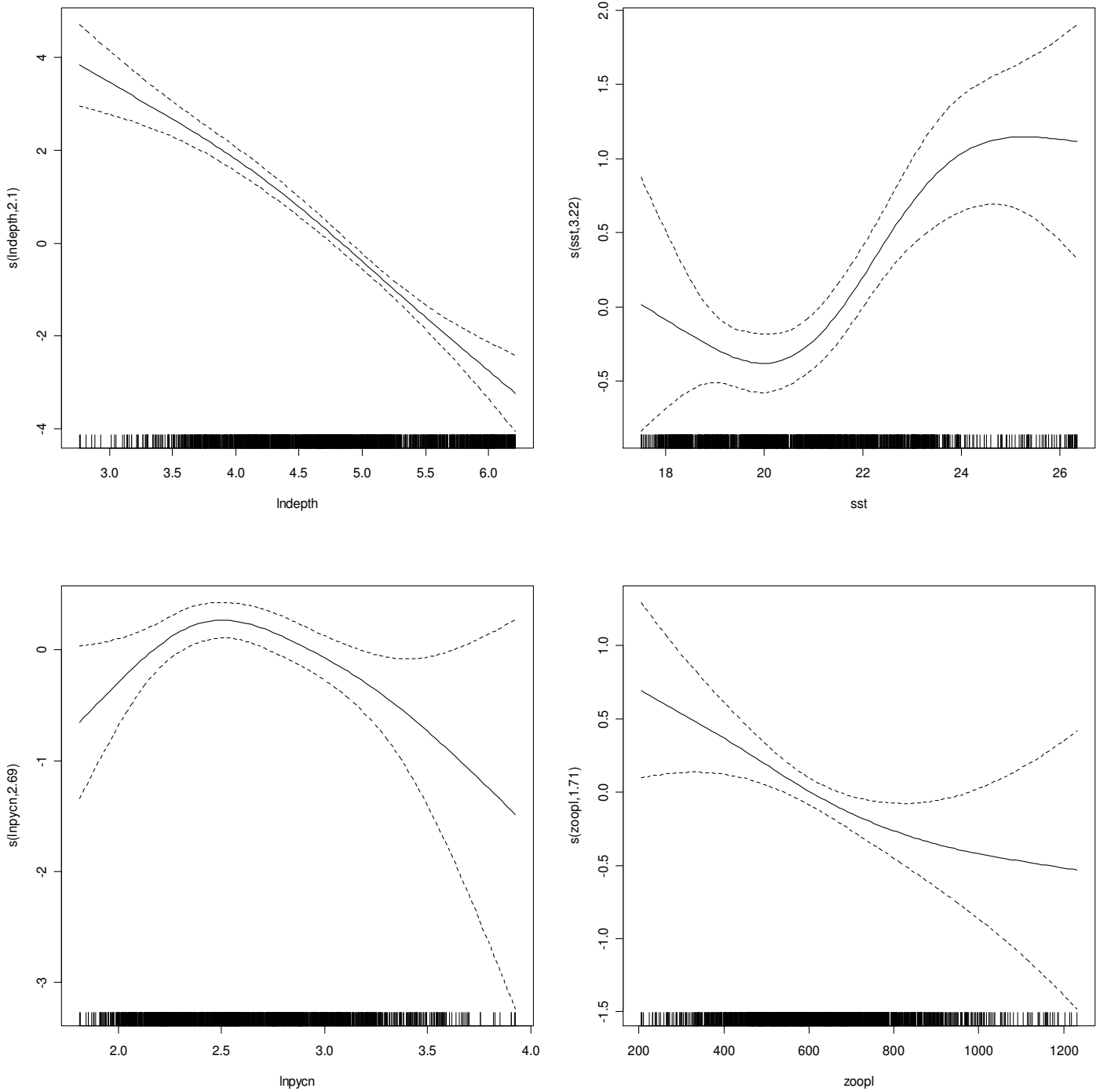


Figure 3.20. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for adult anchovy during June in Stratum I against *in situ* variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.2. Indepth, ln-transformed depth (m); sst, sea surface temperature ($^{\circ}\text{C}$); lnpycn, ln-transformed pycnocline depth (m); zoopl, meso-zooplankton biomass (mg m^{-2}). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

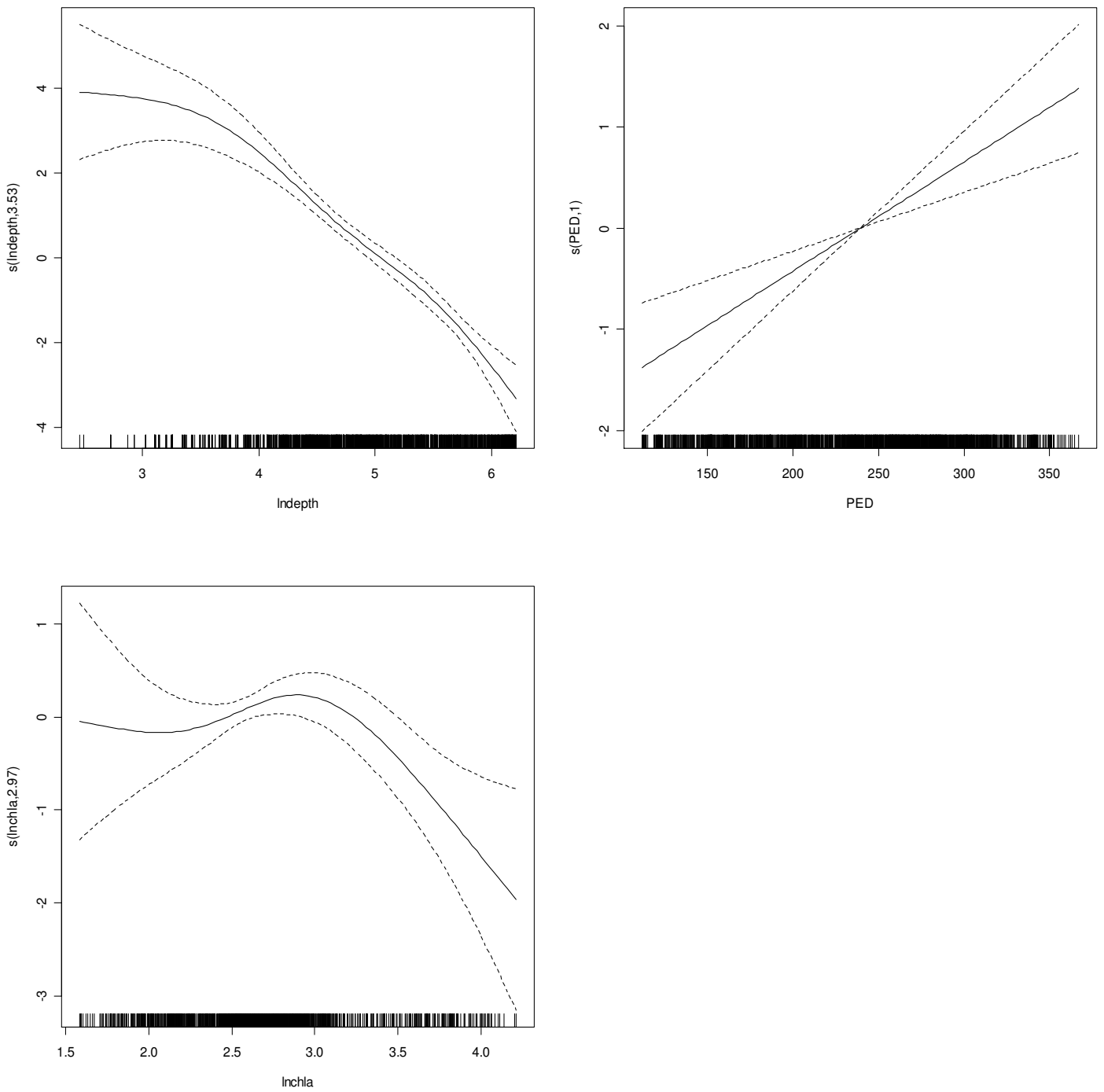


Figure 3.21. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for adult anchovy during June in Stratum I against oceanographic variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.2. Indepth, ln-transformed depth (m); PED, potential energy deficit (J); Inchla, ln-transformed integrated chlorophyll (mgC m^{-2}). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

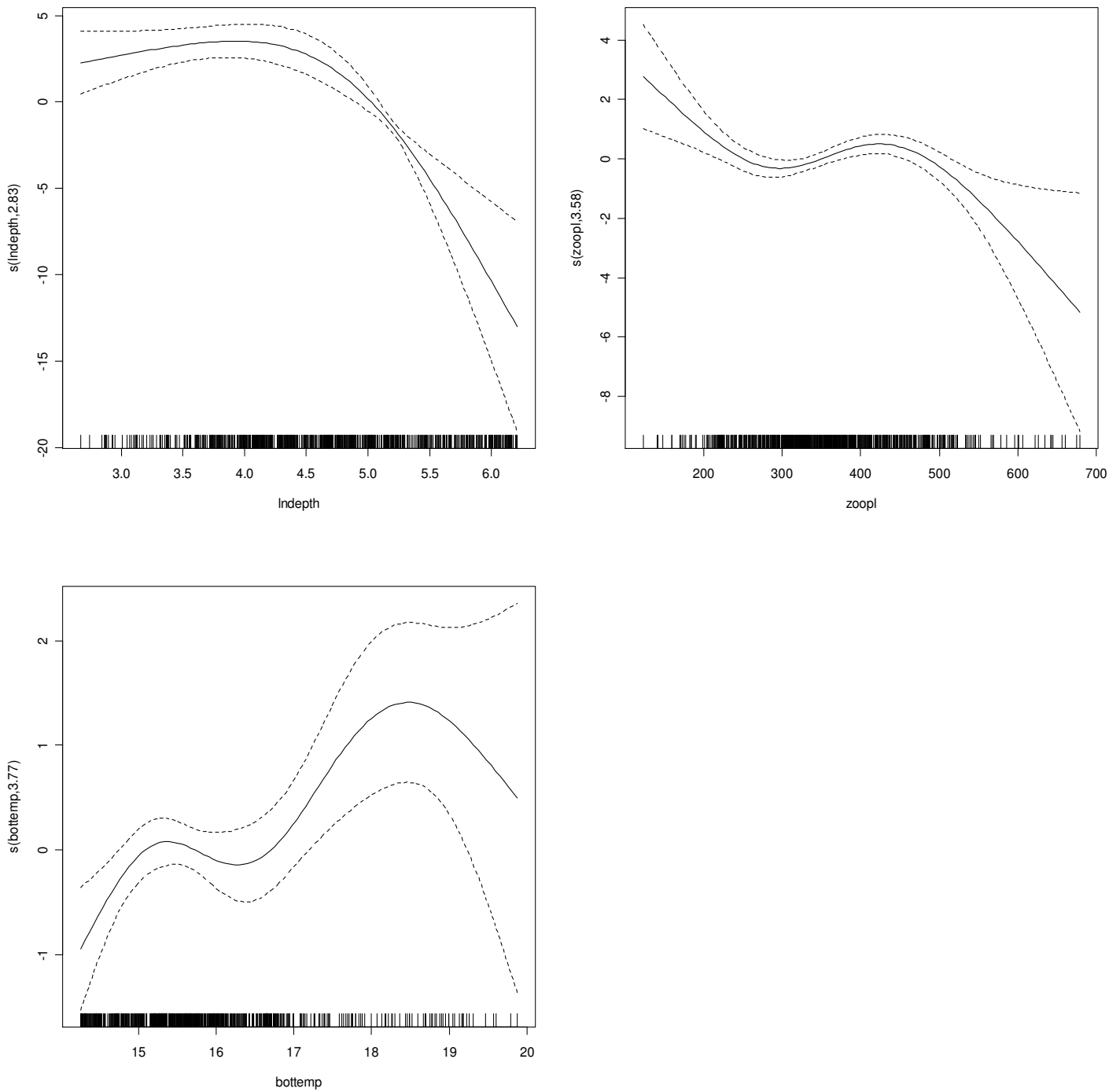


Figure 3.22. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for adult anchovy during July in Stratum I against *in situ* variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.2. Indepth, \ln -transformed depth (m); zoopl, meso-zooplankton biomass (mg m^{-2}); bottemp, temperature at the bottom or at 100m depth for deeper regions. Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

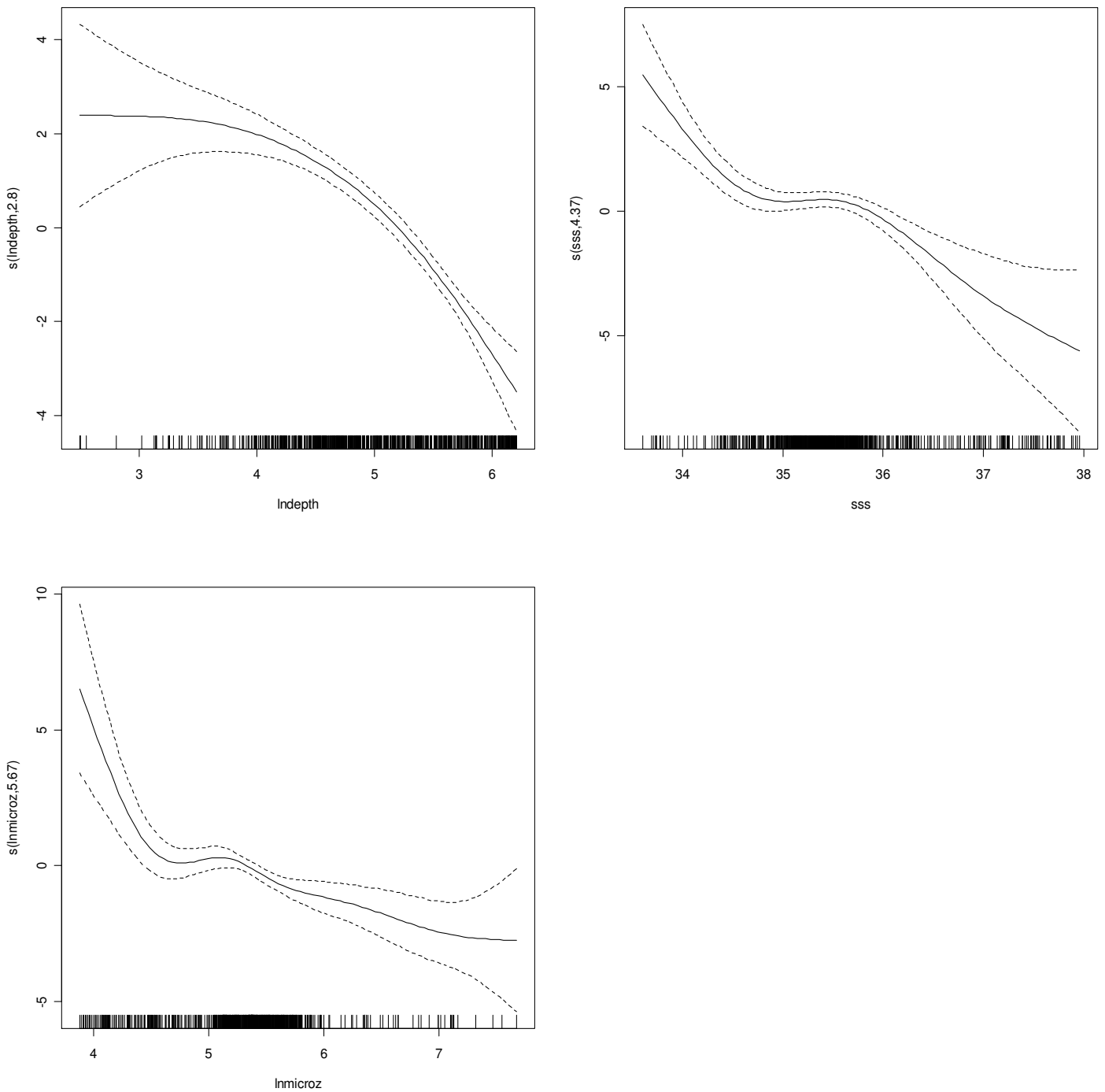


Figure 3.23. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for adult anchovy during July in Stratum I against oceanographic variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.2. Indepth, ln-transformed depth (m); sss, sea surface salinity at 3 m depth; Inmicroz, ln-transformed integrated microzooplankton abundance (mgC m^{-2}). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

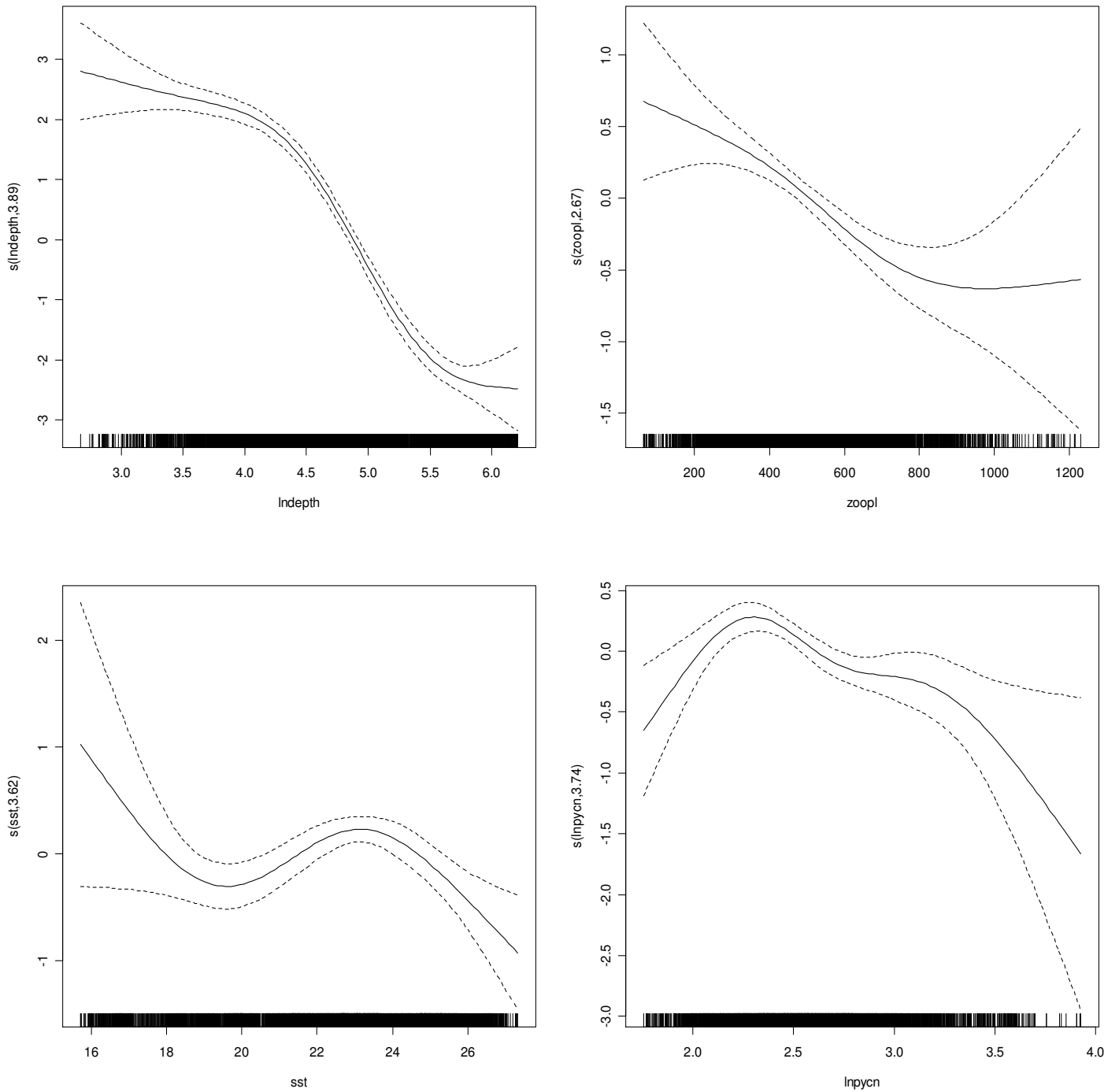


Figure 3.24. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for adult anchovy based on pooled data, against *in situ* variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.2. Indepth, ln-transformed depth (m); sst, sea surface temperature at 3 m depth; zoopl, meso-zooplankton biomass (mg m^{-2}); lnpycn, ln-transformed pycnocline depth (m). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

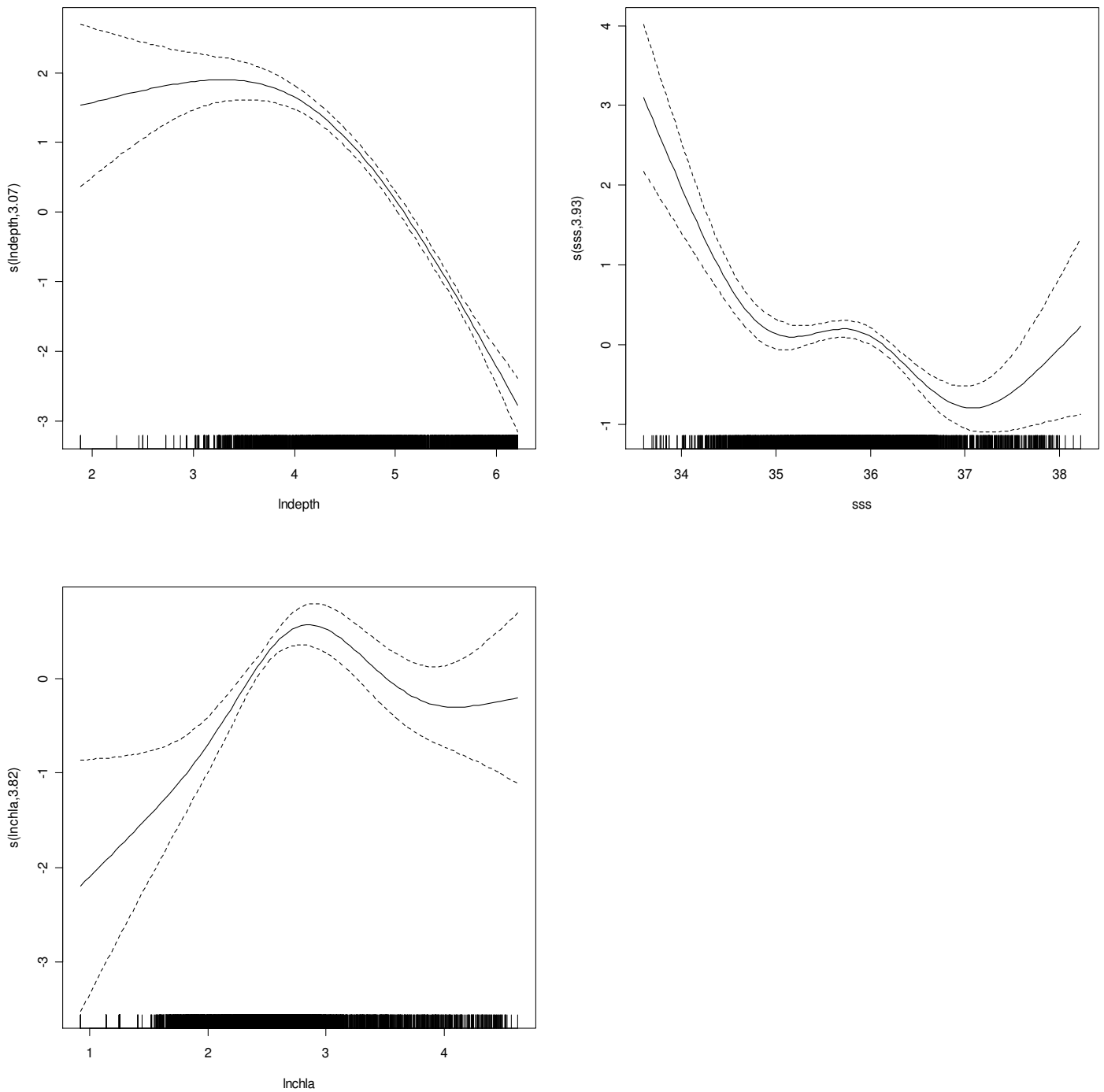


Figure 3.25. Coefficients of the generalized additive model (GAMs) for adult anchovy based on pooled data, against oceanographic variables. Details for the final GAMs can be seen in Table 3.2. Indepth, ln-transformed depth (m); sss, sea surface salinity at 3 m depth; Inchla, ln-transformed integrated chlorophyll abundance (mgC m^{-2}). Black thick lines indicate the value of GAMs coefficient, dotted lines represent the confidence intervals at $P = 0.01$. The rug under each variable effects plots indicates the density of points for different variable values.

