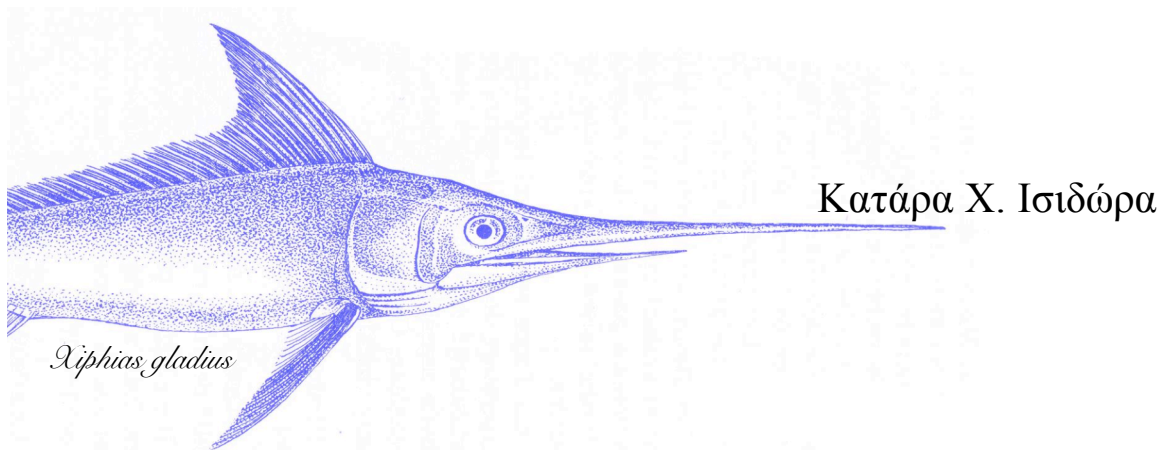
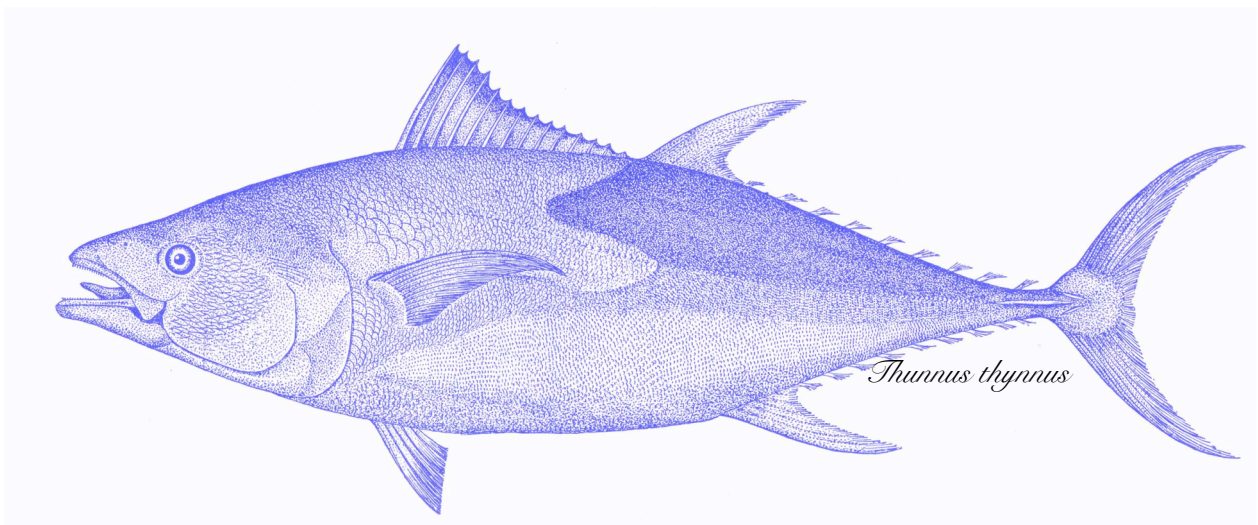


Συσχέτιση Αλιευτικών Δεδομένων Μεγάλων Πελαγικών
Ιχθύων με Περιβαλλοντικές Παραμέτρους
στην Ανατολική Μεσόγειο.



Πρόλογος

Η μελέτη που παρουσιάζεται, εκπονήθηκε στο Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών, στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος 'Περιβαλλοντική Βιολογία: Διαχείριση χερσαίων και θαλάσσιων βιολογικών πόρων', και αποτελεί το αποτέλεσμα μιας συνεργασίας ανάμεσα στο εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας και στο εργαστήριο Ιχθυολογίας.

Η ερευνητική μου προσπάθεια υποστηρίχτηκε από πολλούς ανθρώπους, τους οποίους και θα ήθελα να ευχαριστήσω. Θα ξεκινήσω με τον υπεύθυνο ερευνητή του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης και Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας, Β. Βαλαβάνη, που βρίσκεται δίπλα μου από τα πρώτα βήματά μου στο χώρο της έρευνας, υπήρξε υπομονετικός δάσκαλος και πολύτιμος συνεργάτης.

Η εργασία αυτή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς τη βοήθεια του επιβλέποντός μου από το εργαστήριο Ιχθυολογίας, Γ. Τσερπέ και της Π. Περιστεράκη, που παρείχαν όχι μόνο τα αλιευτικά δεδομένα, αλλά κυρίως τις γνώσεις και το χρόνο τους. Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στον καθηγητή Ι. Καρακάση για τις συμβουλές, το ενδιαφέρον του και την επικριτική κριτική του.

Θερμά ευχαριστώ στους καλούς μου φίλους και συνεργάτες Α. Καββαδία και Α. Παλιαλέξη, για τη βοήθεια και τη συμπαράστασή τους και σε όλα τα μέλη του εργαστηρίου Ιχθυολογίας του ΕΛΚΕΘΕ. Επίσης ευχαριστώ τους φίλους μου για την όμορφη καθημερινότητάς μας.

Θέλω τέλος να εκφράσω τη βαθιά ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου, για την υποστήριξη και τη φροντίδα που μου προσέφεραν.

Ισιδώρα Κατάρα
Ηράκλειο, Οκτώβριος 2005

Περιεχόμενα

Περίληψη -4-

1. Εισαγωγή

- 1.1 Χαρτογράφηση ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών. -6-
- 1.2 Συσχέτιση ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών και βιολογικών πόρων. -9-
- 1.3 Συσχέτιση ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών και μεγάλων πελαγικών. -11-
- 1.4 Σκοπός της παρούσας διατριβής. -13-

2. Υλικά και Μέθοδοι

- 2.1 Περιοχή Μελέτης. -14-
- 2.2 Χαρτογράφηση κατανομής των αλιευτικών δεδομένων αφθονίας. -16-
- 2.3 Αναγνώριση ωκεανογραφικών διεργασιών και συσχέτιση με την κατανομή των αλιευτικών δεδομένων αφθονίας των μεγάλων πελαγικών. -16-
- 2.4 Χαρτογράφηση Περιοχών Υψηλής Παραγωγικότητας. (*Marine Productivity Hotspots-MPH*) -17-
- 2.5 Χαρτογράφηση θερμικών μετώπων. -18-
- 2.6 Μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης.
 - 2.6.1 Συσχέτιση της αφθονίας με την παρουσία MPH και θερμικών μετώπων. -20-
 - 2.6.2 Γενικευμένα προσθετικά Μοντέλα. -20-

3. Αποτελέσματα

- 3.1 Χάρτες κατανομής των αλιευτικών δεδομένων των μεγάλων πελαγικών. *Υπέρθωση σε επίπεδα περιβαλλοντικών παραμέτρων.* -22-
- 3.2 Χάρτες συσχέτισης των αλιευτικών δεδομένων των μεγάλων πελαγικών με περιβαλλοντικές παραμέτρους. -25-
 - 3.2.1 Περιοχές υψηλής παραγωγικότητας και θερμικά μέτωπα ως τόποι συγκέντρωσης μεγάλων πελαγικών ιχθύων.
 - Ξιφίας** -27-
 - Τόνος** -29-
 - 3.2.2 Συσχέτιση της κατανομής των δεικτών αφθονίας μεγάλων πελαγικών με περιβαλλοντικές παραμέτρους με τη χρήση Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων.
 - Ξιφίας** -33-
 - Τόνος** -34-

4. Συζήτηση

- 4.1 Η κυκλοφορία στην Ανατολική Μεσόγειο όπως εμφανίζεται σε δορυφορικές εικόνες. -36-
- 4.2 Χωροχρονική κατανομή των δεδομένων αλιείας των μεγάλων πελαγικών σε σχέση με περιβαλλοντικούς παράγοντες και ωκεανογραφικές διεργασίες.
 - Ξιφίας** -40-
 - Τόνος** -44-
- 4.3 Η αναπαραγωγή των μεγάλων πελαγικών στην Ανατολική Μεσόγειο.
 - Ξιφίας** -48-
 - Τόνος** -50-
- 4.4 Συμπεράσματα. -52-

5. Βιβλιογραφία. -54-

6. Παραρτήματα.
Παράρτημα 1.

Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα-Ξιφίας.	-65-
Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα-Τόνος.	-68-
Παράρτημα 2.	-72-

Abstract

A series of satellite images on sea surface temperature distribution and chlorophyll a concentration, processed under a Geographic Information Systems, were used for the study of the relationship between the spatiotemporal behaviour of large pelagic fish, as revealed from fisheries data for swordfish and tuna, and their environment, as described from the identification of oceanographic features and the calculation of spatial and environmental characteristics.

Tuna and swordfish abundance distribution, as derived from fishery data, was placed near productive gyres, transient eddies, large-scale thermal fronts and along warm surface currents, such as the Levantine Intermediate Water. High abundance values were observed in areas of high primary productivity, characterized by mesoscale oceanographic features and mapped with GIS methods. The studied species seem to aggregate near upwellings, thermal fronts and gyres. The nature of the relationship of large pelagic fish and mesoscale productive features could not be determined, either due to the low spatial analysis of the fishery data, or because large predators can not be directly linked to primary productivity (Schick *et al.*, 2004).

The relationship between abundance index and statistical values of environmental (sea surface temperature and chlorophyll concentration) and spatial parameters, was studied by developing Generalized Additive Models (GAMs), as this statistical method can describe non linear relationships. Sea surface temperature was proven to be the most significant of the environmental parameters that were calculated. The optimum surface temperature for the aggregation of swordfish during the reproduction period is 24⁰C and 22⁰C for tuna. During the pro- and post reproduction periods low temperatures, indicative of upwelling or front presence, seem to favour tuna and swordfish accumulation. The temperature values, as derived from the GAMs, were used for the mapping of potential reproductive zones in the eastern Mediterranean.

Περίληψη

Δορυφορικές εικόνες κατανομής επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και συγκέντρωσης χλωροφύλλης και μέθοδοι, που αναπτύχθηκαν σε Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας, χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση των σχέσεων των αλιευτικών δεδομένων μεγάλων πελαγικών ιχθύων, τόνου και ξιφία, με το περιβάλλον και πιο συγκεκριμένα με ωκεανογραφικές διεργασίες και τις κινήσεις των ειδών αυτών στο χώρο και το χρόνο.

Η αλιεία των μεγάλων πελαγικών ιχθύων, όπως προκύπτει από τα υπάρχοντα δεδομένα, τοποθετείται κοντά σε παραγωγικούς κυκλώνες, σε παροδικούς στροβίλους, σε θερμικά μέτωπα μεγάλης χωρικής κλίμακας και κατά μήκος θερμών επιφανειακών ρευμάτων όπως το Levantine Intermediate Water. Μεγάλες τιμές αφθονίας παρατηρούνται σε περιοχές μεγάλης πρωτογενούς παραγωγικότητας, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μέσης χωρικής κλίμακας ωκεανογραφικές διαδικασίες και χαρτογραφούνται με GIS μεθόδους. Τα υπό μελέτη είδη συγκεντρώνονται σε περιοχές αναβλύσεων, θερμικών μετώπων και στροβίλων, όμως η φύση της σχέσης της κατανομής τους με τα θερμικά μέτωπα δεν καθορίστηκε, είτε λόγω της χαμηλής χωρικής ανάλυσης των αλιευτικών δεδομένων, είτε επειδή οι μεγάλοι αυτοί θηρευτές δεν συνδέονται άμεσα με την πρωτογενή παραγωγικότητα αλλά μέσω πολλαπλών επιπέδων της τροφικής αλυσίδας (Schick *et al.*, 2004).

Οι σχέση των δεικτών αφθονίας με τις στατιστικές τιμές περιβαλλοντικών παραγόντων και χωρικών παραμέτρων μελετήθηκε με τη βοήθεια Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων, εξαιτίας της μη γραμμικής συσχέτισής τους. Από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που μελετήθηκαν η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία αποδείχθηκε στατιστικά σημαντική. Οι 24°C αναδείχθηκαν ως η βέλτιστη επιφανειακή θερμοκρασία συγκέντρωσης του ξιφία την περίοδο ωτοκίας και αντιστοίχως οι 22°C για τον τόνο. Τις περιόδους πριν και μετά την ωτοκία, οι χαμηλές θερμοκρασίες επίσης φαίνονται να ευνοούν την συγκέντρωση τόνου και ξιφία, επειδή πιθανόν πρόκειται για περιοχές αναβλύσεων και θερμικών μετώπων. Οι τιμές που προέκυψαν από τα GAMs χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση δυνητικών περιοχών ωτοκίας στην Ανατολική Μεσόγειο.

1. Εισαγωγή

1.1 Χαρτογράφηση ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών.

Τα θαλάσσια οικοσυστήματα τροφοδοτούνται με θρεπτικά που είτε προέρχονται από χερσαίες εισροές είτε ανακυκλώνονται στην επιφάνεια της εύφωτης ζώνης με την εισροή τους από μέσες και βαθιές υδάτινες μάζες. Διαδικασίες μετακίνησης πλούσιων σε θρεπτικά υδάτων προς την εύφωτη ζώνη, καθώς και φαινόμενα διατήρησης θρεπτικών στοιχείων και φυτικών οργανισμών στην επιφάνεια της θάλασσας επιδρούν στην κατανομή της πρωτογενούς παραγωγικότητας.

Οι περιοχές αναβλύσεων, οι οποίες αποτελούν το 0.1% της επιφάνειας του ωκεανού, συγκεντρώνουν το 50% της παγκόσμιας αλιευτικής παραγωγής (Valavanis, 2002). Εκτός των επτά κύριων περιοχών ανάβλυσης, που κατανέμονται σε διάφορες περιοχές του κόσμου, και άλλα μέρη των ωκεανών χαρακτηρίζονται από τοπικές αναβλύσεις, που εμφανίζονται κοντά στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα και καθορίζουν τη δυναμική της παραγωγικότητας καθώς και την αλιευτική δραστηριότητα. Οι αναβλύσεις παρακολουθούνται σε πολλές περιοχές του κόσμου. Το Περιβαλλοντικό Εργαστήριο για την Αλιεία του Ειρηνικού του NOAA (Pacific Fisheries Environmental Laboratory-PFEL) έχει δημιουργήσει δείκτες έντασης των παράκτιων αναβλύσεων, βασιζόμενοι σε πεδία επιφανειακής ατμοσφαιρικής πίεσης.

Οι ανωμαλίες επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας (Sea Surface Temperature-SST) αποτελούν ένα ευρέως αποδεκτό παράγοντα για πολλά ωκεανογραφικά, ατμοσφαιρικά και μετεωρολογικά φαινόμενα. Χωροταξικά μεγάλες ατμοσφαιρικές και ωκεανογραφικές διεργασίες όπως τα *El Nino*, *La Nina* και *North Atlantic Oscillation* (NAO) αποτελούν ένα φυσιολογικό τμήμα της συμπεριφοράς των SST ανωμαλιών (Philander, 1990; Ottersen *et al.*, 2001).

Μεταβολές των αέριων μαζών συχνά αποδίδονται σε SST ανωμαλίες, ιδιαίτερα σε παράκτιες περιοχές που χαρακτηρίζονται από επίμονες, συνεχείς θαλάσσιες αναβλύσεις που προκαλούνται από τον άνεμο. Οι αντίθετες επιρροές των ταυτόχρονων μεταβολών του ανέμου και των SST ανωμαλιών με βίαιες διακυμάνσεις καθορίζουν την κυκλοφορία που ονομάζεται μουςώνας (Konda *et al.*, 1996). Το Εργαστήριο Παρακολούθησης των Παράκτιων Ωκεανών (Coastal Ocean Observation Lab) του Πανεπιστημίου Rutgers μελετά την ανάβλυση στις ακτές του New Jersey, με τη χρήση CTD (Conductivity/Temperature/Depth), μετρήσεις της έντασης του ανέμου και δορυφορικές εικόνες SST. Οι Solanki *et al.* (1998) χρησιμοποίησαν AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) SST εικόνες για τη μελέτη των χαρακτηριστικών της διαδικασίας ανάβλυσης στην Αραβική θάλασσα, ενώ οι Li & Shao (1998) πρότειναν ένα GIS μοντέλο εκτίμησης της πρωτογενούς παραγωγικότητας βασιζόμενοι στη συγκέντρωση χλωροφύλλης. Για την απεικόνιση και μελέτη της δυναμικής και της χωρικής δομής των αναβλύσεων, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι συνδυασμού μετρήσεων CTD και βαθυμετρίας (Su & Sheng, 1999), διανυσματικής ανάλυσης σε δορυφορικές εικόνες SST και συγκέντρωσης

χλωροφύλλης (CHL) (Valavanis *et al.*,1999) και δημιουργίας δεικτών έντασης, που αφορούν σε διαφορές SST όπως προκύπτουν από υπέρυθρες εικόνες (Demarcq & Faure,2000).

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές προσπάθειες κατανόησης της αλληλεπίδρασης και των δεσμών μεταξύ φυσικών φαινομένων, βιολογικών διαδικασιών αναπαραγωγής και αλιευτικών αποθεμάτων. Χρονιές με μεγάλους πληθυσμούς της ρέγκας του Ειρηνικού στα Ιαπωνικά νερά συμπίπτουν με περιόδους χαμηλών έως κοντά στο μέσο όρο SST ενώ τα αλιευτικά αποθέματα υπήρξαν φτωχά σε περιόδους υψηλών SST. Ισχυρές χωρικές σχέσεις μεταξύ αλιευτικών αποθεμάτων κεφαλόποδων και SST ανωμαλιών έχουν επίσης παρατηρηθεί στην ΝΑ Μεσόγειο, όπου τα μεγάλα αλιευτικά αποθέματα συμπίπτουν με τα όρια SST ανωμαλιών που είναι ενδεικτικά των SST μετώπων ή αναβλύσεων.

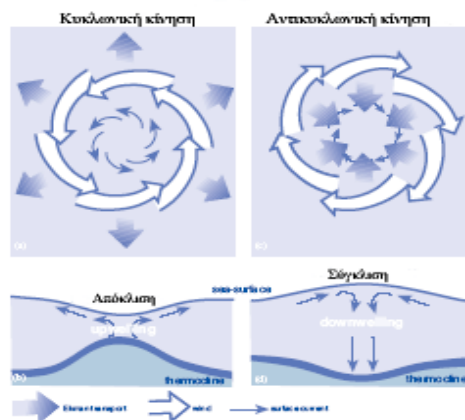
Ως πρωτογενείς παραγωγοί τα διάτομα (που μετριοούνται δορυφορικά από τον σένσορα SeaWiFS) θεωρούνται η βασική πηγή τροφής των περισσότερων οικονομικά σημαντικών ειδών ιχθύων. Γεγονότα που συμβαίνουν στη στήλη του νερού και αυξάνουν την παραγωγή διατόμων και συνεπώς ιχθύων, αρχικά περιγράφηκαν σε σχέση με την αύξηση του πλαγκτόν σε νερά της εύκρατης ζώνης (Sverdrup, 1953), στις εκβολές ποταμών (Cury & Roy, 1989), σε παράκτια συστήματα αναβλύσεων (Cushing, 1989), και σε παλιρροιακά μέτωπα (Ware & Thomson, 1991).

Τα ωκεάνια μέτωπα είναι περιοχές ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, γιατί συνεισφέρουν στη συνεχή ανάμειξη των θρεπτικών στους ωκεανούς. Τα συστήματα αυτά τείνουν να δημιουργούν ζώνες σύγκλισης διαφορετικών υδάτινων μαζών, όπου συγκεντρώνονται πλαγκτονικοί οργανισμοί (Franks, 1992). Αυτή η συσσώρευση επηρεάζει και την κατανομή δευτερογενών παραγωγών και πελαγικών θηρευτών.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δυο δεκαετιών η χρήση δορυφορικών περιβαλλοντικών δεδομένων παρέχει νέες δυνατότητες στην μελέτη των χαρακτηριστικών των ωκεάνιων μετώπων. Μέσω των δορυφορικών δεδομένων το στίγμα των μετώπων είναι πλέον αναγνωρίσιμο, σε διαβαθμίσεις της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας (SST), στο ύψος και σε εικόνες χρώματος της επιφάνειας της θάλασσας (Belkin, 2002; Legeckis, 2002). Σε πολλές μελέτες έχουν χρησιμοποιηθεί χρονοσειρές δορυφορικών δεδομένων για την αναγνώριση και χαρτογράφηση των ωκεάνιων μετώπων σε διάφορες περιοχές του κόσμου (Cayula & Cornillon, 1992; Cayula & Cornillon, 1995; Belkin & Gordon, 1996; Ferrier & Anderson, 1997; Bonatti & Rao, 1999; Bulgakov *et al.*, 1999; Ullman & Cornillon, 1999; Hickox *et al.*, 2000; Piola *et al.*, 2000; Mavor & Bisagni, 2001; Mitchelson-Jacob & Sundby, 2001; Ullman & Cornillon, 2001; Wang *et al.*, 2001; Moore & Abbott, 2002; Valavanis, 2002; Hardman-Mountford & Glade, 2003; Acha *et al.*, 2004; Kostianoy *et al.*, 2004; Miller, 2004). Στην λεκάνη της Δυτικής Μεσογείου πολλοί ερευνητές έχουν αναφέρει σχέσεις μεταξύ φυσικών και βιολογικών αλληλεπιδράσεων σε ωκεάνια μέτωπα (Allen *et al.*, 2001; Fielding *et al.*, 2001; L'Helguen *et al.*, 2002; Sabates *et al.*, 2004), ενώ στην Κεντρική και Ανατολική Μεσόγειο, οι πληροφορίες για την εμφάνιση μετώπων προέρχεται κυρίως από μελέτες άλλων ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών (Feliks & Ghil, 1993; Borzelli & Ligi, 1999; Velegrakis *et al.*, 1999; Nardelli *et al.*, 2001; Valavanis *et al.*, 2004).

Οι Ullman και Cornillon (2000) πραγματοποίησαν μια αποτίμηση των δυο κύριων μεθόδων χρήσης δορυφορικών δεδομένων για την αυτοματοποιημένη ανίχνευση ορίων μεταξύ των υδάτινων μαζών (ωκεάνια μέτωπα), το ιστόγραμμα και τις μεθόδους που στηρίζονται σε αλγορίθμους ανίχνευσης διαβαθμίσεων, και ανέφεραν ότι τα ποσοστά λάθους που οφείλονται σε ανικανότητα ανίχνευσης ενός μετώπου εξαρτώνται από την επιλογή της οριακής τιμής (threshold value) καθώς και την χωρική κλίμακα των μετώπων. Πρότειναν τις κλιματολογίες των μετώπων, που αναπτύσσονται μέσω της εφαρμογής αυτοματοποιημένων μεθόδων ανίχνευσης ορίων σε μεγάλες χρονοσειρές SST εικόνων, ως μια μέθοδο που παρέχει μια στατιστικά ακριβή εικόνα εμφάνισης των ωκεάνιων μετώπων. Από την άλλη πλευρά οι Shaw και Vennell (2000) προτείνουν την εφαρμογή ενός αλγόριθμου που ‘ακολουθεί’ το μέτωπο, στις χρονοσειρές SST εικόνων και ενσωματώνει φυσικές παραμέτρους των μετώπων, οι οποίες δεν περιλαμβάνονται στις μεθόδους ανίχνευσης ορίων, όπως μέση θερμοκρασία, πλάτος και διαφορά θερμοκρασίας κατά μήκος του μετώπου. Ο αλγόριθμος αυτός βρήκε επιτυχή εφαρμογή στη χαρτογράφηση του μόνιμου Υποτροπικού Μετώπου στο Νοτιοδυτικό Ειρηνικό ωκεανό (Shaw and Vennell, 2001).

Η εξαγωγή ανωμαλιών στην κατανομή της SST (ή της συγκέντρωσης CHL) αποτελεί μια ακόμα μέθοδο χαρτογράφησης ωκεάνιων μετώπων. Η χωρική και χρονική έκταση των ορίων τέτοιων ανωμαλιών αποτελούν καλούς δείκτες μόνιμων συστημάτων μετώπων. Περιοχές μόνιμων ανωμαλιών υποδεικνύουν θέσεις ωκεάνιων μετώπων. (Valavanis,2002).



Εικόνα 1 Σχηματική απεικόνιση κυκλωνικών και αντικυκλωνικών κινήσεων, και φαινομένων σύγκλισης και απόκλισης (Ocean circulation Open University Course Team).

Η κυκλοφορία σε κλίμακα λεκάνης περιλαμβάνει μεγάλους ωκεάνιους στροβίλους, που χαρακτηρίζονται ως κυκλώνες ή αντικυκλώνες, ανάλογα με την κατεύθυνση κίνησής τους (Εικόνα1). Οι αντικυκλώνες μπορούν να θεωρηθούν ως ένας τύπος ανάβλυσης, χαρακτηρίζονται από ψυχρότερα επιφανειακά ύδατα και μπορούν να αναγνωριστούν σε εικόνες AVHRR SST εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας με τις παρακείμενες περιοχές. Τα φαινόμενα αυτά υποκινούνται από πολύπλοκα πρότυπα ρευμάτων ανέμου και θάλασσας, με την τοπογραφία του βυθού να παίζει σημαντικό ρόλο.

Η παρακολούθηση της δραστηριότητας των στροβίλων στους ωκεανούς αποκαλύπτει επιφανειακά γεωστροφικά ρεύματα, την εποχικότητα της συγκέντρωσης CHL και εποχικά πεδία τροφοληψίας ιχθύων στην ανοιχτή θάλασσα. Ο Thorpe (1998) συνέθεσε τη 40ετή γνώση για τους ωκεανούς, όπως προέκυψε κυρίως από παρατηρήσεις του στροβιλισμού στους στρωματοποιημένους και κινούμενους ωκεανούς από το 1960, όπως αποκαλύπτονταν από ελευθέρως επιπλέοντες πλωτήρες. Οι Sharma *et al.* (1999) αναγνώρισαν θαλάσσιες περιοχές υψηλής ενέργειας, σε δεδομένα αλτιμετρίας στην Αραβική θάλασσα και στον Κόλπο της Βεγγάλης. Ο Karl (1999) χρησιμοποίησε δεκαετείς χρονοσειρές ωκεανογραφικών δεδομένων για την μελέτη των φυσικών και ωκεανογραφικών διαδικασιών στον Υποτροπικό Στρόβιλο του Βόρειου Ειρηνικού.

Οι Dijkstra και Molemaker (1999) μελέτησαν στροβίλους στον Βόρειο Ατλαντικό, προσδιορίζοντας τη δομή των λύσεων βαροτροπικών ωκεάνιων μοντέλων. Οι Napolitano *et al.* (2000) χρησιμοποίησαν ένα διπτό φυσικό και βιολογικό μοντέλο για τη μελέτη της βιολογικής παραγωγής των στροβίλων της Ρόδου και της δυτικής λεκάνης του Ιονίου. Οι Drakopoulos *et al.* (2000) χρησιμοποίησαν το GIS για τη χαρτογράφηση ενός εποχικού στροβίλου στη βορειοανατολική Μεσόγειο, ενώ οι Valavanis *et al.* (2000) ανέπτυξαν μια GIS εφαρμογή για τη μελέτη των ποσοτικών χαρακτηριστικών του στροβίλου της Δυτικής Κρήτης. Οι Harrison *et al.* (2001) χρησιμοποίησαν δεδομένα ωκεανογραφικών ερευνών για την περιγραφή των ανώτερων στρωμάτων της στήλης του ύδατος του υποτροπικού στροβίλου και των παρακείμενων υδάτινων μαζών στο βόρειο Ατλαντικό.

1.2 Συσχέτιση ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών και βιολογικών πόρων.

Την τελευταία δεκαετία έχει υπάρξει μεγάλη ερευνητική προσπάθεια για την κατανόηση της χωρικής δυναμικής των πληθυσμών θαλάσσιων οργανισμών σε σχέση με το περιβάλλον τους, την αναγνώριση ενδiciaτημάτων σημαντικών στον κύκλο ζωής των ειδών και την εφαρμογή της ιδέας της δυναμικότητας του θαλάσσιου περιβάλλοντος στη διαχείρισή του.

Ως συμπέρασμα από το Πρώτο Διεθνές Συμπόσιο για το GIS στην Επιστήμη της Αλιείας, ο Meaden (2000) κατέγραψε τις κύριες θεματικές περιοχές στις οποίες χρησιμοποιείται το GIS. Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν τη διαχείριση δεδομένων αλιευτικών δεδομένων και αλιευτικής προσπάθειας, την εγκαθίδρυση και παρακολούθηση EFH (essential fish habitat) και θαλάσσιων προστατευόμενων περιοχών, τη διαχείριση και παρακολούθηση προγραμμάτων αύξησης των αποθεμάτων, την εκτίμηση της επίδρασης της αλιείας με τράτα, την τοποθέτηση ιχθυοκαλλιεργειών και μελέτες επίδρασης, παρακολούθηση και μοντελοποίηση των αλιευτικών αποθεμάτων και τα επιτρεπόμενα ποσοστά αλιευτικών δεδομένων.

Το GIS χρησιμοποιείται ποικιλοτρόπως σε αλιευτικές μελέτες. Οι Kieser *et al.* (1995) επισημαίνουν τη δυνατότητα απεικόνισης ακουστικών αλιευτικών δεδομένων σε συνδυασμό με περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Οι Caddy *et al.* (1995) συσχέτισαν τις τάσεις της αλιευτικής παραγωγής στη Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα, για τη περίοδο 1970-1989, με ανθρώπινες δραστηριότητες που

επιδρούν στο θαλάσσιο περιβάλλον και με την εισροή θρεπτικών, διαιρώντας τις αντίστοιχες λεκάνες σε στατιστικές περιοχές, όπως αυτές καθορίστηκαν από το Γενικό Συμβούλιο Αλιείας της Μεσογείου (General Fisheries Council for the Mediterranean-GFCM). Ο Meaden (1996a,b) σκιαγράφησε το LIBFISH, μια πρωτοβουλία για τη διαχείριση της θαλάσσιας αλιείας της Λιβύης, συγκεντρώνοντας πληροφορία για τις συνθήκες του θαλάσσιου ύδατος, τα υπάρχοντα ενδιαίτηματα, τους φυσικούς θαλάσσιους πόρους, τις διαχειριστικές πρακτικές και τους κανόνες που διέπουν την αλιεία, την αλιευτική προσπάθεια και την παραγωγή, την αγοραστική ζήτηση των θαλάσσιων πόρων, τις υδατοκαλλιέργειες και το παράκτιο περιβάλλον

Ο Booth (1998) χρησιμοποίησε το GIS για τον εντοπισμό ιδανικών περιοχών αλιείας τελεόστεων στην Νότια Αφρική. Αλιευτικά δεδομένα, βαθυμετρία, θερμοκρασία βυθού και συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου χρησιμοποιήθηκαν για την διερεύνηση των ενδιαιτημάτων των ειδών.

Το 1999 η Εθνική Υπηρεσία Θαλάσσιας Αλιείας του NOAA (NOAA's National Marine Fisheries Service-NMFS) ανέπτυξε μια εφαρμογή GIS για σχεδόν σύγχρονη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων για τη διαχείριση της αλιείας στον κόλπο του Μεξικού (Leming *et al.*, 1999). Το σύστημα ενσωματώνει εικόνες AVHRR/SST και SeaWiFS/CHL και στατιστικά δεδομένα για γαρίδες. Οι Xavier *et al.* (1999) περιέγραψαν τη γεωγραφική κατανομή 21 ειδών κεφαλοπόδων στην Ανταρκτική, συνδυάζοντας την τοποθεσία και τα αλιεύματα 2497 ερευνητικών ταξιδιών σε περίοδο 100 ετών με τη βαθυμετρία, τη έκταση των πάγων και τα ωκεάνια μέτωπα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα μορφολογικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν την κατανομή.

Οι Ault *et al.* (1999) ανέπτυξαν ένα γενικευμένο, χωρικό, ηλικιακά δομημένο, πολυειδικό μοντέλο παραγωγής, το οποίο αναγνωρίζει τις κινήσεις των ζώων, βασιζόμενο σε ευνοϊκά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος και των ενδιαιτημάτων. Οι Ward *et al.* (1999) ερμήνευσαν αεροφωτογραφίες και υπάρχοντες χάρτες ενδιαιτημάτων για τη δημιουργία δεικτών συνάθροισης από δεδομένα ερευνών για 977 είδη και την παραγωγή χαρτών ταξινόμησης των συναθροίσεων φυτών, ιχθύων και ασπόνδυλων. Οι Rubec *et al.* (2000) διέκριναν τέσσερις ζώνες αφθονίας κατά μήκος περιβαλλοντικών διαβαθμίσεων και ενδιαιτημάτων (θερμοκρασία, αλατότητα, βάθος και υπόστρωμα), όσον αφορά στην αλιεία στον κόλπο Tampa και το λιμάνι Charlotte. Η υπέρθεση αλιευτικών δεδομένων ανέδειξε τις σχέσεις μεταξύ των αλιευτικών δεδομένων και των ζωνών ενδιαιτημάτων καθώς και την εποχική μεταβολή των τιμών αφθονίας ανάμεσα σε διαφορετικά συστήματα εκβολών ποταμών.

Οι Brown *et al.* (2000) διέκριναν την ποιότητα των ενδιαιτημάτων για οκτώ είδη ιχθύων και ασπόνδυλων στους κόλπους Casco και Sheepscot, σε μια προσπάθεια απόκρισης στις αυξανόμενες διαχειριστικές ανάγκες, οι οποίες περιλαμβάνουν χάρτες ειδών και ενδιαιτημάτων καθώς και ανάλυση EFH. Οι McConnaughey και Smith (2000) μελέτησαν τις χωρικές σχέσεις μεταξύ της αφθονίας πλατύσαρων και επιφανειακών ίζημάτων στην ανατολική θάλασσα Bering, αναδεικνύοντας το γεγονός ότι οι ιδιότητες των ενδιαιτημάτων επιδρούν στην κατανομή των βενθικών θηραμάτων. Δείκτες βιολογικά σημαντικών ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών αναπτύχθηκαν από τους Polovina και Howell (2005) με τη χρήση δεδομένων αλιμετρίας, συγκέντρωσης χλωροφύλλης και επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας.

Οι Pauly *et al.* (2000) προτείνουν ότι το σύστημα ταξινόμησης των θαλάσσιων οικοσυστημάτων που αναπτύχθηκε από τους Platt και Sathyendranath (1988,1999), εφαρμόστηκε από τον Longhurst (1998) και προσδιορίζεται μέσω φυσικών παραμέτρων. Οι Valavanis *et al.* (2001) ενσωμάτωσαν κύριες αλιευτικές περιοχές κεφαλοπόδων, κατανομή SST, αλατότητας και συγκέντρωσης CHL για να χαρτογραφήσουν τα ενδιαιτήματα των κεφαλοπόδων στην βορειοανατολική Μεσόγειο. Ως περιοριστικοί παράμετροι του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του κύκλου ζωής 5 ειδών κεφαλόποδων.

Η Μεσόγειος είναι γενικά μια ολιγότροφη θάλασσα. Παρόλη τη σχετικά χαμηλή μέση πρωτογενή παραγωγικότητα, τα αλιεύματα των ιχθύων στη Μεσόγειο είναι ασυνήθιστα υψηλά και εμφανίζουν μια αυξητική ή σταθερή τάση τα τελευταία 20 έτη, παρά την αυξανόμενη αλιευτική θνησιμότητα (Estrada, 1996). Η δυναμική των ιχθυοπληθυσμών ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από τη στρατολόγηση (δηλαδή την αμιγή αναπαραγωγική επιτυχία). Μια ιδέα που έχει πρόσφατα ανακύψει είναι αυτή των 'ωκεάνιων τριάδων'. Μια σειρά συγκριτικών μελετών της κλιματολογίας και γεωγραφίας γνωστών πεδίων ωοτοκίας (Parrish *et al.*, 1983; Cury & Roy, 1989; Bakun & Parrish, 1990,1991; Bakun, 1998; Durand *et al.*, 1998) παρείχαν τη δυνατότητα αναγνώρισης τριών κυρίως τάξεων φυσικών διεργασιών που συνδυαζόμενες δημιουργούν ευνοϊκά αναπαραγωγικά ενδιαιτήματα για πολλά είδη ιχθύων:

- Διαδικασίες εμπλουτισμού (αναβλύσεις, αναμίξεις)
- Διαδικασίες συγκέντρωσης (σύγκλιση, σχηματισμός μετώπου, σταθερότητα της στήλης του νερού)
- Διαδικασίες που ευνοούν τη διατήρηση σε (ή μετακίνηση προς) κατάλληλα ενδιαιτήματα.

Οι Agostini και Bakun (2002) χρησιμοποίησαν μετεωρολογικές αναφορές και δορυφορικές εικόνες κατανομής της συγκέντρωσης χλωροφύλλης στη Μεσόγειο, για την αναγνώριση προτύπων εμπλουτισμού με θρεπτικά, συγκέντρωσης τροφής προνυμφών και τοπικής διατήρησης αυγών και προνυμφών. Κατάλληλες συνθήκες παρατηρήθηκαν στο Αιγαίο, τον κόλπο των Λεόντων, τα παράλια της Καταλανίας, τη θάλασσα Alboran, τα στενά της Σικελίας και στην Αδριατική.

1.3 Συσχέτιση ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών και μεγάλων πελαγικών

Η εισαγωγή της έννοιας του οικοσυστήματος στη διαχείριση της αλιείας μεγάλων πελαγικών ιχθύων, οδήγησε στην ανάγκη κατανόησης των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οργανισμών και του περιβάλλοντός τους. Η μοντελοποίηση του οικοσυστήματος απαιτεί δεδομένα για δυο στοιχεία του, που αλληλεπιδρούν: το φυσικό περιβάλλον και η βιοκοινωνία. Η αναγνώριση σημαντικών σχέσεων μεταξύ ειδών ιχθύων και περιβαλλοντικών συνθηκών, αποτελούν το αρχικό βήμα προς την ενσωμάτωση περιβαλλοντικής πληροφορίας σε μοντέλα αποτίμησης αποθεμάτων και την κατανόηση του προβλήματος των παραλιευμάτων (Brill & Lutcavage, 2001).

Οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα για τα μεγάλα πελαγικά, χρησιμοποιούν μια ποικιλία δεδομένων που αφορούν στο είδος που μελετάται και στους παράγοντες που πιθανόν να επηρεάζουν τη συμπεριφορά του. Αλιευτικά δεδομένα εκφορτώσεων, κατανομές της αφθονίας, ακουστικά δεδομένα αλλά και δεδομένα πομπών παρέχουν την απαραίτητη πληροφορία για την κατανομή και τις κινήσεις των οργανισμών στο χώρο και στο χρόνο. Βιοτικά και αβιοτικά στοιχεία του θαλάσσιου περιβάλλοντος μπορούν να αποτελέσουν παραμέτρους πρόβλεψης της κατανομής της αφθονίας και των μεταναστεύσεων των μεγάλων πελαγικών.

Οι σχέσεις μεταξύ του φυσικού περιβάλλοντος και των ανώτερων τροφικών επιπέδων αποδεικνύεται δύσκολη, κυρίως εξαιτίας της έλλειψης της απαραίτητης βιολογικής πληροφορίας (Seki et al, 2002).

Πολλές μελέτες προτείνουν μια σχέση μεταξύ των μεγάλων πελαγικών και των χαρακτηριστικών των ωκεάνιων μετώπων (Podesta et al., 1993; Bigelow et al., 1999; Seki et al, 2002). Η τάση των μεγάλων πελαγικών να κατανέμονται κοντά σε θερμικά κυρίως μέτωπα θεωρείται είτε ότι οφείλεται στην συνάθροιση θηραμάτων στις δομές αυτές, είτε ότι αποτελούν μεταναστευτικά μονοπάτια, εξαιτίας του ενεργειακού κέρδους της κίνησης κατά μήκος των ρευμάτων (Olson et al., 1994).

Οι Bigelow et al. (1999) προτείνουν τη χρήση των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων για την μελέτη των σχέσεων μεταξύ αλιευμάτων ξιφία και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Από τις μεταβλητές που εξετάστηκαν, στατιστικά σημαντικές αποδείχθηκαν αυτές που σχετίζονταν με τα χαρακτηριστικά θερμικών μετώπων, η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία, η βαθυμετρία και οι γεωγραφικές συντεταγμένες.

Οι Bertrand et al. (2003) χρησιμοποίησαν ακουστικά και αλιευτικά δεδομένα για διάφορα είδη τόνου, για να διερευνήσουν τις σχέσεις τους με αβιοτικούς (βάθος, διαλυμένο οξυγόνο, θερμοκρασία) και βιοτικούς (κατανομή θηραμάτων) παράγοντες. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η κατανομή των θηραμάτων είναι πρωταρχικός παράγοντας, που καθορίζει τη συμπεριφορά των τόνων, καθώς και ότι η κλίμακα των αλιευτικών δεδομένων επιδρά στην προαναφερθείσα σχέση, αφού επηρεάζει την αλιευσιμότητα του τόνου. Ακουστικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν και από τους Dagorn και Bach (2000) για την μελέτη των προτύπων των κινήσεων του *Thunnus obesus*.

Οι Block et al. (2001) συνδύασαν δεδομένα πομπών στον τόνο του Ατλαντικού, με δορυφορικές εικόνες επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και συγκέντρωσης χλωροφύλλης για να διερευνήσουν πιθανές σχέσεις μεταξύ των κινήσεων του τόνου και ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών. Ανέδειξαν ιδιαίτερες σχέσεις μεταξύ της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και της διαδικασίας αναπαραγωγής. Διακυμάνσεις των δεικτών αφθονίας του τόνου στη Βραζιλία προηγούνται των ανωμαλιών SST κατά ένα μήνα, αλλά τα αίτια αυτής της σχέσης παραμένουν άγνωστα (Andrade & Garcia, 1999)

Ένα μοντέλο βελτίωσης των εκτιμήσεων αφθονίας του τόνου *Thunnus obesus* προτάθηκε από τους Bigelow et al. (2002). Το μοντέλο παρέχει εκτιμήσεις της παραγωγής ανά μονάδα αλιευτικής προσπάθειας ενσωματώνοντας πληροφορίες πάνω στο βάθος των παραγαδιών και το βάθος των ενδαιτημάτων που προτιμά το είδος. Η κατανομή και συμπεριφορά του τόνου

Thunnus albacares καθορίζεται από το βάθος της εύφωτης ζώνης και τη θερμοκρασία (Block *et al.*, 1997). Οι Nishida και Chen (2004) βελτίωσαν τα μοντέλα δεικτών αφθονίας του *Thunnus albacares* ενσωματώνοντας σε αυτά μοντέλα ενδαιτημάτων, στα οποία χρησιμοποίησαν παραμέτρους SST και βάθους του θερμοκλινούς.

Όσον αφορά στον τόνο της Μεσογείου, η μελέτη των Lemos και Gomes (2004) ανέδειξε στην επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων στο μέγεθος των αλιευμάτων σε παράκτιες παγίδες. Η παρουσία αναβλύσεων μακριά από την ακτή αποτρέπει την προσέγγιση της ακτής, ενώ και η έντονη ανάμιξη των υδάτων σχετίζεται αρνητικά με το ποσό των αλιευμάτων.

1.4 Σκοπός της παρούσας διατριβής

Η αναγνώριση, χαρτογράφηση και περιγραφή ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών, που συμβάλλουν στην αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας και αποτελούν συνεπώς τόπους συνάθροισης πελαγικών ιχθύων στην Ανατολική Μεσόγειο και η ανάπτυξη αντίστοιχων GIS μεθόδων αποτέλεσαν τον στόχο της παρούσας μελέτης.

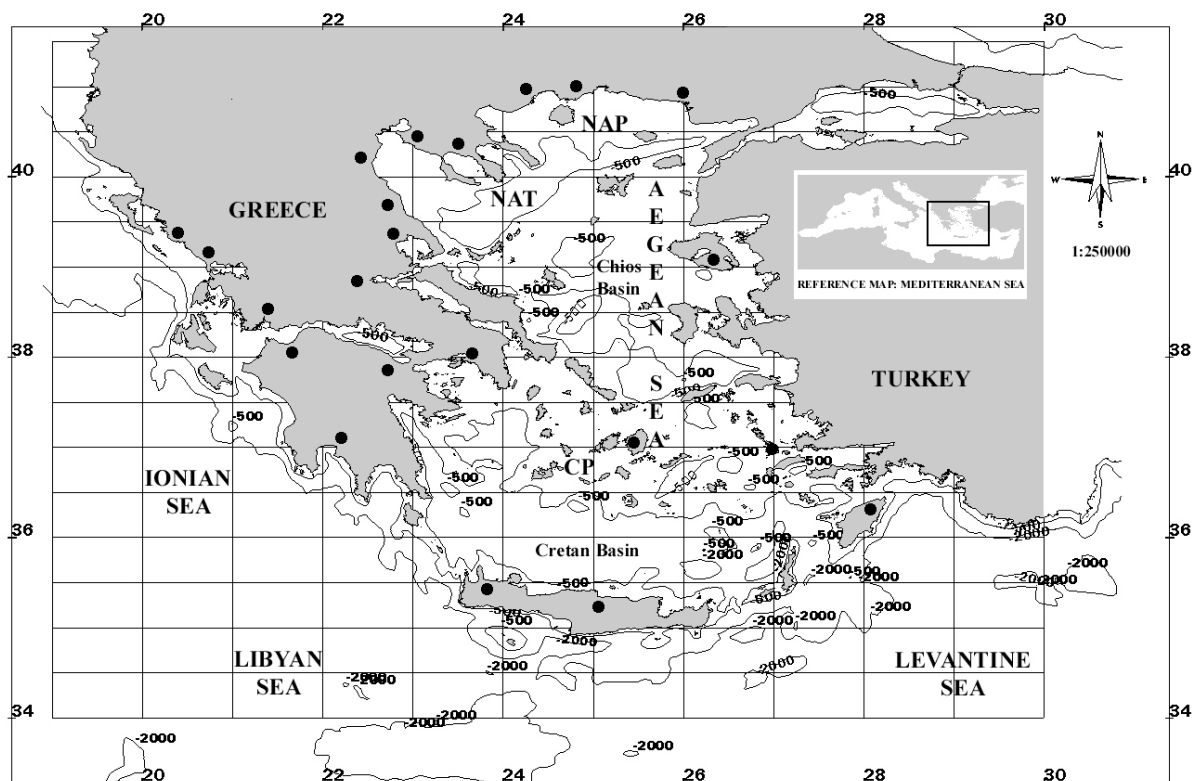
Επιπλέον στόχος είναι η διερεύνηση των χωροχρονικών σχέσεων της κατανομής της αφθονίας των μεγάλων πελαγικών ιχθύων με περιβαλλοντικές παραμέτρους και ωκεανογραφικές διεργασίες. Τέτοιες συσχετίσεις μπορούν να εμπλουτίσουν την υπάρχουσα πληροφορία για τη συμπεριφορά και τις μεταναστεύσεις των δυο ειδών, αλλά και να συμβάλλουν σε προσπάθειες βελτίωσης των μεθόδων εκτίμησης δεικτών αφθονίας, λαμβάνοντας υπ' όψη περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν περιλαμβάνουν:

- Την δημιουργία χρονοσειρών χαρτών και αντίστοιχων βάσεων δεδομένων κατανομής της αφθονίας τόνου και ξιφία, κατανομής επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και κατανομής επιφανειακής συγκέντρωσης χλωροφύλλης *a*.
- Την ανάπτυξη GIS μεθόδων αναγνώρισης ωκεανογραφικών δομών που συμβάλουν στην αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας, την παραγωγή των αντίστοιχων χαρτών καθώς και μιας GIS βάσης δεδομένων που θα περιλαμβάνει τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των χαρτογραφημένων δομών.
- Την δημιουργία μιας βάσης δεδομένων που αντιστοιχεί τιμές περιβαλλοντικών και χωροχρονικών παραμέτρων σε τιμές δείκτη αφθονίας των υπό μελέτη ειδών.

2.1 Περιοχή Μελέτης.