3.3 Εκτίμηση της πιθανότητας παρουσίας και αξιολόγηση των μοντέλων

Τα τελικά μοντέλα παρουσίας-απουσίας χρησιμοποιήθηκαν ώστε να εκτιμηθεί η πιθανότητα παρουσίας των αυγών και ενήλικων ατόμων γαύρου, για την ίδια περιοχή και εποχή από τα οποία προέκυψαν. Στις περιπτώσεις όπου δεν καταλήξαμε σε ένα τελικό μοντέλο αλλά προέκυψαν περισσότερα ισοδύναμα μοντέλα, επιλέχθηκε ένα από αυτά για την παρουσίαση της πιθανότητας παρουσίας, αφού πρώτα ελέγχθηκε ότι η ικανότητα πρόβλεψης των μοντέλων ήταν ισοδύναμη. Λεπτομέρειες για τις τιμές του AUC ανά μοντέλο και ανά χρονιά, και για τις τιμές ευαισθησίας και εξειδίκευσης παρουσιάζονται στους πίνακες 5 και 6 του Παραρτήματος για τα μοντέλα πρόβλεψης των αυγών και των ενήλικων ατόμων αντίστοιχα (Appendix Table 5, Table 6). Οι χάρτες με την πιθανότητα παρουσίας-απουσίας όλων των μοντέλων, εκτός αυτών από τα “pooled data” μοντέλα, παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Figures 5-13).

Αυγά

Τα δύο μοντέλα της περιοχής του Θερμαϊκού (Ιούνιος), με τις *in situ* επεξηγηματικές παραμέτρους (Appendix Fig.5) και με τις ωκεανογραφικές επεξηγηματικές παραμέτρους (Appendix Fig.6) έδωσε ικανοποιητικές προβλέψεις της πιθανότητας παρουσίας για όλες τις χρονιές βάσει της τιμής του κριτηρίου AUC (0.76-0.88 και 0.8-0.9 αντίστοιχα). Τα δύο μοντέλα της περιοχής του Θρακικού τον Ιούνιο (*in situ* και ωκεανογραφικές μεταβλητές) έδωσαν επίσης αρκετά ικανοποιητικές προβλέψεις (Appendix Fig.5, 6) βάσει του κριτηρίου AUC που κυμαινόταν μεταξύ 0.81-0.92. Τα δύο μοντέλα (*in situ* και ωκεανογραφικές μεταβλητές) του Ιουλίου για το Θρακικό έδωσαν αρκετά καλή πρόβλεψη για το έτος 2008, όμως και τα δύο είχαν μέτρια προβλεπτική ικανότητα για το 2010 και αυτό οφείλεται στις πολύ λίγες απουσίες αυγών (Appendix Fig.7,8). Τέλος, τα δύο μοντέλα από τις *in situ* και τις ωκεανογραφικές μεταβλητές που προέκυψαν από όλα τα δεδομένα (εποχή, έτος, περιοχή) έδωσαν καλές προβλέψεις παρουσίας και απουσίας αυγών βάσει του κριτηρίου AUC το οποίο κυμαινόταν μεταξύ 0.73-0.86 και 0.8-0.84, αντίστοιχα, με εξαίρεση τον Ιούλιο του 2010 για τον οποίο η ικανότητα πρόβλεψης και των δύο μοντέλων δεν ήταν ισχυρή (AUC = 0.66 και 0.62 αντίστοιχα) και ο λόγος ήταν όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω το πολύ μικρό ποσοστό απουσίας των αυγών.

Ενήλικα άτομα

Όσον αφορά τα δύο μοντέλα των ενήλικων ατόμων από τις *in situ* και τις ωκεανογραφικές μεταβλητές (Appendix Fig.10, 11 αντίστοιχα) για την περιοχή του Θερμαϊκού (Ιούνιος), έδωσαν αρκετά καλές προβλέψεις για την πιθανότητα παρουσίας σχολείων γαύρου για όλες τις χρονιές (AUC μεταξύ 0.82-0.92 και 0.77-0.91 αντίστοιχα) εκτός από το 2003 όπου η τιμή του κριτηρίου AUC (0.73, 0.75 αντίστοιχα) έδειχνε μέτρια προβλεπτική ικανότητα. Τα μοντέλα του Μάιου (*in situ* και ωκεανογραφικές μεταβλητές) προέβλεψαν πολύ καλά την πιθανότητα παρουσίας των ενήλικων ατόμων βάσει του κριτηρίου AUC (0.92 και στα δύο μοντέλα, Appendix Fig.9). Τα δύο μοντέλα του Ιουνίου στο Θρακικό (*in situ* και ωκεανογραφικές μεταβλητές, Appendix Fig.10, 11) προέβλεψαν αρκετά καλά την πιθανότητα παρουσίας ενήλικων ατόμων, βάσει του κριτηρίου AUC (0.80-0.89 και 0.74-0.88 αντίστοιχα). Όσον αφορά τον Ιούλιο, οι προβλέψεις που έδωσαν τα δύο μοντέλα ήταν αρκετά καλές (AUC 0.88-0.89 και 0.84-0.85 αντίστοιχα) και για το 2008 και για το 2010 (Appendix Fig.12, 13). Τέλος, τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν από όλα τα δεδομένα, χρησιμοποιήθηκαν επίσης για πρόβλεψη πιθανότητας παρουσίας γαύρου. Βάσει του κριτηρίου AUC (0.78-0.91) το μοντέλο με τις *in situ* επεξηγηματικές μεταβλητές είχε πολύ καλή απόδοση στην πρόβλεψη της πιθανότητας παρουσίας γαύρου, ενώ το μοντέλο με τις ωκεανογραφικές επεξηγηματικές παραμέτρους είχε καλή ικανότητα πρόβλεψης (AUC=0.72-0.88).

Κεφάλαιο 4^ο

Συζήτηση

Πλόες Μαΐου και Ιουλίου 2010

Ο γαύρος αποτελεί αντικείμενο συστηματικής μελέτης στο Β. Αιγαίο τα τελευταία χρόνια, κυρίως όσον αφορά στην εκτίμηση της βιομάζας του αποθέματος (Somarakis *et al.* 2002a; Somarakis 2005; Somarakis *et al.* in press) και την κατανομή των ιχθυονυμφών (Somarakis *et al.* 2000; Somarakis *et al.* 2002b; Somarakis & Nikolioudakis 2007; Isari *et al.* 2008; Somarakis *et al.* 2011). Πρόσφατες εργασίες αφορούν επίσης τη μελέτη του ενδιαίτηματος των ενήλικων ατόμων γαύρου (Giannoulaki *et al.* 2005, Giannoulaki *et al.* 2008; Giannoulaki *et al.* 2010) αλλά και των εν δυνάμει αναπαραγωγικών πεδίων, δηλαδή την κατανομή και αφθονία αυγών (Schismenou *et al.* 2008).

Στα περισσότερα Μεσογειακά μικρά πελαγικά είδη, η αναπαραγωγική περίοδος διαρκεί αρκετούς μήνες, όχι όμως με την ίδια ένταση παραγωγής αυγών καθ' όλη τη διάρκεια της αναπαραγωγικής περιόδου. Η αναπαραγωγική περίοδος του γαύρου διαρκεί από την άνοιξη μέχρι το φθινόπωρο και καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία και τη διαθεσιμότητα τροφής (Palomera *et al.* 2007). Η παραγωγή αυγών μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής, όπως επίσης και οι συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον. Όσον αφορά τα αναπαραγωγικά πεδία, η διαθέσιμη μέχρι σήμερα πληροφορία περιοριζόταν κυρίως στο μήνα Ιούνιο. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα και αναλύσεις από ερευνητικά ταξίδια που αφορούν την αρχή (Μάιος) και το μέσο (Ιούλιος) της αναπαραγωγικής περιόδου.

Η περιοχή μελέτης, το Θρακικό πέλαγος, είναι μια περιοχή με ιδιαίτερα υδρογραφικά χαρακτηριστικά. Επηρεάζεται έντονα από την εισροή νερού από τη Μαύρη Θάλασσα (BSW) που δημιουργεί ένα μόνιμο αντικυκλωνικό ρεύμα στο πλατό της Σαμοθράκης. Την άνοιξη, η ποσότητα του νερού που εισρέει από τα Δαρδανέλια προς το Β. Αιγαίο είναι η μεγαλύτερη που παρατηρείται, ενώ το καλοκαίρι μειώνεται. Το Μάιο του 2010, το BSW είχε μεγαλύτερη έκταση πάνω από το πλατό της Σαμοθράκης και βυθιζόταν σε μεγαλύτερο βάθος στην περιοχή του αντικυκλώνα, όπως φαίνεται απ' την ταπείνωση των ισοθέρμων και ισοάλων, λόγω της αντικυκλωνικής κίνησης. Αντιθέτως, τον Ιούλιο το BSW ήταν πιο περιορισμένο σε έκταση και βάθος. Η αντικυκλωνική

κίνηση προκαλεί τη βύθιση του νερού και καθώς το νερό βυθίζεται ωθεί τις υποκείμενες μάζες νερού προς άλλες κατευθύνσεις, είτε βαθύτερα είτε περιφερειακά. Έτσι, στις παράκτιες περιοχές της Θράκης προκαλείται ασθενής ανάβλυση.

Στα νότια της περιοχής μελέτης παρατηρήθηκε και τους δύο μήνες, το μέτωπο που δημιουργείται μεταξύ του BSW και του νερού Λεβαντινής προέλευσης (LIW). Το μέτωπο αυτό, ανάλογα με την εποχή, παρατηρείται πιο βόρεια ή μετατοπίζεται πιο νότια. Το πόσο βόρεια ή νότια εμφανίζεται έχει σχέση με την ένταση και την ποσότητα του BSW (Zervakis & Georgopoulos 2002) που ποικίλει από εποχή σε εποχή, αλλά εξαρτάται επίσης και από την ένταση των ανέμων. Το καλοκαίρι, που η ένταση των ανέμων είναι ισχυρή λόγω των μελετεμιών, το μέτωπο μεταξύ BSW και LIW μετατοπίζεται πιο νότια (Siokou-Frangou *et al.* 2009). Στην παρούσα εργασία το μέτωπο παρατηρήθηκε αρκετά βορειότερα το Μάιο σε σχέση με τον Ιούλιο, που ήταν μετατοπισμένο πιο νότια στην περιοχή μελέτης.

Βάσει της θερμοκρασίας και της αλατότητας η περιοχή μελέτης παρουσίαζε διαβάθμιση από τα βόρεια προς τα νότια και τις δύο εποχές και μπορούσε να χωριστεί σε τρεις υποπεριοχές, στις οποίες η επίδραση του BSW ήταν διαφορετική. Οι τρεις υποπεριοχές περιλαμβάνουν το πλατό της Σαμοθράκης, το πλατό της Λήμνου και στους πελαγικούς σταθμούς μεταξύ των δύο πλατό. Η αλατότητα αυξάνεται όσο πάμε πιο νότια ενώ η θερμοκρασία μειώνεται. Το έλλειμμα της δυναμικής ενέργειας επίσης μειώνεται βάσει του ίδιου προτύπου, υποδηλώνοντας ότι η στρωμάτωση του νερού πάνω από το πλατό της Σαμοθράκης είναι πιο έντονη σε σύγκριση με το νότιο τμήμα.

Η διαβάθμιση βορά-νότου παρατηρήθηκε και στην πρωτογενή παραγωγικότητα το Μάιο, που ως δείκτης χρησιμοποιήθηκε η ένταση του φθορισμού. Ειδικά το Μάιο η παραγωγικότητα ήταν ιδιαίτερα υψηλή και φάνηκε να σχετίζεται με το νερό της Μαύρης Θάλασσας, στο οποίο η συγκέντρωση μουκοσακχαριτών, που είναι κάποια μεταβολικά παράγωγα των δινομαστιγωτών, ήταν επίσης υψηλή (αδημοσίευτα δεδομένα). Το BSW είναι πλούσιο σε θρεπτικά, κυρίως σε διαλυμένο οργανικό άνθρακα (Siokou-Frangou *et al.* 2002), ευνοώντας την πρωτογενή και δευτερογενή παραγωγικότητα (Isari *et al.* 2007). Πηγαίνοντας προς το καλοκαίρι, τα θρεπτικά εξαντλούνται στην επιφάνεια ή βυθίζονται. Έτσι η παραγωγικότητα τον Ιούλιο ήταν μειωμένη στα επιφανειακά στρώματα, όπως αναμενόταν για την εποχή, ενώ παρουσίαζε βαθυμέγιστο (deep chlorophyll maximum)

είτε σε περιοχές που επηρεάζονταν από το BSW είτε σε πελαγικούς σταθμούς. Στις παράκτιες περιοχές της Θράκης, η υψηλή παραγωγικότητα που παρατηρήθηκε και τους δύο μήνες (στις κάθετες διατομές) οφειλόταν στον εμπλουτισμό του νερού με θρεπτικά από τα βαθύτερα, λόγω της τοπικής ασθενούς ανάβλυσης νερού.

Το Μάιο η βιομάζα του ζωοπλαγκτού ήταν επίσης υψηλή αλλά σε γενικές γραμμές δεν συνέπιπτε με τις περιοχές υψηλής πρωτογενούς παραγωγικότητας. Οι υψηλότερες αφθονίες ζωοπλαγκτού σχετιζόνταν με το μέτωπο μεταξύ BSW και LIW νοτίως της Λήμνου, το οποίο είναι γνωστό ότι χαρακτηρίζεται από υψηλή δευτερογενή παραγωγικότητα η οποία ενισχύεται από τον συνεχή εμπλουτισμό με θρεπτικά από το BSW (Siokou-Frangou *et al.* 2009). Η πολύ χαμηλή αφθονία ζωοπλαγκτού στο πλατό της Σαμοθράκης πιθανώς να είναι αποτέλεσμα των μη-ευνοϊκών συνθηκών που δημιουργήθηκαν από την άνθιση του φυτοπλαγκτού. Τον Ιούλιο η συγκέντρωση του ζωοπλαγκτού ήταν στα ίδια επίπεδα σε όλη σχεδόν την περιοχή δειγματοληψίας, ενώ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν περιφερειακά του αντικυκλωνικού ρεύματος. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με τα αποτελέσματα των Isari *et al.* (2007) που αναφέρουν ότι η υψηλότερη αφθονία και βιομάζα μεσο-ζωοπλαγκτού για την ίδια εποχή παρατηρήθηκε στην περιφέρεια του αντικυκλωνικού ρεύματος πάνω από το πλατό της Σαμοθράκης αλλά και μπροστά στην είσοδο του BSW στα Δαρδανέλια.

Τα κοπάδια ενήλικων ατόμων γαύρου κατανέμονταν εντός της ισοβαθούς των 200 m και το Μάιο και τον Ιούλιο, κατανομή η οποία συμφωνεί με προηγούμενες μελέτες στην περιοχή (Giannoulaki *et al.* 2005, 2008). Στο πλατό της Σαμοθράκης η κατανομή των κοπαδιών στην αρχή της αναπαραγωγικής περιόδου φαίνεται να είναι περιορισμένη μέχρι την ισοβαθή των 100 m, ενώ τον Ιούλιο τα κοπάδια παρατηρούνται μέχρι την ισοβαθή των 200 m. Η εκτιμώμενη βιομάζα φαίνεται να είναι μικρότερη τον Ιούλιο σε σχέση με το Μάιο και αυτό εν μέρει μπορεί να εξηγηθεί από την αλιευτική πίεση που ασκείται στους πληθυσμούς, ή από μετανάστευση εκτός της περιοχής μελέτης. Οι Somarakis *et al.* (in press) αναφέρουν ότι η παραγωγή αυγών στο γαύρο του Β. Αιγαίου είναι ισχυρά πυκνοεξαρτώμενη. Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του αποθέματος τόσο μικρότερη είναι η ειδική ημερήσια γονιμότητα (daily specific fecundity) και όσο μεγαλύτερη είναι η κατά κεφαλήν διαθεσιμότητα τροφής, δηλαδή η αφθονία μεσο-ζωοπλαγκτού, τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή αυγών. Η αφθονία του μεσο-

ζωοπλαγκτού τον Ιούλιο ήταν υψηλότερη σε σχέση με αυτή του Μαΐου. Όσον αφορά την αναπαραγωγική δραστηριότητα το Μάιο, δηλαδή την αρχή της αναπαραγωγικής περιόδου, παρατηρήθηκε ότι ο αριθμός των αυγών ήταν πολύ μικρός και με περιορισμένη χωρική κατανομή. Η πολύ περιορισμένη αναπαραγωγή του γαύρου το Μάιο του 2010 φαίνεται να σχετίζεται με την περιορισμένη ζωοπλαγκτονική παραγωγικότητα στην περιοχή (πιθανώς λόγω της υψηλής συγκέντρωσης μουκοσακχαριτών) κατά τη Μάιο. Η άνθιση (bloom) των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών και η πολύ υψηλή παραγωγικότητα πιθανώς να επηρέασε αρνητικά το γαύρο και ίσως σχετίζεται με την περιορισμένη ωοτοκία του Μαΐου. Το φαινόμενο αυτό της άνθισης φυτοπλαγκτού και μεγάλης συγκέντρωσης μουκοσακχαριτών στο νερό είναι γνωστό ότι έχει αρνητικές συνέπειες στην αναπαραγωγή του γαύρου από μελέτες στην Αδριατική Θάλασσα (Regner 1996).

Αντιθέτως τον Ιούλιο, που παρατηρείται το εποχικό μέγιστο στην αναπαραγωγική δραστηριότητα, η κατανομή των αυγών εκτεινόταν σχεδόν σε όλη την περιοχή δειγματοληψίας ενώ η αφθονία τους ήταν πολύ υψηλότερη σε σχέση με το Μάιο (μέχρι 1120 αυγά m⁻²). Οι περιοχές με τις υψηλότερες αφθονίες αυγών συνέπιπταν χωρικά με την κατανομή των ενήλικων ατόμων. Οι παρατηρούμενες αποκλίσεις φαίνεται να σχετίζονται με την αντικυκλωνική κίνηση στο πλατό της Σαμοθράκης που τείνει να κρατάει τα αυγά στην περιφέρεια του αντικυκλώνα, δημιουργώντας σημεία με αυξημένη αφθονία. Επιπλέον, οι μεγάλες αφθονίες αυγών στους πελαγικούς σταθμούς βόρεια της Λήμνου, όπου δεν συναντώνται κοπάδια γαύρου, πιθανώς οφείλονταν στην μεταφορά των αυγών από το ρεύμα Λήμνου-Ίμβρου (Somarakis & Nikolioudakis 2007) που παρασύρει τα αυγά από το πλατό της Λήμνου προς τα εκεί.

Τον Ιούλιο τα περισσότερα αυγά ήταν ηλικίας μικρότερης από μια ημέρα, ενώ τα μεγαλύτερα από μια ημέρα αυγά ήταν πολύ λίγα. Η διάρκεια των αναπτυξιακών σταδίων των αυγών είναι μικρότερη σε περιοχές όπου η επιφανειακή θερμοκρασία είναι υψηλή. Οι υψηλές επιφανειακές τιμές θερμοκρασίας (22-26 °C) τον Ιούλιο ευνοούσαν τη γρήγορη ανάπτυξη των αυγών με αποτέλεσμα να μην παρατηρούνται αυγά μεγαλύτερης ηλικίας. Σε άλλες δημοσιευμένες εργασίες για την περιοχή του Β. Αιγαίου, έχει παρατηρηθεί ότι κατά την περίοδο της μέγιστης αναπαραγωγικής δραστηριότητας του γαύρου το στάδιο του αυγού διαρκεί λιγότερο από 2 μέρες (Somarakis et al. *in press* και

εκεί αναφορές) λόγω της υψηλής επιφανειακής θερμοκρασίας. Τα αυγά ηλικίας μεγαλύτερης από μια ημέρα παρατηρήθηκαν σε πολύ λίγα σημεία και σχετίζονταν με το μέτωπο νότια της Λήμνου και την περιφέρεια του αντικυκλώνα της Σαμοθράκης, δηλαδή σε ζώνες όπου δημιουργούνται μέτωπα μεταξύ μαζών νερού διαφορετικής θερμοκρασίας και αλατότητας (Somarakis & Nikolioudakis 2007). Στα μέτωπα αυτά το νερό ωθείται προς τα κάτω, έτσι τα αυγά βυθίζονται και εκτίθενται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις επιφανειακές. Ως αποτέλεσμα τα αναπτυξιακά στάδια των αυγών στις θέσεις αυτές διαρκούν περισσότερο. Η διαθέσιμη πληροφορία για την κατανομή και αφθονία των αυγών τον μήνα Ιούνιο στο Β.Α. Αιγαίο καθώς και τη στενή σχέση τους με τα υδρογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής (Somarakis *et al.* 2011) συμφωνεί με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ. Επιπλέον, τον Ιούνιο, η αφθονία των αυγών είναι ενδιάμεση του Μάιου και του Ιουλίου με μέγιστη συγκέντρωση τα 537 αυγά m⁻² (Somarakis *et al.* 2011). Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν την εποχικότητα της έντασης της αναπαραγωγικής δραστηριότητας του γαύρου.