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται στη Ανατολική Μεσόγειο Θάλασσα και περιλαμβάνει τις Ελληνικές Θάλασσες (34°N, 19°E και 42°N, 30°E), που αποτελούνται από τέσσερα υδάτινα σώματα, τα Ιόνιο και Αιγαίο Πελάγη και τα βόρεια τμήματα των Λιβυκού Πελάγους και της Λεβαντίνης (Εικόνα 2.). Η τοπογραφία της περιοχής χαρακτηρίζεται από ακραίες μεταβολές της βαθυμετρίας, εκτεταμένες ρηχές ηπειρωτικές υφαλοκρηπίδες (Βόρειο Αιγαίο και πλατό (plateau) των Κυκλάδων) που διακόπτονται από βαθιές τάφρους (τάφρος του Βορείου Αιγαίου και λεκάνες της Χίου και της Κρήτης).



Εικόνα 2 Η περιοχή μελέτης τοποθετείται στην Ανατολική Μεσόγειο και περιλαμβάνει το Αιγαίο Πέλαγος, το βόρειο τμήμα του Λυβικού και το βορειοδυτικό τμήμα της Λεβαντίνης.

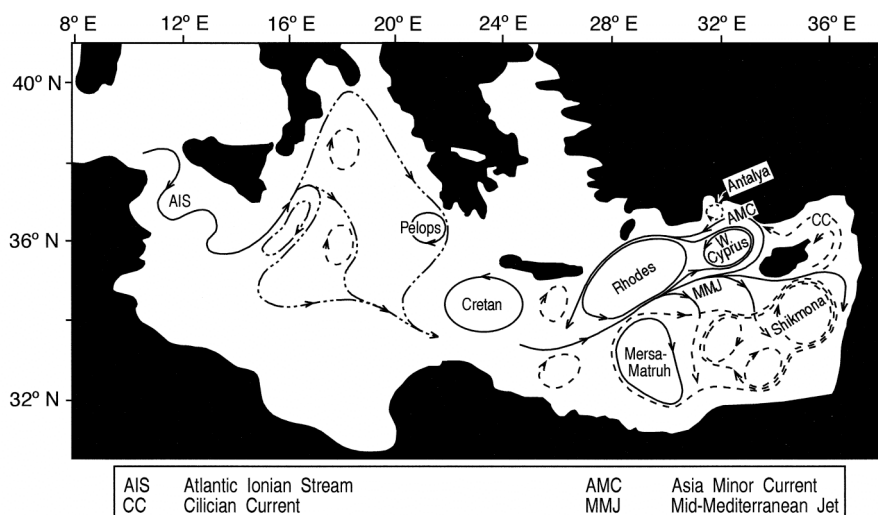
Το Αιγαίο Πέλαγος παρουσιάζει κάποια μοναδικά τοπογραφικά και βαθυμετρικά χαρακτηριστικά. Η ακτογραμμή του παρουσιάζει μεγάλη ποικιλομορφία, ενώ περισσότερα από 2000 νησιά είναι διασκορπισμένα σε όλη τη περιοχή. Οι τρεις κύριες λεκάνες του Αιγαίου είναι:

- (i) η τάφρος του Βορείου Αιγαίου, με μέγιστο βάθος στα 15000m,
- (ii) η λεκάνη της Χίου, που τοποθετείται στο κεντρικό Αιγαίο και εμφανίζει μέγιστο βάθος στα 1000m, και

(iii) το Κρητικό Πέλαγος, στο νότιο τμήμα του Αιγαίου, με βάθος 2500m.

Όλες οι λεκάνες επικοινωνούν με ισοβαθείς των 400m. Αυτά τα πολύπλοκα χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με την ποικιλότητα των μετεωρολογικών συνθηκών, που επικρατούν στην περιοχή, έχουν ως αποτέλεσμα μια πληθώρα ωκεανογραφικών διεργασιών που καθορίζουν την γενική κυκλοφορία στην περιοχή. Οι υδάτινες μάζες που καταλαμβάνουν τα επιφανειακά στρώματα του Αιγαίου, προέρχονται από τη λεκάνη της Λεβαντίνης και χαρακτηρίζονται από μεγάλες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας. Μια εκτεταμένη ωκεανογραφική μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το Ελληνικό Εθνικό Κέντρο Θαλασσίων ερευνών τα έτη 1986-87 αποκάλυψε ότι η επιφανειακή θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 20-26°C τους θερινούς μήνες και 11-16°C το χειμώνα (Anonymous, 2000). Το Αιγαίο επικοινωνεί με το Ιόνιο Πέλαγος μέσω των τριών στενών των Κυθήρων και με την Λεβαντίνη μέσω των ανατολικών στενών του Κρητικού τόξου.

Η λεκάνη της Λεβαντίνης τοποθετείται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Μεσογείου και συνδέεται με το Ιόνιο Πέλαγος μέσω του Κρητικού Περάσματος και με το Αιγαίο μέσω των ανατολικών στενών του Κρητικού τόξου. Η γεωμετρία και η τοπογραφία της λεκάνης περιλαμβάνει μια πολύπλοκη κατανομή θαλάσσιων ορέων, λεκανών και μια απόκρημνη υφαλοκρηπίδα κατά μήκος του μεγαλύτερου ποσοστού της ακτογραμμής της. Η Mid-Mediterranean Ridge (MMR) εκτείνεται από το μέσο του Κρητικού Περάσματος με βορειοδυτική κατεύθυνση για 350km σε βάθος 2500m διαιρώντας τη λεκάνη της Λεβαντίνης σε ένα βόρειο και ένα νότιο τμήμα. Στη βόρεια Λεβαντίνη τα πιο σημαντικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν την λεκάνη της Ρόδου, με μέγιστο βάθος στα 4400m, την λεκάνη της Αττάλειας, την λεκάνη της Κιλικίας, βόρεια της Κύπρου και το θαλάσσιο όρος του Αναξάμανδρου, νοτιοδυτικά της λεκάνης της Αττάλειας. Η γενική κυκλοφορία χαρακτηρίζεται από κυκλώνες και αντικυκλώνες αλληλοσυνδεόμενους μέσω επιφανειακών ρευμάτων (Εικόνα 3).



Εικόνα 3 Επιφανειακή κυκλοφορία στην Λεβαντίνη (Theocharis *et al.*, 1999).

2.2 Χαρτογράφηση κατανομής των αλιευτικών δεδομένων αφθονίας.

Τα αλιευτικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη αποκτήθηκαν από αναφορές εκφορτώσεων στα λιμάνια που αποτελούν βάσεις των μεγαλύτερων αλιευτικών στόλων των μεγάλων πελαγικών ιχθύων, για την περίοδο 1998-2003. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν την αλιευτική παραγωγή και τις χωροχρονικές παραμέτρους που την χαρακτηρίζουν (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Τμήμα των αλιευτικών δεδομένων, όπου αναφέρονται το έτος (year), ο μήνας (month), οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης του ταξιδιού (date1 και date2 αντίστοιχα), οι ημέρες αλιείας (Fdays), η περιοχή όπου τοποθετούνται τα αλιεύματα (Area) και τα ποσά της αλιευτικής παραγωγής σε kg για τον ξιφία (SWO) και τον τόνο (BFT).

Year	Date1	Date2	Month	Fdays	Area	SWO	BFT
1998	20/8/1998	26/8/1998	8	5	Astypalaia	100	
2003	27/2/2003	7/4/2003	3	7	C. Aegean	195	
1999	5/2/1999	7/2/1999	2	1	Dodecanese	100	
2003	10/5/2003	12/5/2003	5	2	Kissamos	200	
1998	22/7/1998	25/7/1998	7	2	Rodos-kastellorizo	120	105
1998	22/4/1998	30/4/1998	4	6	S.Crete	400	120

Η χρονική ανάλυση των δεδομένων κυμαίνεται από μια ημέρα έως ένα μήνα, ενώ το μέγεθος των αλιευτικών πεδίων, σε διάμετρο, ποικίλει από 0.003km έως 3,351km. Εξαιτίας των μεγάλων διαφορών στη χρονική και χωρική ανάλυση των δεδομένων, οι πολύ μεγάλες περιοχές, με διάμετρο μεγαλύτερη των 2km, δεν περιλαμβάνονται στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, ενώ τα δεδομένα διαχωρίστηκαν σε δυο υποσύνολα, σε εβδομαδιαία και μηνιαία βάση. Η μηνιαία βάση δεδομένων περιλαμβάνει 343 καταχωρίσεις, ενώ η 'εβδομαδιαία' βάση δεδομένων αποτελείται από 164 καταχωρίσεις. Από τα δεδομένα αλιευτικής παραγωγής υπολογίστηκε επιπλέον η αλιευτική παραγωγή ανά ημέρα, μια ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης αφθονίας.

Τα αλιευτικά δεδομένα μεγάλων πελαγικών ιχθύων, στην Ανατολική Μεσόγειο αποθηκεύτηκαν σε μια GIS βάση δεδομένων και παράχθηκαν χάρτες της κατανομής των δυο ειδών με τη χρήση των υπομονάδων απεικόνισης του προγράμματος ESRI Arc Info.

2.3 Αναγνώριση ωκεανογραφικών διεργασιών και συσχέτιση με την κατανομή των αλιευτικών δεδομένων αφθονίας των μεγάλων πελαγικών.

Χρησιμοποιήθηκαν χάρτες κατανομής επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας (SST) και επιφανειακής συγκέντρωσης χλωροφύλλης α (CHL) και πραγματοποιήθηκε υπέρθεση των χαρτών κατανομής των αλιευτικών δεδομένων, για την αναγνώριση προτύπων που ευνοούν την αύξηση της αφθονίας.

Η χρονοσειρά μηνιαίων AVHRR SST εικόνων ελήφθη από το αρχείο δορυφορικών δεδομένων του Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR-German Aerospace Agency) με τη χρήση DLR's Graphical Interface του Intelligent Satellite Data Information System (GISIS). Οι δορυφορικές εικόνες επιφανειακής θαλάσσιας χλωροφύλλης (CHL) αποκτήθηκαν από τον Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS), μέσω του National Aeronautics and Space Administration, Goddard Earth Sciences, Distributed Active Archive Center (NASA-GES-DAAC) με τη χρήση DAAC's online data dissemination Interactive hierarchical system. Και οι δυο σειρές δεδομένων απέκτησαν γεωγραφική αναφορά και μετατράπηκαν σε κανονικά grids με τη χρήση του Environmental Systems Research Institute (ESRI) ARC/INFO GRID GIS. Τα μηνιαία δεδομένα SST και CHL, που υποβλήθηκαν σε αυτή την διαδικασία καλύπτουν τις Ελληνικές Θάλασσες και καλύπτουν την χρονική περίοδο 01/1998 έως 12/2003 και χαρακτηρίζονται από χωρική ανάλυση 1.3 km και 1.1 km αντιστοίχως.

Ωκεανογραφικές διεργασίες μεγάλης κλίμακας, όπως στρόβιλοι, ρεύματα, αναβλύσεις και συγκλίσεις ρευμάτων, αφήνουν έντονο στίγμα σε δορυφορικές εικόνες SST και CHL. Οι εικόνες αυτές παρέχουν επίσης πληροφορίες για τις μετατοπίσεις και την έκταση των μόνιμων δομών, τις διακυμάνσεις της ισχύος τους και την εμφάνιση παροδικών ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών.

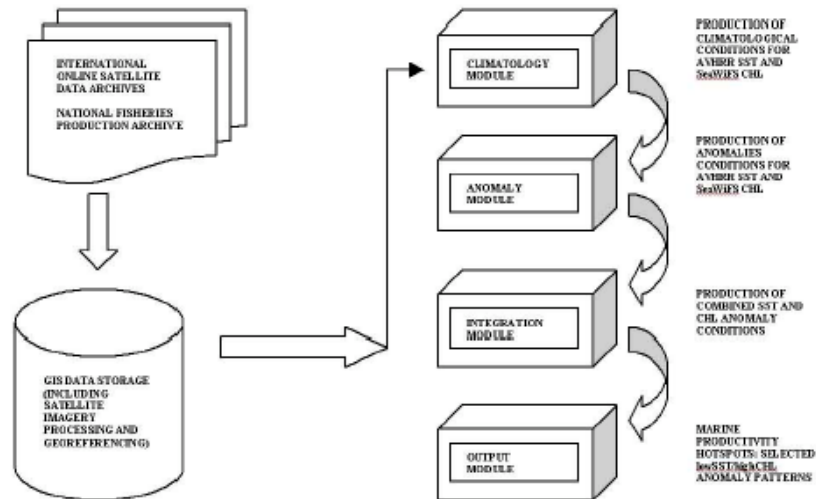
2.4 Χαρτογράφηση Περιοχών Υψηλής Παραγωγικότητας.

Marine Productivity Hotspots-MPH

Μια χρονοσειρά μηνιαίων και εβδομαδιαίων εικόνων κατανομής SST και συγκέντρωσης Chl a χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογράφηση των MPH. Το GIS μοντέλο που αναπτύχθηκε βασίστηκε στο σύστημα (ESRI) ArcInfo GIS.

Η αρχιτεκτονική του μοντέλου περιγράφεται στην Εικόνα 4. το μοντέλο περιλαμβάνει ρουτίνες επεξεργασίας και γεωαναφοράς (Valavanis *et al.*, 1998) και αποτελείται από τέσσερις υπομονάδες:

- a) η 'υπομονάδα κλιματολογίας', που περιλαμβάνει ρουτίνες παραγωγής μέσου όρου, με την γλώσσα AML, για την ανάπτυξη κλιματολογίας SST και CHL a
- b) η 'υπομονάδα ανωμαλιών', που αποτελείται από ρουτίνες υπολογισμού των μηνιαίων ή εβδομαδιαίων ανωμαλιών για την SST και την CHL a (αφαίρεση των μηνιαίων δεδομένων από την αντίστοιχη κλιματολογία)
- c) η 'υπομονάδα ενοποίησης', που περιλαμβάνει μεθόδους χωρικής ενσωμάτωσης για την παραγωγή περιοχών που συνδυάζουν ανωμαλίες SST και CHL a, και
- d) η 'υπομονάδα επιλογής', στην οποία επιλέγονται πρότυπα χαμηλής SST/ υψηλής Chl. Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από αυτό το πρότυπο ονομάζονται MPH.



Εικόνα 4 Η αρχιτεκτονική του μοντέλου χωροχρονικής χαρτογράφησης περιοχών υψηλής παραγωγικότητας. Το μοντέλο αποτελείται από τέσσερις υπομονάδες και συνδέεται με μια GIS βάση δεδομένων, όπου αποθηκεύονται χρονοσειρές δορυφορικών δεδομένων (Valavanis *et al.*, 2004)

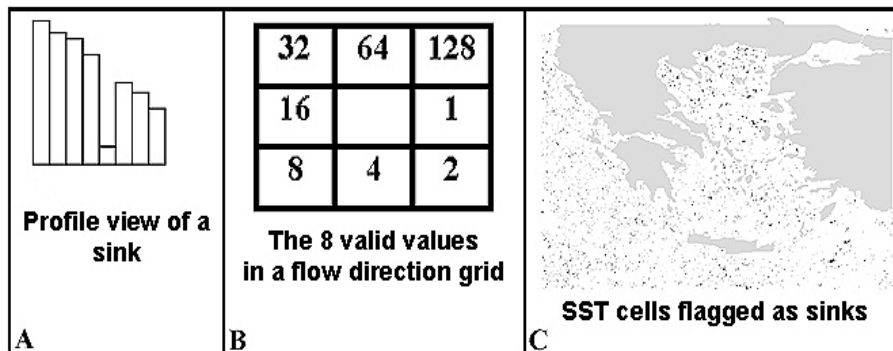
2.5 Χαρτογράφηση θερμικών μετώπων.

Για την αναγνώριση των θερμικών μετώπων χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας (SST).

Η αναγνώριση και χαρτογράφηση θερμικών μετώπων μέσης κλίμακας βασίστηκε στο ESRI's ARC/INFO GRID GIS και οι ρουτίνες ανάλυσης των δεδομένων αναπτύχθηκαν με την Arc Macro Language (ESRI, 1994). Ο κάναβος (grid) AVHRR SST θεωρείται ως ένα πλέγμα (lattice) τιμών 'αλύψωσης', ενώ οι περιοχές των μετώπων θεωρούνται ως 'βυθίσματα' των τιμών SST (θερμικές ασυνέχειες). Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ως 'βυθίσματα' αποτελούν σύνολα χωρικά συνδεδεμένων κελιών των οποίων η κατεύθυνση ροής έξω από κάθε κελί δεν μπορεί να καθοριστεί. Τα κελιά αυτά περιγράφουν περιοχές ετερογενούς πτώσης στην κατανομή της SST σε σύγκριση με την πιο ομοιογενή κατανομή της στις παρακείμενες περιοχές (Εικόνα 5A).

Ο υπολογισμός της κατεύθυνσης ροής βασίζεται σε έναν αλγόριθμο 3x3 παραθύρου, που απονέμει συγκεκριμένες τιμές κατεύθυνσης ροής έξω από το κελί, για κάθε κελί με βάση τις τιμές SST των οκτώ γειτονικών του κελιών. Τα 'βυθίσματα' δεν έχουν καθορισμένη κατεύθυνση ροής και τους αποδίδεται μια τιμή που είναι το άθροισμα των πιθανών κατευθύνσεων ροής τους. Για παράδειγμα εάν η πιο απότομη πτώση και συνεπώς κατεύθυνση ροής, είναι η ίδια δεξιά (1) και αριστερά (16), η τιμή 17 θα απονεμηθεί ως κατεύθυνση ροής αυτού του κελιού (Εικόνα 5B). Συνεπώς τα 'βυθίσματα' αποκτούν τιμές διαφορετικές από τις οκτώ έγκυρες τιμές κατεύθυνσης ροής του grid (Εικόνα 5C). Στη συνέχεια τα κελιά με ακαθόριστη κατεύθυνση ροής επιλέγονται από το grid κατεύθυνσης ροής και μετατρέπονται σε

γραμμές μέσω προγραμμάτων σχηματισμού διανυσμάτων, εξαλείφοντας βυθίσματα μοναδιαίων κελιών και μετατρέποντας σε διανύσματα μόνο χωρικά συνδεδεμένα κελιά.



Εικόνα 5. Γραφική περιγραφή της προτεινόμενης μεθόδου για την χαρτογράφηση των ωκεάνιων θερμικών μετώπων. (A) μια κάθετη όψη των θερμικών μετώπων σε ένα lattice AVHRR SST δεδομένων. Τα θερμικά μέτωπα θεωρούνται ως ‘βυθίσματα’ των δεδομένων σε μια ομοιογενή κατανομή των SST δεδομένων. (B) τα ‘βυθίσματα’ αναγνωρίζονται μέσω του υπολογισμού της κατεύθυνσης ροής έξω από κάθε κελί στα SST grids και τους αποδίδονται τιμές διαφορετικές από τις οκτώ έγκυρες τιμές του grid κατεύθυνσης ροής. (C) θερμικές ασυνέχειες που χαρτογραφήθηκαν με την προτεινόμενη μέθοδο.

Ο υπολογισμός της διαφοράς SST (DSST) μεταξύ συνδεδεμένων κελιών που αποτελούν τα ‘βυθίσματα’ και της περιβάλλουσας περιοχής πραγματοποιήθηκε με την αφαίρεση των τιμών SST κελιών που χαρακτηρίζονται ως ‘βυθίσματα’ από τις τιμές των γειτονικών με τα ‘βυθίσματα’ κελιών. Αντιστοίχως οι χαρτογραφημένες περιοχές ‘βυθισμάτων’, όπως προέκυψαν από το grid SST χρησιμοποιήθηκαν σε grid CHL για τον υπολογισμό της διαφοράς CHL (DCHL) μεταξύ των ‘βυθισμάτων’ και των γειτονικών σε αυτά περιοχών.

Χαρτογραφημένα ‘βυθίσματα’ που χαρακτηρίζονται από οποιοδήποτε συνδυασμό DSST και DCHL εκτός του $DSST < 0$ και $DCHL > 0$ θεωρούνται ως περιοχές κρύου νερού και εξαλείφονται. Τέλος μόνο εκείνες οι περιοχές χαρτογραφημένων ‘βυθισμάτων’ που χαρακτηρίζονται από ταυτόχρονα $DSST < 0$ και $DCHL > 0$ πρότυπα αναγνωρίζονται ως θερμικά μέτωπα μέσης κλίμακας.

Η νέα αυτή μέθοδος ενσωματώνει τις δυο κύριες μεθόδους αυτόματης ανίχνευσης ορίων με τη χρήση δορυφορικών SST δεδομένων, για τον εντοπισμό θερμικών μετώπων, το ιστόγραμμα και τις μεθόδους εφαρμογής αλγορίθμων ανίχνευσης διαβαθμίσεων, με τη διαφορά ότι στοχεύει σε παροδικά χαρακτηριστικά μέσης χωρικής κλίμακας.

Χάρτες παρουσίας των θερμικών μετώπων που προκύπτουν με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου σε ιστορικές και σύγχρονες εικόνες SST και CHL, χρησιμοποιήθηκαν για την αναγνώριση περιοχών μεγάλης παραγωγικότητας καθώς και για τη συσχέτιση της κατανομής των αλιευτικών δεδομένων τόνου και ξιφία με αυτές τις ωκεανογραφικές διαδικασίες.

2.6 Μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης.

2.6.1 Συσχέτιση αφθονίας με την παρουσία ΜΡΗ και θερμικών μετώπων.

Πραγματοποιήθηκαν μη παραμετρικοί έλεγχοι για την διερεύνηση της συσχέτισης των περιοχών υψηλής παραγωγικότητας και των θερμικών μετώπων. Συγκεκριμένα οι τιμές της αφθονίας διακρίθηκαν σε δείγματα ανάλογα με την παρουσία ή μη θερμικών μετώπων ή περιοχών υψηλής παραγωγικότητας και εφαρμόστηκε ο έλεγχος Mann-Whitney, ο οποίος συγκρίνει τις διαμέσους (median) δυο δειγμάτων. Επίσης υπολογίστηκαν:

- ο αριθμός ταυτόχρονης παρουσίας και απουσίας θερμικών μετώπων ή περιοχών υψηλής παραγωγικότητας στις περιοχές κατανομής των αλιευτικών δεδομένων αφθονίας,
- τα ποσοστά αφθονίας που συμπίπτουν με θερμικά μέτωπα ή περιοχές υψηλής παραγωγικότητας και
- η συχνότητα με την οποία τα ποσοστά αφθονίας συμπίπτουν με θερμικά μέτωπα ή περιοχές υψηλής παραγωγικότητας

2.6.2 Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα

Τα GAMs (Hastie & Tibshirani, 1986; 1990) είναι ημι-παραμετρικές προεκτάσεις των Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων (GLMs). Η μόνη υπόθεση που γίνεται είναι ότι οι εξισώσεις είναι προσθετικές και οι συνιστώσες ομαλές. Ένα GAM χρησιμοποιεί μια συνδετική συνάρτηση (link function) για την εγκαθίδρυση μιας σχέσης μεταξύ του μέσου της μεταβλητής απόκρισης και της ‘ομαλοποιημένης’ εξίσωσης (smoother) των ερμηνευτικών μεταβλητών. Τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν μπορούν να περιγραφούν ως εξής:

Έστω ότι Y είναι η τυχαία μεταβλητή απόκρισης και X_1, \dots, X_p , το σύνολο των ερμηνευτικών μεταβλητών. Η διαδικασία παλινδρόμησης μπορεί να θεωρηθεί ως μια μέθοδος εκτίμησης του τρόπου με τον οποίο οι τιμές του Y εξαρτώνται από τις τιμές των X_1, \dots, X_p . Το τυπικό γενικευμένο αθροιστικό μοντέλο μοντέλο

$$E(Y) = f(X_1, \dots, X_p) = s_0 + s_1(X_1) + \dots + s_p(X_p)$$

Όπου $s_i(X)$, $i=1, \dots, p$ είναι ομαλές εξισώσεις. Οι εξισώσεις αυτές εκτιμούνται με μη παραμετρικό τρόπο.

Τα γενικευμένα προσθετικά μοντέλα επεκτείνουν τα παραδοσιακά γραμμικά μοντέλα δημιουργώντας ένα σύνδεσμο μεταξύ των $f(X_1, \dots, X_p)$ και των προβλεπόμενων τιμών Y , με αποτέλεσμα να επιτρέπουν την επιλογή εναλλακτικών κατανομών των τυχαίων μεταβλητών, εκτός της κανονικής (Quinn & Keough, 2002). Τα GAMs αποτελούνται από ένα τυχαίο στοιχείο (random component), ένα προσθετικό στοιχείο (additive component) και μια συνδετική συνάρτηση (link function) που συσχετίζει τα δυο προαναφερθέντα στοιχεία. Η

απόκριση Y , το τυχαίο στοιχείο, υποτίθεται ότι χαρακτηρίζεται από πυκνότητα της εκθετικής οικογένειας

$$F_{Y(y;\theta;\phi)} = \exp \left\{ \frac{y\theta - b(\theta)}{a(\phi)} + c(y, \phi) \right\}$$

Όπου θ η φυσική παράμετρος και ϕ η παράμετρος κλίμακας. Οι κανονική, διωνυμική, Poisson και πολλές άλλες κατανομές ανήκουν σε αυτή την οικογένεια.

Η ποσότητα

$$n = s_0 + \sum_{i=1}^p s_i(X_i)$$

όπου $s_1(\cdot), \dots, s_p(\cdot)$ είναι οι ομαλές συναρτήσεις, προσδιορίζει το προσθετικό στοιχείο. Τέλος οι σχέσεις μεταξύ της μέσης τιμής μ της μεταβλητής απόκρισης και της n καθορίζεται από την εξίσωση σύνδεσης $g(\mu)=n$.

Μια κοινή παρατήρηση είναι ότι δυο συσχετιζόμενες μεταβλητές μπορεί να παρουσιάζονται ως μη σημαντικές παρόλο που εξηγούν ένα σημαντικό ποσοστό της μεταβλητότητας αν εξεταστούν μεμονωμένα. Η αξιολόγηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ δυο ή περισσότερων επεξηγηματικών μεταβλητών έχει τραβήξει την προσοχή των μελετητών ιδιαίτερα από την οπτική γωνία της οικολογικής έρευνας (Austin, 1971). Διαγνωστικοί έλεγχοι χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της σπουδαιότητας του επιλεγμένου μοντέλου (quantile-quantile γραφήματα, γραφήματα υπολειπόμενων τιμών), την αναγνώριση παράτυπων σημείων (outlier) ή για την αναγνώριση εναπομεινάντων τάσεων στα δεδομένα (γραφήματα μερικών υπολειπόμενων τιμών-partial residuals). Επειδή ο γεωγραφικός χώρος παίζει σημαντικό ρόλο και συμβαίνουν τοπικές διαδικασίες, εισάγεται στο μοντέλο ένας δισδιάστατος ομαλοποιητής (smoother), όπου χρησιμοποιούνται οι γεωγραφικές συντεταγμένες ως μια μεταβλητή, ταυτόχρονα με τις άλλες μεταβλητές του μοντέλου.

Οι σχέσεις μεταξύ αλιευτικής παραγωγής και περιβαλλοντικών συνθηκών ως επί το πλείστον δεν είναι γραμμικές. Τα GAMs χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση παραμέτρων που επηρεάζουν την αφθονία και της φύσης αυτών των σχέσεων.

Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την ταυτοποίηση των σχέσεων μεταξύ αφθονίας τόνου και ξιφία και χωροχρονικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων, και αλληλεπιδράσεων τους, με το στατιστικό πακέτο S plus. Η κατανομή των αλιευτικών δεδομένων αντιστοιχεί στην Γάμμα κατανομή, ενώ ως συνδετική εξίσωση επιλέγεται η λογαριθμική. Επιλέχθηκαν δυο smoothers (loess και spline), ως οι πιο κατάλληλοι σύμφωνα με τους διαγνωστικούς ελέγχους (quantile-quantile γραφήματα, γραφήματα υπολειπόμενων τιμών), να περιγράψουν τις μη γραμμικές σχέσεις και το ποσοστό της μεταβλητότητας που εξηγεί κάθε μοντέλο.

3. Αποτελέσματα

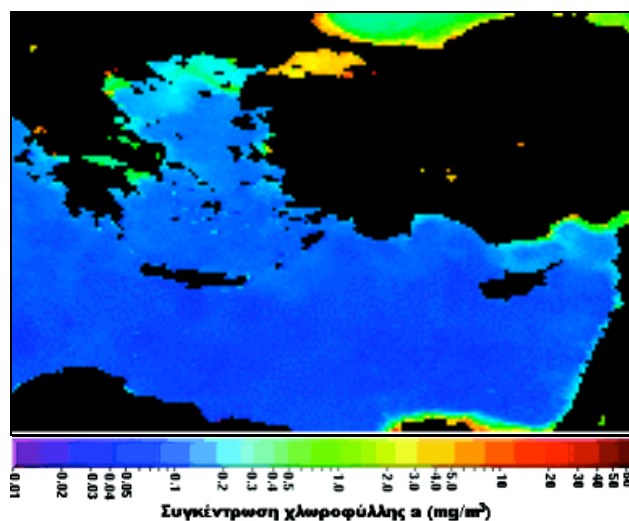
Στα αποτελέσματα περιλαμβάνονται χάρτες κατανομής των αλιευτικών δεδομένων των δυο ειδών, χάρτες συσχέτισης της κατανομής των αλιευτικών δεδομένων με την κατανομή της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και συγκέντρωσης χλωροφύλλης *a*, χάρτες κατανομής περιοχών υψηλής παραγωγικότητας και ωκεάνιων μετώπων και τέλος μοντέλα συσχέτισης των δεικτών αφθονίας με χωροχρονικούς παράγοντες και περιβαλλοντικές παραμέτρους.

3.1 Χάρτες κατανομής των αλιευτικών δεδομένων των μεγάλων πελαγικών.

Υπέρθωση σε επίπεδα περιβαλλοντικών παραμέτρων

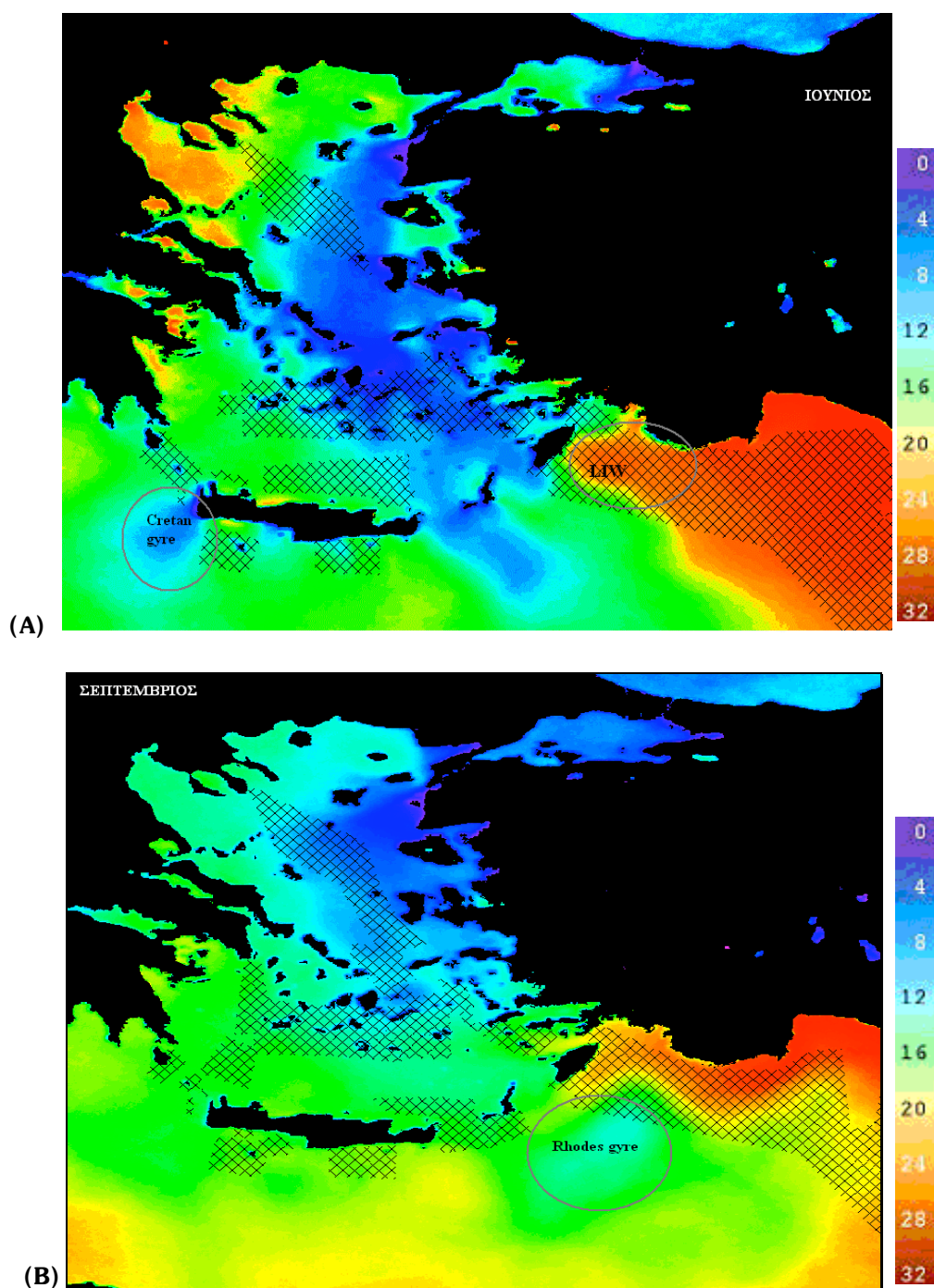
Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν μηνιαίους και εβδομαδιαίους χάρτες της κατανομής των αλιευτικών δεδομένων του ξιφία και του τόνου, ως δευτερεύοντα στόχο στην αλιεία του ξιφία, για την περίοδο 1998–2003. Οι χάρτες αυτοί παρείχαν τη δυνατότητα εξαγωγής των συντεταγμένων και του μεγέθους κάθε αλιευτικού πεδίου. Η υπέρθεση των επιπέδων (layers) κατανομής των αλιευτικών δεδομένων αφθονίας σε χάρτες κατανομής της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας παρείχε μια πρώτη εικόνα ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών μεγάλης κλίμακας, που μπορεί να επηρεάζουν την κατανομή των μεγάλων πελαγικών.

Στους χάρτες κατανομής της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας μπορούν να παρατηρηθούν τα στίγματα ωκεανογραφικών διεργασιών όπως ρευμάτων και στροβίλων. Η υπέρθεση της κατανομής των αλιευτικών δεδομένων των μεγάλων πελαγικών στους χάρτες της θαλάσσιας θερμοκρασίας εμφανίζει χωρικές σχέσεις των αλιευτικών δεδομένων με τα θερμά ύδατα του Levantine Intermediate Water (LIW) καθώς το ρεύμα αυτό εισέρχεται στο Αιγαίο (Εικόνα7Α), με τον κυκλώνα της Ρόδου (Εικόνα7Β), καθώς και με έναν κυκλώνα και μια ισχυρή ανάβλυση, που τοποθετούνται νοτιοδυτικά της Κρήτης (Εικόνα7Α).



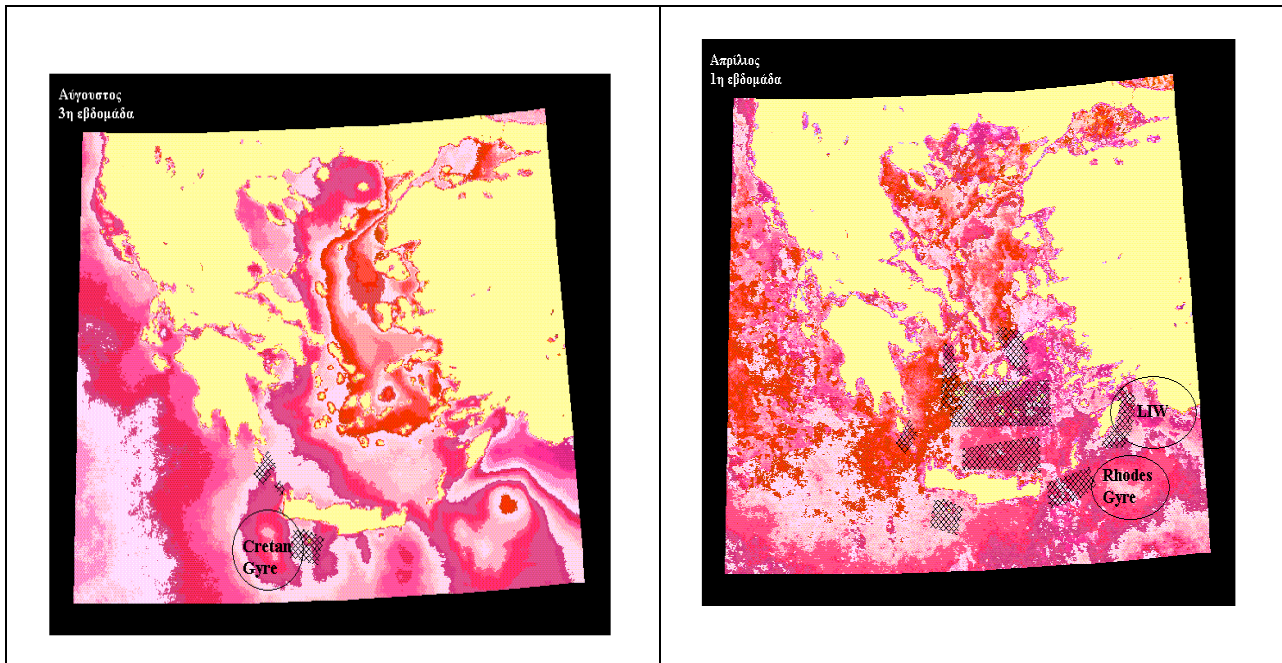
Εικόνα 6. Χάρτης κατανομής επιφανειακής συγκέντρωσης χλωροφύλλης *a* για την άνοιξη 2002. Παρατηρούνται υψηλές τιμές χλωροφύλλης στο Β. Αιγαίο και σε παράκτιες περιοχές.

Οι χάρτες κατανομής της χλωροφύλλης δείχνουν υψηλές τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης α, εποχικά, στο πλατό των Κυκλάδων και στο Β. Αιγαίο, εξαιτίας της εισόδου πλούσιων σε θρεπτικά υδάτων από την Μαύρη θάλασσα (Εικόνα 6).



Εικόνα 7 (Α) Κατανομή αλιευτικών δεδομένων αφθονίας των μεγάλων πελαγικών (πλέγμα) και της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας, σε χάρτη κλιματολογίας για τον μήνα Ιούνιο. Εντοπίζεται το βορειοδυτικό άκρο του LIW και το στίγμα του κυκλώνα της Κρήτης.(Β) Κατανομή αλιευτικών δεδομένων αφθονίας των μεγάλων πελαγικών (πλέγμα) και της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας, σε χάρτη κλιματολογίας για τον μήνα Σεπτέμβριο. Εντοπίζεται το βορειοδυτικό άκρο του LIW και το στίγμα του κυκλώνα της Ρόδου.

Τα στίγματα και οι διακυμάνσεις των ωκεανογραφικών δομών αντικατοπτρίζονται ευκρινέστερα σε εβδομαδιαίους χάρτες, όπου παρατηρούνται και παροδικές διεργασίες, όπως μικροί επιφανειακοί στρόβιλοι (eddies) και αναβλύσεις νότια της Κρήτης ή κυκλώνες στις βορειοανατολικές Κυκλάδες (Εικόνα 8).



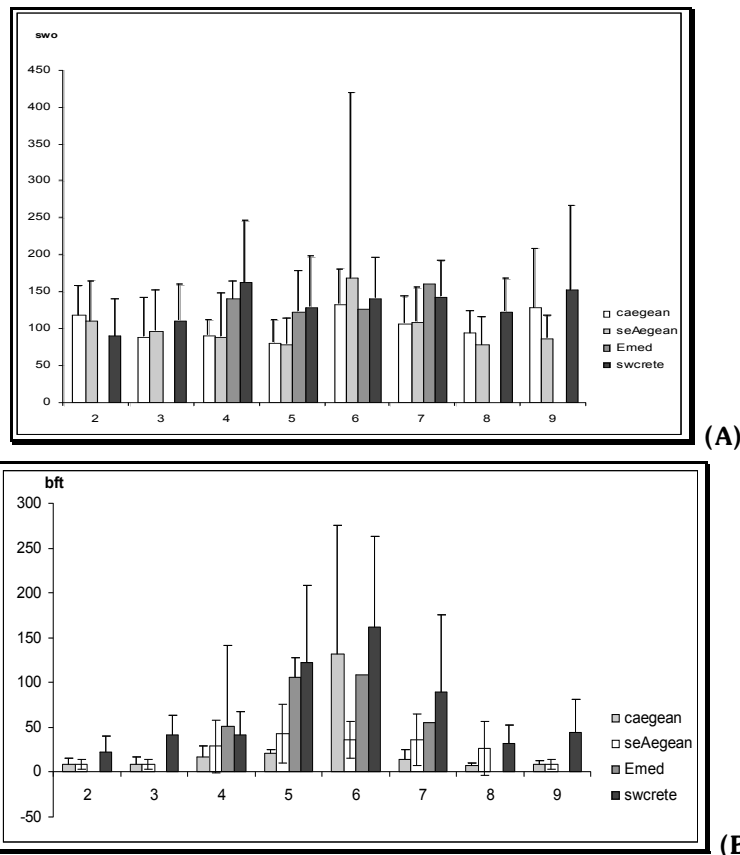
Εικόνα 8 Κατανομή των αλιευτικών δεδομένων αφθονίας των μεγάλων πελαγικών (πλέγμα) και της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας, σε εβδομαδιαίους χάρτες κλιματολογίας. Εντοπίζεται το βορειοδυτικό άκρο του LIW και τα στίγματα των κυκλώνων της Ρόδου και της Κρήτης.

Η κατανομή των αλιευτικών δεδομένων αφθονίας των μεγάλων πελαγικών σε συνδυασμό με το διαφορετικό μέγεθος των αλιευτικών πεδίων που έχουν καταγραφεί, οδήγησαν στο διαχωρισμό των δεδομένων σε τέσσερις μεγάλες περιοχές, με στόχο τη διερεύνηση της σχέσης των διακυμάνσεων του δείκτη αφθονίας (αλιευτική παραγωγή ανά ημέρα) με την παρουσία ωκεανογραφικών δομών μεγάλης κλίμακας και τις χωροχρονικές διακυμάνσεις τους.

Οι περιοχές επιλέχθηκαν με κριτήρια την χωρική σχέση τους με γνωστές ωκεανογραφικές δομές και την ύπαρξη ενός ικανοποιητικού δείγματος για κάθε μήνα. Οι περιοχές που προέκυψαν διακρίνονται στο κεντρικό Αιγαίο (35.5°N, 24°E και 38°N, 26°E-seaean), το νοτιοανατολικό Αιγαίο (34.5°N, 26°E και 37.5°N, 29°E-seaean), την δυτική Κρήτη (34°N, 22°E και 36°N, 25°E-swcrete) και την Ανατολική Μεσόγειο (34°N, 29°E και 36°N, 30°E-emed). Οι μεγάλες διακυμάνσεις των τιμών αφθονίας και η απουσία δεδομένων μικρής χωρικής κλίμακας, τελικά δεν επέτρεψαν την λεπτομερή διερεύνηση του ρόλου της παρουσίας και ισχύος παραγωγικών διεργασιών μεγάλης κλίμακας (Γράφημα 1.). Στη δυτική Κρήτη η αφθονία του ξιφία παραμένει σχετικά σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, στο

νοτιοανατολικό Αιγαίο και την δυτική Λεβαντίνη η αφθονία και των δυο ειδών αυξάνεται την περίοδο Μάιος-Ιούλιος. Στο κεντρικό Αιγαίο μεγάλες τιμές αφθονίας ξιφία παρατηρούνται τον Ιούνιο αλλά και στην αρχή και το τέλος της αλιευτικής περιόδου. Τα δεδομένα αλιείας τόνου εμφανίζουν λίγες τιμές, με εξαίρεση την περίοδο Μάιος-Ιούλιος, με αποτέλεσμα οι δείκτες αφθονίας για τους υπόλοιπους μήνες να μην θεωρούνται συγκρίσιμοι.

Παρόλη την εμφανή χωρική σχέση της αλιείας με δομές όπως παραγωγικοί στρόβιλοι, αναβλύσεις, ρεύματα, η ποσοτικοποίηση της σχέσης αυτής δεν υπήρξε δυνατή λόγω της ασυνεχούς δειγματοληψίας.



Γράφημα 1 Μέσοι όροι και τυπική απόκλιση των δεικτών αφθονίας ξιφία (A) και τόνου (B) κατά τη διάρκεια της αλιευτικής περιόδου (Φεβρουάριος έως Σεπτέμβριος).

3.2 Χάρτες συσχέτισης των αλιευτικών δεδομένων των μεγάλων πελαγικών με περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Χρονοσειρές Δορυφορικών δεδομένων κατανομής της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και συγκέντρωσης χλωροφύλλης υπέστησαν επεξεργασία και τοποθετήθηκαν σε μια GIS βάση δεδομένων. Με τη χρήση GIS εργαλείων και μεθόδων χαρτογράφησης ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών, δημιουργήθηκαν χάρτες κατανομής της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και συγκέντρωσης χλωροφύλλης, των περιοχών μεγάλης

παραγωγικότητας και των ωκεάνιων θερμικών μετώπων για την περιοχή μελέτης σε μηνιαία και εβδομαδιαία χρονική κλίμακα.

Η κατανομή των μεγάλων πελαγικών όπως προέκυψε από τα αλιευτικά δεδομένα, χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή χαρτών συσχέτισης με τις προαναφερθείσες περιβαλλοντικές παραμέτρους και ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά. Με την υπέρθεση των διαφορετικών χαρτογραφικών επιπέδων προέκυψαν τέσσερις χρονοσειρές χαρτών που εμφανίζουν τις σχέσεις των αλιευτικών δεδομένων των μεγάλων πελαγικών ιχθύων με τη θαλάσσια επιφανειακή θερμοκρασία, την επιφανειακή συγκέντρωση της χλωροφύλλης, τις περιοχές μεγάλης παραγωγικότητας και τα ωκεάνια μέτωπα. Από τους χάρτες αυτούς υπολογίστηκαν στατιστικές παράμετροι (μέση, μέγιστη, ελάχιστη τιμή και τυπική απόκλιση) για την SST και τη συγκέντρωση Chl a για κάθε αλιευτική περιοχή, σε μηνιαία και εβδομαδιαία βάση, καθώς και ο αριθμός των περιοχών υψηλής παραγωγικότητας και ωκεάνιων μετώπων που συμπίπτουν χωροχρονικά με κάθε αλιευτική περιοχή. Υπολογίστηκαν επίσης οι τιμές (μέση, μέγιστη, ελάχιστη τιμή και τυπική απόκλιση) της ανωμαλίας SST και συγκέντρωσης Chl a για τα MPH, που σχετίζονται με αλιευτικά πεδία και οι τιμές της διαφοράς SST και Chl a των ωκεάνιων μετώπων με την περιβάλλουσα περιοχή.