Όσον αφορά την αφθονία των λεκιθοφόρων ιχθυονυμφών, ήταν αντίστοιχη με την αφθονία των αυγών το Μάιο και τον Ιούλιο αντίστοιχα. Οι περιοχές υψηλής πυκνότητας των ιχθυονυμφών όμως δεν συνέπιπταν απαραίτητα με αυτές των αυγών. Η κατανομή των ιχθυονυμφών επηρεάζεται έντονα από την κίνηση του νερού της Μαύρης Θάλασσας αλλά και από την διάχυση και το μεγαλύτερο χρόνο έκθεσης και επιρροής τους από την κυκλοφορία του νερού. Τον Ιούλιο οι ιχθυονύμφες ήταν παρούσες σχεδόν σε όλη την περιοχή δειγματοληψίας. Σε παλαιότερες εργασίες έχει αναφερθεί η σημαντικότητα του BSW και της αντικυκλωνικής κίνησης στο Β.Α. Αιγαίο ως περιοχές συγκράτησης των ιχθυονυμφών του γαύρου (Somarakis & Nikolioudakis 2007; Isari *et al.* 2008; Somarakis *et al.* 2011).

Χαρακτηρισμός ενδαιτημάτων

Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκαν στατιστικά μοντέλα, συγκεκριμένα τα Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα (GAMs), με στόχο τη μοντελοποίηση της παρουσίας-απουσίας των αυγών και των ενήλικων ατόμων γαύρου. Επιπλέον, επιχειρείται για πρώτη φορά εκτός από τα *in situ* δεδομένα από τις δειγματοληψίες και η χρήση επεξηγηματικών

μεταβλητών που έχουν εκτιμηθεί από τρισδιάστατα επιχειρησιακά ωκεανογραφικά μοντέλα κυκλοφορίας/βιογεωχημείας (POM, ERSEM).

Ένα βασικό συμπέρασμα που παρατηρείται από την εφαρμογή των στατιστικών μοντέλων είναι ο ρόλος του βάθους στην παρουσία κοπαδιών και αυγών γαύρου, δηλαδή στην κατανομή των αναπαραγωγικών πεδίων. Η μεταβλητή του βάθους ήταν η μόνη που εισερχόταν σε όλα τα τελικά μοντέλα, συνήθως ως η πρώτη, σημαντικότερη μεταβλητή. Η παρουσία των αναπαραγωγικών πεδίων σχετίζεται με βάθη κατά κανόνα μικρότερα από 150 m. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με αυτά των Giannoulaki *et al.* (2005, 2008) που αφορούν την παρουσία ενήλικων ατόμων γαύρου στο Β. Αιγαίο αλλά και των αναπαραγωγικών πεδίων του είδους (Somarakis *et al.* in press). Πιο έντονη ήταν η επίδραση του βάθους στα ενήλικα άτομα. Το ποσοστό που εξηγούσε η μεταβλητή του βάθους στα μοντέλα με τις *in situ* μεταβλητές (μεταξύ 28-46%) ήταν πάντα μεγαλύτερο από το ποσοστό που εξηγούσε η μεταβλητή του βάθους όπως εκτιμήθηκε από το ωκεανογραφικό μοντέλο (μεταξύ 17.5-28.5%).

Στην περιοχή του Θερμαϊκού (Stratum II) τα μοντέλα αφορούν τον μήνα Ιούνιο. Τα χωρικά πρότυπα της κατανομής των αυγών επηρεάζονται από την παρουσία ενός κυκλώνα στην είσοδο του Θερμαϊκού κόλπου (Somarakis & Nikolioudakis 2007), η κίνηση του οποίου εμποδίζει τα αυγά από το να εξέλθουν του κόλπου. Πιο δυτικά και εντός του κόλπου παρατηρείται επίσης ένας αντικυκλώνας ο οποίος τείνει να συγκεντρώνει τα αυγά μακριά από τις πολύ παράκτιες περιοχές στα βόρεια του κόλπου. Η παρουσία αυγών γαύρου ήταν λιγότερο έντονη στους κόλπους της Χαλκιδικής και στις Σποράδες, ενώ κάποιες χρονιές δεν παρατηρήθηκαν καθόλου αυγά στις περιοχές αυτές. Η θετική συσχέτιση της παρουσίας αυγών αλλά και των ενήλικων ατόμων σε δύο διαφορετικά εύρη τιμών επιφανειακής θερμοκρασίας (21-22 °C και 25-27 °C) πιθανώς να οφείλεται σε διαφορές μεταξύ των ετών. Επίσης η θετική συσχέτιση της παρουσίας αυγών με την αυξημένη παραγωγικότητα είτε με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης, είτε με τις συγκεντρώσεις μεσο-ζωοπλαγκτού, δείχνει ότι τα ενήλικα άτομα επιλέγουν να αναπαραχθούν σε περιοχές πλούσιες σε τροφή αλλά επίσης ότι τα αυγά, λόγω των υδρογραφικών χαρακτηριστικών μέσα στον κόλπο του Θερμαϊκού, εντοπίζονται εντός πυκνών συναθροίσεων ζωοπλαγκτού. Οι Somarakis & Nikolioudakis (2007) έχουν επίσης αναφέρει για την ίδια περιοχή ότι τα αυγά γαύρου σχετίζονται με υψηλές

αφθονίες ζωοπλαγκτού σε διαφορετικά εύρη επιφανειακών θερμοκρασιών ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες την περίοδο δειγματοληψίας (Somarakis & Nikolioudakis 2007). Η κοινή τάση για τις πιο πάνω προτιμήσεις και συσχετίσεις ήταν εμφανής και στα δύο μοντέλα, δηλαδή με τις *in situ* επεξηγηματικές παραμέτρους και τις αντίστοιχες από το ωκεανογραφικό μοντέλο. Παρόμοιες τάσεις παρατηρήθηκαν και στα μοντέλα των ενήλικων. Η παρουσία των ενήλικων ατόμων φαίνεται ότι επηρεαζόταν κυρίως από το βάθος σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία είτε στο βυθό είτε στην επιφάνεια, κυρίως με τις χαμηλότερες τιμές αυτών. Ως συμπλήρωμα στην εικόνα του πρώτου μοντέλου των ενήλικων ατόμων, το δεύτερο μοντέλο (ωκεανογραφικές επεξηγηματικές μεταβλητές) μας δείχνει επιπλέον, ότι τα κοπάδια προτιμούσαν τα παραγωγικά νερά και τις περιοχές στις οποίες η στήλη του νερού δεν παρουσίαζε έντονη στρωμάτωση. Η προτίμηση του γαύρου να αναπαράγεται σε περιοχές υπό την έντονη επιρροή των ποταμών, που ευνοούν την παραγωγικότητα, είναι γνωστή και στη Β.Δ. Μεσόγειο (Palomera *et al.* 2007; Sabates *et al.* 2007b).

Όσον αφορά το ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Stratum I), το Μάιο τα αυγά λόγω της πολύ χαμηλής αφθονίας τους και της περιορισμένης κατανομής τους στο Θρακικό, δεν έδωσαν στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα στην επιλογή του τελικού μοντέλου. Τον Ιούνιο, περίοδο που η αναπαραγωγική δραστηριότητα του γαύρου, αν και απέχει από το μέγιστο, είναι ήδη έντονη, η επιφανειακή αλατότητα είναι η σημαντικότερη παράμετρος που σχετίζεται με την παρουσία των αυγών. Προτίμηση παρατηρήθηκε για χαμηλές τιμές που έχουν άμεση σχέση με την παρουσία BSW και την επιρροή των ποταμών. Όσο προχωράει το καλοκαίρι και η αναπαραγωγική δραστηριότητα κορυφώνεται, δηλαδή τον Ιούλιο, τα αναπαραγωγικά πεδία φαίνεται να σχετίζονται πρωτίστως με τις περιοχές αυξημένης βιομάζας ζωοπλαγκτού. Στα ωκεανογραφικά μοντέλα η παραγωγικότητα φαίνεται να είναι πιο σημαντική τον Ιούνιο ενώ αντιθέτως, τον Ιούλιο, σημαντικό ρόλο στην παρουσία αυγών παίζει η στρωμάτωση της στήλης του νερού. Συμπερασματικά, τα αυγά εντοπίζονται είτε εντός του αντικυκλώνα της Σαμοθράκης είτε στην περιφέρειά του, όπου το νερό αναμιγνύεται με το περιβάλλον νερό υψηλότερης αλατότητας. Οι περιοχές αυτές είναι επίσης γνωστό (Isari *et al.* 2007; Siokou-Frangou *et al.* 2009) ότι ευνοούν την αυξημένη παραγωγικότητα και τη συγκέντρωση ζωοπλαγκτονικών οργανισμών. Τέλος, μια

γενικότερη εικόνα που μας δίνουν τα μοντέλα που εκτιμήθηκαν από το σύνολο (pooling) των δεδομένων είναι ότι η παρουσία νερών χαμηλής αλατότητας, δηλαδή του BSW, αλλά και του νερού από τα ποτάμια που εκβάλλουν στην περιοχή, φαίνεται να είναι καθοριστική για την παρουσία αυγών γαύρου και ανεξάρτητη από έτος, μήνα ή περιοχή. Το ίδιο ισχύει και για τις υψηλότερες τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας, οι οποίες ευνοούν τη γρήγορη ανάπτυξη των αυγών (Somarakis *et al.* 2011). Η εικόνα αυτή ήταν σταθερή ανεξάρτητα από την προέλευση των επεξηγηματικών μεταβλητών (*in situ* ή εκτιμώμενες από το ωκεανογραφικό μοντέλο). Τα γενικά αυτά μοντέλα φαίνονται να ενοποιούν τις επιμέρους τάσεις. Για παράδειγμα η επιφανειακή θερμοκρασία είναι σημαντική όσον αφορά την εξήγηση της κατανομής των αυγών μόνο στο δυτικό (Stratum II) και όχι στο ανατολικό (Stratum I) τμήμα της περιοχής μελέτης. Κατά τους χειμερινούς μήνες η επιφανειακή θερμοκρασία είναι καλός δείκτης του BSW, στο Β.Α. Αιγαίο όμως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού που οι επιφανειακές θερμοκρασίες είναι υψηλές παντού δεν είναι εύκολο να διακριθεί το BSW από τον δείκτη αυτό (Siokou-Frangou *et al.* 2009) και πιθανόν αυτός να είναι ένας λόγος για τη μη συμμετοχή της επιφανειακής θερμοκρασίας στα μοντέλα των αυγών στο Θρακικό. Πιθανότατα λοιπόν γι' αυτό το λόγο να μην σχετίζεται η παρουσία των αυγών με την επιφανειακή θερμοκρασία στο Θρακικό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Το γεγονός όμως αυτό δεν αναιρεί τη σημασία του BSW, η παρουσία του οποίου είναι σημαντική στο καθορισμό και την κατανομή των αναπαραγωγικών πεδίων του γαύρου και φαίνεται να αντανακλάται αυτό στην εισαγωγή της επιφανειακής αλατότητας στο μοντέλο.

Η παρουσία των ενήλικων ατόμων όπως έχει αναφερθεί σχετίζεται έντονα με βάθη μικρότερα από 150 m. Εκτός από το Μάιο, φαίνεται πως τον Ιούνιο και τον Ιούλιο η βιομάζα του μεσο-ζωπλαγκτού και γενικά η παραγωγικότητα καθορίζει την παρουσία των κοπαδιών στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Stratum I). Το Μάιο λοιπόν, βάσει των *in situ* μεταβλητών, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες του βυθού σε συνδυασμό με τα μικρότερα βάθη επιδρούσαν θετικά στην παρουσία και κατανομή των κοπαδιών. Η εικόνα που μας δίνουν οι μεταβλητές από τα ωκεανογραφικά μοντέλα φαίνεται να διαφοροποιείται σε σχέση με τις *in situ* μεταβλητές. Τα αποτελέσματα από τα ωκεανογραφικά μοντέλα έδειξαν ότι η έντονη στρωμάτωση της στήλης του νερού (υψηλές τιμές PED) σε συνδυασμό με τις χαμηλότερες επιφανειακές τιμές θερμοκρασίας

και την αυξημένη συγκέντρωση χλωροφύλλης φαίνεται να προτιμούνται από τα ενήλικα άτομα. Τα χαρακτηριστικά αυτά συγκεντρώνονται (Appendix, Fig. 1) στα ανατολικά της Λήμνου, μπροστά από την είσοδο του BSW. Η χωρική κατανομή των περιβαλλοντικών αυτών παραμέτρων από το ωκεανογραφικό μοντέλο δε φαίνεται να συμπίπτει χωρικά με τις *in situ* συνθήκες που επικρατούσαν τοπικά το Μάιο. Χαρακτηριστική είναι η εκτίμηση χαμηλών συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης στις θέσεις που καταγράφονται πολύ υψηλότερες *in situ* τιμές φθορισμού.

Τον Ιούνιο, βάσει των *in situ* μεταβλητών, τα μικρότερα βάθη σε συνδυασμό με τις υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες ήταν οι δύο μεταβλητές που εξηγούσαν σε μεγαλύτερο ποσοστό την παρουσία των ενήλικων ατόμων γαύρου. Τα χαρακτηριστικά αυτά απαντούν κυρίως στο Στρυμονικό κόλπο και στο πλατό της Σαμοθράκης. Όσον αφορά την τρίτη σημαντικότερη μεταβλητή υπήρξαν δύο επιλογές, κάθε μια από τις οποίες παρέχει μια διαφορετική οπτική για την κατανομή των αναπαραγωγικών πεδίων του γαύρου. Η μια ήταν το βάθος του πυκνοκλινούς, που έδειχνε μια προτίμηση του γαύρου προς τις μέσες τιμές στρωμάτωσης. Τα μεγάλα βάθη πυκνοκλινούς στο Θρακικό συνήθως σχετίζονται με το κέντρο του αντικυκλώνα, ενώ τα μέσα βάθη πυκνοκλινούς πιθανώς να αντιστοιχούν στην περιφέρειά του όπου η παραγωγικότητα είναι αυξημένη (Isari *et al.* 2007). Η άλλη μεταβλητή που έμπαινε στο μοντέλο ως η τρίτη σημαντικότερη ήταν η βιομάζα του μεσο-ζωοπλαγκτού, με θετική συσχέτιση του γαύρου με τις χαμηλότερες διαθέσιμες συγκεντρώσεις. Τον Ιούλιο ο ρόλος της διαθεσιμότητας της τροφής καθίσταται σημαντικότερος αφού το ζωοπλαγκτόν είναι η δεύτερη πιο σημαντική *in situ* μεταβλητή, σε συνδυασμό με την υψηλότερη θερμοκρασία κοντά στο βυθό (17-19 °C). Τα μοντέλα με τις μεταβλητές από το ωκεανογραφικό μοντέλο POM-ERSEM, για τον Ιούνιο και Ιούλιο μας δείχνουν επίσης ότι το BSW είχε θετική επίδραση στην κατανομή των αναπαραγωγικών πεδίων σε συνδυασμό με τις χαμηλότερες και μέσες τιμές παραγωγικότητας (χλωροφύλλη, μικρο-ζωοπλαγκτόν).

Ανεξαρτήτως της εποχής ή της περιοχής (pooled data), οι *in situ* μεταβλητές που καθορίζουν το αναπαραγωγικό ενδιαίτημα του γαύρου είναι το βάθος σε συνδυασμό με την διαθεσιμότητα της τροφής, την επιφανειακή θερμοκρασία και τα μεσαία βάθη του πυκνοκλινούς, συνοψίζοντας την εικόνα των επιμέρους μοντέλων για κάθε περιοχή και εποχή. Ομοίως το δεύτερο μοντέλο, με τις ωκεανογραφικές επεξηγηματικές μεταβλητές

μας δίνει μια συνοπτική εικόνα των επιμέρους μοντέλων, δηλαδή ότι το βάθος, η πρωτογενής παραγωγικότητα και η παρουσία νερού χαμηλής αλατότητας μπορούν να καθορίσουν το αναπαραγωγικό ενδιαίτημα.

Οι διαφορές μεταξύ των ετών (δηλ. ο παράγοντας έτους) είχαν σημαντικότερη επίδραση τον μήνα Ιούνιο και στα γενικά μοντέλα (pooled data). Αυτό συνέβαινε γιατί η χωρική κατανομή και η αφθονία των ενήλικων ατόμων γαύρου διαφοροποιούνταν έντονα τοπικά, για παράδειγμα το 2004 και το 2005 δεν παρατηρήθηκαν σχεδόν καθόλου κοπάδια γαύρου στο Στρυμονικό κόλπο. Το αποτέλεσμα είναι διαφορετικές χρονιές να έχουν διαφορετική βαρύτητα στην τελική επιλογή των μοντέλων.

Συνοψίζοντας, διαφοροποιήσεις παρατηρήθηκαν ανάμεσα στην επιλογή των μεταβλητών από τα *in situ* και τα ωκεανογραφικά δεδομένα. Οι *in situ* μεταβλητές της επιφανειακής αλατότητας και του PED δεν συμμετείχαν σε κανένα τελικό μοντέλο των ενήλικων ατόμων γαύρου. Συνήθως συμμετείχε η επιφανειακή ή η θερμοκρασία στο βυθό ή το βάθος του πυκνοκλινούς, καθώς και κάποιος συνδυασμός των τριών αυτών μεταβλητών μεταξύ τους ή μαζί με το ζωοπλαγκτόν. Αυτές οι *in situ* μεταβλητές εξέφραζαν λιγότερο ή περισσότερο το ρόλο της παρουσίας του BSW στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Stratum I). Αντιθέτως το PED και η επιφανειακή αλατότητα ήταν από τις σημαντικότερες μεταβλητές από το ωκεανογραφικό μοντέλο, όσον αφορά κυρίως στην παρουσία των ενήλικων ατόμων. Είτε η μια μεταβλητή είτε η άλλη, πάντα υπήρχαν στα μοντέλα υπογραμμίζοντας το ρόλο του νερού χαμηλής αλατότητας στο Β. Αιγαίο. Το νερό χαμηλής αλατότητας μας δείχνει την επίδραση του νερού της Μαύρης Θάλασσας ή της παρουσίας των ποταμών. Η επίδραση των ποταμών ήταν πιο έντονη ειδικά στο Θερμαϊκό κόλπο και αντικατοπτρίζεται στις χαμηλές τιμές αλατότητας. Τα διαφορετικά εύρη απόκρισης στις τιμές PED μεταξύ ανατολικού και δυτικού τμήματος σχετίζονται, στο μεν ανατολικό τμήμα από την παρουσία BSW, στο δε δυτικό τμήμα στις χαμηλές τιμές PED εντός του κόλπου του Θερμαϊκού όπου η παρουσία των ενήλικων ατόμων ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με τους κόλπους της Χαλκιδικής όπου καταγράφηκαν οι υψηλότερες τιμές PED.

Η σχέση με το ζωοπλαγκτόν είναι πιο πολύπλοκη καθώς αποτελεί τροφή για το γαύρο και υπάρχει η αλληλεπίδραση θηρευτή-λείας, επηρεάζοντας τοπικά την αφθονία και τη βιομάζα του ζωοπλαγκτού αλλά και των ψαριών. Στο Θερμαϊκό κόλπο η σχέση

του γαύρου με την τροφή του φαίνεται από την προτίμηση σε μέσες τιμές το μικρο-ζωοπλαγκτού. Τον Ιούνιο στο Θρακικό η βιομάζα του μεσο-ζωοπλαγκτού είχε εύρος τιμών 200-1200 mg m⁻² (Fig. 3.20) και η θετική συσχέτιση της παρουσίας του γαύρου ήταν στις χαμηλότερες από αυτές τις συγκεντρώσεις (100-600 mg m⁻²). Τον Ιούλιο όμως, που η στήλη του νερού είναι έντονα στρωματοποιημένη και τα θρεπτικά έχουν μειωθεί, έχει μειωθεί και η πρωτογενής και δευτερογενής παραγωγή. Ως αποτέλεσμα, η βιομάζα του ζωοπλαγκτού (Fig. 3.22) κυμαινόταν σε χαμηλότερα όρια (150-680 mg m⁻²) σε σύγκριση με τον Ιούνιο και ο γαύρος σχετιζόταν κυρίως με τις χαμηλότερες από αυτές τις τιμές (100 - 300 mg m⁻²). Η μείωση του ζωοπλαγκτού τον Ιούλιο πιθανόν να είναι αποτέλεσμα και της θηρευτικής πίεσης από το γαύρο τους προηγούμενους μήνες. Τον Ιούλιο το μεσο-ζωοπλαγκτόν συμμετείχε ως σημαντική μεταβλητή και στο μοντέλο των αυγών, στο Θρακικό. Τα αυγά όμως φαίνεται να σχετιζόνταν με τις υψηλότερες από τις διαθέσιμες τιμές ζωοπλαγκτού. Όπως είναι γνωστό η αυξημένη βιομάζα ζωοπλαγκτού στο Β. Α. Αιγαίο έχει άμεση σχέση με την κυκλοφορία των νερών. Η αντικυκλωνική κίνηση στο πλατό της Σαμοθράκης και το μέτωπο μεταξύ BSW και LIW νότια της Λήμνου (Isari *et al.* 2006, 2007, Siokou-Frangou *et al.* 2009) ευνοούν τις αυξημένες συγκεντρώσεις μεσο-ζωοπλαγκτού. Αυτές οι συναθροίσεις ζωοπλαγκτού δεν αντικατοπτρίζουν απαραίτητα τις συγκεντρώσεις του ζωοπλαγκτού που εκμεταλλεύονται τα ενήλικα άτομα.