Πίνακας 2 Τμήμα της βάσης δεδομένων που αφορά στην αφθονία του τόνου σε σχέση με την παρουσία MPH και θερμικών μετώπων και των περιβαλλοντικών τους χαρακτηριστικών. Αναφέρονται: το όνομα της περιοχής (area), το έτος (year), ο μήνας (month), η αφθονία (catch per day) του τόνου (bft), ο αριθμός των περιοχών υψηλής παραγωγικότητας (# of mph), η παρουσία (1) ή απουσία (0) περιοχών υψηλής παραγωγικότητας (mph presence), η μέση τιμή (mean) και η τυπική απόκλιση (std) της ανωμαλίας της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας (ssta) και χλωροφύλλης (chl), ο αριθμός των θερμικών μετώπων (# of fronts), η παρουσία (1) ή απουσία (0) θερμικών μετώπων (fronts presence) οι τιμές της διαφοράς SST και Chl a των ωκεάνιων μετώπων με την περιβάλλουσα περιοχή (dsst και dchl, αντίστοιχα).

area	Year	Month	Bft catch per day	# of mph	mph presence	Mean ssta	Std ssta	Mean chl	Std chl	# of fronts	Fronts presence	dsst	dchl
Astypalaia-Kos	1998	7	10,00	1	1	-0,50	0,10	0,01	0,00	0	0		
C. Aegean	2003	2	4,38	1	1	-0,29	0,17	-0,01	0,07	1	1	-1,25	0,19
Dodecanese	2003	3	5,75	6	1	0,71	0,27	0,01	0,09	1	1	-0,87	0,15
Falasarua	1998	9	2,50	0	0	-0,51	0,08	-0,05	0,06	0	0		
Kythira	2001	4	16,25	0	0	-0,15	0,19	0,01	0,09	1	1	-0,75	0,01
N. Aegean	2003	3	6,02	5	1	0,70	0,20	0,00	0,07	3	1	-1,04	0,01
S. Aegean	2001	4	2,50	3	1	-0,58	0,29	0,01	0,08	8	1	-1,30	0,06

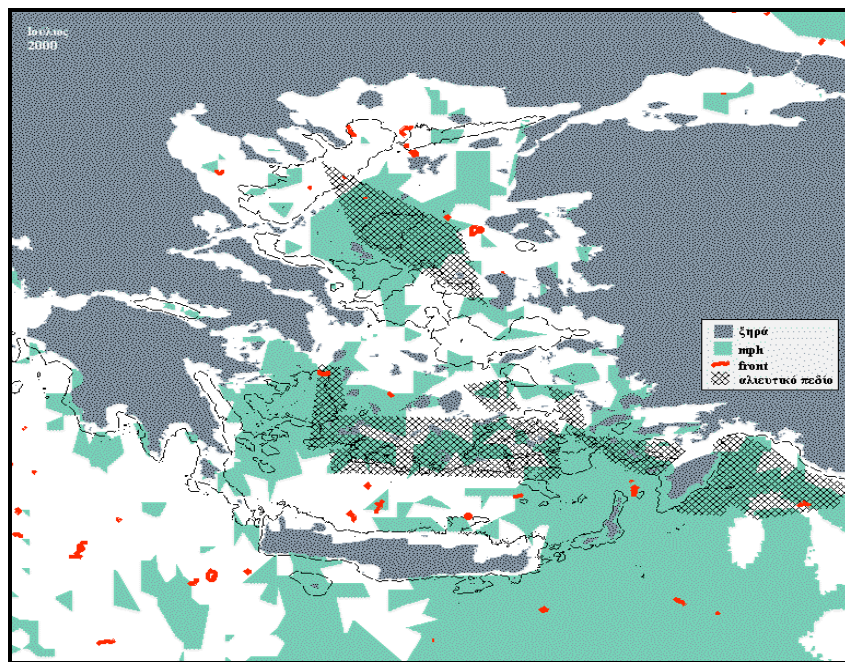
Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκαν δυο βάσεις δεδομένων (με μηνιαία και εβδομαδιαία δεδομένα αντίστοιχα) όπου αναφέρονται οι τιμές των δεικτών αφθονίας για τον ξιφία και τον τόνο, η περιοχή σύλληψης (συντεταγμένες), οι στατιστικές παράμετροι SST και συγκέντρωσης Chl a και η παρουσία ή μη MPH και θερμικών μετώπων με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους που τα χαρακτηρίζουν (Πίνακας 2).

3.2.1 Περιοχές υψηλής παραγωγικότητας και θερμικά μέτωπα ως τόποι συγκέντρωσης μεγάλων πελαγικών ιχθύων.

Η διερεύνηση της χρονοσειράς των χαρτών συσχέτισης των αλιευτικών δεδομένων του ξιφία και του τόνου με την παρουσία περιοχών υψηλής παραγωγικότητας και θερμικών μετώπων (Εικόνα 9) παρέχει μια δυνατότητα επισκόπησης στα αίτια των κινήσεων και συναθροίσεων των ειδών.

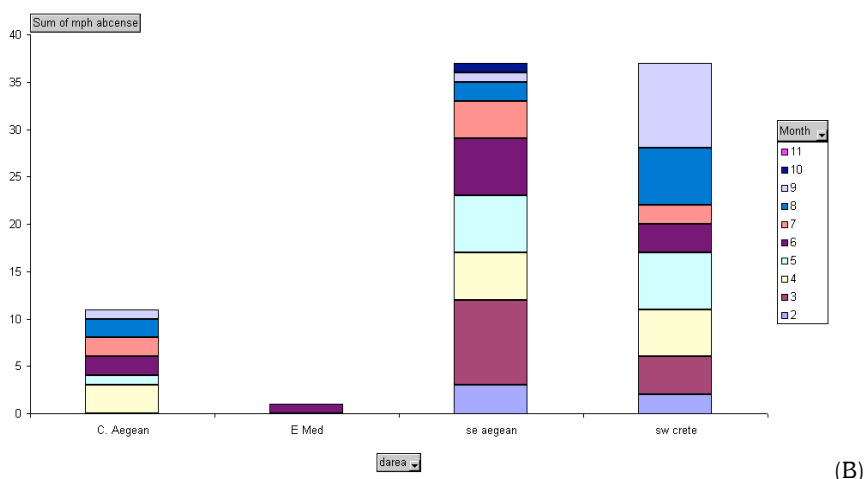
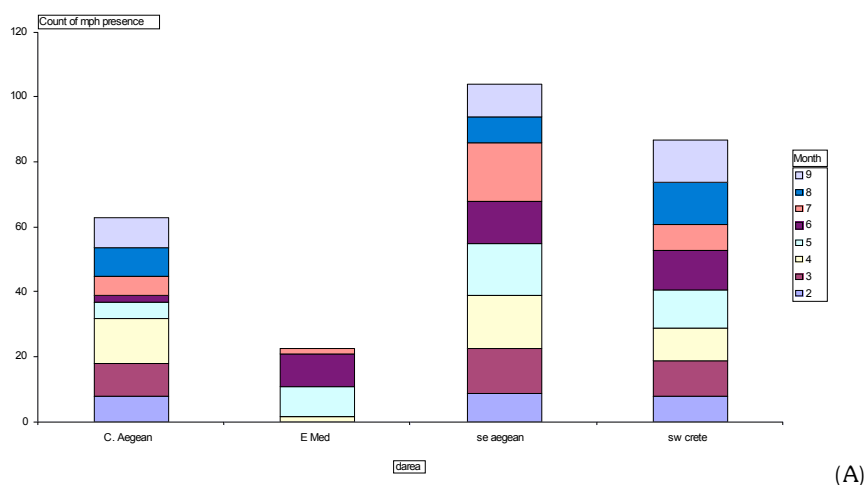
Ξιφίας

Όσον αφορά στις σχέσεις της κατανομής των αλιευτικών δεδομένων του ξιφία με την παρουσία περιοχών υψηλής παραγωγικότητας, οι περιοχές όπου η παρουσία του ξιφία συμπίπτει ως επί το πλείστον με ΜΡΗ είναι το κεντρικό Αιγαίο, και πιο συγκεκριμένα το πλατό των Κυκλάδων, η περιοχή των Δωδεκανήσων, το Β. Αιγαίο και τα Κύθηρα. Στο αλιευτικό πεδίο που τοποθετείται στην περιοχή της Γαύδου, αναγνωρίζονται συχνά ΜΡΗ, ενώ η περιοχή του Κίσσαμου εμφανίζει μεγάλη αφθονία την άνοιξη. Ανατολικά της Ρόδου η εμφάνιση ΜΡΗ σχετίζεται με αυξημένη αφθονία την περίοδο Απρίλιος- Ιούλιος. (Γράφημα 2.) Επιπλέον το ποσοστό των αλιευμάτων ανά ημέρα που τοποθετούνται σε ΜΡΗ ξεπερνά το 50% καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (μέγιστη τιμή 68% τον Ιούνιο), όπως και η συχνότητα εμφάνισης του ξιφία σε ΜΡΗ (μέγιστη τιμή 0.66 τον Ιούλιο), με μόνη εξαίρεση το Μάρτιο (Πίνακες 3. και 4.). Ο υπολογισμός του ποσοστού της περιοχής μελέτης που καταλαμβάνεται από θερμικά μέτωπα (% front area) ή ΜΡΗ (% ΜΡΗ area) έδειξε ότι αποτελούν μικρές περιοχές (Πίνακας 3.). Όπως έδειξε ο έλεγχος διαφοράς των διαμέσων οι σχέσεις αυτές δεν είναι στατιστικά σημαντικές ($p > 0.05$).

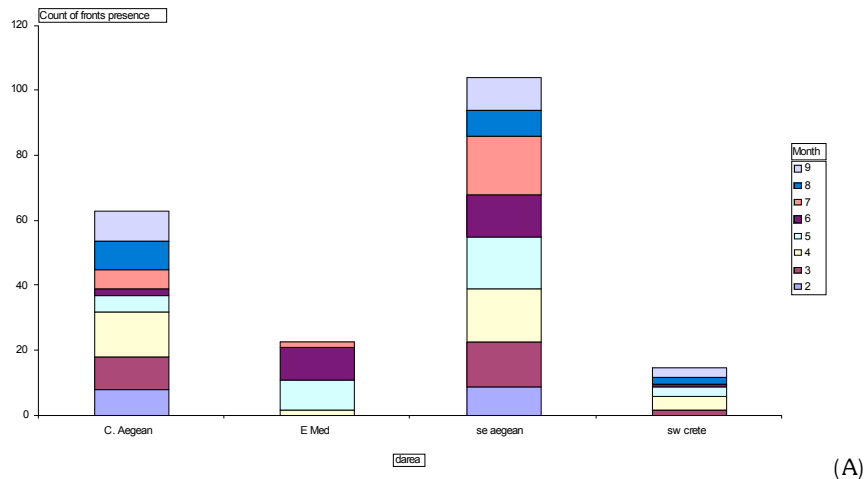


Εικόνα 9 Χάρτης συσχέτισης των αλιευτικών δεδομένων του ξιφία και του τόνου με την παρουσία περιοχών υψηλής παραγωγικότητας (ΜΡΗ) και θερμικών μετώπων (Fronts), για τον Ιούλιο 2000.

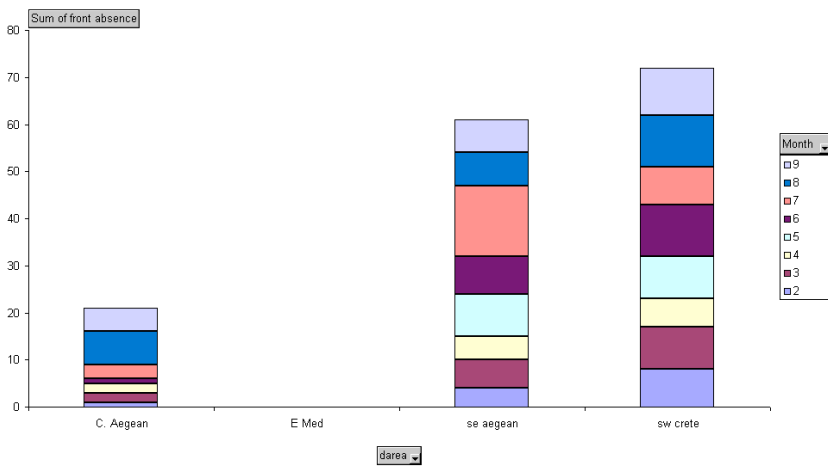
Η παρουσία θερμικών μετώπων παίζει ρόλο στη συνάθροιση του ξιφία σε περιοχές όπως το Κρητικό Πέλαγος, οι Κυκλάδες, το Β. Αιγαίο, η λεκάνη της Χίου και τα αλιευτικά πεδία πλησίον της Καρπάθου. Στη Γαύδο αυτή η σχέση παρατηρείται από τον Μάρτιο έως τον Μάιο και τον Αύγουστο, ενώ στο Ν.Δ. Αιγαίο τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο και Σεπτέμβριο (Γράφημα 3). Το ποσοστό και η συχνότητα των αλιευμάτων ανά ημέρα που συμπίπτουν με την παρουσία θερμικών μετώπων, εμφανίζουν παρόμοιο πρότυπο, με τιμές μεγαλύτερες του 60% και του 0.5 αντίστοιχα, από τον Φεβρουάριο έως τον Απρίλιο και μικρότερες του 35% και του 0.35, από τον Ιούλιο έως το Σεπτέμβριο (Πίνακες 3. και 4.). Και στην περίπτωση των θερμικών μετώπων ο έλεγχος Mann-Whitney, δεν έδωσε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα.



Γράφημα 2. Περιπτώσεις παρουσίας (A) και απουσίας (B) ΜΡΗ στις περιοχές κατανομής των αλιευτικών δεδομένων αφθονίας ξιφία ανά αλιευτική περιοχή και μήνα.



(A)



(B)

Γράφημα 3 Περιπτώσεις παρουσίας (A) και απουσίας (B) θερμικών μετώπων στις περιοχές κατανομής των αλιευτικών δεδομένων αφθονίας ξιφία ανά αλιευτική περιοχή και μήνα.

Τόνος

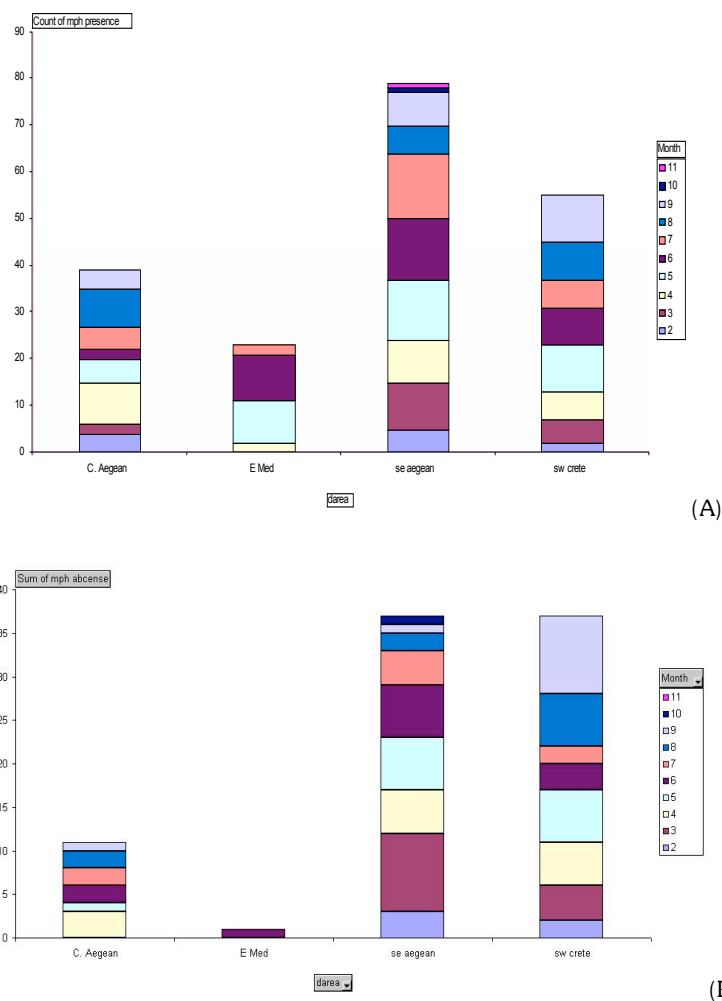
Οι περιοχές, όπου παρατηρείται μεγάλη συχνότητα ταυτόχρονης εμφάνισης αλιευτικών δεδομένων τόνου και ΜΡΗ είναι οι Κυκλάδες, τα Δωδεκάνησα, το Β. Αιγαίο, τα Χανιά και η Ιεράπετρα. Περιστασιακά η συσχέτιση αυτή παρατηρείται στη Γαύδο, στα Κύθηρα, από τον Απρίλιο έως το Σεπτέμβριο, Ν.Α. της Ρόδου, από το Μάιο έως τον Ιούλιο και στην ανατολική Λεβαντίνη την περίοδο Μάιος-Ιούνιος (Γράφημα 4.). Υψηλά ποσοστά αλιευμάτων ανά ημέρα, που συμπίπτουν με την αναγνώριση ΜΡΗ (μεγαλύτερα του 70%) παρατηρούνται τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, ενώ η συχνότητα παρουσίας αλιευτικών δεδομένων σε ΜΡΗ εμφανίζεται υψηλή (μεγαλύτερη του 0.6) και τον Φεβρουάριο και με ελάχιστη τιμή (0.4) το Μάρτιο (Πίνακες 3. και 4.).

Η χαρτογράφηση των θερμικών μετώπων, έδειξε ότι στο πλατό των Κυκλάδων, στο Β. Αιγαίο και στη Ν. Κρήτη, η εμφάνισή τους συνδέεται στενά με την κατανομή των δεδομένων αφθονίας τόνου. Στα Κύθηρα και στη Γαύδο παρατηρείται περιστασιακή συνένωση θερμικών μετώπων και τόνου, στο Κρητικό Πέλαγος, από τον Απρίλιο έως τον Ιούνιο, στο Καρπάθιο την

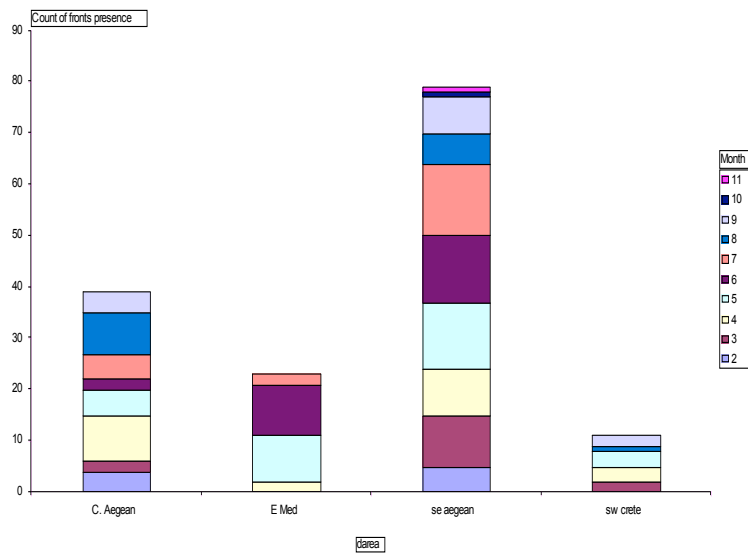
Άνοιξη και στην Ανατολική Μεσόγειο, έως τις ακτές της Κύπρου, την περίοδο Μάρτιος - Ιούνιος.(Γράφημα 5.) Τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιο και Μάιο, υψηλά ποσοστά αφθονίας (μεγαλύτερα του 60%) σχετίζονται με την παρουσία θερμικών μετώπων, ενώ η ελάχιστη τιμή (16%) παρατηρείται τον Αύγουστο (Πίνακες 3. και 4.).

Και στα δυο είδη η συχνότητα χωροχρονικής ταύτισης των αλιευτικών δεδομένων του είδους και της παρουσίας ΜΡΗ και / ή θερμικών μετώπων ξεπερνά το 0.67 (η τιμή αναφέρεται στον τόνο, την περίοδο του Αυγούστου) και φτάνει το 0.88 (η τιμή αναφέρεται στον ξιφία, κατά τον Απρίλιο).

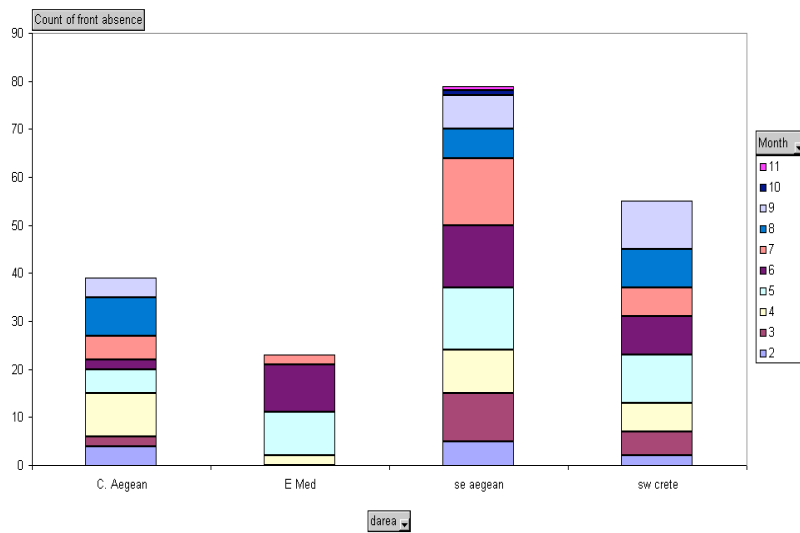
Παρόλα αυτά ο στατιστικός έλεγχος Mann-Whitney, δεν έδειξε κάποια διαφορά της αφθονίας ανάμεσα σε περιοχές που εμφανίζονται ΜΡΗ ή θερμικά μέτωπα και σε αυτές όπου δεν χαρτογραφήθηκαν ($p > 0.05$).



Γράφημα 4 Περιπτώσεις παρουσίας (A) και απουσίας (B) ΜΡΗ στις περιοχές κατανομής των αλιευτικών δεδομένων αφθονίας ξιφία ανά αλιευτική περιοχή και μήνα.



(A)



(B)

Γράφημα 5 Περιπτώσεις παρουσίας (A) και απουσίας (B) θερμικών μετώπων στις περιοχές κατανομής των αλιευτικών δεδομένων αφρονίας ξιφία ανά αλιευτική περιοχή και μήνα.

Πίνακας 3 Ποσοστό αφθονίας τόνου (bft) και ξιφία (swo) που συμπίπτουν με ωκεάνια μέτωπα (% catch in fronts) και ΜΡΗ (% catch in MPH), και ποσοστά της περιοχής μελέτης που καταλαμβάνεται από θερμικά μέτωπα (% front area) ή ΜΡΗ (%mph area)

month	species	catch in front	catch out of front	%catch in front	% front area	catch in mph	catch out of mph	%catch in mph	% mph area
feb	bft	1026,070	272,000	79,046	4,739	895,200	717,700	55,503	6,538
	swo	2344,390	1116,850	67,733		2196,860	1264,338	63,471	
mar	bft	232,150	273,930	45,872	3,988	220,570	285,510	43,584	15,074
	swo	2911,400	1667,620	63,581		2315,310	2263,710	50,563	
apr	bft	760,710	179,590	80,901	4,25	345,240	595,060	36,716	19,318
	swo	4327,020	1679,450	72,039		4121,770	1884,700	68,622	
may	bft	2205,640	1151,390	65,702	3,642	1477,070	1879,960	43,999	12,683
	swo	2847,540	2085,270	57,727		2970,000	2142,810	58,089	
jun	bft	1650,940	2229,580	42,544	2,107	2829,890	1050,630	72,926	13,367
	swo	3165,810	3176,730	49,914		4424,980	1917,560	69,767	
jul	bft	324,770	1077,160	23,166	1,438	1043,420	358,510	74,427	15,596
	swo	1260,420	3281,420	27,751		2944,470	1597,370	64,830	
aug	bft	88,170	444,910	16,540	1,789	247,640	285,440	46,455	15,153
	swo	1088,950	2934,810	27,063		2271,540	1752,220	56,453	
sep	bft	237,280	397,590	37,375	2,46	158,330	476,540	24,939	12,663
	swo	1719,120	3088,870	35,755		2508,780	2299,210	52,179	
all months	bft	5849,840	6169,910	48,669	3,05	6834,970	5184,780	56,864	13,8
	swo	19664,600	19031,000	50,819		23573,70	15122,000	60,921	

Πίνακας 4 Συχνότητα ταυτόχρονης παρουσίας αλιευτικών δεδομένων αφθονίας τόνου (bft) και ξιφία (swo) με ωκεάνια μέτωπα (frequency of catch in fronts) και ΜΡΗ (frequency of catch in mph).

month	species	frequency of catch	frequency of catch	frequency of catch
		in fronts	in mph	in fronts or mph
feb	bft	0,7500	0,6875	0,8125
	swo	0,5667	0,5667	0,7333
mar	bft	0,6000	0,4000	0,6800
	swo	0,5238	0,4524	0,6905
apr	bft	0,8571	0,5714	0,8571
	swo	0,7500	0,6154	0,8846
may	bft	0,6429	0,5476	0,8333
	swo	0,5957	0,5319	0,8085
jun	bft	0,4878	0,6585	0,7561
	swo	0,4667	0,6444	0,7333
jul	bft	0,2581	0,7097	0,7097
	swo	0,2632	0,6579	0,6842
aug	bft	0,2593	0,5926	0,6667
	swo	0,2821	0,6154	0,6923
sep	bft	0,3462	0,5385	0,6923
	swo	0,3846	0,5641	0,7179
all months	bft	0,3056	0,4365	0,6627
	swo	0,4729	0,5723	0,7440

3.2.2 Συσχέτιση της κατανομής των δεικτών αφθονίας μεγάλων πελαγικών με περιβαλλοντικές παραμέτρους με τη χρήση Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων.

Οι τιμές επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και συγκέντρωσης χλωροφύλλης, όπως προέκυψαν από τις δορυφορικές εικόνες αποθηκεύτηκαν σε μια βάση δεδομένων (Πίνακας 5.) και χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη μοντέλων συσχέτισης της αφθονίας τόνου και ξιφία με τις προαναφερθείσες περιβαλλοντικές παραμέτρους. Τα αποτελέσματα των μοντέλων παρουσιάζονται στο Παράρτημα 1.

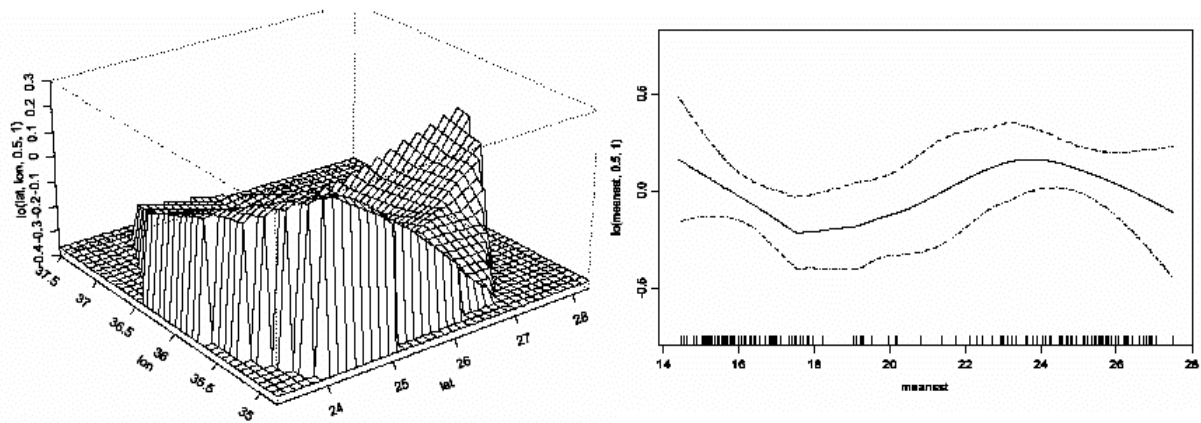
Πίνακας 5 Τμήμα της βάσης δεδομένων που αφορά στην αφθονία του ξιφία σε σχέση με τιμές SST και Chl a. Αναφέρονται: το όνομα της περιοχής (area), το έτος (year), ο μήνας (month), η αφθονία του ξιφία (swocatch per day), η ελάχιστη (min), μέγιστη (max), μέση τιμή (mean) και τυπική απόκλιση (std) για την επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία (sst) και χλωροφύλλη (chl).

area	Year	Month	swocatch per day	Min sst	Max sst	Mean sst	Std sst	Min chl	Max chl	Mean chl	Std chl
Kissamos	1998	3	22,67	23,13	24,25	23,87	0,25	0,06	0,19	0,13	0,06
Hania	1998	5	120	24,88	26,50	26,34	0,16	0,05	0,57	0,17	0,16
Kissamos	2003	2	68,25	15,38	16,50	15,89	0,28	0,04	0,13	0,08	0,04
Kythira	1998	5	72,5	23,50	26,13	25,62	0,35	0,06	0,22	0,09	0,05
S. Aegean	2000	3	20,71	16,00	20,00	18,67	0,51	0,04	0,49	0,09	0,05
Kythira	1998	3	50,33	23,13	28,63	25,97	0,32	0,06	0,22	0,08	0,04
Hania	1998	8	53,67	17,75	18,50	18,22	0,10	0,05	0,21	0,10	0,06

Ξιφίας

Η συσχέτιση των τιμών του δείκτη αφθονίας του ξιφία με περιβαλλοντικές παραμέτρους μοντελοποιήθηκε με τη χρήση των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων. Το γενικό μοντέλο που προέκυψε περιλαμβάνει χωρικές παραμέτρους (αλληλεπίδραση γεωγραφικού πλάτους και μήκους) και τη μέση θερμοκρασία. Τα αλιεύματα ανά ημέρα του ξιφία εμφανίζουν μεγάλες ποσότητες στις συντεταγμένες 36°-36.5°N, 27°-28°E και 35°-35.5°N, 24°-24.5°E, ενώ ως προς τη μέση θερμοκρασία παρατηρούνται δυο κορυφές στους 14-15°C και στους 23-24.5 °C (Εικόνα 10.). Το μοντέλο εξηγεί το 16.97% της των δεδομένων, ενώ και οι δυο παράγοντες εμφανίζουν στατιστικά σημαντική μη γραμμική συσχέτιση με την προβλεπόμενη παράμετρο ($p < 0.03$). Αν σε αυτό το μοντέλο αντικατασταθεί η μέση επιφανειακή θερμοκρασία με τη μέγιστη, βελτιστοποιείται το ποσοστό της μεταβλητότητας που εξηγείται από το μοντέλο, το οποίο ανέρχεται στο 19.8% ενώ μειώνεται και η τιμή του p γραμμικότητας ($p \approx 0.015$).

Για να μελετηθεί η συμπεριφορά του ξιφία σε διαφορετικές περιόδους του κύκλου ζωής του, τα δεδομένα διαιρέθηκαν σε δυο περιόδους, την περίοδο ωτοκίας (Μάιος-Ιούλιος) και την περίοδο τροφοληψίας. Το μοντέλο που προέκυψε για τους μήνες ωτοκίας, Μάιος-Ιούλιος, δείχνει προτίμηση του ξιφία στους 24 °C ($p \approx 0.076$) και απουσία ατόμων στην περιοχή 36-36.5 °N, 25-26 °E ($p \approx 0.17$). το μοντέλο εξηγεί το 19.73% της μεταβλητότητας των δεδομένων. Το μοντέλο βελτιώνεται αν στους μήνες ωτοκίας προστεθεί ο Αύγουστος, οπότε το ποσοστό μεταβλητότητας που εξηγείται γίνεται 26.85% και οι τιμές του p γραμμικότητας μειώνονται σε 0.046 για την αλληλεπίδραση γεωγραφικού μήκους και πλάτους και 0.05 για την μέση SST.



Εικόνα 10 Γραφήματα συσχέτισης της αφθονίας του ξιφία με την αλληλεπίδραση γεωγραφικού μήκους και πλάτους, και τη μέση επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία.

Για τους υπόλοιπους μήνες (Φεβρουάριος-Απρίλιος και Αύγουστος-Σεπτέμβριος) το μοντέλο που συνδέει τις χωρικές παραμέτρους και τη μέση θερμοκρασία με την αφθονία, παρουσιάζει δυο ενδιαφέροντα εύροι τιμών θερμοκρασίας: 14-18 °C, όπου παρατηρείται μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση θερμοκρασίας δεικτών αφθονίας και 22-27°C, όπου η σχέση αυτή γίνεται ανάλογη ($p=0.22$). Όσον αφορά στην αλληλεπίδραση γεωγραφικού μήκους και πλάτους, μεγάλη ποσότητα αλιευτικών δεδομένων συγκεντρώνεται στους 35-35.5°N, 24-25 °E ($p=0.037$). Το μοντέλο εξηγεί το 32.9% της μεταβλητότητας των δεδομένων. Αν στο παραπάνω μοντέλο εξαιρεθούν οι μήνες Αύγουστος και Σεπτέμβριος, με στόχο την απόκτηση μιας πιο λεπτομερούς εικόνας της κατάστασης που επικρατεί στις χαμηλές τιμές της θερμοκρασίας, προκύπτει ένα μοντέλο που εξηγεί το 34.7% της μεταβλητότητας των δεδομένων και εμφανίζει μια κορύφωση των δεικτών αφθονίας σε θερμοκρασίες 15-15.5 °C, με τη σχέση αυτή να παρουσιάζεται ως γραμμική και αντιστρόφως ανάλογη ($p=0.89$). Οι κορυφές της τιμής του δείκτη αφθονίας του ξιφία εμφανίζονται γύρω στους 36°N, 23.5-24 °E και 37-37.5°N, 26 °E ($p=0.022$). Το μοντέλο βελτιώνεται με την αντικατάσταση της μέσης θερμοκρασίας με την ελάχιστη. Το μοντέλο αυτό δίνει μια όμοια, αλλά πιο ξεκάθαρη εικόνα, εξαιτίας της μείωσης των τιμών του r γραμμικότητας ($p=0.01$ για την αλληλεπίδραση γεωγραφικού μήκους και πλάτους και $p=0.44$ για την ελάχιστη SST) και της αύξησης του ποσοστού της μεταβλητότητας που εξηγείται από το μοντέλο (37.48%).

Τόνος

Η προσέγγιση των Γενικευμένων Προσθετικών μοντέλων χρησιμοποιήθηκε και στην περίπτωση της αφθονίας του τόνου. Το μοντέλο που καλύπτει την περίοδο Φεβρουάριος-Σεπτέμβριος και ενσωματώνει τις συντεταγμένες των αλιευτικών πεδίων και τη μέση επιφανειακή θερμοκρασία, προτείνει τους 22-22,5 °C ($p=0.002$) ως την βέλτιστη θερμοκρασία συνάθροισης του τόνου και μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση των δεικτών αφθονίας με το

γεωγραφικό μήκος ($p \approx 0.004$). Το μοντέλο εξηγεί το 53.35% της μεταβλητότητας των δεδομένων και όπως και στην περίπτωση του ξιφία η αντικατάσταση του παράγοντα της μέσης θερμοκρασίας με τη μέγιστη SST βελτιώνει τα αποτελέσματα αυξάνοντας το εξηγήσιμο ποσοστό μεταβλητότητας στο 54.78% και μειώνοντας τιμές του p γραμμικότητας ($p \approx 0.0029$ για την αλληλεπίδραση γεωγραφικού μήκους και πλάτους και $p \approx 0.0001$ για την μέγιστη SST). Η προτίμηση του είδους στους 22 °C είναι εμφανής, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές αφθονίας συγκεντρώνονται στους 35–37°N, 23–25.5 °E.

Τους μήνες, οπότε σύμφωνα με τη βιβλιογραφία δεν επιτελείται ωτοκία (Φεβρουάριος–Απρίλιος και Σεπτέμβριος), το μοντέλο που περιγράφει τη σχέση του τόνου με τα γεωγραφικό μήκος και πλάτος και μέση επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία, εξηγεί το 70.28% της μεταβλητότητας των δεδομένων. Οι μέγιστες τιμές του δείκτη αφθονίας συγκεντρώνονται στους 35–36°N, 25–28 °E ($p \approx 0.1$), ενώ η σχέση τους με τη θερμοκρασία εμφανίζεται πιο πολύπλοκη. Στις χαμηλές θερμοκρασίες, 13–18°C ο τόνος παρουσιάζει προτίμηση στους 15°C, ενώ στις υψηλές, 23–27 °C, παρατηρείται μια ανάλογη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και αφθονίας ($p \approx 0.001$). Βελτίωση του μοντέλου επιτυγχάνεται αν χρησιμοποιηθεί η μέγιστη SST, με το 75.24% της μεταβλητότητας να είναι εξηγήσιμη και τα p γραμμικότητας να μειώνονται σε 0.0086 για την αλληλεπίδραση γεωγραφικού μήκους και πλάτους και 0.0001 για την μέγιστη SST. Όταν αυτή η περίοδος διαιρεθεί σε δυο τμήματα, Φεβρουάριος–Απρίλιος και Αύγουστος–Σεπτέμβριος (θεωρούμε τον Αύγουστο ως μεταβατικό μήνα από την περίοδο ωτοκίας στην περίοδο μετά την ωτοκία) τα αποτελέσματα των μοντέλων συνοψίζονται στα εξής: Για την περίοδο Φεβρουάριος–Απρίλιος το είδος συγκεντρώνεται στους 36°N, 26–27°E ($p \approx 0.06$) και στους 15.5°C ($p \approx 0.12$) και το μοντέλο εξηγεί το 83.88% της μεταβλητότητας. Για την περίοδο Αύγουστος–Σεπτέμβριος η βέλτιστη θερμοκρασία είναι 26°C ($p \approx 0.008$), η σχέση της αφθονίας με το γεωγραφικό μήκος είναι γραμμική και τα ποσά είναι ανάλογα ενώ οι μεγαλύτερες τιμές αφθονίας παρατηρούνται στους 24–25.5°E ($p \approx 0.006$). Το μοντέλο εξηγεί το 88,78% της μεταβλητότητας.

Κατά την ωτοκία οι θερμοκρασίες που προτιμώνται από τον τόνο κυμαίνονται γύρω στους 21°C ($p \approx 0.004$) και οι περιοχές όπου συγκεντρώνονται τοποθετούνται στους 35–38°N, 23–25 °E και 36.5°N, 26–28 °E ($p \approx 0.0003$). Η μεταβλητότητα των δεδομένων που εξηγείται από το μοντέλο αγγίζει το 65%.

Τα αποτελέσματα των μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή και χαρτογράφηση των θερμοκρασιών που εμφανίζονται ως βελτιστες κατά την περίοδο ωτοκίας, με στόχο την αναγνώριση πιθανών περιοχών ωτοκίας. Χάρτες κλιματολογίας και για τα δυο είδη παρουσιάζονται στο Παράρτημα 2.

4. Συζήτηση

Η ανάγκη για συλλογή πληροφορίας και ταυτοποίηση σημαντικών ενδιακτημάτων για τα μεταναστευτικά είδη έχει αναδειχθεί σε πολλές προσπάθειες διαχείρισης των πληθυσμών τους (πχ FMP, 1998). Η απόκριση στην ανάγκη αυτή περιλαμβάνει τη διερεύνηση της επίδρασης χαρακτηριστικών των ενδιακτημάτων στην κατανομή των ειδών, αναγνώριση περιοχών ωοτοκίας, χαρακτηρισμό ωκεανογραφικών διεργασιών, όπως στρόβιλοι και θερμικά μέτωπα, που αλληλεπιδρούν με τον τόνο και τον ξιφία και αναγνώριση των θηραμάτων και των περιοχών τροφοληψίας τους.

4.1 Η κυκλοφορία στην Ανατολική Μεσόγειο όπως εμφανίζεται σε δορυφορικές εικόνες.

Η χρήση δορυφορικών εικόνων περιβαλλοντικών παραμέτρων και η ανάπτυξη μεθόδων, βασισμένων στη χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών αποτελεί μια εύκολη και οικονομική προσέγγιση στην αναγνώριση ωκεανογραφικών δομών και περιοχών υψηλής πρωτογενούς παραγωγικότητας. Το στίγμα ωκεανογραφικών διεργασιών μεγάλης χωρικής κλίμακας είναι εμφανές σε χάρτες κατανομής της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας, ενώ η αυξημένη παραγωγικότητα μπορεί να αναγνωριστεί σε εικόνες συγκέντρωσης χλωροφύλλης α. Στην παρούσα μελέτη παρουσιάστηκε επιπλέον η χαρτογράφηση διαδικασιών μέσης χωρικής κλίμακας (mesoscale), συγκεκριμένα αναβλύσεις, παροδικοί κυκλώνες και θερμικά μέτωπα, που συμβάλλουν στην αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας. Οι χρονοσειρές χαρτών που προέκυψαν παρέχουν μια περιγραφή της επιφανειακής κυκλοφορίας στην ανατολική Μεσόγειο και των δομών που διαταράσσουν την ολιγοτροφική φύση της.

Οι δυνάμεις-αίτια εγκαθίδρυσης ωκεανογραφικών προτύπων και τα ιδιαίτερα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά ωκεανογραφικών δομών που συμβάλλουν στον εμπλουτισμό των επιφανειακών στρωμάτων, αποτελούν τη βάση της αναγνώρισής τους με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων. Ταυτόχρονα οι χρονοσειρές δορυφορικών εικόνων επιβεβαιώνουν τους μηχανισμούς δημιουργίας προτύπων και μπορούν να περιγράψουν τις μεταβολές και διακυμάνσεις των ωκεανογραφικών δομών στο χώρο και στο χρόνο. Επιπλέον παρέχουν τη δυνατότητα μελέτης της ωκεανογραφίας σε μεγάλη κλίμακα.

Οι στρόβιλοι εμφανίζονται σε εικόνες SST ως κυκλικές δομές, που χαρακτηρίζονται από διαφορετικές θερμοκρασίες σε σχέση με τις παρακείμενες περιοχές. Πολλές φορές οι κυκλώνες χαρτογραφούνται και ως ΜΡΗ. Ως μόνιμες δομές αναγνωρίζονται οι κυκλώνες νοτιοδυτικά της Κρήτης και νότια της Ρόδου. Η θέση του κυκλώνα της Ρόδου μεταβάλλεται, όπως και ο αριθμός των κέντρων του. Ο κυκλώνας της Κρήτης εμφανίζει έντονο στίγμα τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε ισχυροποιείται πιθανόν εξαιτίας της εμφάνισης μιας παράκτιας ανάβλυσης δυτικά της Κρήτης. Ημιμόνιμες ή εποχικές κυκλωνικές και αντικυκλωνικές δομές εμφανίζονται στο Κρητικό Πέλαγος και νότια της Κρήτης. Στην ανατολική λεκάνη ενεργές

δομές μέσης χωρικής κλίμακας όπως jets και στρόβιλοι ή εποχικές κυκλωνικές και αντικυκλωνικές δομές αλληλοσυνδέονται για να κατασκευάσουν μια κυκλοφορία στο επίπεδο της λεκάνης (Robinson *et al.*, 2001; Malanotte-Rizzoli *et al.*, 1999). Κυκλωνικές και αντικυκλωνικές δίνες αναγνωρίστηκαν και από τους Theocharis *et al.* (1999) στην περιοχή του νότιου Αιγαίου καθώς και στις γειτονικές περιοχές του ανατολικού Ιονίου και της βορειοδυτικής Λεβαντίνης. Εμφανίζουν σημαντική ποικιλότητα σε χαρακτηριστικά όπως (1) σχήμα, θέση και ισχύς των μονίμων στροβίλων και των ασταθών λοβών τους, πολλαπλά κέντρα, μαιάνδρους μέσης χωρικής κλίμακας, (2) πρότυπα μαιάνδρων και ισχύς των μονίμων δυνών και (3) παρουσία μεταβατικών δινών και μη περιοδικών δινών (Robinson *et al.*, 2001; Theocharis *et al.*, 1999; Larnicol *et al.*, 2002).

Προηγούμενες προσπάθειες περιγραφής της κυκλοφορίας στην Ανατολική Μεσόγειο με την μελέτη δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας (SST) έδωσαν ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Οι Matteoda και Glenn (1996) ανέλυσαν SST δορυφορικά δεδομένα της ανατολικής Μεσογείου για μια περίοδο μεγαλύτερη των 4 ετών και αναγνωρίζουν ως μόνιμα χαρακτηριστικά πέντε στροβίλους: της Ιεράπετρας νοτιοανατολικά της Κρήτης, του Πέλοπα νότια της Πελοποννήσου, έναν κυκλώνα νοτιοδυτικά της Κρήτης και τους Shikmona και της Δυτικής Κύπρου στην Λεβαντίνη. Οι Marullo *et al.* (1999a) θεωρούν ως κύρια και μόνιμη δομή τον κυκλώνα της Ρόδου. Τρεις άλλες δομές που αναφέρονται με σειρά μειούμενης παρουσίας όπως αυτές εμφανίζονται σε SST μηνιαία κλιματολογία είναι: ο αντικυκλώνας της Ιεράπετρας, ο Πέλοπας και ο κυκλώνας της Δ. Κρήτης. Ο ετήσιος κύκλος της κατανομής της SST εμφανίζεται μόνο κατά τη χειμερινή περίοδο και μόνο στη λεκάνη του Ιονίου, ενώ το χειμώνα στη Λεβαντίνη υπάρχουν μόνο μικρές διακυμάνσεις γύρω από την ζωνική κλιματολογία (Marullo *et al.*, 1999b). Δεν εμφανίζεται κάποια περιοδικότητα τις υπόλοιπες εποχές σε κάποια από τις δυο λεκάνες. Στην πραγματικότητα ενώ η άνοιξη και το φθινόπωρο χαρακτηρίζονται πάντα από μεταβατικά πρότυπα, το καλοκαίρι είναι η εποχή με την ελάχιστη ετήσια ποικιλότητα. Φαίνεται ότι οι εποχικές και μηνιαίες κλιματολογίες των πεδίων SST αντικατοπτρίζουν με αρκετή ακρίβεια τα εποχικά χαρακτηριστικά της Ανατολικής Μεσογείου (Marullo *et al.*, 1999a).

Δυο άλλα χαρακτηριστικά, που σχετίζονται με τη χωρική κατανομή των δεδομένων αφθονίας των ιχθύων, είναι η είσοδος πλούσιων σε θρεπτικά υδάτων από τη Μαύρη θάλασσα και το Levantine Intermediate Water, που εμφανίζεται ως μια θερμή 'γλώσσα', που εισέρχεται στο Αιγαίο από τα νοτιοανατολικά περάσματά του. Η είσοδος θρεπτικών από τη Μαύρη θάλασσα και τους ποταμούς της βορείου Ελλάδας που εκβάλλουν στο βόρειο Αιγαίο, είναι εμφανής και στην κατανομή επιφανειακής χλωροφύλλης α όπως φαίνεται σε δορυφορικές εικόνες.

Παρατηρήσεις υψηλών συγκεντρώσεων χλωροφύλλης (Chl-a), που σχετίζονται με παράκτιες αναβλύσεις και χαρακτηριστικά μέσης χωρικής κλίμακας, αναδεικνύουν την ανάγκη επανεκτίμησης των τροφικών χαρακτηριστικών της Μεσογείου, τουλάχιστον σε συγκεκριμένες περιοχές (Jacques, 1989). Η χαρτογράφηση περιοχών υψηλής παραγωγικότητας (MPH) και θερμικών μετώπων αναδεικνύουν τους μηχανισμούς αύξησης της πρωτογενούς παραγωγικότητας στην ανατολική Μεσόγειο.

Η κατανομή των ΜΡΗ ακολουθεί έναν ετήσιο κύκλο ανάμιξης και στρωμάτωσης των επιφανειακών υδάτων στο Αιγαίο που προκαλούνται κυρίως από καλοκαιρινούς βόρειους ξηρούς ανέμους οι οποίοι είναι η αιτία ανάβλυσης κατά μήκος των ανατολικών παράκτιων περιοχών του Αιγαίου και κατά μήκος του κεντρικού Αιγαίου (πλατό των Κυκλάδων) εγκαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο μια κλιμακωτή μεταβολή της θερμοκρασίας από ανατολικά προς δυτικά στο κεντρικό Αιγαίο. Στη διάρκεια του χειμώνα, οπότε και εγκαθιδρύεται μια κυκλωνική επιφανειακή κυκλοφορία, τα πρότυπα SST/CHL ανωμαλιών είναι πιο εμφανή κατά μήκος του Βόρειου ρεύματος στα παράλια της Μικράς Ασίας και λιγότερο εμφανή κατά μήκος του σχετικά ανίσχυρου Νότιου ρεύματος στις ελληνικές παράκτιες περιοχές.

Το φθινόπωρο περιοχές υψηλής παραγωγικότητας κυριαρχούν στο βόρειο τμήμα της υπό μελέτη περιοχής (Βόρειο Αιγαίο), οι οποίες επηρεάζονται από δελταϊκές αποθέσεις υδάτων, εισόδου νερού από τη Μαύρη Θάλασσα (Theocharis and Georgopoulos, 1993) και παράκτιες αναβλύσεις (Valavanis *et al.*, 1999). Κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι περιοχές αυτές μετακινούνται στο κεντρικό-ανατολικό Αιγαίο ενώ στους ανοιξιότικους και καλοκαιρινούς μήνες διασκορπίζονται σε ολόκληρη την υπό μελέτη περιοχή.

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η αλληλεπίδραση μεταξύ ενός ατμοσφαιρικού συστήματος χαμηλής πίεσης πάνω από τη λεκάνη της Λεβαντίνης και ενός συστήματος υψηλής πίεσης πάνω από τη Βαλκανική χερσόνησο παράγει σταθερούς βόρειους, ψυχρούς και ξηρούς ανέμους, τις 'Επτήσεις', που πνέουν πάνω από το Αιγαίο (Stergiou *et al.*, 1997a). Η μεταφορά Ekman που προκαλείται στο ανοικτό πέλαγος από τους ισχυρούς βόρειους ανέμους δημιουργεί μια ζώνη ισχυρής ανάβλυσης στο ανατολικό τμήμα της θάλασσας, όπως φαίνεται από την κατανομή των χαρτογραφημένων περιοχών υψηλής παραγωγικότητας, το καλοκαίρι αλλά και το φθινόπωρο. Αυτό αποτελεί το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό μεγάλης κλίμακας στη Μεσόγειο (Bakun & Agostini, 2001). Η ανάβλυση αυτή, η οποία εμφανίζεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, το καλοκαίρι παρουσιάζει ταχύτητες συγκρίσιμες με αυτές που παρατηρούνται σε γνωστά συστήματα αναβλύσεων, όπως η ανάβλυση κοντά στην Ιβηρική χερσόνησο (Parrish *et al.*, 1983) και στο ακρωτήριο Frio (Βραζιλία) (Bakun & Parrish, 1990). Οι Επτήσιοι άνεμοι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, εγκαθιστούν δυο ομοιογενώς στρωματοποιημένες υδάτινες μάζες, που διαχωρίζονται μέσω ενός θερμοκρασιακής διαβάθμισης με κατεύθυνση από ανατολικά προς δυτικά στο Κεντρικό Αιγαίο, με τις χαμηλές θερμοκρασίες στα ανατολικά και τις υψηλότερες στα δυτικά. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα εγκαθίσταται μια κυκλωνική επιφανειακή κυκλοφορία με ένα βόρειο ρεύμα κατά μήκος της ακτής της Μικράς Ασίας και ένα νότιο κατά μήκος των Ελληνικών Ακτών, το οποίο δημιουργεί ένα ετερογενές πρότυπο στρωμάτωσης των υδάτων.