Τα αναπαραγωγικά πεδία του γαύρου (*E. mordax*, *E. encrasicolus*) έχουν μελετηθεί και σε άλλες περιοχές του κόσμου, με κοινά χαρακτηριστικά την υψηλή παραγωγικότητα, τις σχετικά χαμηλές τιμές αλατότητας (30-35) και τα έντονα υδρογραφικά χαρακτηριστικά, όπως η επιρροή των ανέμων που προκαλεί τοπικά ανάβλυση του νερού ή η εισροή νερού από ποτάμια (Checkley *et al.* 2009). Μια από αυτές τις παράκτιες περιοχές είναι το σύστημα αναβλύσεων της Ν. Αφρικής (Benguela upwelling system) όπου τα αναπαραγωγικά πεδία του γαύρου σχετιζόταν με ένα μεγάλο εύρος τιμών θερμοκρασίας (16-20 °C), την σχετικά χαμηλή αλατότητα (35-36.2) αλλά και την υψηλή αφθονία φυτοπλαγκτού και ζωοπλαγκτού (Twatwa *et al.* 2005). Στην ίδια εργασία αναφέρεται επίσης ότι τα αναπαραγωγικά πεδία σχετιζόνταν με τη χαμηλή ένταση του ανέμου, δηλαδή ότι τα ψάρια προτιμούσαν σχετικά σταθερές συνθήκες. Οι Weber & McClatchie (2010) αναφέρουν ότι τα αναπαραγωγικά πεδία του γαύρου (*E.*

mordax) στις ακτές της Καλιφόρνια σχετιζόταν θετικά με θερμοκρασίες μεταξύ 14-18 °C, με αυξημένες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης, αλλά και χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την τρισδιάστατη δομή του περιβάλλοντος, όπως είναι το βάθος μεγίστου χλωροφύλλης (*deep chlorophyll maximum*) και ο δείκτης γεωστροφικής ροής του νερού (*geostrophic flow*). Η θερμοκρασία κοντά στο βυθό (12-15 °C) σε συνδυασμό με την επιφανειακή (14.5-19°C) και το βάθος του ανώτερου στρώματος ανάμειξης ήταν οι κυριότερες μεταβλητές που καθόριζαν το αναπαραγωγικό ενδιαίτημα του γαύρου στην υφαλοκρηπίδα του Βισκαϊκού κόλπου, σύμφωνα με την εργασία των Planque et al. (2007), οι οποίοι χρησιμοποίησαν μόνο αβιοτικές παραμέτρους στην ανάλυση που έκαναν. Η επιφανειακή θερμοκρασία και η θερμοκρασία στο βυθό, αλλά και παράμετροι που αντικατοπτρίζουν την τρισδιάστατη δομή της στήλης του νερού, ήταν σημαντικές όσον αφορά στον καθορισμό των αναπαραγωγικών πεδίων και στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ. Επιπλέον, τα αποτελέσματά υποδεικνύουν την προτίμηση του γαύρου να αναπαράγεται σε πιο παραγωγικές περιοχές, κυρίως κατά την περίοδο της μέγιστης δραστηριότητας του.

Δεδομένα που προέρχονται από επιχειρησιακά ωκεανογραφικά μοντέλα χρησιμοποιούνται πρώτη φορά ως επεξηγηματικές μεταβλητές στην ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων που επιχειρούν να καθορίσουν τους σημαντικούς παράγοντες στο καθορισμό του αναπαραγωγικού ενδιαίτηματος του γαύρου στο Β. Αιγαίο. Τα μοντέλα λοιπόν που προέκυψαν από αυτές τις επεξηγηματικές μεταβλητές εξηγούσαν σχεδόν τα ίδια ποσοστά διακύμανσης σε σχέση με τα αντίστοιχα μοντέλα των *in situ* μεταβλητών. Όσον αφορά τις αβιοτικές παραμέτρους, τα εύρη τιμών με τα οποία σχετιζόνταν είτε ο γαύρος είτε τα αυγά του έδιναν παραπλήσια εικόνα με τα *in situ* δεδομένα. Και τα δύο μοντέλα αντικατόπτριζαν την ίδια τάση όσον αφορά την απόκριση του γαύρου, δηλαδή προτίμηση στις υψηλότερες ή χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές. Εξαίρεση αποτέλεσε το μοντέλο του Μαΐου, καθώς λόγω της άνθισης του φυτοπλαγκτού που συνέβη τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο οι συνθήκες ήταν πολύ ιδιαίτερες όσον αφορά την παραγωγικότητα και την οποία δεν μπόρεσε να απεικονίσει το ωκεανογραφικό μοντέλο. Σε μερικές περιπτώσεις το μικρο-ζωοπλαγκτόν εισερχόταν ως σημαντική παράμετρος σε αντίθεση με το μεσο-ζωοπλαγκτόν που δεν ήταν στατιστικά σημαντικό σε κανένα μοντέλο.

Τα τελικά μοντέλα των *in situ* μεταβλητών έδωσαν προβλέψεις για την πιθανότητα παρουσίας των αυγών και των ενήλικων ατόμων γαύρου, και στις περισσότερες των περιπτώσεων απέδωσαν αρκετά καλά. Τα μοντέλα με τις μεταβλητές που εκτιμήθηκαν από τα ωκεανογραφικά μοντέλα επίσης έδωσαν αρκετά καλές προβλέψεις, αντίστοιχες σε προβλεπτική ικανότητα με αυτή των *in situ* μεταβλητών. Τα μοντέλα που εφαρμόστηκαν σε όλα τα δεδομένα μαζί (είτε για τα αυγά είτε για τα κοπάδια) υστερούσαν λίγο ως προς την πρόβλεψη της πιθανότητας παρουσίας κάθε χρονιάς σε σύγκριση με τα μοντέλα που είχαν εφαρμοστεί για κάθε εποχή και περιοχή ξεχωριστά. Η γενικότητα που παρουσιάζουν αυτά τα τελικά μοντέλα, μπορούν να μας δώσουν πιο ακριβείς προβλέψεις της κατανομής του είδους σε ευρύτερη χρονική και χωρική κλίμακα. Από την άλλη πλευρά, η ακρίβεια των μοντέλων που αναπτυχθήκαν για κάθε εποχή και περιοχή, είναι απαραίτητη για τη ρεαλιστική απεικόνιση της κατανομής των αναπαραγωγικών πεδίων και της εποχικότητας αυτών (Franklin 2009). Σε γενικές γραμμές τα μοντέλα, ανεξάρτητα από την προέλευση των μεταβλητών, ήταν ικανοποιητικά όσον αφορά στην απόδοση της πιθανότητας παρουσίας των αυγών και των ενήλικων ατόμων γαύρου.

Κεφάλαιο 5^ο

Συμπεράσματα

Πλόες Μαΐου και Ιουλίου 2010

- Διαφορές παρατηρήθηκαν ανάμεσα στις δύο εποχές όσον αφορά στους αβιοτικούς παράγοντες, δηλαδή κατά την έναρξη (Μάιος) και το εποχικό μέγιστο (Ιούλιος) της αναπαραγωγικής περιόδου του γαύρου στο Β. Αιγαίο. Συγκεκριμένα, το νερό της Μαύρης Θάλασσας (BSW) εκτεινόταν σε μεγαλύτερη έκταση το Μάιο ενώ το μέτωπο νότια της Λήμνου ήταν μετατοπισμένο πιο βόρεια σε σχέση με τον Ιούλιο.
- Το Μάιο, η πρωτογενής παραγωγή ήταν ιδιαίτερα υψηλή όπως φάνηκε από τις μετρήσεις φθορισμού. Παρατηρήθηκε (αλλά δεν μετρήθηκε) συσσώρευση μουκοσακχαριτών (μεταβολικά παράγωγα των δινομαστιγιωτών) στα επιφανειακά στρώματα. Τον Ιούλιο η πρωτογενής παραγωγικότητα ήταν μειωμένη στα επιφανειακά στρώματα, όπως αναμενόταν για την εποχή, ενώ υπήρχε βαθυμέγιστο χλωροφύλλης (deep chlorophyll maximum) είτε σε περιοχές που επηρεάζονταν από το BSW είτε σε πελαγικούς σταθμούς. Η βιομάζα του μεσοζωοπλαγκτού ήταν υψηλότερη τον Ιούλιο σε σχέση με το Μάιο, ιδιαίτερα σε περιοχές με επίδραση BSW και στο μέτωπο μεταξύ BSW και LIW στα νότια της Λήμνου.
- Παρατηρήθηκε διαβάθμιση από βορρά προς νότο, όσον αφορά στη θερμοκρασία και την αλατότητα. Η αλατότητα αυξάνεται όσο πάμε πιο νότια ενώ η θερμοκρασία μειώνεται. Το έλλειμμα της δυναμικής ενέργειας επίσης μειώνεται βάσει του ίδιου προτύπου, υποδηλώνοντας ότι η στρωμάτωση του νερού πάνω από το πλατό της Σαμοθράκης είναι πιο έντονη σε σύγκριση με το νότιο τμήμα.
- Τα κοπάδια ενήλικων ατόμων γαύρου κατανέμονταν εντός της ισοβαθούς των 200 m και το Μάιο και τον Ιούλιο, κατανομή η οποία συμφωνεί με προηγούμενες μελέτες στην περιοχή (Giannoulaki *et al.* 2005, 2008).
- Η παραγωγή αυγών γαύρου ήταν μειωμένη το Μάιο του 2010 γεγονός που φάνηκε ότι σχετίζεται με περιορισμένη αφθονία μεσοζωοπλαγκτού σε συνθήκες κατά τα άλλα υψηλής πρωτογενούς παραγωγικότητας. Η άνθιση φυτοπλαγκτού

που παράγει μεγάλες ποσότητες μουκοσακχαριτών (όπως παρατηρήθηκε στους πλόες της παρούσας εργασίας) είναι γνωστό ότι έχει αρνητικές συνέπειες στην αναπαραγωγή του γαύρου από μελέτες στην Αδριατική Θάλασσα (Regner 1996). Τον Ιούλιο η κατανομή των αυγών εκτεινόταν σχεδόν σε όλη την περιοχή δειγματοληψίας ενώ η αφθονία τους ήταν πολύ υψηλότερη σε σχέση με το Μάιο (μέχρι 1120 αυγά m⁻²). Οι περιοχές με τις υψηλότερες αφθονίες αυγών συνέπιπταν χωρικά με την κατανομή των ενήλικων ατόμων.

- Η αφθονία των λεκιθοφόρων ιχθυονυμφών ήταν αντίστοιχη με αυτή των αυγών το Μάιο και τον Ιούλιο αντίστοιχα. Οι περιοχές υψηλής αφθονίας ιχθυονυμφών δεν συνέπιπταν απαραίτητα με αυτές των αυγών, γεγονός που οφείλεται εν μέρει στο μεγαλύτερο χρόνο έκθεσης των ιχθυονυμφών στην επίδραση των ρευμάτων, αλλά και στη θνησιμότητα.

Χαρακτηρισμός ενδιαιτημάτων

- Για το χαρακτηρισμό των αναπαραγωγικών πεδίων εφαρμόστηκαν Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα (GAMs) και δεδομένα από όλες τις ακουστικές/ιχθυοπλαγκτονικές δειγματοληψίες που έγιναν στο Β. Αιγαίο την περίοδο 2003-2010. Ως επεξηγηματικές μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τις δειγματοληψίες πεδίου (*in situ*) αλλά και δεδομένα που εκτιμήθηκαν από το ωκεανογραφικό μοντέλο POM-ERSEM (www.poseidon.hcmr.gr). Αναπτύχθηκαν μοντέλα παρουσίας-απουσίας για τα αυγά και τα ενήλικα άτομα γαύρου ώστε να εκτιμηθεί το λεγόμενο “realized spawning habitat”.
- Το βάθος ήταν η μόνη μεταβλητή που συμμετείχε σε όλα τα μοντέλα, είτε των αυγών είτε των ενήλικων ατόμων και, συνήθως, ως η σημαντικότερη μεταβλητή. Τα αναπαραγωγικά πεδία λοιπόν φαίνεται πως σχετίζονται με παράκτιες περιοχές και βάθη μέχρι 130-180 m.
- Στο Θερμαϊκό (Stratum II) το βάθος, η επιφανειακή θερμοκρασία και η συγκέντρωση ζωοπλαγκτού, ή/και η συγκέντρωση χλωροφύλλης, ήταν σημαντικές παράμετροι για την εξήγηση της κατανομής των αναπαραγωγικών πεδίων, τόσο με βάση τα δεδομένα των αυγών, όσο και των ενήλικων ατόμων. Τα

αποτελέσματα ήταν παρόμοια και για τα δύο είδη επεξηγηματικών μεταβλητών (*in situ* – ωκεανογραφικές).

- Στο Θρακικό οι μεταβλητές που εξηγούσαν καλύτερα την παρουσία των αυγών δεν ήταν απαραίτητα οι ίδιες με αυτές που εξηγούσαν καλύτερα την παρουσία των ενήλικων ατόμων. Όποτε συνέπιπταν, μπορεί να μην έδειχναν προτίμηση για το ίδιο εύρος τιμών, όπως για παράδειγμα συνέβαινε με την *in situ* μεταβλητή του μεσοζωοπλαγκτού τον Ιούλιο: τα ενήλικα άτομα σχετίζονταν με χαμηλότερη βιομάζα μεσοζωοπλαγκτού και τα αυγά με την υψηλότερη.
- Κατά τον Ιούνιο, η παρουσία αυγών σχετιζόταν, όσον αφορά στις *in situ* μεταβλητές, κυρίως με αβιοτικούς παράγοντες, όπως η επιφανειακή αλατότητα (έντονη συσχέτιση με τις χαμηλές τιμές) και το βάθος. Τον Ιούλιο που η αναπαραγωγική δραστηριότητα κορυφώνεται, η παρουσία των αυγών σχετιζόταν έντονα με την βιομάζα του ζωοπλαγκτού. Τα μοντέλα με τις μεταβλητές από το POM-ERSEM δεν απέδιδαν την εποχική αυτή διαφοροποίηση.
- Για τα μοντέλα των ενήλικων ατόμων και τις *in situ* παραμέτρους, κατά την έναρξη της αναπαραγωγικής περιόδου (Μάιος), σημαντικές ήταν οι αβιοτικές παράμετροι (μικρά βάθη, υψηλότερες θερμοκρασίες κοντά στο βυθό). Τον Ιούνιο τα ενήλικα άτομα σχετίζονται κυρίως με αβιοτικές παραμέτρους (επιφανειακή θερμοκρασία, βάθος πυκνοκλινούς) αλλά και με την συγκέντρωση ζωοπλαγκτού (χαμηλή και μέση βιομάζα μεσοζωοπλαγκτού). Τον Ιούλιο, η διαθεσιμότητα τροφή φάνηκε να είναι σημαντικότερη (το ζωοπλαγκτόν εισερχόταν στο μοντέλο μετά το βάθος) αλλά πάλι σε συνδυασμό με υψηλότερες θερμοκρασίες κοντά στο βυθό (17-19 °C). Η συσχέτιση των ενήλικων ατόμων με χαμηλότερες βιομάζες ζωοπλαγκτού τον Ιούλιο σε σχέση με τον Ιούνιο, οφείλεται μεν στην αναμενόμενη μείωση της παραγωγικότητας όσο προχωράει το καλοκαίρι, αλλά πιθανόν να ήταν αποτέλεσμα και της θηρευτικής πίεσης από το γαύρο τους προηγούμενους μήνες.
- Τα γενικά μοντέλα (pooled data) έδωσαν μια εικόνα για τις προτιμήσεις ή τη θετική συσχέτιση του γαύρου ή των αυγών του με αβιοτικές και βιοτικές παραμέτρους, ανεξάρτητη από την εποχή και την περιοχή. Τα δύο μοντέλα των αυγών (με τις *in situ* και τις μεταβλητές του ωκεανογραφικού μοντέλου) είχαν τις

ίδιες επεξηγηματικές μεταβλητές, δηλαδή το βάθος και την επιφανειακή θερμοκρασία και αλατότητα.

- Δεδομένα που προέρχονται από επιχειρησιακά ωκεανογραφικά μοντέλα χρησιμοποιούνται πρώτη φορά ως επεξηγηματικές μεταβλητές στην ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων, που επιχειρούν να συσχετίσουν τους περιβαλλοντικούς παράγοντες με το αναπαραγωγικό ενδιαίτημα του γαύρου στο Β. Αιγαίο. Τα μοντέλα που προέκυψαν από τις επεξηγηματικές αυτές μεταβλητές έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα με τις *in situ* μεταβλητές, όσον αφορά στις σημαντικότερες αβιοτικές και βιοτικές παραμέτρους, το εύρος τιμών τους καθώς και τις χωρικές και εποχικές διαφοροποιήσεις.
- Όλα τα μοντέλα, ανεξάρτητα από την προέλευση των επεξηγηματικών μεταβλητών, έδωσαν αρκετά ικανοποιητικές προβλέψεις της πιθανότητας παρουσίας αυγών και ενήλικων ατόμων για την περιοχή και την εποχή από την οποία προέκυψαν.

Βιβλιογραφία

- Agostini V.N., Bakun A., 2002.** ‘Ocean triads’ in the Mediterranean Sea: physical mechanisms potentially structuring reproductive habitat suitability (with example application to European anchovy, *Engraulis encrasicolus*). *Fisheries Oceanography*, 11 (3): 129–142.
- Allain G., Petitgas P., Lazure P., Grellier P., 2007.** Biophysical modelling of larval drift, growth and survival for the prediction of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) recruitment in the Bay of Biscay (NE Atlantic). *Fisheries Oceanography* 16 (6): 489–505.
- Bernal M., Stratoudakis Y., Coombs S., Angelico M.M., Lago de Lanzos A., Porteiro C., Sagarminaga Y., Santos M., Uriarte A., Cunha E., Valdes L., Borchers D., 2007.** Sardine spawning off the European Atlantic coast: Characterization of and spatio-temporal variability in spawning habitat. *Progress in Oceanography* 74: 210–227.
- Checkley D., Alheit J., Oozeki Y., Roy C., 2009.** *Climate Change and Small Pelagic Fish*. Cambridge University Press.
- Cleveland W.S & Devlin S., 1988.** Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting. *Journal of the American Statistical Association*, 83 (403), pp. 596-610.
- Foote K.G., 1987.** Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *Journal of Acoustical Society of America*, 82, pp. 981–987.
- Fraklin J., 2009.** *Mapping species distribution, spatial inference and prediction*. Cambridge University Press.
- Freeman E., 2007.** *Presence-Absence Model Evaluation*. Version 1.0.0.
- Freon P. & Misund O.A., 1999.** *Dynamics of Pelagic Fish Distribution and Behaviour: Effects on Fisheries and Stock Assessment*. Oxford, Fishing News Books. 348 p.
- 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): 151-156.

- 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*, 612:225–240.
- Giannoulaki M., Iglesias M., Tugores Ferra P., Bonnano A., Quinci E., De Felice A., Gramolini R., Liorzou B., Ticina V., Pyrounaki M.M., Tsagarakis K., Machias A., Somarakis S., Schismenou E., Basilone W., Leonori I., Patti B., Miguel J., Oñate D., Roos D., Bigot J.L., Valavanis V., 2010.** Identifying the potential habitat of anchovy *Engraulis encrasicolus* during different life stages in the Mediterranean Sea. ICES CM: R10, ICES Annual Conference, Nantes, France.
- 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: 89-100.
- 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. 1990.** *Generalized Additive Models*. London, Chapman and Hall. 355 p.
- Isari S., Ramfos A., Somarakis S., Koutsikopoulos C., Kallianiotis A., Fragopoulou N., 2006.** Mesozooplankton distribution in relation to hydrology of the Northeastern Aegean Sea, Eastern Mediterranean. *Journal of Plankton Research* 28 (3):241-255.
- Isari S., Psarra S., Pitta P., Mara P., Tomprou M. O., Ramfos A., Somarakis S., Tselepidis A., Koutsikopoulos C., Fragopoulou N., 2007.** Differential patterns of mesozooplankton distribution in relation to physical and biological variables of the northeastern Aegean Sea (eastern Mediterranean). *Marine Biology* 151:1035–1050.
- Isari S., Fragopoulou N., Somarakis S., 2008.** Interannual variability in horizontal patterns of larval fish assemblages in the northeastern Aegean Sea (eastern Mediterranean) during early summer. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79:607-619.
- Isari S., Somarakis S., Christou E.D., Fragopoulou N., 2011.** Summer mesozooplankton assemblages in the north-eastern Aegean Sea: the influence of Black Sea water and an associated anticyclonic eddy. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 91(1): 51–63.

- Kristoffersen J.B. & Magoulas A., 2008.** Population structure of anchovy *Engraulis encrasicolus* L. in the Mediterranean Sea inferred from multiple methods. *Fisheries Research*, 91: 187–195.
- 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*). *Molecular Biology and Evolution* 13(1):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* 38:921-931.
- Maunder M.N. & Punt E.A., 2004.** Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fisheries Research*, 70: 141–159.
- Moser H.G., Richards W.J., Cohen D.M., Fahay M.P., Kendall A.W.Jr., Richardson S.L., 1984.** Ontogeny and systematics of fishes. Parent Publication: American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special.
- 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: 377–396.
- Papaconstantinou C., Zenetos A., Vassilopoulou V., Tserpes G., 2007.** State of Hellenic Fisheries. SoHeLFL, HCMR Publ..
- 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 (1): 16–30.
- Regner S., 1996.** Effects of environmental changes on early stages and reproduction of anchovy in the Adriatic Sea. *Scientia Marina* 60 (2): 167-177.
- Ribeiro R., Reisa J., Santos C., Gonçalves F., Soares A., 1996.** Spawning of Anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Mondego Estuary, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 42: 467–482.
- Sabates A., Salat J., Palomera I., Emelianov M., De Puelles M.L.F., Olivar M. P., 2007a.** Advection of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) larvae along the Catalan continental slope (NW Mediterranean). *Fisheries Oceanography*, 16 (2): 130–141.

- Sabates A., Olivar M.P., Salat J., Palomera I., Alemany F., 2007b.** Physical and biological processes controlling the distribution of fish larvae in the NW Mediterranean. *Progress in Oceanography* 74: 355–376.
- Schismenou E., Giannoulaki M., Valavanis V.D., Somarakis S., 2008.** Modeling and predicting potential spawning habitat of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and round sardinella (*Sardinella aurita*) based on satellite environmental Information. *Hydrobiologia* 612: 201–214.
- Siokou-Frangou I., Bianchi M., Christaki U., Christou E.D., Giannakourou A., Gotsis O., Ignatiades L., Pagou K., Pitta P., Psarra S., Souvermezoglou E., Van Wambeke F., Zervakis V., 2002.** Carbon flow in the planktonic food web along a gradient of oligotrophy in the Aegean Sea (Mediterranean Sea). *Journal of Marine Systems* 33– 34: 335– 353.
- Siokou-Frangou I., Zervoudaki S., Christou E.D., Zervakis V, Georgopoulos D., 2009.** Variability of mesozooplankton spatial distribution in the North Aegean Sea, as influenced by the Black Sea waters outflow. *Journal of Marine Systems* 78: 557-575.
- Somarakis S. & Nikolioudakis N., 2007.** What makes a late anchovy larva? The development of the caudal fin seen as a milestone in fish ontogeny. *Journal of Plankton Research* 32 (3): 317–326.
- Somarakis S., Maraveya E., Tsimenides N., 2000.** Multispecies Ichthyoplankton associations in epipelagic species: is there any intrinsic adaptive function? *Belgian Journal of Zoology* 130 (1): 125-129.
- Somarakis S., Koutsikopoulos C., Machias A., Tsimenides N., 2002a.** Applying the daily egg production method (DEPM) to small stocks in highly heterogeneous seas. *Fisheries Research* 55: 193–204.
- Somarakis S., Drakopoulos P., Filippou V., 2002b.** 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: 339–357.
- Somarakis S., Palomera I., Garcia A., Quintanilla L., Koutsikopoulos C., Uriarte A., Motos L., 2004.** Daily egg production of anchovy in European waters. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 944-958.