Τα θερμικά μέτωπα που αναγνωρίζονται με τη μέθοδο που προτάθηκε, παρουσιάζουν εμφανή συσχέτιση με τις ισοβαθείς γραμμές, ενώ συχνά το σχήμα τους προσομοιάζει αυτό της σχετιζόμενης με το μέτωπο ισοβαθούς. Ειδικότερα η κατεύθυνση των χαρτογραφημένων παράκτιων μετώπων και μετώπων της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας παρουσιάζει εμφανή συσχέτιση με τον προσανατολισμό των ισοβαθών γραμμών. Το μέσο βάθος των παράκτιων θερμικών μετώπων υποδεικνύει ότι αυτά τα μέτωπα εμφανίζονται κυρίως σε μεγάλα βάθη τον χειμώνα και σε πιο ρηχά νερά την άνοιξη και το καλοκαίρι, οπότε παρατηρούνται αυξημένα

είσοδος νερού από τους ποταμούς και αδύναμοι άνεμοι (Therianos, 1974; Poulos *et al.*, 1997). Το αντίστροφο πρότυπο παρατηρείται όσον αφορά στην κατανομή των ωκεάνιων θερμικών μετώπων που φαίνεται να ακολουθούν τον εποχικό σχηματισμό ωκεάνιων κυκλώνων και αντικυκλώνων (Theocharis *et al.*, 1999; Larnicol *et al.*, 2002).

Τα πρότυπα που παρατηρούνται στα χαρτογραφούμενα μέτωπα εξηγούνται ως εξής: Το Αιγαίο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού χαρακτηρίζεται από έλλειψη νέφωσης, με <20% του ουρανού να καλύπτεται από νέφη (Anonymous, 1956). Συνεπώς όταν εγκαθίσταται η σταθερότητα της στήλης του νερού, η πρωτογενής παραγωγή αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς. Καθώς οι εμπλουτισμένες υδάτινες μάζες και οι παγιδευμένοι πλαγκτονικοί οργανισμοί μεταφέρονται από το πεδίο ροής Ekman προς σταδιακά μειούμενες τυρβώδεις συνθήκες, η ροή αρχίζει να επηρεάζεται από τη δυτική υφαλοκρηπίδα με αποτέλεσμα ισχυρή σύγκλιση και καταβύθιση κατά μήκος του δυτικού ορίου του πελάγους. Η σύγκλιση ροής οδηγεί στην ενεργή ανάπτυξη μετώπων, εμφανών σε δορυφορικές εικόνες (Le Vourche *et al.*, 1992), τα οποία παράγουν μικρότερης κλίμακας ζώνες καταβύθισης στα πλαίσια του προτύπου καταβύθισης, που οφείλεται στην μεταφορά Ekman. Και στις δυο κλίμακες καταδυτικής κίνησης των υδάτινων μαζών δημιουργούνται πολλαπλές δομές αυξημένης συγκέντρωσης μικρών οργανισμών. Στην ζώνη καταβύθισης της δυτικής πλευράς του Αιγαίου ο δείκτης τυρβώδους ανάμιξης πέφτει σε χαμηλά επίπεδα, σε σχέση με όλη την υπόλοιπη περιοχή και μάλιστα παρουσιάζει τιμές κρίσιμες για την επιβίωση προνυμφών πελαγικών ιχθύων (Agostini & Bakun, 2002). Η επιφανειακή ροή στην περιοχή έχει δυτική κατεύθυνση το καλοκαίρι αλλάζοντας πορεία προς το βόρεια στα τέλη του καλοκαιριού, αρχές φθινοπώρου, με τέτοιο τρόπο που ευνοεί τη συγκράτηση πλαγκτονικών προνυμφών στην περιοχή. Τα γεωστροφικά ρεύματα εμφανίζονται αδύναμα, με μια τάση να σχηματίζουν πρότυπα κυκλοφορίας μέσης χωρικής κλίμακας, που επίσης ευνοούν τη διατήρηση οργανισμών.

4.2 Χωροχρονική κατανομή των δεδομένων αλιείας των μεγάλων πελαγικών σε σχέση με περιβαλλοντικούς παράγοντες και ωκεανογραφικές διεργασίες.

Η γεωγραφική απεικόνιση και χωρική ανάλυση αλιευτικών και περιβαλλοντικών δεδομένων αποτελούν σήμερα έναν ανερχόμενο κλάδο της αλιευτικής έρευνας, καθώς αναπτύσσονται νέα εργαλεία που στηρίζουν αυτή την προσπάθεια.

Η εικόνα της κυκλοφορίας και των ωκεανογραφικών διεργασιών όπως προέκυψαν από την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων σχετίστηκε με την κατανομή των υπάρχοντων αλιευτικών δεδομένων, που παρόλο που δεν καλύπτουν το σύνολο της αλιείας των μεγάλων πελαγικών, παρέχουν κάποιες ενδεικτικές συσχετίσεις.

Ξιφίας

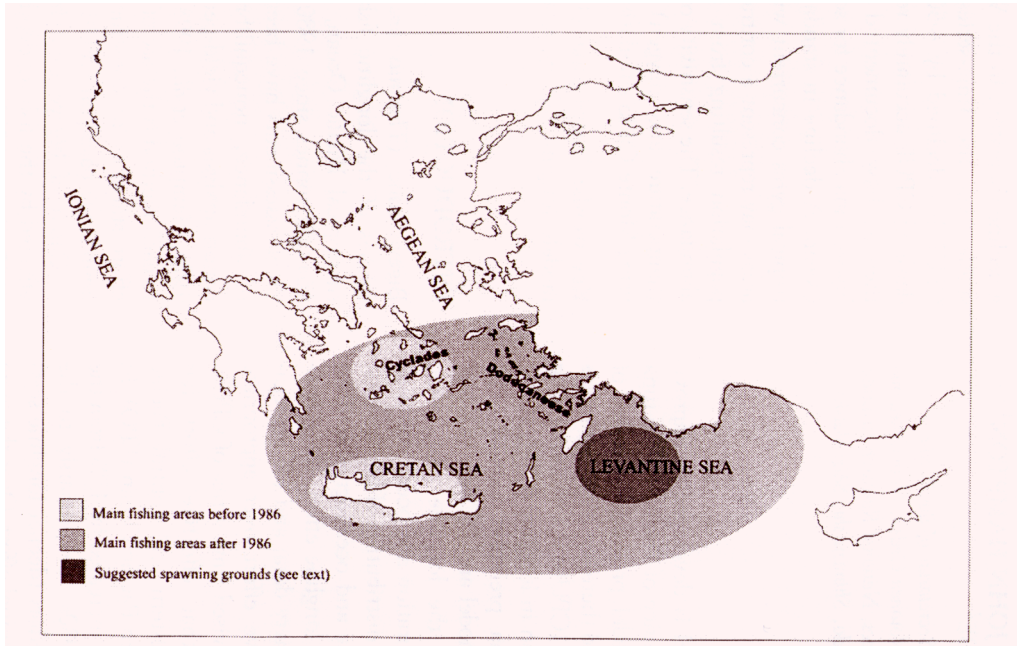
Τα δεδομένα τοποθετούνται κυρίως σε τέσσερις περιοχές: τη Δυτική Κρήτη, το νοτιοδυτικό Αιγαίο, το Κεντρικό Αιγαίο και τη βορειοδυτική Λεβαντίνη. Η ανάλυση των αλιευτικών δεδομένων στο χρόνο και η υπέρθεσή τους σε δορυφορικές εικόνες επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και συγκέντρωσης χλωροφύλλης ανέδειξε κάποιες περιοχές ως μόνιμα κάποιες ως εποχικά αλιευτικά πεδία, ενώ ταυτόχρονα παρατηρήθηκαν σχέσεις με ωκεανογραφικές διεργασίες μεγάλης χωρικής κλίμακας.

Η δυτική Κρήτη, και πιο συγκεκριμένα τα στενά Κυθήρων, Αντικυθήρων, τα παράλια της Δ. Κρήτης και η ευρύτερη περιοχή της Γαύδου, αποτελεί σημαντικό αλιευτικό πεδίο καθ' όλη τη διάρκεια της αλιευτικής περιόδου. Η περιοχή αυτή κυριαρχείται από τον κυκλώνα της Κρήτης, και ένα ρεύμα με δυτική κατεύθυνση, το Mid Mediterranean Jet (MMJ). Το ρεύμα αυτό είναι πιο ισχυρό στα επιφανειακά στρώματα της υδάτινης στήλης και σχετίζεται με μέσης κλίμακας αντικυκλωνικούς και κυκλωνικούς επιφανειακούς στροβίλους (The POEM Group, 1992).

Δεδομένα αφθονίας για το πλατό των Κυκλάδων υπάρχουν για τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιο, Μάιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Τοποθετούνται κυρίως στο νοτιοδυτικό τμήμα των Κυκλάδων. Το πρότυπο της χειμερινής κυκλοφορίας στην περιοχή αποτελείται από δυο μικρούς κυκλωνικούς στροβίλους και την εισροή υδάτων από τη Λεβαντίνη μέσω των στενών της Καρπάθου και της Κάσου (Poulos *et al.*, 1997). Η δυτική λεκάνη του Μιτρού και του Κρητικού επηρεάζονται και από τις υδάτινες μάζες που προέρχονται από τη Μαύρη θάλασσα (Lykousis *et al.*, 2002). Το χειμώνα το πλατό των Κυκλάδων χαρακτηρίζεται από ομοιογένεια στην κάθετη κατανομή θρεπτικών.

Το νοτιοανατολικό Αιγαίο αποτελεί ένα ακόμα αλιευτικό πεδίο. Το LIW, η είσοδος του οποίου στο Αιγαίο φαίνεται να σχετίζεται με τη παρουσία του ξιφία στην περιοχή, παράγεται σε διάφορες περιοχές της Λεβαντίνης και του νότιου Αιγαίου, κατά τη διάρκεια του Φεβρουαρίου και του Μαρτίου, κάτω από την επίδραση ξηρών και ψυχρών ηπειρωτικών αερίων μαζών (Georgopoulos *et al.*, 1989).

Στα τέλη της άνοιξης και στους δυο πρώτους θερινούς μήνες κυκλωνικοί και αντικυκλωνικοί στροβίλοι, που συνδέονται με επιφανειακά και βαθύτερα ρεύματα, χαρακτηρίζουν το βόρειο Λυβικό και τη γειτονική βορειοδυτική Λεβαντίνη, όπου υποτίθεται ότι τοποθετείται η ωτοκία του ξιφία στην Ανατολική Μεσόγειο. Η παρουσία του ξιφία στα παράλια της Κύπρου το καλοκαίρι πιθανόν οφείλεται στο ότι στην περιοχή αυτή παρατηρείται ένα μέγιστο θερμοκρασίας και αλατότητας (Hecht & Gertman, 2001).



Εικόνα 11 Αλιευτικοί τόποι και περιοχές ωτοκίας του ξιφία (*Xiphias gladius*) (Stergiou *et al.*, 2003).

Πολλοί διεθνείς αλιευτικοί στόλοι, με στόχο τον ξιφία συγκεντρώνουν την προσπάθειά τους σε περιοχές υψηλής παραγωγικότητας, όπως συστήματα αναβλύσεων. Η ανακάλυψη ωκεάνιων μετώπων από το στόλο αποδεικνύεται καθοριστική για την απόδοση της αλιευτικής προσπάθειας (Podesta *et al.*, 1993; Bigelow *et al.*, 1999). Η συνάθροιση του ξιφία σε περιοχές συγκεκριμένων θερμοκρασιών και ειδικά κοντά σε θερμικά μέτωπα, θεωρείται ως απόκριση σε συγκέντρωση τροφής ή μεταναστευτικές κινήσεις και ενεργειακό κέρδος, ως αποτέλεσμα της παράλληλης με την ροή των ρευμάτων κίνησης (Olson *et al.*, 1994).

Η παρουσία παροδικών ωκεανογραφικών διαδικασιών μέσης χωρικής κλίμακας σε αλιευτικά πεδία ξιφία και ο ρόλος τους ως πιθανές περιοχές συνάθροισης του είδους, μελετήθηκε με τη χαρτογράφηση περιοχών υψηλής παραγωγικότητας και θερμικών μετώπων και τη συσχέτισή τους με την αφθονία του ξιφία. Οι περιοχές αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν ως πιθανά πεδία τροφοληψίας του είδους.

Η σύγκριση της αφθονίας σε περιοχές που συμπίπτουν με μια από τις δυο ωκεανογραφικές διαδικασίες που χαρτογραφήθηκαν και σε περιοχές που δεν εμφανίζουν ΜΡΗ ή θερμικά μέτωπα, δεν έδωσε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα, παρόλο το γεγονός ότι τα ποσοστά της παραγωγής που αλιεύονται στις περιοχές αυτές, σε κάποιους μήνες, είναι σχετικά υψηλά. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε κάποια χρονική υστέρηση μεταξύ του σχηματισμού κάποιου ΜΡΗ ή θερμικού μετώπου και της συγκέντρωσης ατόμων ξιφία σε αυτά, ή στο ότι τα άτομα κατά τις μεταναστεύσεις τους επισκέπτονται για μικρά χρονικά διαστήματα, τα οποία δεν μπορούν να αποδοθούν σε εβδομαδιαία δεδομένα.

Οι Seki *et al.* (2002) διερεύνησαν την επίδραση της δυναμικής των Υποτροπικού και Νότιου Υποτροπικού Μετώπων στην παραγωγικότητα της αλιείας του ξιφία στη Χαβάη, με τη χρήση δεδομένων υδρογραφικών μελετών και τηλεπισκόπισης. Τα συστήματα αυτά αποτελούν

περιοχές συγκέντρωσης του ξιφία και των θηραμάτων του στα επιφανειακά στρώματα της στήλης του νερού, με αποτέλεσμα την αύξηση της τρωτότητας του ξιφία στα παραγάδια.

Η επίδραση του περιβάλλοντος στην κατανομή των αλιευτικών πόρων αποτελεί σημαντικό παράγοντα που θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη σε μοντέλα διαχείρισης αλιείας. Περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα, η διαύγεια και το χρώμα των υδάτων, επηρεάζουν την επιτυχία της αλιείας για πελαγικά είδη (Sharp, 1978; Laurs *et al.*, 1984; Podesta *et al.*, 1993; Hinton & Deriso, 1998). Ακόμα και ο προσανατολισμός του δολώματος, έχει βρεθεί ότι παίζει σημαντικό ρόλο στην αλιευσιμότητα του ξιφία (Broadhurst & Hazin, 2001). Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορεί να επηρεάζουν την διαθεσιμότητα και την ευπάθεια των ιχθύων σε ποικίλες χωροχρονικές κλίμακες, όμως μοντέλα δυναμικής των αλιευτικών πόρων πολλές φορές αγνοούν τις περιβαλλοντικές διαδικασίες ή τις αντιμετωπίζουν ως στατικό θόρυβο (Hoey *et al.*, 1983)

Η ανάλυση της σχέσης περιβαλλοντικών παραγόντων με την κατανομή της αφθονίας του ξιφία πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων. Η ισχύς των GAMs οφείλεται στην ικανότητά τους να ενσωματώνουν μη γραμμικές και μη μονοτονικές σχέσεις μεταξύ της μεταβλητής απόκρισης (response variable) και του συνόλου των ερμηνευτικών μεταβλητών (predictors), όπως αποδείχθηκε ότι είναι οι σχέσεις μεταξύ της αφθονίας των δυο ειδών και των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Στα GAMs τα δεδομένα καθορίζουν τη φύση της σχέσης μεταξύ της μεταβλητής απόκρισης και του συνόλου των ερμηνευτικών μεταβλητών, χωρίς να υποτίθεται κάποιος τύπος παραμετρικής συσχέτισης (Yee & Mitchell, 1991). Όπως και με τα GLMs, η ικανότητα αυτού του εργαλείου να διαχειρίζεται μη γραμμικές δομές δεδομένων βοηθά στην ανάπτυξη οικολογικών μοντέλων που αντιπροσωπεύουν καλύτερα τα δεδομένα από τα οποία προήλθαν και συνεπώς βελτιώνουν την ικανότητα κατανόησης των οικολογικών συστημάτων (Guisan *et al.*, 2002).

Από τις περιβαλλοντικές παραμέτρους που μελετήθηκαν η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία προέκυψε ως ο πιο σημαντικός περιβαλλοντικός παράγοντας, ενώ μεγάλο ποσοστό της μεταβλητότητας εξηγείται και από τον παράγοντα του χώρου (γεωγραφικές συντεταγμένες).

Η μελέτη των Bigelow *et al.* (1999) απεκάλυψε τη σχετική σημασία περιβαλλοντικών και φυσικών παραμέτρων στην απόδοση της αλιείας του ξιφία στο βόρειο Ειρηνικό. Η κατάταξη των παραμέτρων που προέκυψε είναι η εξής: α. το γεωγραφικό πλάτος, β. ο χρόνος, γ. το γεωγραφικό μήκος, δ. ένας δείκτης του σεληνιακού κύκλου, ε. ο αριθμός των ράβδων φωτός ανά ακτίστρι, στ. η SST, ζ. η ενέργεια ΔSST του μετώπου, η. η ταχύτητα του ανέμου, θ. η ενέργεια SST του μετώπου, ι. η βαθυμετρία και ια. η ΔSST. Ταυτόχρονα ανέδειξαν την ανάγκη για βελτίωση της πληροφορίας που αφορά στην γεωγραφική κατανομή των αλιευτικών δεδομένων και την σημασία της χρονικής κλίμακας που χρησιμοποιείται στην περίπτωση των ειδών που πραγματοποιούν μεγάλες μεταναστεύσεις. Στα αλιευτικά δεδομένα που μελετήθηκαν για την Ανατολική Μεσόγειο η μηνιαία κλίμακα κρίθηκε ακατάλληλη για ένα μεταναστευτικό είδος όπως ο ξιφίας.

Το μοντέλο που συνδέει την αφθονία του ξιφία με τη θέση του, όπως αυτή περιγράφεται από τις γεωγραφικές συντεταγμένες που χαρακτηρίζουν τα αλιευτικά πεδία, και

την επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία εντοπίζει δυο αλιευτικές περιοχές με υψηλή αφθονία. Η μια εκτείνεται από το νοτιοδυτικό Αιγαίο έως τη βορειοδυτική Λεβαντίνη, με αυξητική τάση του αριθμού των δεικτών αφθονίας όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος και η άλλη περιλαμβάνει τα ύδατα γύρω από τη δυτική Κρήτη, με τη μέγιστη αφθονία να παρατηρείται στην νοτιοδυτική Κρήτη. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με την κατανομή των αλιευτικών πεδίων ξιφίας όπως παρουσιάζεται από τους Stergiou *et al.* (2003; Εικόνα 11). Δυο είναι και οι βέλτιστες θερμοκρασίες που παρατηρούνται. Από τους 14°C έως τους 18°C, η σχέση θερμοκρασίας-αφθονίας εμφανίζεται αντιστρόφως ανάλογη, ενώ από τους 20°C έως τους 27°C η βέλτιστη θερμοκρασία εντοπίζεται στους 24°C. Οι συσχετισμοί αυτοί μπορούν να υποστηρίξουν τη θεωρία ότι τους χειμερινούς και ανοιξιότικους μήνες ο ξιφίας εντοπίζεται σε περιοχές μεγάλης πρωτογενούς παραγωγικότητας, οι οποίες χαρακτηρίζονται από χαμηλές σε σχέση με τη μέση, επιφανειακές θερμοκρασίες, όπου συγκεντρώνονται και τα θηράματά του. Οι περιοχές αυτές τοποθετούνται στο νότιο Κρητικό Πέλαγος, στα στενά Κυθήρων - Αντικυθήρων και στη νοτιοδυτική Κρήτη, όπου εμφανίζονται τόσο παροδικές ωκεανογραφικές διαδικασίες μέσης χωρικής κλίμακας, όπως MPH και θερμικά μέτωπα όσο και μεγάλης κλίμακας, μόνιμα ή εποχικά ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά όπως οι κυκλώνες της Δυτικής Κρήτης και ο *Mirtoan gyre*. Τους θερινούς μήνες ο ξιφίας φαίνεται να μεταναστεύει προς την ανατολή όπου οι θερμοκρασίες είναι κατάλληλες για την ωοτοκία.

Η θεώρηση αυτή μελετήθηκε περαιτέρω με τη διαίρεση των δεδομένων σε τρία σύνολα, τα οποία αντιστοιχούν στις περιόδους πριν την ωοτοκία, κατά τη διάρκειά της και μετά από αυτή. Τα μοντέλα που προέκυψαν υποδεικνύουν ότι την προ και μετά αναπαραγωγική περίοδο ο ξιφίας συγκεντρώνεται στο νοτιοδυτικό Αιγαίο. Την προ αναπαραγωγική περίοδο υψηλές τιμές αφθονίας ξιφίας παρατηρούνται βορειοδυτικά της Κρήτης, στο Κρητικό Πέλαγος, στο πλάτος των Κυκλάδων και στα δυτικά του κεντρικού Αιγαίου. Οι θερμοκρασίες που προτιμούνται αυτή την περίοδο είναι χαμηλές, γεγονός που υποδεικνύει ότι αντιστοιχούν σε περιοχές αναβλύσεων, κυκλώνων, θερμικών μετώπων και άλλων διεργασιών εμπλουτισμού της στήλης του νερού και αύξησης της παραγωγικότητας.

Κατά την περίοδο της ωοτοκίας η αλιεία εγκαθίσταται στο νότιο Αιγαίο και στη βορειοανατολική Λεβαντίνη. Η αφθονία στο κεντρικό Αιγαίο και στο πλάτος των Κυκλάδων εμφανίζεται πολύ χαμηλή και οι θερμοκρασίες που αντιστοιχούν στην μέγιστη αφθονία κυμαίνονται από 23°C έως 25°C. Η περίοδος ωοτοκίας θεωρείται ότι διαρκεί από τον Μάιο έως τον Ιούλιο. Η αφθονία στο νότιο και δυτικό Αιγαίο παραμένει αυξημένη, είτε διότι ανώριμα άτομα παραμένουν σε αυτές τις περιοχές υψηλής παραγωγικότητας, είτε διότι αποτελούν τμήμα της μετανάστευσής τους προς τις περιοχές ωοτοκίας. Όταν προστίθεται και ο Αύγουστος το μοντέλο βελτιώνεται, γεγονός που μπορεί να αποτελεί *artifact*, αφού το μέγεθος του δείγματος που μοντελοποιείται επιδρά στην συνολική μεταβλητότητα και τους βαθμούς ελευθερίας ή να αποτελεί μια ένδειξη ότι η ωοτοκία στην ανατολική Μεσόγειο επεκτείνεται και σε αυτόν τον μήνα.

Στη μετά-αναπαραγωγική περίοδο ο ξιφίας εντοπίζεται στο Κρητικό πέλαγος, στα στενά Κυθήρων - Αντικυθήρων και νότια της Κρήτης. Οι θερμοκρασίες που εμφανίζουν θετική

συσχέτιση με την αφθονία είναι χαμηλές θερμοκρασίες (15°C) και οι 24°C, που πιθανόν αναφέρονται στο μήνα Αύγουστο, οπότε μάλλον συνεχίζεται η ωστοκία.

Οι Wang *et al.* (2005) ανέδειξαν την σημασία του φυλετικού διμορφισμού και της ηλικίας, ως ένα ακόμα στοιχείο που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη σε μεθόδους αποτίμησης των αποθεμάτων του ξιφία. Και στην παρούσα μελέτη στοιχεία για τις αναλογίες ηλικιών και φύλου στα αλιευτικά δεδομένα κρίνονται απαραίτητα για την διερεύνηση της μεταναστευτικής συμπεριφοράς του είδους.

Τόνος

Η κάθετη και οριζόντια κατανομή των ειδών τόνου έχει προκαλέσει το ερευνητικό ενδιαφέρον, όπως και η συσχέτιση των μεταναστευτικών του κινήσεων με περιβαλλοντικούς και μη παράγοντες. Στις μελέτες αυτές χρησιμοποιούνται τόσο αλιευτικά όσο και δεδομένα πομπών (πχ Bach *et al.*, 2003). Μεγάλης κλίμακας παράγοντες όπως ο North Atlantic Oscillation μπορεί να επηρεάζουν την αφθονία και τα μεταναστευτικά μονοπάτια του τόνου του Βορειοανατολικού Ατλαντικού (Santiago, 1998, 1999; Borja & Santiago, 2002; Fromentin, 2002).