- Somarakis S., Machias A., Giannoulaki M., Siapatis A., Torre M., Anastasopoulou K., Vassilopoulou V., Kallianiotis A., Papaconstantinou C., 2005.** Ichthyoplanktonic and acoustic biomass estimates of anchovy in the Aegean Sea (June 2003 and June 2004). General Fisheries Commission for the Mediterranean Scientific Advisory Committee.
- Somarakis S., Ramfos A., Palialexis A., Valavanis V.D., 2011.** Contrasting multispecies patterns in larval fish production trace inter-annual variability in oceanographic conditions over the N.E. Aegean Sea continental shelf (Eastern Mediterranean). *Hydrobiologia* 670:275–287.
- Somarakis S., Schismenoua E., Siapatis A., Giannoulaki M., Kallianiotis A., Machias A.** High variability in the Daily Egg Production Method parameters of an eastern Mediterranean anchovy stock: Influence of environmental factors, fish condition and population density. *Fisheries Research* *in press*.
- Stergiou K.I., Christou E.D., Georgopoulos D., Zenetos A., & Souvermezoglou C., 1997.** The Hellenic Seas: Physics, chemistry, biology and fisheries. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 35: 415-538.
- Stratoudakis Y., Bernal M., Borchers D.L., Borges M.F., 2003.** Changes in the distribution of sardine eggs and larvae off Portugal, 1985–2000. *Fisheries Oceanography* 12 (1): 49–60.
- Stratoudakis Y., Coombs S., Lago de Lanzós A., Halliday N., Costas G., Caneco B., Franco C., Conway D., Begoña Santos M., Silva A., Bernal M., 2007.** Sardine (*Sardina pilchardus*) spawning seasonality in European waters of the northeast Atlantic. *Marine Biology* 152: 201–212.
- Triantafyllou G., Hoteit I., Korres G., Petihakis G., 2005.** Ecosystem Modeling and Data Assimilation of Physical-Biogeochemical processes in Shelf and Regional Areas of the Mediterranean Sea. *Applied Numerical Analysis and Computational Mathematics* 2 (2): 262-280.
- Twatwa N.M., van der Lingen C.D., Drapeau L., Moloney C.L., Field J.G., 2005.** Characterising and comparing the spawning habitats of anchovy *Engraulis encrasicolus* and sardine *Sardinops sagax* in the southern Benguela upwelling ecosystem. *African Journal of Marine Science*, 27 (2): 487- 499.

- Venables W.N. & Ripley B.D., 1994.** Modern Applied Statistics with S-plus. New York, Springer-Verlag, pp. 448.
- Weber E.D. & McClatchie S., 2010.** Predictive models of northern anchovy *Engraulis mordax* and Pacific sardine *Sardinops sagax* spawning habitat in the California Current. Marine Ecology Progress Series 406: 251–263.
- Wood S. N., 2006.** Generalized Additive Models. An Introduction with R. Chapman & Hall, London.
- Zervakis V. & Georgopoulos D., 2002.** Hydrology and circulation in the North Aegean (eastern Mediterranean) throughout 1997 and 1998. Mediterranean Marine Science, 3 (1): 5-19.
- Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N.J., Saveliev A.A., Smith G.M., 2009.** Mixed Effects Models and extensions in ecology with R. Springer.
- Zwolinski J., Oliveira P., Quintino V., Stratoudakis Y., 2010.** Sardine potential habitat and environmental forcing off western Portugal. ICES Journal of Marine Science 67: 1553–1564.
- Γιαννουλάκη M., 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.
- Νικολιουδάκης N., 2011.** Τροφική οικολογία μικρών πελαγικών ψαριών. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Κρήτης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας.
- 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.
- Τσαγκαράκης K., 2011.** Παράγοντες που επηρεάζουν τη μεταβλητότητα των σχολείων των μικρών πελαγικών ψαριών και διερεύνηση του ρόλου τους στο οικοσύστημα με οικολογικά μοντέλα. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Κρήτης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας.

Παράρτημα

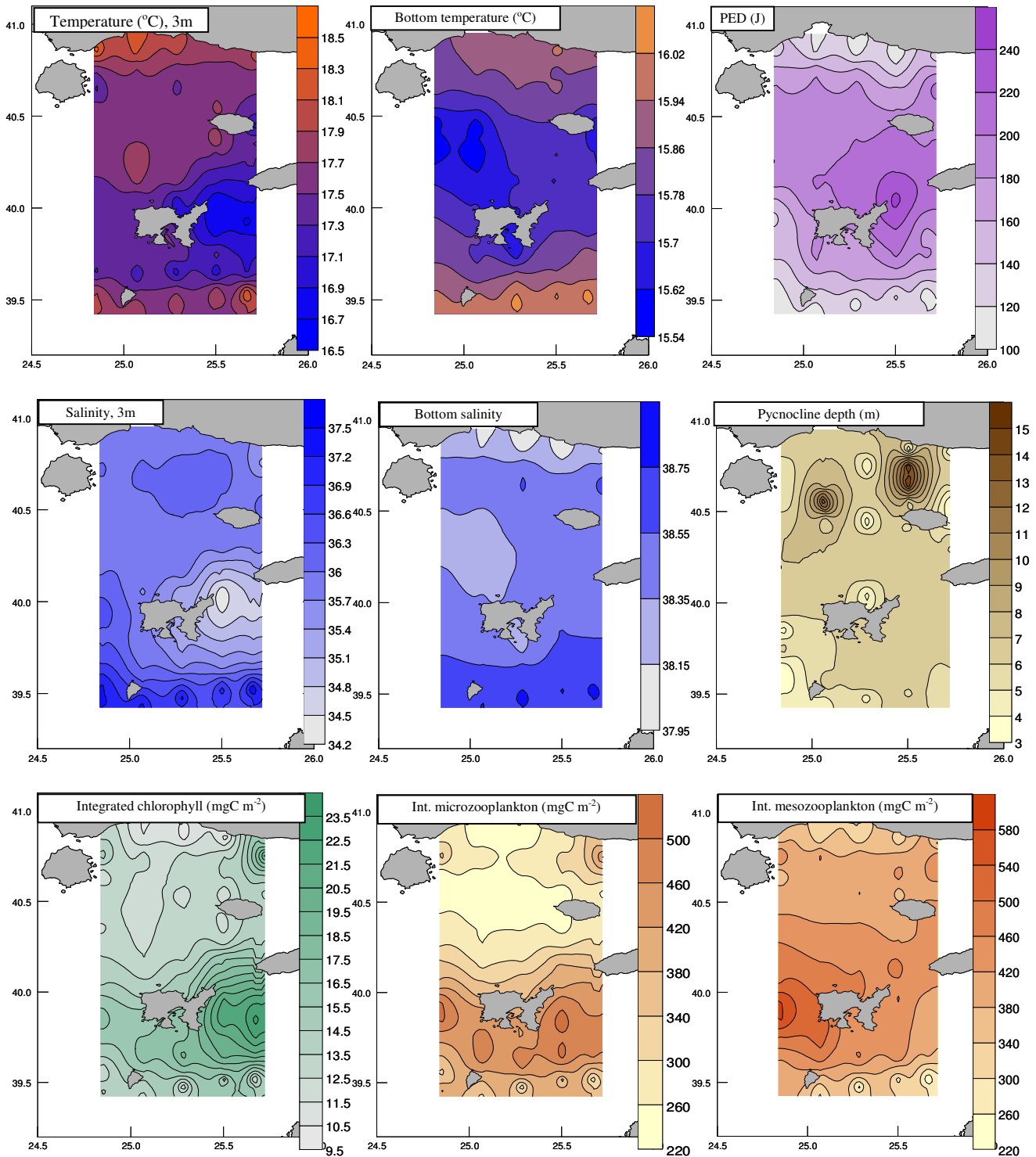


Figure 1. Horizontal distribution of surface (at 3 m depth) and bottom temperature in °C, surface (at 3 m depth) and bottom salinity, pycnocline depth in m, potential energy deficit in J (PED), integrated chlorophyll abundance in mgC m⁻², integrated micro zooplankton and meso zooplankton abundance in mg m⁻² during May 2010 in the N. Aegean Sea, based on variables estimated from operational oceanographic models (POM-ERSEM).

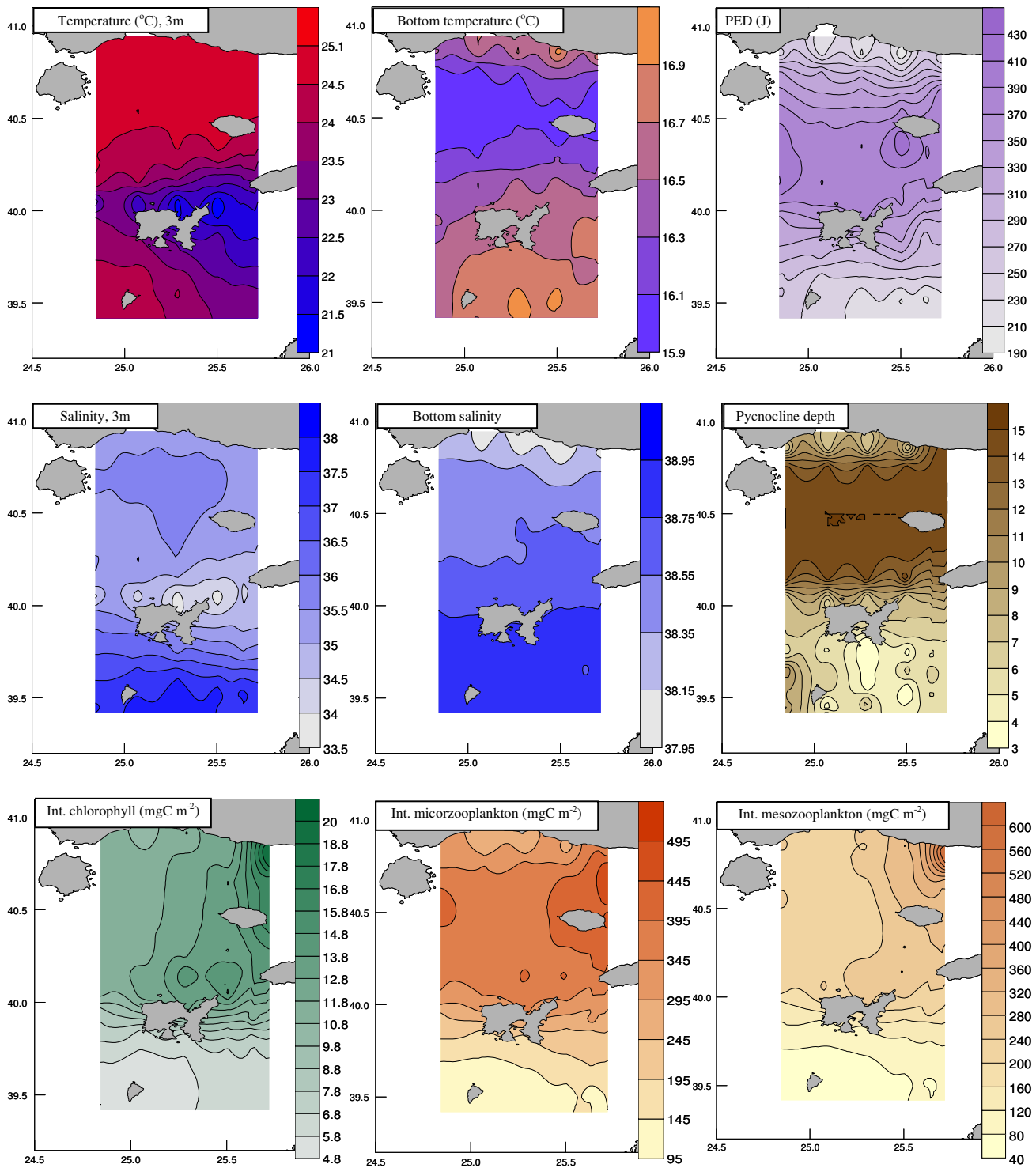


Figure 2. Horizontal distribution of surface (at 3 m depth) and bottom temperature in °C, surface (at 3 m depth) and bottom salinity, pycnocline depth in m, potential energy deficit in J (PED), integrated chlorophyll abundance in mgC m⁻², integrated micro zooplankton and meso zooplankton abundance in mg m⁻² during July 2010 in the N. Aegean Sea, based on variables estimated from operational oceanographic models (POM-ERSEM).

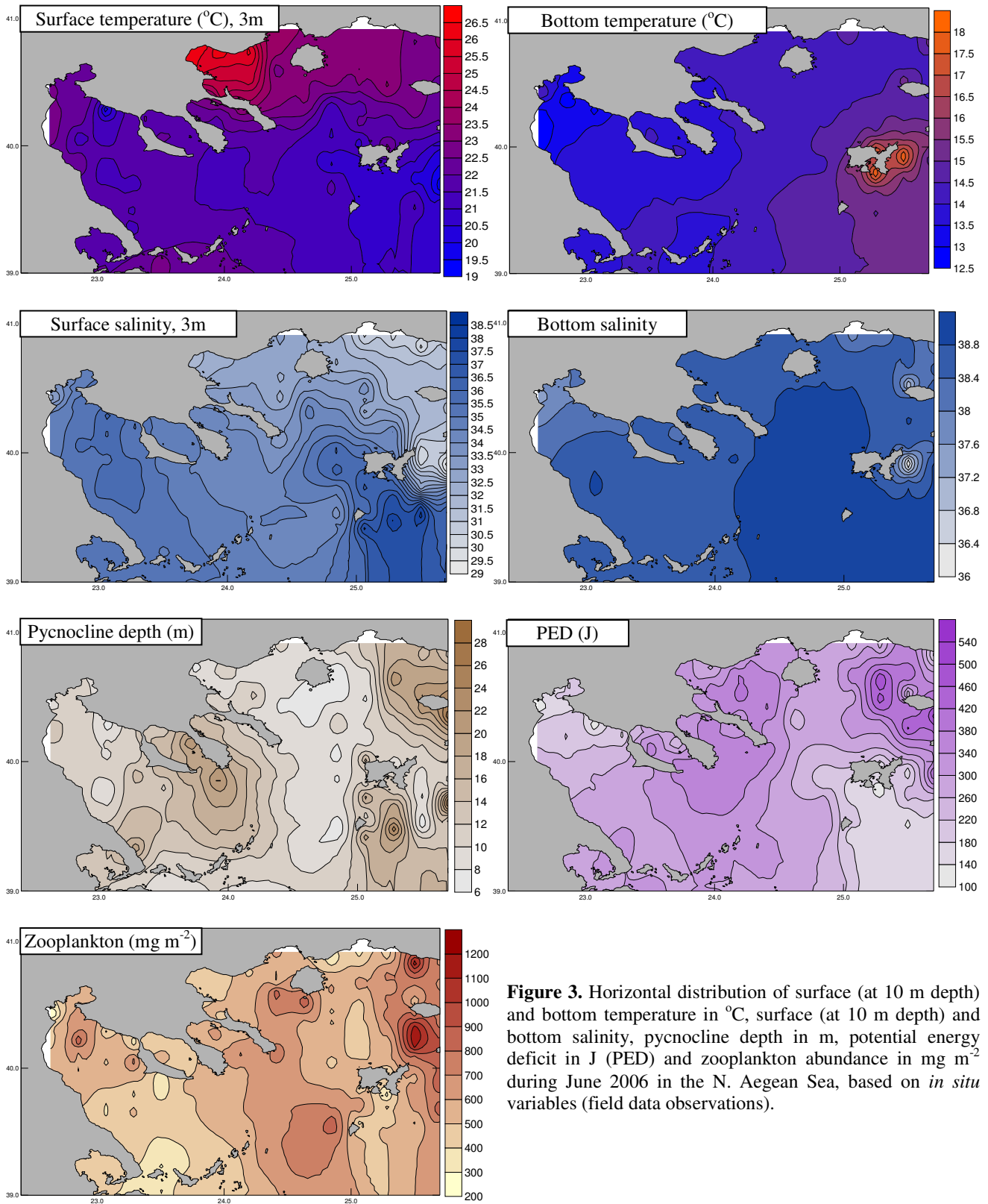


Figure 3. Horizontal distribution of surface (at 10 m depth) and bottom temperature in °C, surface (at 10 m depth) and bottom salinity, pycnocline depth in m, potential energy deficit in J (PED) and zooplankton abundance in mg m⁻² during June 2006 in the N. Aegean Sea, based on *in situ* variables (field data observations).

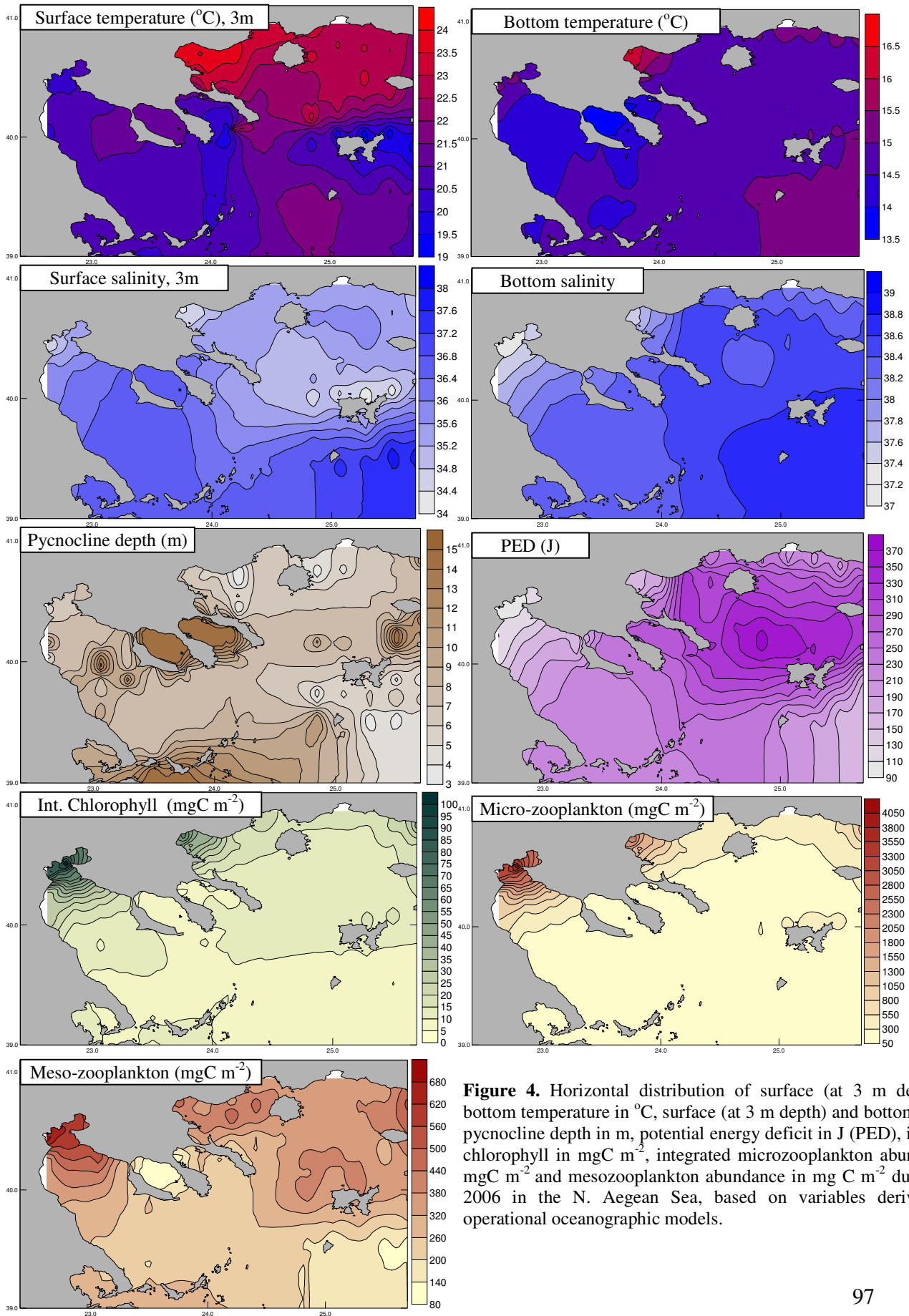


Figure 4. Horizontal distribution of surface (at 3 m depth) and bottom temperature in $^{\circ}\text{C}$, surface (at 3 m depth) and bottom salinity, pycnocline depth in m, potential energy deficit in J (PED), integrated chlorophyll in mgC m^{-2} , integrated microzooplankton abundance in mgC m^{-2} and mesozooplankton abundance in mgC m^{-2} during June 2006 in the N. Aegean Sea, based on variables derived from operational oceanographic models.

Table 1. Summary of the final GAM models for anchovy eggs' presence-absence based on *in situ* variables.

Stratum/ Month	Model parameters	Residual Degrees of freedom (df)	Residual deviance	AIC (Akaike's information criterion)	p-value	% Deviance explained	n
Str II	egg0_pa~1	326.00	429.89	431.89	<<0.000	0.00	327
	egg0_pa~s(lndepth)	324.10	344.39	350.20	<<0.000	19.9	327
	egg0_pa~s(lndepth)+s(sst)	320.56	298.71	311.81	<<0.000	31.0	327
	egg0_pa~s(lndepth)+s(sst)+s(zoopl)	320.86	290.99	301.42	<0.005	32.7	327
StrI - June	egg0_pa~1	432.00	554.84	556.84	<<0.000	0.00	433
	egg0_pa~s(sss)	429.36	430.77	438.05	<<0.000	22.4	433
	egg0_pa~s(sss)+s(lndepth)	427.43	358.78	369.93	<<0.000	35.1	433
StrI - July	egg0_pa~1	180.00	247.46	249.46	0.064	0.00	181
	egg0_pa~s(lndepth)	176.51	214.77	223.75	<<0.000	13.2	181
	egg0_pa~s(lndepth)+as.factor(Cruise)	175.43	193.98	205.11	<<0.000	21.6	181
	egg0_pa~s(lndepth)+s(zoopl)+as.factor(Cruise)	172.31	178.64	196.02	<<0.05	27.8	181
All data	egg0_pa~1	1036.00	1377.21	1379.21	<<0.000	0.00	1037
	egg0_pa~s(lndepth)	1032.24	1149.06	1158.59	<<0.000	16.6	1037
	egg0_pa~s(lndepth)+s(sst)	1031.27	1064.96	1076.42	<<0.000	22.7	1037
	egg0_pa~s(lndepth)+s(sst)+s(sss)	1027.12	1005.10	1024.81	<<0.000	27.0	1037

Table 2. Summary of the final GAM models for anchovy eggs' presence-absence based on variables derived from operational oceanographic models.

Stratum/ Month	Model parameters	Residual Degrees of freedom (df)	Residual deviance	AIC (Akaike's information criterion)	p-value	% Deviance explained	n
StrII	egg0_pa~1	332.00	438.64	440.64	<<0.000	0.00	333
	egg0_pa~s(lndepth)	329.50	361.43	368.43	<<0.000	17.6	333
	egg0_pa~s(lndepth)+s(sst)	326.41	333.91	347.10	<<0.000	23.9	333
	egg0_pa~s(lndepth)+s(sst)+s(mesoZ)	323.43	318.32	337.42	<0.005	27.5	333
	egg0_pa~s(lndepth)+s(sst)+s(mesoZ)+s(lnchla)	318.79	296.57	325.00	<0.005	32.4	333
StrI-June	egg0_pa~1	435.00	559.99	561.99	<<0.000	0.00	436
	egg0_pa~s(lndepth)	431.53	447.99	456.93	<<0.000	20.0	436
	egg0_pa~s(lndepth)+as.factor(Cruise)	428.51	432.76	447.74	<<0.000	22.7	436
	egg0_pa~s(lndepth)+s(botsalb) +as.factor(Cruise)	426.06	350.54	370.43	<<0.000	37.4	436
	egg0_pa~s(lndepth)+s(botsalb)+s(lnmicroz)+as.factor(Cruise)	424.00	336.21	360.21	<<0.000	40.0	436
StrI- July	egg0_pa~1	188.00	256.90	258.90	<<0.000	0.00	189
	egg0_pa~s(lndepth)	187.00	239.84	243.84	<0.000	6.6	189
	egg0_pa~s(lndepth)+as.factor(Cruise)	185.99	221.82	227.84	<0.000	13.7	189
	egg0_pa~s(lndepth)+s(PED)+as.factor(Cruise)	181.83	193.62	207.95	<<0.000	24.6	189
All data	egg0_pa~1	1055.00	1404.18	1406.18	<<0.000	0.00	1056
	egg0_pa~s(lndepth)	1051.52	1208.79	1217.76	<<0.000	13.9	1056
	egg0_pa~s(lndepth)+s(sst)	1046.28	1117.34	1136.78	<<0.000	20.4	1056
	egg0_pa~s(lndepth)+s(sst)+s(sss)	1042.26	1039.73	1066.32	<<0.000	26.0	1056

Table 3. Summary of the final GAM models for adult anchovy presence-absence based on *in situ* variables.

Stratum/ Month	Model parameters	Residual Degrees of freedom (df)	Residual deviance	AIC (Akaike's information criterion)	p-value	% Deviance explained	n
StrII	a_pa~1	1864.24	1398.75	1408.28	<<0.000	28.6	1869
	a_pa~s(Indepth)	1862.89	1378.23	1390.46	<<0.000	29.6	1869
	a_pa~s(Indepth)+s(bottemp)	1859.40	1363.99	1383.19	<<0.000	30.4	1869
	a_pa~s(Indepth)+s(bottemp)+s(sst)						
StrI May	a_pa~1	329.00	449.87	451.87	0.006	0.00	330
	a_pa~s(Indepth)	326.59	242.35	249.17	<<0.000	46.1	330
	a_pa~s(Indepth)+s(bottemp)	325.26	225.42	234.91	<<0.000	49.9	330
StrI June	a_pa~1	1804.00	1931.81	1933.81	<<0.000	0.00	1805
	a_pa~s(Indepth)	1801.78	1532.31	1538.75	<<0.000	20.7	1805
	a_pa~s(Indepth)+as.factor(Cruise)	1798.33	1437.31	1450.65	<<0.000	25.6	1805
	a_pa~s(Indepth)+s(sst)+as.factor(Cruise)	1795.98	1399.98	1418.03	<<0.000	27.5	1805
	a_pa~s(Indepth)+s(sst)+s(lnpycn)+as.factor(Cruise)	1792.97	1384.61	1408.62	<<0.000	28.3	1805
	a_pa~1	1789.00	1914.28	1916.28	<<0.000	0.00	1790
	a_pa~s(Indepth)	1786.81	1515.95	1522.34	<<0.000	20.8	1790
	a_pa~s(Indepth)+as.factor(Cruise)	1783.36	1423.32	1436.60	<<0.000	25.6	1790
	a_pa~s(Indepth)+s(sst)+as.factor(Cruise)	1780.95	1385.81	1403.91	<<0.000	27.6	1790
	a_pa~s(Indepth)+s(sst)+s(zoopl)+as.factor(Cruise)	1778.80	1374.79	1397.22	<<0.000	28.2	1790
StrI July	a_pa~1	791.00	1038.28	1040.28	<<0.000	0.00	792
	a_pa~s(Indepth)	788.11	675.22	683.01	<<0.000	35.0	792
	a_pa~s(Indepth)+s(zoopl)	784.59	639.59	654.41	<<0.000	38.4	792
	a_pa~s(Indepth)+s(zoopl)+s(bottemp)	780.82	616.03	638.39	<0.000	40.7	792
All data	a_pa~1	4795.00	5494.75	5496.75	<<0.000	0.00	4796
	a_pa~s(Indepth)	4791.11	3971.25	3981.03	<<0.000	27.7	4796
	a_pa~s(Indepth)+as.factor(Cruise)	4785.11	3840.40	3862.12	<<0.000	30.1	4796
	a_pa~s(Indepth)+s(zoopl)+as.factor(Cruise)	4782.01	3803.90	3831.88	<<0.000	30.8	4796
	a_pa~s(Indepth)+s(zoopl)+s(sst)+as.factor(Cruise)	4778.35	3766.05	3801.35	<<0.000	31.5	4796
	a_pa~s(Indepth)+s(zoopl)+s(sst)+s(lnpycn)+as.factor(Cruise)	4775.10	3736.05	3777.90	<<0.000	32.0	4796

Table 4. Summary of the final GAM models for adult anchovy presence-absence based on variables derived from operational oceanographic models.

Stratum/ Month	Model parameters	Residual Degrees of freedom (df)	Residual deviance	AIC (Akaike's information criterion)	p-value	% Deviance explained	n
StrII	a_pa-1	1791.00	1946.77	1948.77	<<0.000	0.00	1792
	a_pa-s(PED)	1788.05	1505.92	1513.82	<<0.000	22.6	1792
	a_pa-s(PED)+s(Indepth)	1786.05	1455.08	466.99	<<0.000	25.3	1792
	a_pa-s(PED)+s(Indepth)+s(Inmicroz)	1782.68	1426.14	1444.79	<<0.000	26.7	1792
	a_pa-s(PED)+s(Indepth)+s(Inmicroz)+s(sst)	1778.76	1402.30	1428.76	<<0.000	28.0	1792
StrI May	a_pa-1	346.00	467.23	469.23	<0.000	0.00	347
	a_pa-s(Indepthb)	343.93	334.44	340.59	<<0.000	28.4	347
	a_pa-s(Indepthb)+s(PED)	339.04	282.92	298.84	<<0.000	39.4	347
	a_pa-s(Indepthb)+s(PED)+s(Inchla)	334.82	254.85	279.20	<0.000	45.5	347
	a_pa-s(Indepthb)+s(PED)+s(Inchla)+s(sst)	332.61	239.35	268.13	<0.000	48.8	347
StrI June	a_pa-1	1831.00	1977.45	1979.45	<<0.000	0.00	1832
	a_pa-s(Indepth)	1828.06	1621.40	1629.28	<<0.000	18.0	1832
	a_pa-s(Indepth)+as.factor(Cruise)	1825.00	1580.05	1594.04	<<0.000	20.1	1832
	a_pa-s(Indepthb)+s(PED)+as.factor(Cruise)	1823.24	1509.44	1526.95	<<0.000	23.7	1832
	a_pa-s(Indepthb)+s(PED)+s(Inchla)+as.factor(Cruise)	1820.50	1489.48	1512.49	<<0.000	24.7	1832
StrI July	a_pa-1	834.00	1084.60	1086.60	<<0.000	0.00	835
	a_pa-s(Indepth)	831.36	875.21	882.51	<<0.000	19.3	835
	a_pa-s(Indepth)+s(sss)	827.32	829.54	844.88	<<0.000	23.5	835
	a_pa-s(Indepth)+s(sss)+s(Inmicroz)	821.16	762.39	790.05	<<0.000	29.7	835
All data	a_pa-1	4814.00	5574.44	5576.44	<<0.000	0.00	4815
	a_pa-s(Indepth)	4810.82	4599.26	4607.43	<<0.000	17.5	4815
	a_pa-s(Indepth)+as.factor(Cruise)	4804.72	4419.21	4439.77	<<0.000	20.7	4815
	a_pa-s(Indepth)+s(sss)+as.factor(Cruise)	4800.89	4262.69	4290.90	<<0.000	23.5	4815
	a_pa-s(Indepth)+s(sss)+s(Inchla)+as.factor(Cruise)	4797.23	4208.03	4243.57	<<0.000	24.5	4815
	a_pa-s(Indepth)+s(sss)+s(Inchla)+s(mesoZ)+as.factor(Cruise)	4793.94	4191.27	4233.39	<0.01	24.8	4815

Table.5 Validation of predictions models for the anchovy eggs presence-absence. StrII, Stratum II; StrI, Stratum I; AUC, Area under the Curve; ObsPrev, observation prevalence; MaxSens+Spec, maximum sensitivity and specificity.

Prediction model	Year	<i>in situ</i> variables					oceanographic variables					
		AUC	threshold	Sensitivity	Specificity	AUC	threshold	Sensitivity	Specificity			
StrII-June	2003	0.87	MaxSens+Spec	0.59	0.87	0.84	0.90	MaxSens+Spec	0.34	0.88	0.82	
			ObsPrev	0.51	0.94	0.68		ObsPrev	0.49	0.66	0.94	
	2004	0.84	MaxSens+Spec	0.31	0.82	0.74	0.80	MaxSens+Spec	0.27	0.75	0.78	
			ObsPrev	0.25	0.88	0.64		ObsPrev	0.24	0.75	0.75	
	2005	0.76	MaxSens+Spec	0.36	0.6	0.84	0.84	MaxSens+Spec	0.18	1.00	0.61	
			ObsPrev	0.15	0.7	0.54		ObsPrev	0.15	1.00	0.54	
	2006	0.81	MaxSens+Spec	0.45	0.8	0.82	0.84	MaxSens+Spec	0.27	0.97	0.56	
			ObsPrev	0.48	0.77	0.82		ObsPrev	0.49	0.67	0.82	
	2008	0.88	MaxSens+Spec	0.65	0.61	1.00	0.87	MaxSens+Spec	0.62	0.78	0.89	
			ObsPrev	0.46	0.77	0.75		ObsPrev	0.47	0.81	0.72	
	StrI-June	2003	0.85	MaxSens+Spec	0.20	0.923	0.60	0.81	MaxSens+Spec	0.40	0.77	0.81
				ObsPrev	0.35	0.743	0.72		ObsPrev	0.35	0.77	0.78
2004		0.85	MaxSens+Spec	0.08	0.96	0.58	0.91	MaxSens+Spec	0.31	0.83	0.87	
			ObsPrev	0.23	0.76	0.69		ObsPrev	0.22	0.83	0.81	
2005		0.91	MaxSens+Spec	0.22	0.92	0.77	0.89	MaxSens+Spec	0.34	0.85	0.87	
			ObsPrev	0.35	0.85	0.83		ObsPrev	0.37	0.83	0.87	
2006		0.89	MaxSens+Spec	0.58	0.84	0.87	0.92	MaxSens+Spec	0.36	0.87	0.84	
			ObsPrev	0.42	0.84	0.82		ObsPrev	0.43	0.78	0.89	
StrI-July		2008	0.89	MaxSens+Spec	0.45	0.87	0.81	0.82	MaxSens+Spec	0.42	0.82	0.78
				ObsPrev	0.45	0.87	0.81		ObsPrev	0.47	0.75	0.78
		2010	0.76	MaxSens+Spec	0.84	0.53	0.81	0.73	MaxSens+Spec	0.58	0.90	0.48
				ObsPrev	0.73	0.60	0.52		ObsPrev	0.74	0.61	0.62
all data	2003	0.86	MaxSens+Spec	0.47	0.82	0.76	0.84	MaxSens+Spec	0.42	0.75	0.84	
			ObsPrev	0.41	0.83	0.73		ObsPrev	0.41	0.76	0.82	
	2004	0.83	MaxSens+Spec	0.36	0.81	0.77	0.80	MaxSens+Spec	0.22	0.91	0.65	
			ObsPrev	0.24	0.90	0.64		ObsPrev	0.24	0.86	0.66	
	2005	0.83	MaxSens+Spec	0.37	0.82	0.71	0.82	MaxSens+Spec	0.34	0.84	0.68	
			ObsPrev	0.28	0.86	0.63		ObsPrev	0.28	0.84	0.62	
	2006	0.85	MaxSens+Spec	0.39	0.85	0.75	0.84	MaxSens+Spec	0.45	0.72	0.85	
			ObsPrev	0.46	0.74	0.82		ObsPrev	0.45	0.72	0.85	
	2008	0.84	MaxSens+Spec	0.31	0.93	0.62	0.81	MaxSens+Spec	0.54	0.8	0.75	
			ObsPrev	0.46	0.81	0.69		ObsPrev	0.47	0.88	0.63	
	2010 july	0.66	MaxSens+Spec	0.51	0.50	0.81	0.62	MaxSens+Spec	0.40	0.80	0.52	
			ObsPrev	0.73	0.35	0.86		ObsPrev	0.72	0.322	0.74	
	2010 may	0.73	MaxSens+Spec	0.08	0.93	0.52	0.81	MaxSens+Spec	0.26	0.79	0.80	
			ObsPrev	0.17	0.71	0.65		ObsPrev	0.17	0.86	0.64	

Table 6. Validation of predictions models for the adult anchovy schools presence-absence. StrII, Stratum II; StrI, Stratum I; AUC, Area under the Curve; ObsPrev, observation prevalence; MaxSens+Spec, maximum sensitivity and specificity.

Prediction model	Year	<i>in situ</i> variables					oceanographic variables					
		AUC	threshold	Sensitivity	Specificity	AUC	threshold	Sensitivity	Specificity			
StrII-June	2003	0.73	MaxSens+Spec	0.07	0.74	0.65	0.75	MaxSens+Spec	0.08	0.77	0.59	
			ObsPrev	0.18	0.59	0.73		ObsPrev	0.19	0.59	0.72	
	2004	0.82	MaxSens+Spec	0.19	0.88	0.73	0.77	MaxSens+Spec	0.25	0.73	0.80	
			ObsPrev	0.22	0.84	0.73		ObsPrev	0.24	0.73	0.80	
	2005	0.88	MaxSens+Spec	0.25	0.99	0.69	0.90	MaxSens+Spec	0.32	0.91	0.77	
			ObsPrev	0.20	0.99	0.65		ObsPrev	0.21	0.91	0.72	
	2006	0.92	MaxSens+Spec	0.36	0.95	0.84	0.91	MaxSens+Spec	0.30	0.93	0.84	
			ObsPrev	0.30	0.96	0.83		ObsPrev	0.33	0.91	0.85	
	2008	0.89	MaxSens+Spec	0.24	0.95	0.67	0.86	MaxSens+Spec	0.19	0.85	0.74	
			ObsPrev	0.18	0.95	0.66		ObsPrev	0.19	0.85	0.74	
	StrI-May	2010	0.92	MaxSens+Spec	0.26	0.94	0.75	0.92	MaxSens+Spec	0.36	0.91	0.79
				ObsPrev	0.42	0.88	0.80		ObsPrev	0.40	0.87	0.81
StrI-June	2003	0.82	MaxSens+Spec	0.29	0.75	0.77	0.83	MaxSens+Spec	0.37	0.72	0.81	
			ObsPrev	0.26	0.77	0.73		ObsPrev	0.26	0.79	0.71	
	2004	0.80	MaxSens+Spec	0.18	0.75	0.78	0.74	MaxSens+Spec	0.15	0.72	0.68	
			ObsPrev	0.14	0.80	0.68		ObsPrev	0.14	0.72	0.67	
	2005	0.84	MaxSens+Spec	0.20	0.83	0.72	0.79	MaxSens+Spec	0.12	0.92	0.57	
			ObsPrev	0.22	0.81	0.73		ObsPrev	0.22	0.73	0.65	
	2006	0.89	MaxSens+Spec	0.29	0.87	0.78	0.88	MaxSens+Spec	0.40	0.77	0.84	
			ObsPrev	0.29	0.87	0.77		ObsPrev	0.30	0.85	0.75	
	StrI-July	2008	0.89	MaxSens+Spec	0.30	0.94	0.71	0.84	MaxSens+Spec	0.41	0.77	0.76
				ObsPrev	0.35	0.91	0.72		ObsPrev	0.34	0.84	0.65
		2010	0.88	MaxSens+Spec	0.20	0.97	0.64	0.85	MaxSens+Spec	0.41	0.78	0.80
				ObsPrev	0.40	0.86	0.70		ObsPrev	0.37	0.79	0.74
all data	2003	0.78	MaxSens+Spec	0.10	0.84	0.60	0.79	MaxSens+Spec	0.32	0.70	0.77	
			ObsPrev	0.22	0.66	0.73		ObsPrev	0.23	0.76	0.69	
	2004	0.81	MaxSens+Spec	0.14	0.88	0.68	0.72	MaxSens+Spec	0.22	0.76	0.70	
			ObsPrev	0.18	0.83	0.70		ObsPrev	0.19	0.77	0.70	
	2005	0.85	MaxSens+Spec	0.23	0.84	0.73	0.84	MaxSens+Spec	0.30	0.80	0.74	
			ObsPrev	0.20	0.86	0.71		ObsPrev	0.21	0.85	0.66	
	2006	0.90	MaxSens+Spec	0.38	0.92	0.81	0.88	MaxSens+Spec	0.38	0.85	0.81	
			ObsPrev	0.30	0.92	0.77		ObsPrev	0.31	0.88	0.75	
	2008	0.89	MaxSens+Spec	0.29	0.90	0.75	0.82	MaxSens+Spec	0.28	0.82	0.68	
			ObsPrev	0.27	0.91	0.74		ObsPrev	0.28	0.82	0.68	
	2010 july	0.83	MaxSens+Spec	0.37	0.86	0.74	0.79	MaxSens+Spec	0.39	0.78	0.74	
			ObsPrev	0.39	0.84	0.74		ObsPrev	0.37	0.77	0.73	
	2010 may	0.91	MaxSens+Spec	0.51	0.84	0.86	0.86	MaxSens+Spec	0.30	0.93	0.66	
			ObsPrev	0.43	0.87	0.81		ObsPrev	0.41	0.87	0.72	

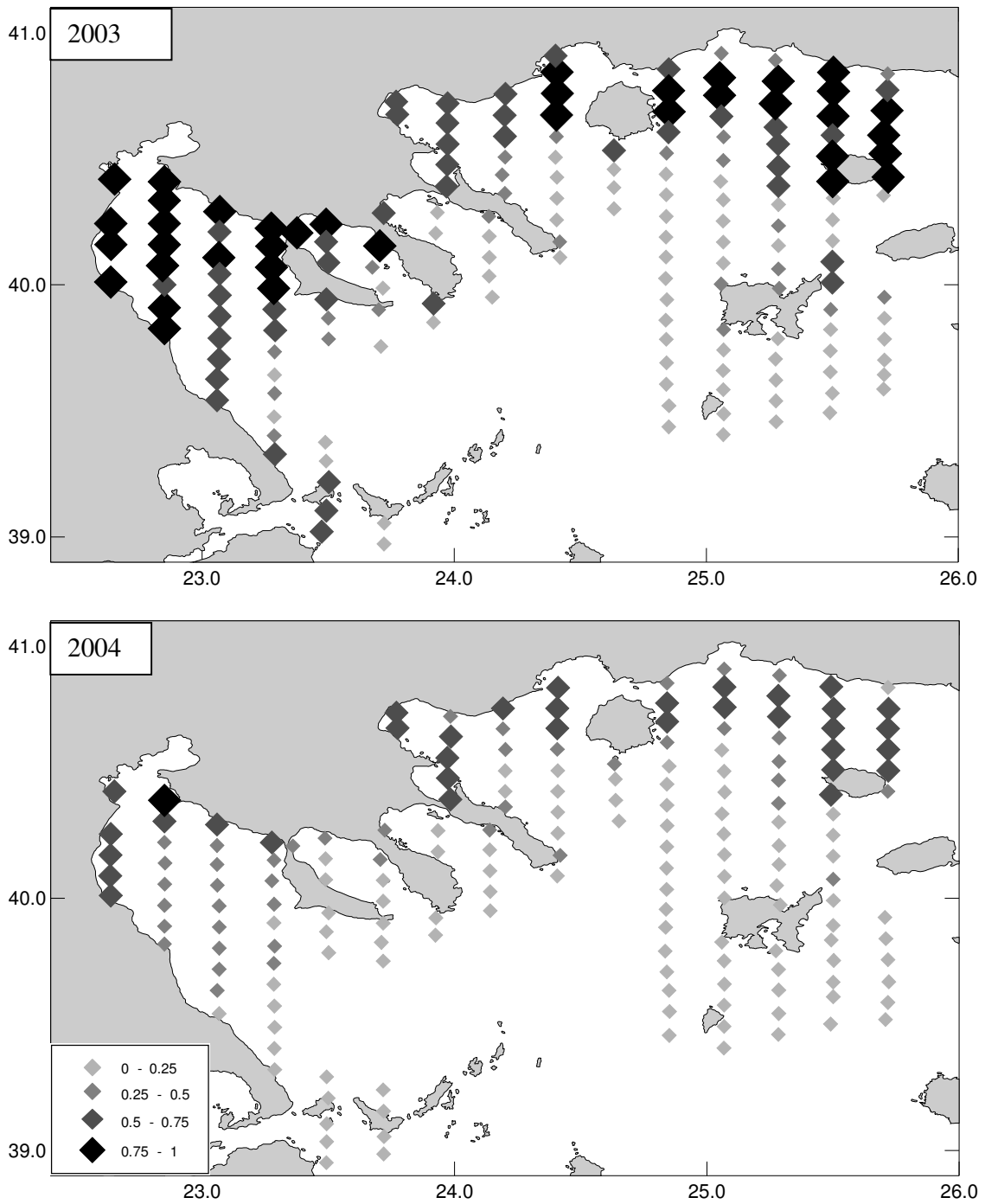


Figure 5. Habitat probability maps based on *in situ* variables. Maps indicate the probability of anchovy eggs presence based on the GAM models developed for Stratum I (StrI-June) and 2 (StrII-June) for June 2003-2008. Details for the models are shown in “Results” Table 3.2.

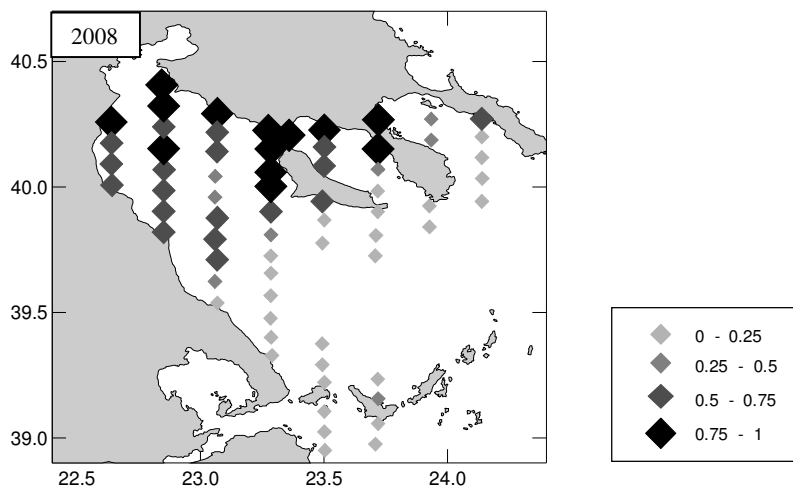
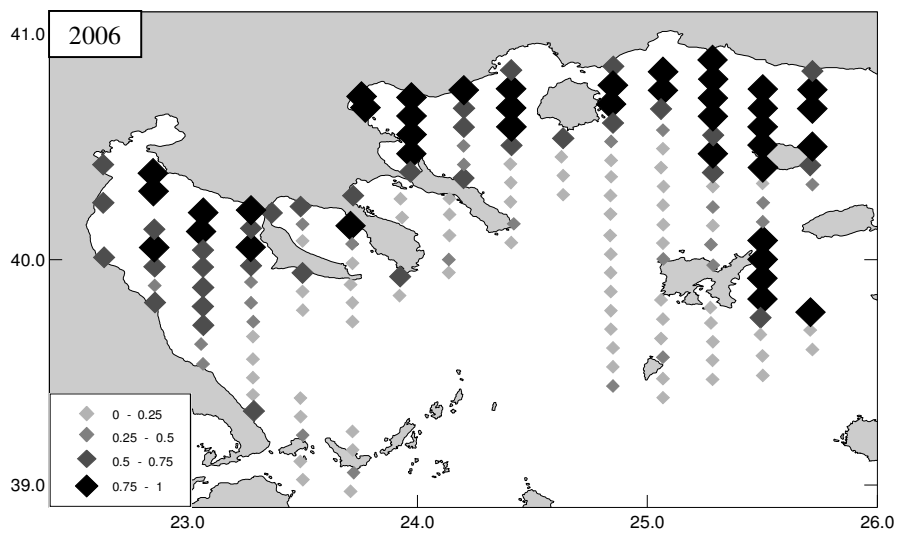
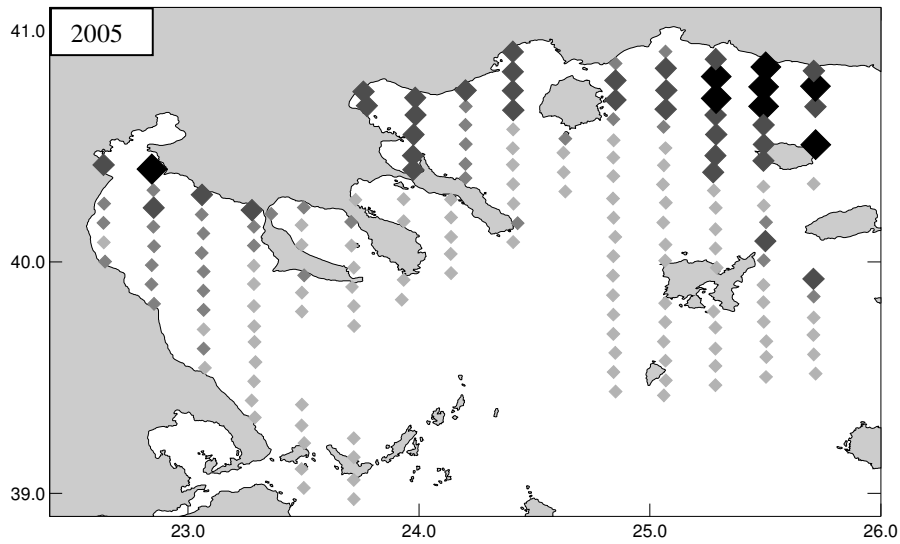


Figure 5 (continued)

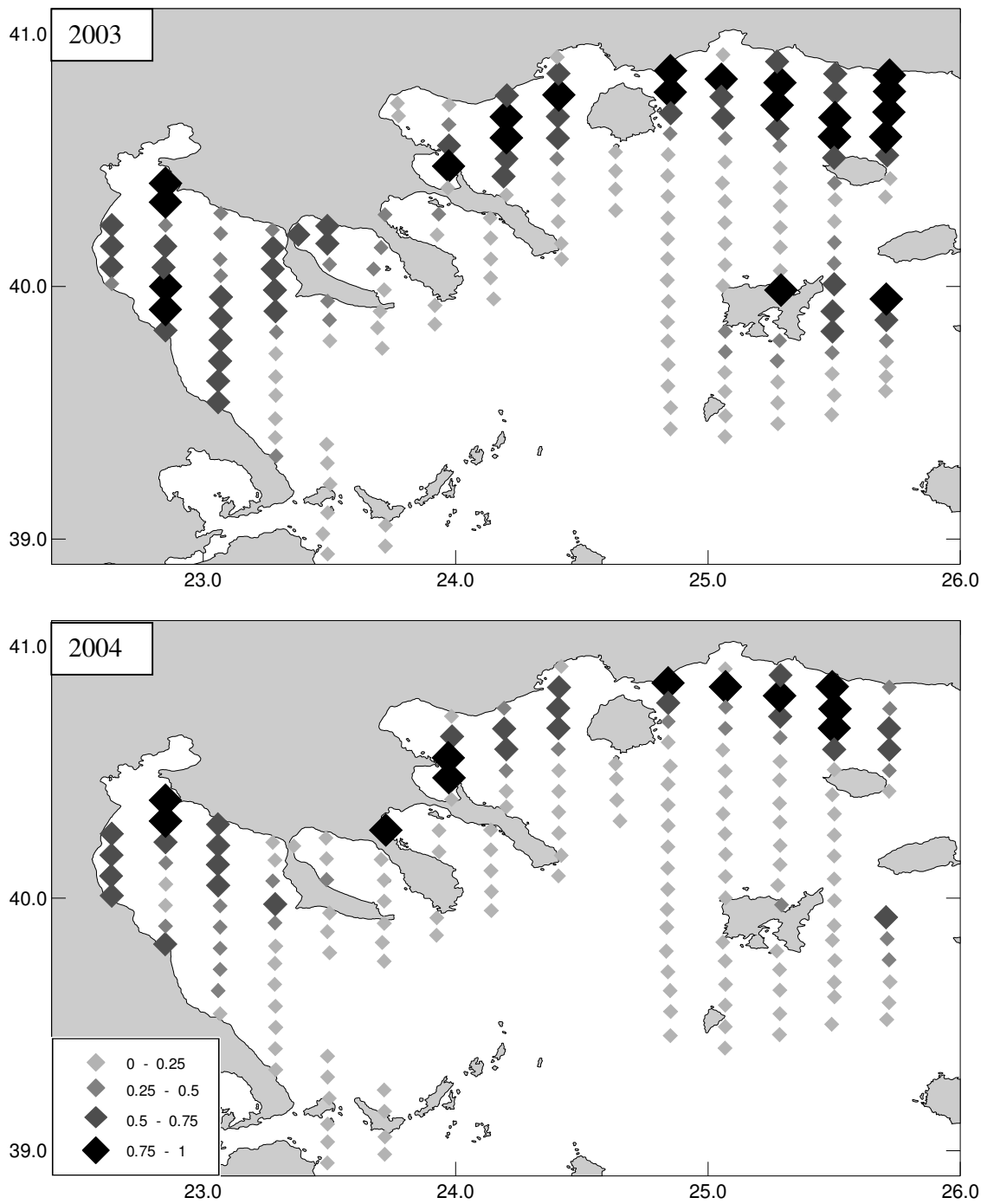


Figure 6. Habitat probability maps based on oceanographic variables. Maps indicate the probability of anchovy eggs presence based on the GAM models developed for Stratum I (StrI-June) and 2 (StrII-June) for June 2003-2008. Details for the models are shown in “Results” Table 3.2.

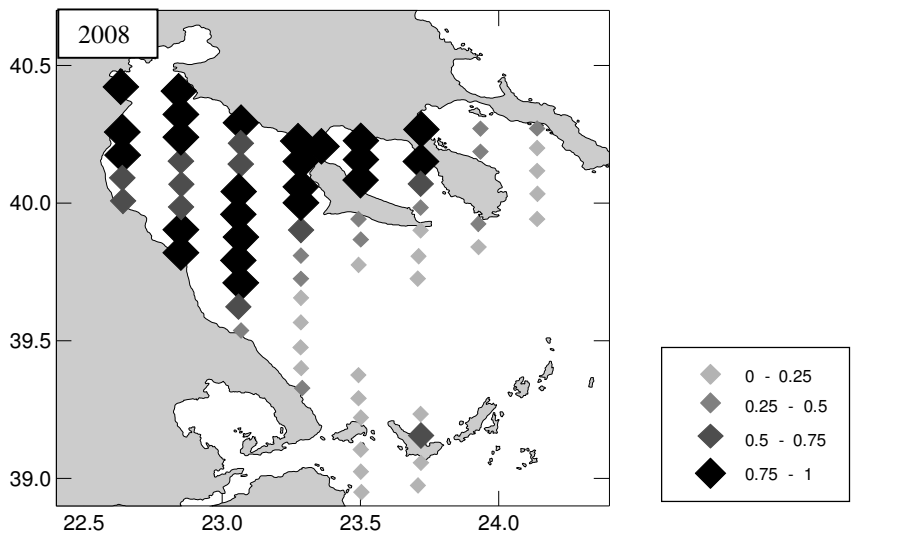
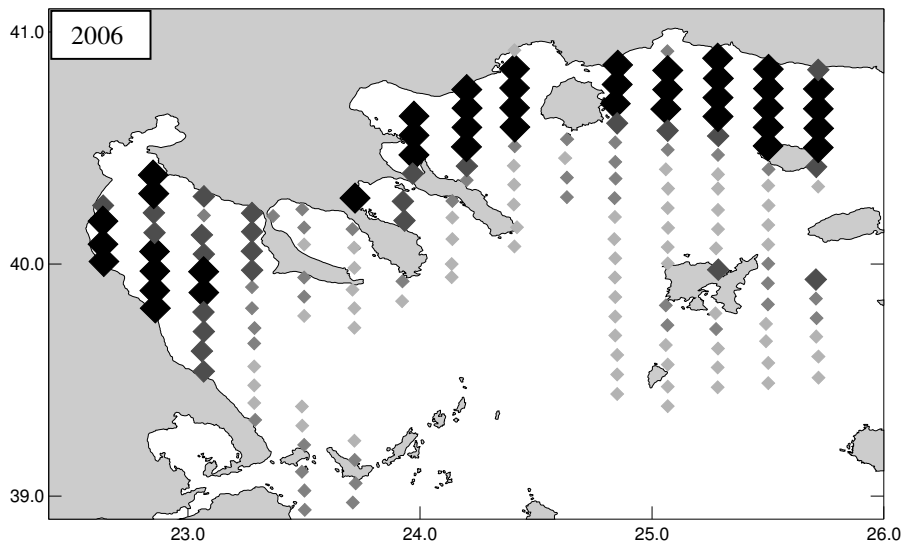
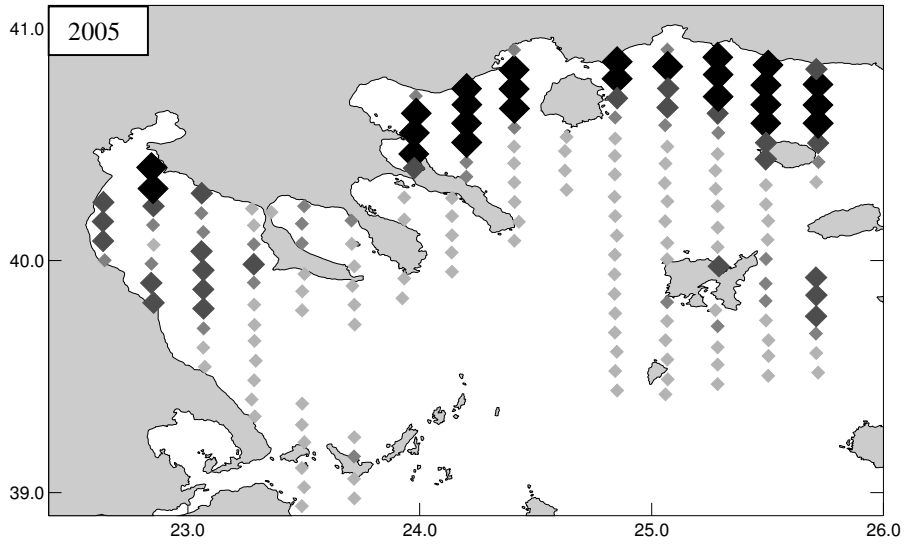


Figure 6. (continued)

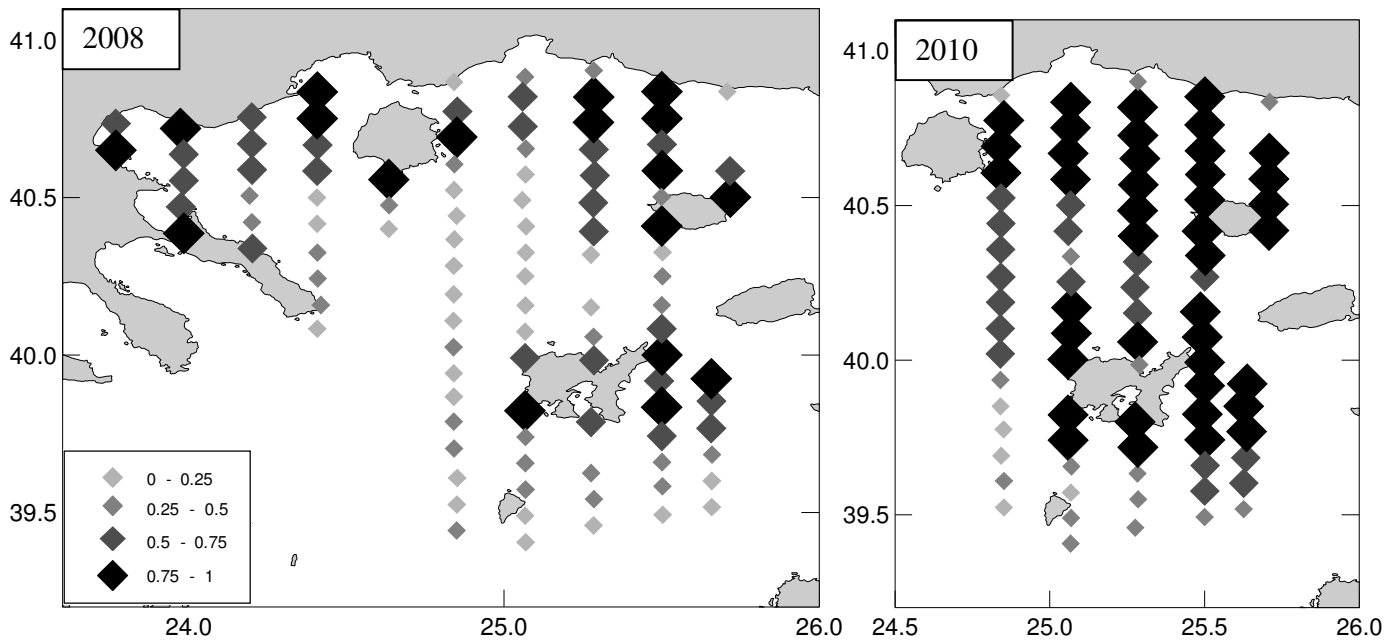


Figure 7. Habitat probability maps based on *in situ* variables. Maps indicate the probability of anchovy eggs presence based on the GAM models developed for Stratum I (StrI-July) for July 2008 and 2010. Details for the models are shown in “Results” Table 3.2.

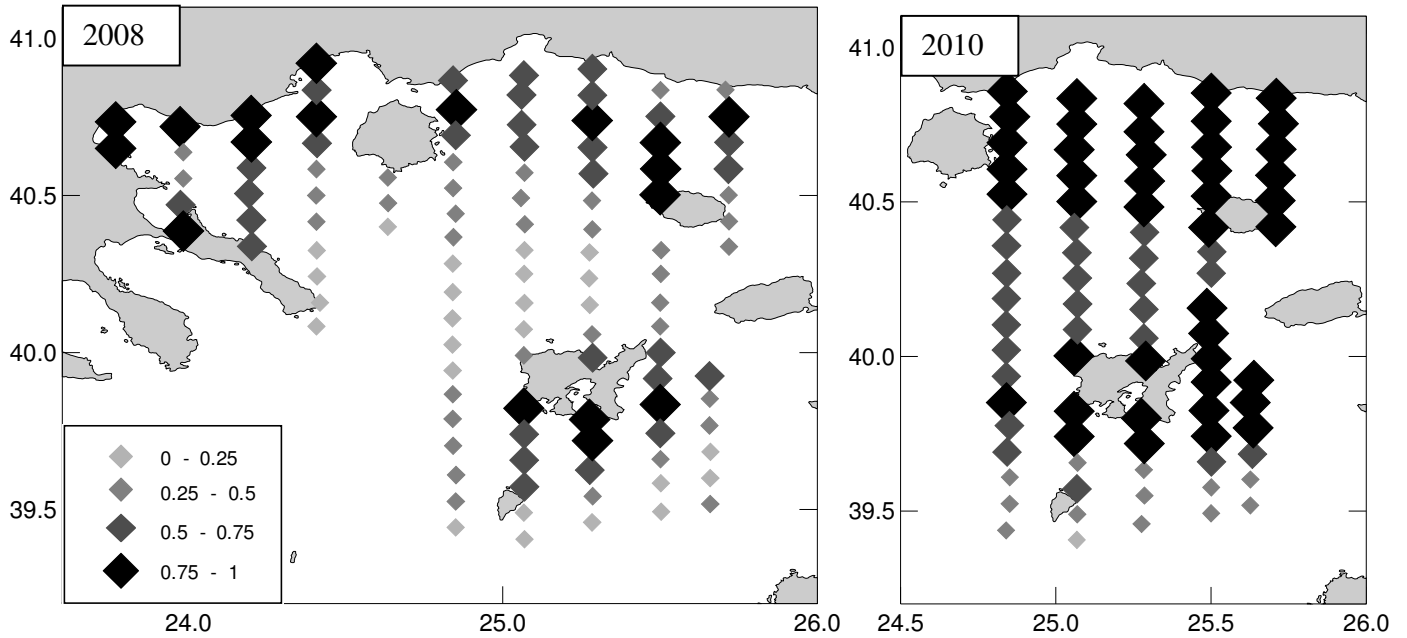


Figure 8. Habitat probability maps based on oceanographic variables. Maps indicate the probability of anchovy eggs presence based on the GAM models developed for Stratum I (StrI-July) for July 2008 and 2010. Details for the models are shown in “Results” Table 3.2.

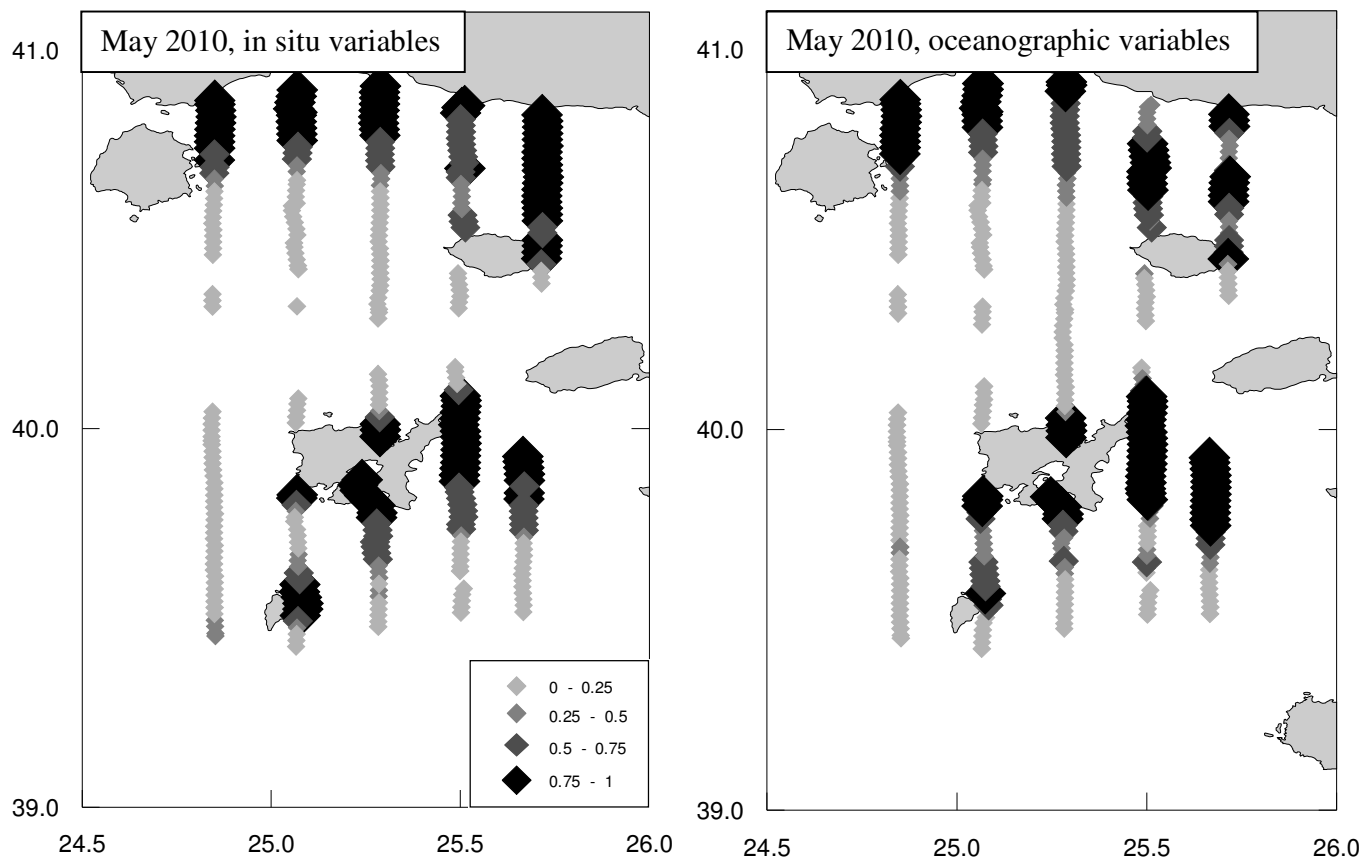


Figure 9. Habitat probability maps based on *in situ* (on the left) and oceanographic variables (on the right). Maps indicate the probability of adult anchovy schools presence based on the GAM models developed for Stratum I (StrI-May) for May 2010. Details for the models are shown in “Results” Table 3.3.

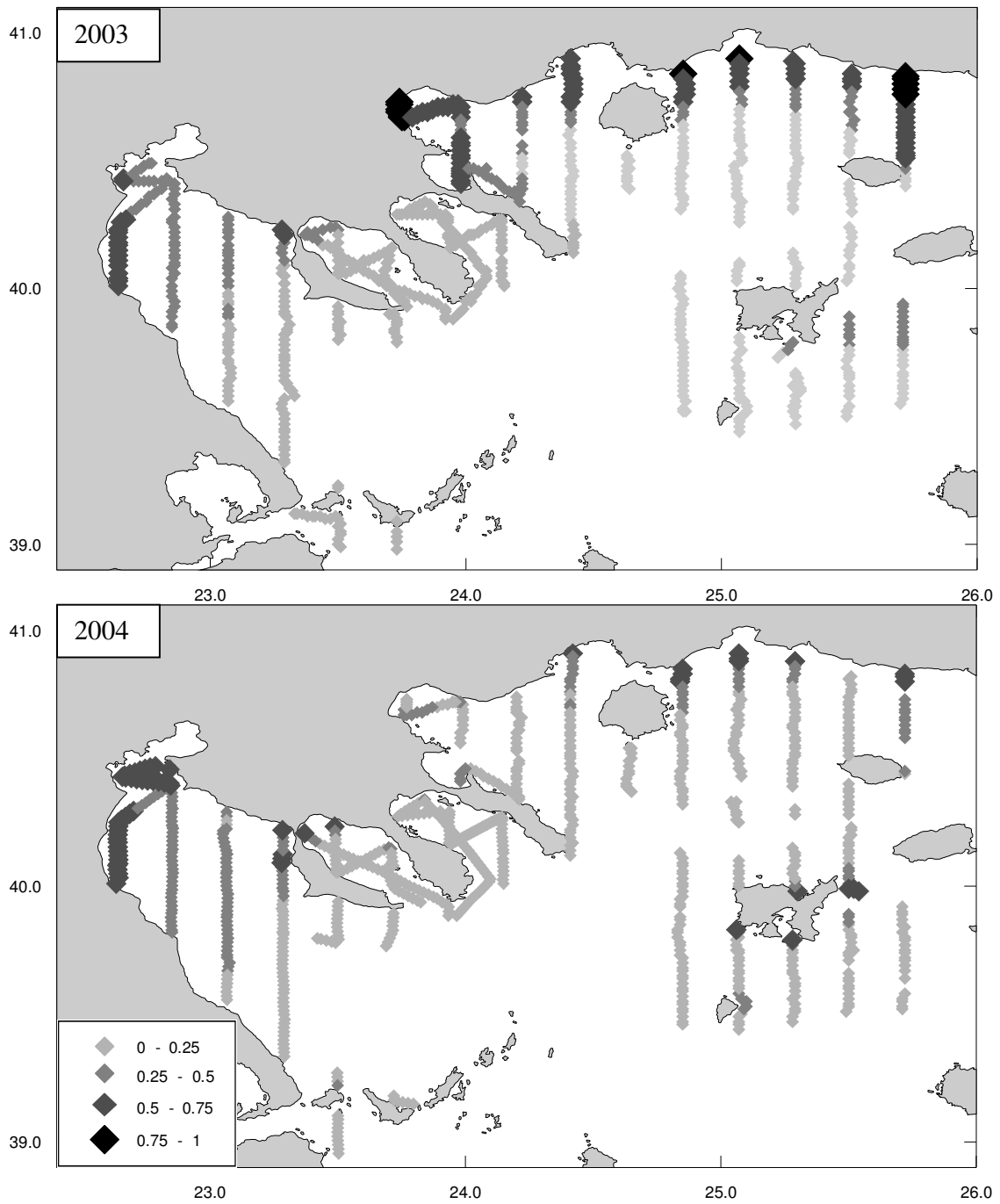


Figure 10. Habitat probability maps based on *in situ* variables. Maps indicate the probability of adult anchovy schools presence based on the GAM models developed for Stratum I (StrI-June) and 2 (StrII-June) for June 2003-2006, 2008. Details for the models are shown in “Results” Table 3.3.

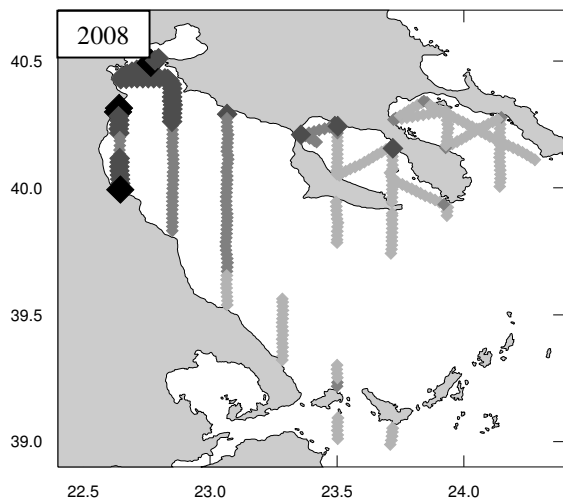
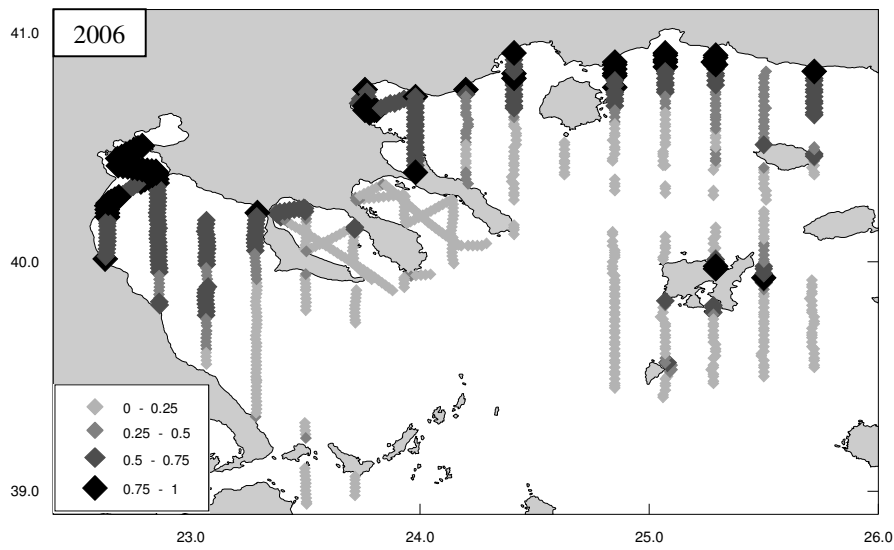
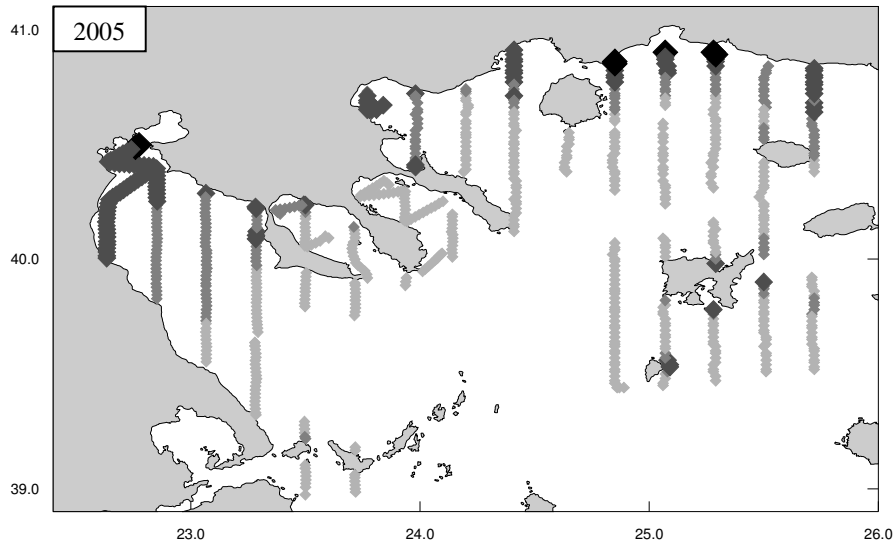


Figure 10. (continued)

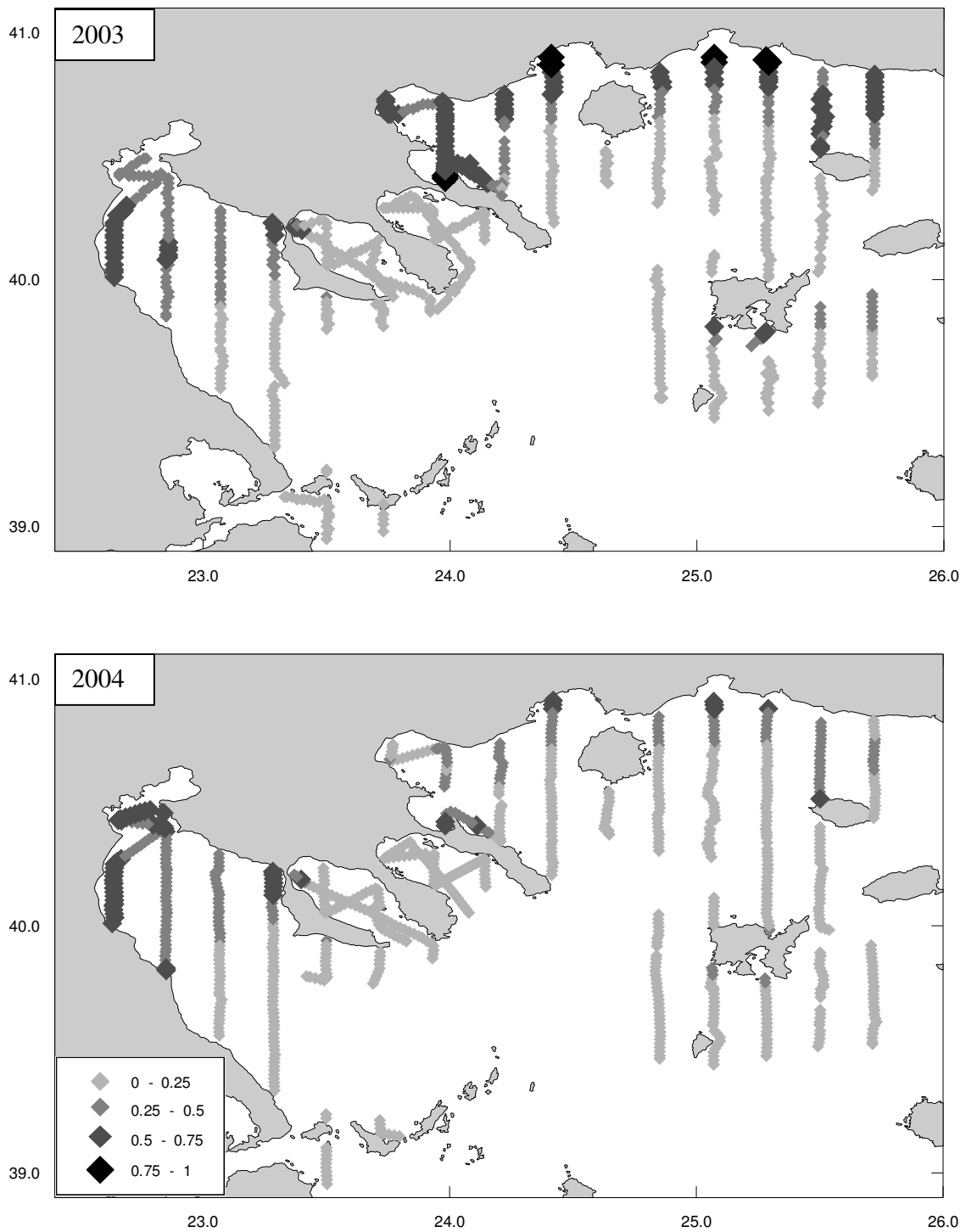


Figure 11. Habitat probability maps based on oceanographic variables. Maps indicate the probability of adult anchovy schools presence based on the GAM models developed for Stratum I (StrI-June) and 2 (StrII-June) for June 2003-2006, 2008. Details for the models are shown in “Results” Table 3.3.

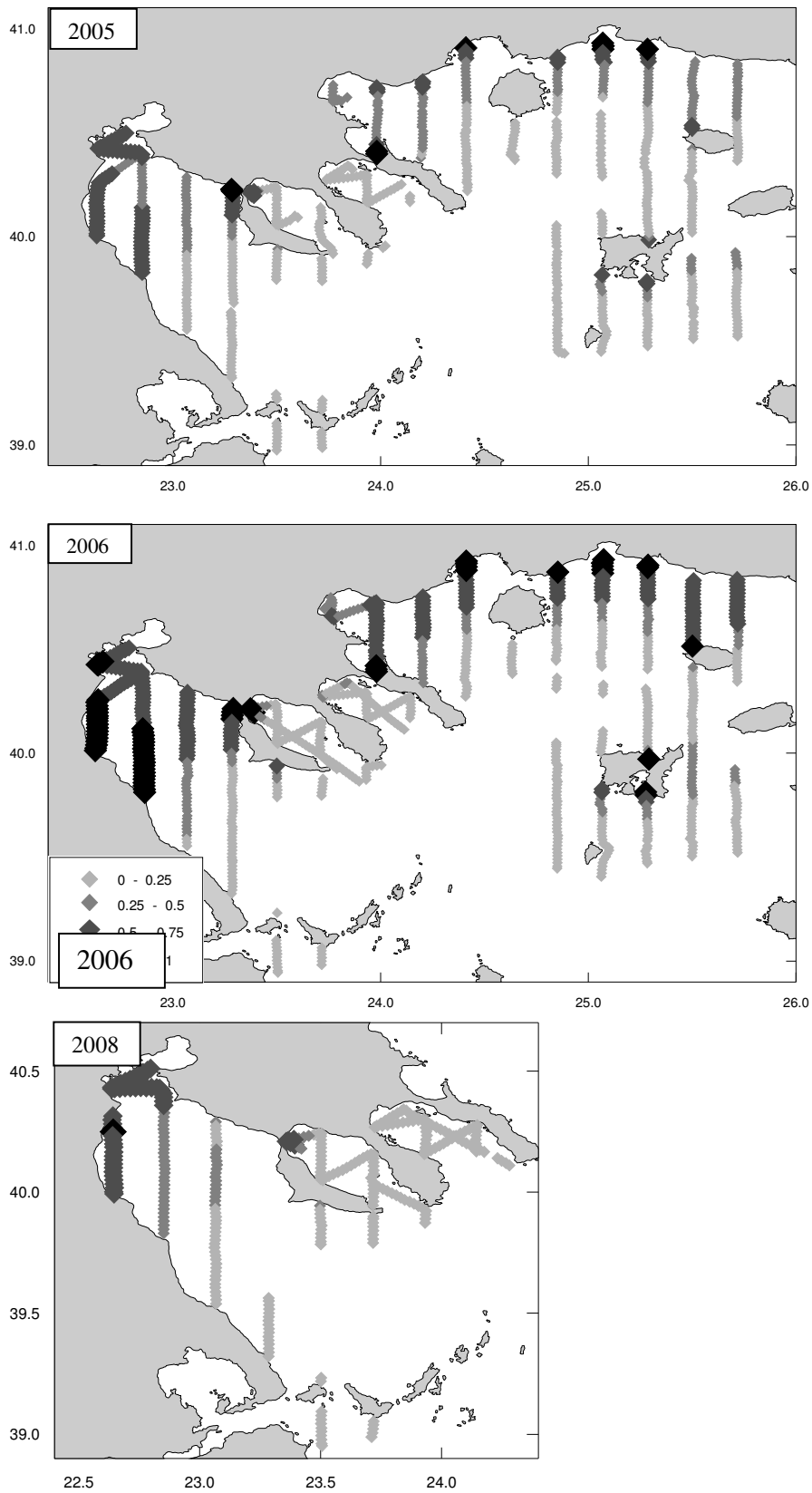


Figure 11. (continued)

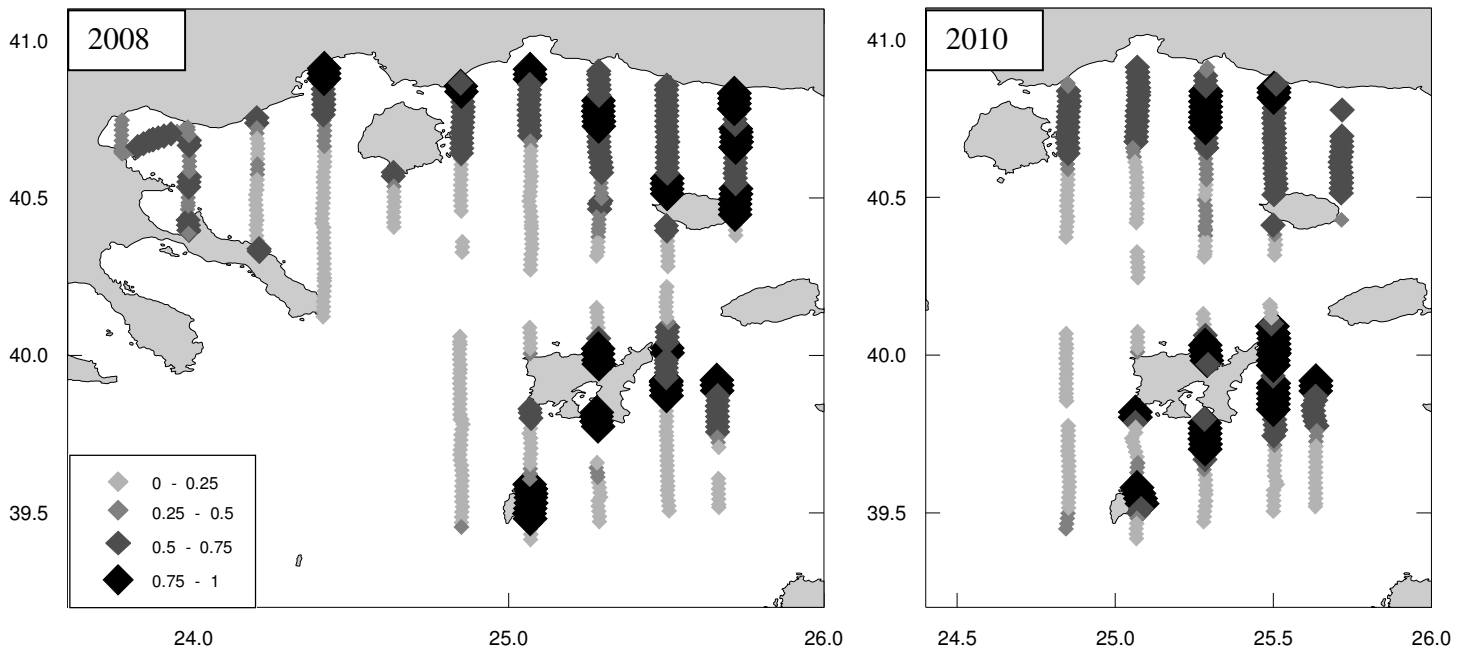


Figure 12. Habitat probability maps based on *in situ* variables. Maps indicate the probability of adult anchovy schools presence based on the GAM models developed for Stratum I (StrI-July) for July 2008 and 2010. Details for the models are shown in “Results” Table 3.3

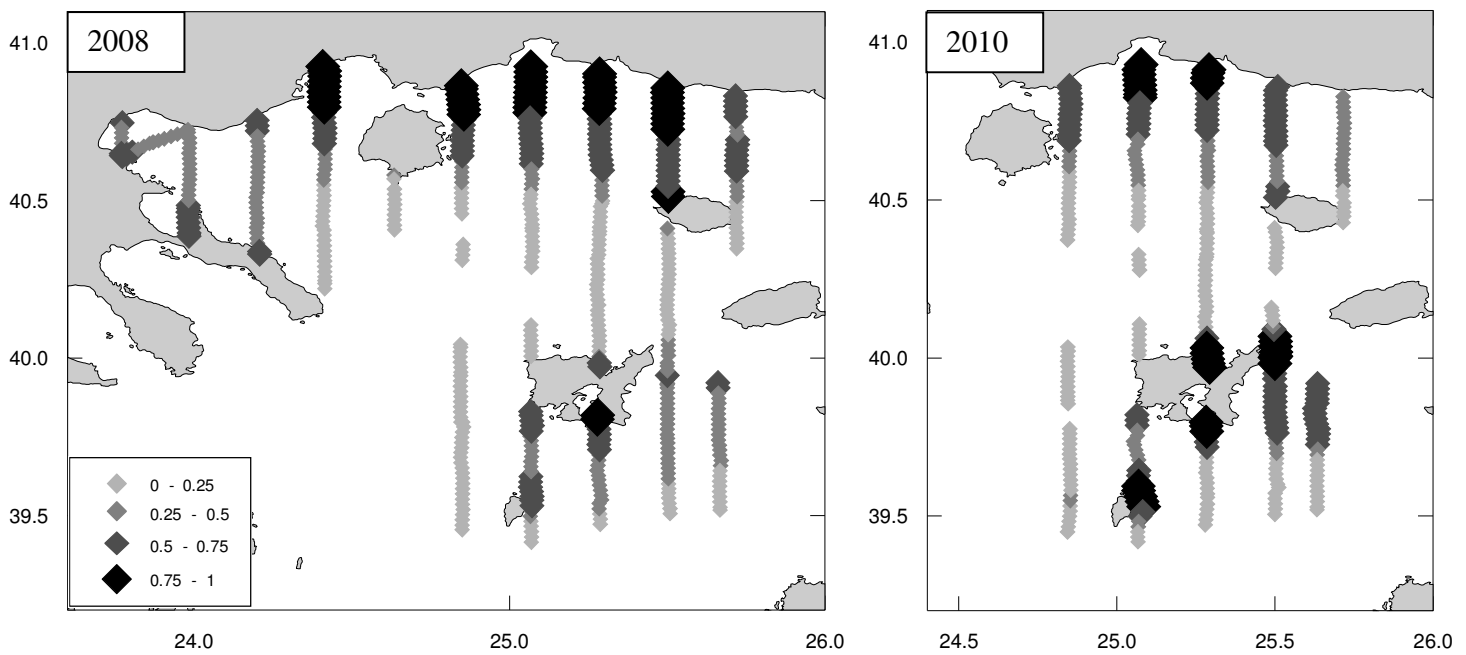


Figure 13. Habitat probability maps based on oceanographic variables. Maps indicate the probability of adult anchovy schools presence based on the GAM models developed for Stratum I (StrI-June) and 2 (StrII-June) for June 2003-2006, 2008. Details for the models are shown in “Results” Table 3.3