Η μετανάστευση και η κατανομή του τόνου εμφανίζεται σε στενή σχέση με ωκεανογραφικές συνθήκες, όπως επιφανειακές ισόθερμες και υψηλή παραγωγικότητα (Nakamura, 1969; Humston *et al.*, 2000; Brill & Lutcavage, 2001). Οι Marsac *et al.* (2004) προτείνουν ότι οι ανωμαλίες του βάθους του πυκνοκλινούς που παράγονται εξαιτίας των κυμάτων Rossby προκαλούν εμπλουτισμό των επιφανειακών στρωμάτων, ο οποίος ευνοεί τη συγκέντρωση του τόνου και των θηραμάτων του. Τα αντιφατικά αποτελέσματα των White *et al.* (2004), οι οποίοι βρήκαν αρνητική συσχέτιση των αλιευμάτων του τόνου με παραγωγικές περιοχές που οφείλονται σε κύματα Rossby, δεν επέτρεψαν τον καθορισμό της σχέσης του τόνου με την πρωτογενή παραγωγικότητα.

Σε αντίθεση με τον ξιφία, ο τόνος στην Ανατολική Μεσόγειο, δεν εμφανίζει υψηλή αφθονία σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από την παρουσία ΜΡΗ όλο το έτος, παρά μόνο το Φεβρουάριο και τους θερινούς μήνες (Ιούνιος-Ιούλιος), οπότε και η συσχέτισή τους παρατηρείται στη νότια Κρήτη και στη βορειοδυτική Λεβαντίνη.

Για τους πελαγικούς θηρευτές οι ζώνες σύγκλισης αποτελούν περιοχές συγκέντρωσης τροφής (Olson *et al.*, 1994) και συνεπώς σχετίζονται με παραγωγικά πεδία αλιείας διαφόρων ειδών τόνου (Laurits *et al.*, 1984; Zagaglia *et al.*, 2004). Η εμφάνιση θερμικών μετώπων στη Μεσόγειο, φαίνεται να επηρεάζει την κατανομή του τόνου την περίοδο Φεβρουάριος-Μάιος. Η συσχέτιση της παρουσία του τόνου με τα θερμικά μέτωπα, δεν αποδείχθηκε τόσο ισχυρή όσο αναμενόταν, ενώ καμία σχέση δεν αναπτύσσεται μεταξύ της κατανομής του τόνου και των χαρακτηριστικών των μετώπων (DSST, DChla). Η φύση της σχέσης του τόνου με θερμικά μέτωπα αποδείχθηκε δύσκολο να καθοριστεί και σε άλλες μελέτες (Podesta *et al.*, 1993; Schick *et al.*, 2004).

Οι περιοχές όπου η συχνότητα ταυτόχρονης εμφάνισης αλιευτικών δεδομένων τόνου και ΜΡΗ ή θερμικών μετώπων είναι υψηλή υποδεικνύει ότι ο τόνος το χειμώνα, αρχές άνοιξης

τρέφεται στο κεντρικό και βόρειο Αιγαίο, προς τα τέλη της άνοιξης συναθροίζεται στο νότιο Αιγαίο (Κρητικό Πέλαγος, Καρπάθιο, ΝΔ. Κρήτη), για να φτάσει τους θερινούς μήνες στην Λεβαντίνη, όπου η παρουσία ΜΡΗ και θερμικών μετώπων ευνοεί την ωτοκία και την επιβίωση των προνυμφών (Stergiou *et al.*, 1997; Agostini & Bakun, 2002).

Πολλές μελέτες έχουν προσπαθήσει να συνδέσουν την κατανομή διαφόρων ειδών τόνου με περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Οι Bertrand *et al.* (2003) χρησιμοποίησαν υδρακουστικές μεθόδους για να παρατηρήσουν την συμπεριφορά διαφόρων ειδών τόνου, σε σχέση με τα θηράματα και το περιβάλλον τους. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η παρουσία θηράματος, και σε μικρότερο βαθμό η θερμοκρασία ή η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου καθορίζουν την κάθετη κατανομή του τόνου, καθώς και ότι ενώ σε μεγάλη κλίμακα η σχέση μεταξύ αλιευτικής παραγωγής και πυκνότητας των θηραμάτων είναι ανάλογη, σε μικρότερη κλίμακα η παρουσία patches πολύ μεγάλης πυκνότητας μειώνουν την πιθανότητα αλίευσης.

Στο μοντέλο τους οι Lemos και Gomes (2004) εξετάζουν την βραχυπρόθεσμη επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων στην πιθανότητα σύλληψης τόνου και στην αλιευτική παραγωγικότητα σε παράκτιες παγίδες. Η ένταση του ανέμου, η παρουσία αναβλύσεων, η διαύγεια (turbidity) των υδάτων, τα παράκτια ρεύματα και οι παλίρροιες εμφανίζουν ποικίλες επιπτώσεις στην σύλληψη του τόνου. Πιο συγκεκριμένα οι συγγραφείς αναφέρουν ότι στα παράκτια συστήματα η υψηλή ένταση του ανέμου, οι ανοιξιάτικες παλίρροιες, τα παράκτια ρεύματα προκαλούν θετική, ενώ πελαγικά ρεύματα, που σχετίζονται με αναβλύσεις και μειωμένη διαύγεια των υδάτων αρνητική απόκριση του τόνου. Οι συγγραφείς μελέτησαν την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων στην παρουσία κοπαδιών τόνου κοντά στις ακτές, με αλιευτικά δεδομένα παράκτιων παγίδων. Τα αποτελέσματά τους ανέδειξαν την πολυπλοκότητα των οικολογικών προτιμήσεων του τόνου καθώς και ότι η παράκτια παρουσία τους συνδέεται με μεταναστευτικές διαδρομές, μιας και όλοι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που μελετήθηκαν (επιφανειακά ρεύματα, ταχύτητα ανέμου, παλίρροια και διαύγεια του νερού) αποδείχθηκαν σημαντικοί. Υψηλή αλιευτική παραγωγή παρατηρήθηκε τις ημέρες με ισχυρό άνεμο, ενώ η παρουσία offshore ρευμάτων μειώνει την πιθανότητα αλίευσης τόνου. Οι συγγραφείς προτείνουν τρεις πιθανές εξηγήσεις: (1) τα ρεύματα αυτά απομακρύνουν μεταναστευτικές διαδρομές από την ακτή, (2) η παρουσία ψυχρών υδάτων λόγω αναβλύσεων αποτρέπει τον τόνο από το να πλησιάσει στην ακτή και (3) ο τόνος αποκρίνεται στην μεταφορά του θηράματός του μακριά από τα παράκτια συστήματα.

Οι Nishida και Chen (2004) ενσωμάτωσαν ένα περιβαλλοντικό μοντέλο, που περιλαμβάνει παραμέτρους όπως βάθος του θερμοκλινούς και επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία, σε ένα χωρικό γραμμικό μοντέλο της κάθετης κατανομής του *Thunnus albacares* για να βελτιώσουν την αρμοστικότητα του σε CPUE δεδομένα.

Η συσχέτιση με περιβαλλοντικούς παράγοντες κρίνεται απαραίτητη κυρίως για την βελτίωση εκτιμήσεων αφθονίας από CPUE δεδομένα και της ακρίβειας των μεθόδων αποτίμησης των αποθεμάτων. Οι Bigelow *et al.* (2002) ανέπτυξαν ένα μοντέλο βελτίωσης των εκτιμήσεων της σχετικής αφθονίας του τόνου *Thunnus obesus* ενσωματώνοντας σε αυτό πληροφορίες που αφορούν στους περιβαλλοντικούς παράγοντες (όπως άνεμος και ρεύματα), οι

οποίοι επηρεάζουν την αλιευτική ικανότητα των παραγαδιών ή την κατανομή των ενδαιτημάτων που προτιμώνται από τον τόνο (θερμοκρασία και συγκέντρωση οξυγόνου).

Η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία θωρήθηκε ως μια πολλά υποσχόμενη παράμετρος για την πρόβλεψη της κατανομής του τόνου, τόσο επειδή η θερμοκρασία στα επιφανειακά θαλάσσια στρώματα, παίζει πιθανόν ρόλο στη θερμορύθμιση του τόνου, όπως υποδεικνύουν οι κάθετες μετακινήσεις του (Dagorn *et al.*, 2000), όσο και επειδή ο τόνος περνά μεγάλο μέρος της ζωής του στα επιφανειακά στρώματα. Οι Block *et al.* (1997) χρησιμοποίησαν υδρακουστικά δεδομένα για τη μελέτη των μικρής κλίμακας κινήσεων του *Thunnus albacares*. Το είδος αυτό περνά το μεγαλύτερο τμήμα της ημέρας πάνω από το θερμοκλινές, το βάθος της mixed layer εμφανίζεται καθοριστικό για την κατανομή του, ενώ η συγκέντρωση οξυγόνου δεν παρουσιάζεται ως περιοριστικός παράγοντας.

Τα αλιευτικά πεδία που εμφανίζουν μεγάλες τιμές του δείκτη αφθονίας του τόνου καθ' όλη τη διάρκεια της αλιευτικής περιόδου, όπως προέκυψαν με την εφαρμογή των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων, εντοπίζονται στο δυτικό Αιγαίο (από τις ακτές της Εύβοιας έως τις ακτές της βορειοδυτικής Κρήτης και τα στενά Κυθήρων-Αντικυθήρων), νοτιοδυτικά της Κρήτης, στα στενά Κάσου-Καρπάθου και στη βορειοδυτική Λεβαντίνη. Οι θερμοκρασίες που συγκεντρώνουν υψηλές τιμές αφθονίας τόνου κυμαίνονται από 22°C έως 23°C. Παρόλο που το γενικό μοντέλο δεν παρέχει ενδείξεις για συγκέντρωση του τόνου σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες και την επαγόμενη υψηλή πρωτογενή παραγωγικότητα, οι συσχέτιση των αλιευτικών δεδομένων του τόνου με ΜΡΗ και θερμικά μέτωπα κατά τους ανοιξιάτικους μήνες αποτέλεσαν τη βάση για να πραγματοποιηθεί εφαρμογή των GAMs σε τρεις περιόδους του κύκλου ζωής του τόνου (πριν, μετά και κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής περιόδου).

Η προ αναπαραγωγική περίοδος χαρακτηρίζεται από συγκέντρωση του τόνου στη Λεβαντίνη και στα στενά Κάσου-Καρπάθου. Η μεγαλύτερη αφθονία συγκεντρώνεται στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης και παρουσιάζει σχέση ανάλογη προς το γεωγραφικό πλάτος (μειώνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά). Η βέλτιστη θερμοκρασία παρατηρείται στους 15.5°C, όμως η σχέση αυτή δεν εμφανίζεται ως στατιστικά σημαντική. Οι Beamish *et al.* (2005) σε μια ανασκόπηση των μεταναστευτικών προτύπων πελαγικών ιχθύων, αναφέρουν ότι ο τόνος *Thunnus albacares*, κατά τα πιο θερμά έτη μεταναστεύει κοντά στην ακτή, μια κίνηση που θεωρείται ότι σχετίζεται με τη θερμοκρασία αλλά και με την εύρεση τροφής. Η μεγαλύτερη παραγωγή τόνου σχετίζεται με επιφανειακή θερμοκρασία από 16°C έως 18°C. Οι Humston *et al.* (2000) επίσης αναφέρουν τους 15°C και τους 18°C ως θερμοκρασίες που προτιμούνται από τον τόνο και θεωρούν ότι οι θερμοκρασιακές του προτιμήσεις μεταβάλλονται εποχικά.

Κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής περιόδου, οπότε ο τόνος συναθροίζεται σε υδάτινες μάζες με επιφανειακή θερμοκρασία γύρω στους 21°C, τα αλιευτικά πεδία που εμφανίζουν την μεγαλύτερη αφθονία τοποθετούνται στο βόρειο Αιγαίο, στις δυτικές Κυκλάδες, στα στενά Κυθήρων-Αντικυθήρων και νοτιοδυτικά της Κρήτης. Υψηλές τιμές συνεχίζουν να εμφανίζονται στα στενά Κάσου-Καρπάθου και στη βορειοδυτική Λεβαντίνη.

Μετά την ωοτοκία δεν παρατηρείται κάποια μεταβολή στην κατανομή του τόνου εκτός από το ότι δεν εμφανίζεται πλέον στη Λεβαντίνη. Η μέγιστη αφθονία παρατηρείται στο βόρειο

Λιβυκό πέλαγος, στα στενά Κυθήρων-Αντικυθήρων στο δυτικό Κρητικό πέλαγος και στις δυτικές Κυκλάδες. Ως προς τη θερμοκρασία παρουσιάζονται δυο κορυφές συγκέντρωσης τόνου, μια στις χαμηλότερες θερμοκρασίες του δείγματος, στους 23°C και μια στους 26°C έως 26.5°C. Δεδομένα από πομπούς που τοποθετήθηκαν στη Λεβαντίνη κατά τους θερινούς μήνες υποδεικνύουν μια κίνηση του τόνου από τη Λεβαντίνη προς το Αιγαίο κατά τους φθινοπωρινούς μήνες (De Metrio *et al.*, 2004). Όσον αφορά στις χαμηλές θερμοκρασίες πιθανόν να σχετίζονται με την παρουσία θερμικών μετώπων και αναβλύσεων. Οι Schick *et al.* (2004) εντόπισαν επιφανειακά κοπάδια τόνου, με αεροφωτογραφίες, στον κόλπο Maine και διερεύνησαν τη σχέση τους με SST και θερμικά μέτωπα. Η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία που προτιμάται από τον τόνο κυμαίνεται γύρω από τους 18 °C, ενώ η χωρική συσχέτιση με τα θερμικά μέτωπα ήταν αντιφατική. Τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων που πραγματοποίησαν έδειξαν ότι κι άλλοι παράγοντες, όπως η πυκνότητα των θηραμάτων, μπορούν να αποτελέσουν αποτελεσματικότερες παραμέτρους πρόβλεψης της κατανομής του τόνου.

Οι μετακινήσεις του τόνου και οι θερμοκρασιακές του προτιμήσεις, όπως εμφανίζονται στα μοντέλα που αναπτύχθηκαν δεν παρέχουν μια ξεκάθαρη εικόνα της συμπεριφοράς του τόνου επειδή είτε το κύριο πεδίο ωτοκίας του τόνου εντοπίζεται εκτός της περιοχής μελέτης, είτε η αναπαραγωγική περίοδος του τόνου στην Ανατολική Μεσόγειο ξεκινά νωρίτερα την Άνοιξη και διαρκεί μέχρι τα τέλη Ιουλίου. Στην πρώτη περίπτωση οι προτιμήσεις του τόνου σε χαμηλές θερμοκρασίες κατά την προ αναπαραγωγική του περίοδο, δείχνουν ότι συγκεντρώνονται στο ανατολικό τμήμα του Κρητικού τόξου, το οποίο εξαιτίας της παρουσίας του κυκλώνα της Ρόδου, θεωρείται το πιο παραγωγικό τμήμα της Ανατολικής Μεσογείου. Κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής περιόδου το δυτικό τμήμα του Κρητικού τόξου αποτελεί τμήμα του μεταναστευτικού μονοπατιού του τόνου, εξαιτίας της έντονης κυκλοφορίας και των παραγωγικών περιοχών που εντοπίζονται στην περιοχή. Η παρουσία του τόνου στις δυτικές Κυκλάδες και στο βόρειο Αιγαίο κατά την αναπαραγωγική περίοδο, πιθανόν οφείλεται στην λανθασμένη ένταση του Αυγούστου στην περίοδο αυτή, μιας και όταν ο Αύγουστος τοποθετείται στην μετά-αναπαραγωγική περίοδο, αλιεύματα τόνου δεν εμφανίζονται πλέον στην βορειοδυτική Λεβαντίνη, η οποία πιθανολογείται ως περιοχή ωτοκίας του είδους.

Η πιθανότητα παραμονής των σεξουαλικά ανώριμων ατόμων σε περιοχές τροφοληψίας, αλλά και των σύντομων μεταναστεύσεων των ώριμων ατόμων από τις περιοχές ωτοκίας σε περιοχές τροφοληψίας κατά την αναπαραγωγική περίοδο, σίγουρα επηρεάζει την εικόνα της κατανομής του τόνου και τη συσχέτισή του με τη θερμοκρασία, όμως δεν μπορεί να ερευνηθεί ή να εξαλειφθεί με τα υπάρχοντα δεδομένα. Σε γενικές γραμμές το ποσοστό των θηλυκών ατόμων στα αλιεύματα είναι μεγαλύτερο σχεδόν σε όλες τις ηλικιακές τάξεις, αλλά το ποσοστό των ώριμων ατόμων τις προ- και αναπαραγωγική περιόδους, διαφέρει από περιοχή σε περιοχή (de la Serna, 2002). Υπάρχουν όμως ενδείξεις ότι ακόμα και τα ώριμα άτομα δεν επισκέπτονται τόπους ωτοκίας κάθε έτος. Οι Block *et al.* (2001) χρησιμοποίησαν δεδομένα από πομπούς που τοποθετήθηκαν σε τόνους στον Ατλαντικό και δορυφορικά δεδομένα SST και συγκέντρωσης χλωροφύλλης, για την μελέτη των κινήσεων και των θερμοκρασιακών προτιμήσεων του είδους. Αναδείχθηκαν τέσσερις τάσεις συμπεριφοράς του τόνου: (1)

παραμονή στο δυτικό Ατλαντικό για ένα έτος ή περισσότερο, χωρίς κινήσεις προς περιοχές ωτοκίας, (2) παραμονή στο δυτικό Ατλαντικό για ένα έτος και μετανάστευση στον κόλπο του Μεξικού κατά την αναπαραγωγική περίοδο, (3) υπερατλαντικές μεταναστεύσεις από τα δυτικά στα ανατολικά και επιστροφή μέσα στο ίδιο έτος και (4) υπερατλαντικές κινήσεις προς τα ανατολικά και τη Μεσόγειο μετά από παραμονή στα δυτικά για 1-3 έτη. Συνεπώς αναδεικνύεται η ανάγκη συλλογής πληροφορίας που αφορά στην ηλικία / μέγεθος των αλιευθέντων ατόμων.

Ένας ακόμα περιορισμός στην ανάλυση και τη εξαγωγή συμπερασμάτων αποτελεί η έλλειψη δεδομένων που αφορούν στην εφαρμογή των αλιευτικών πρακτικών. Επειδή ο αλιευτικός στόλος δραστηριοποιείται σε περιοχές όπου θεωρούν ότι θα βρίσκεται ο στόχος τους, η αλιευτική προσπάθεια δεν κατανέμεται τυχαία αλλά μάλλον συγκεντρώνεται σε γνωστά πεδία αλιείας. Το πρότυπο αυτό αναμένεται στην αλιεία του τόνου. Ως συνέπεια η ποσότητα των αλιευμάτων δεν είναι ανάλογη της αφθονίας. Η δυναμική του αλιευτικού στόλου σε συνδυασμό με την παραλλακτικότητα των περιβαλλοντικών παραγόντων χρησιμοποιήθηκαν από τους Gaertner και Dreyfus-Leon (2004) για την μοντελοποίηση της σχέσης μεταξύ αλιευτικής παραγωγής και αφθονίας του τόνου, με τη βοήθεια νευρωνικών δικτύων.

4.3 Η αναπαραγωγή των μεγάλων πελαγικών στην Ανατολική Μεσόγειο.

Η αποτελεσματική αλιευτική διαχείριση απαιτεί την γνώση τόσο της χωρικής εξάπλωσης των νυμφών όσο και της κατανομής των ατόμων που αναπαράγονται. Η σύγχρονη κατάσταση του αποθέματος που εξακριβώνεται με ανάλυση πληθυσμού μπορεί να ελεγχθεί με εκτιμήσεις της αφθονίας των νυμφών, ακόμα και σε είδη των οποίων οι νύμφες είναι σπάνιες. Επειδή ο έλεγχος και η βελτιστοποίηση τέτοιων αναλύσεων εξαρτάται από την ακρίβεια των εκτιμήσεων, η χρονική και χωρική κατανομή των νυμφών πρέπει να είναι γνωστή. Η αναγνώριση των περιοχών αναπαραγωγής μπορεί να αποτελέσει το πρώτο βήμα προς την προστασία των ενδιατημάτων αναπαραγωγής και ίσως τον περιορισμό της αλιείας σε εποχές και περιοχές αναπαραγωγής (Gononi *et al.*, 2000).

Σύμφωνα με τους Block *et al* (2001) οι βιοτικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την στρατολόγηση του τόνου περιλαμβάνουν την επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία, η οποία επιδρά στην ανάπτυξη και θνησιμότητα αυγών και προνυμφών, η διαθεσιμότητα τροφής, ο άνεμος και τα ρεύματα καθώς και οι μικρής κλίμακας στροβιλισμοί.

Ξιφίας

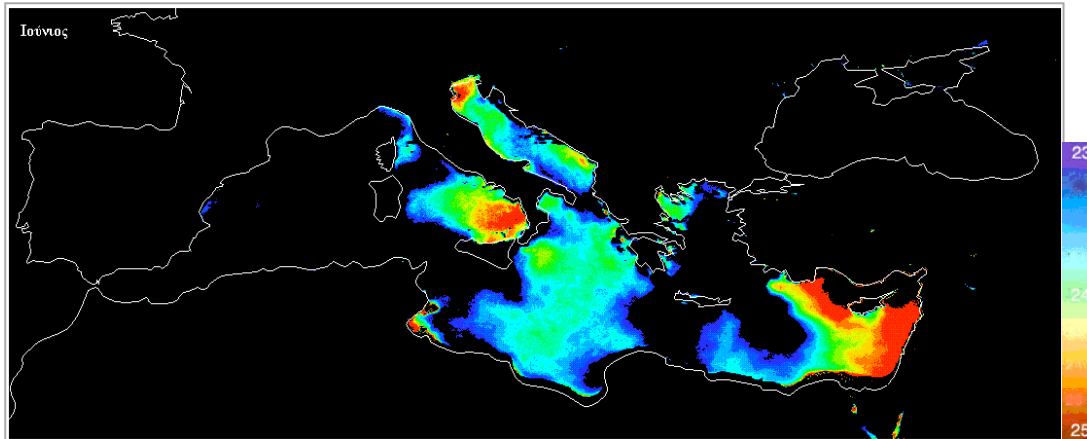
Ο ξιφίας είναι γονοχωριστικό είδος όμως δεν υπάρχουν εξωτερικά χαρακτηριστικά που να διαχωρίζουν τα δυο φύλα, παρόλο που τα θηλυκά άτομα εμφανίζουν μεγαλύτερο μέγεθος, ενώ έχουν αναφερθεί ενδείξεις intersexuality σε άγριους πληθυσμούς στη Μεσόγειο (De Metrio *et al.*, 2003).

Η θερμοκρασία που προτιμάται από τον ξιφία στην περίοδο ωοτοκίας, όπως προκύπτει από την εφαρμογή των GAMs είναι οι 24⁰C, στην Λεβαντίνη, ενώ ως περίοδος αναπαραγωγής του ξιφία στη Μεσόγειο αναγνωρίζονται οι μήνες Ιούνιος έως Αύγουστος, γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματα των Megalofonou *et al.* (1995), που τοποθετούν την περίοδο ωοτοκίας του ξιφία στη Μεσόγειο από τα τέλη Ιουνίου έως τα τέλη Αυγούστου. Επιλογή των θερμοκρασιών που θεωρούνται κατάλληλες για την ωοτοκία (23⁰C -25⁰C) και την επιβίωση των προνυμφών του ξιφία σε χάρτες κατανομής επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας, ανέδειξαν περιοχές κοντά στο Καστελόριζο, στη Ρόδο και στην Αττάλεια, ως κατάλληλες, όσον αφορά στη θερμοκρασία, για ωοτοκία. Παρατηρούνται επίσης διάδρομοι - ισόθερμες, που συνδέουν τις περιοχές ωοτοκίας με τόπους τροφοληψίας νότια της Κρήτης (Εικόνα 12). Νύξη για πιθανή σποραδική σύνδεση ή συνέχεια μεταξύ των περιοχών αναπαραγωγής του ξιφία γίνεται από τους Mejuto & Garcia-Cortes (2003) στην μελέτη τους για την αναγνώριση περιοχών ωοτοκίας του ξιφία στον Βόρειο και Νότιο Ατλαντικό. Παρατηρείται επίσης μια μετατόπιση των κατάλληλων θερμοκρασιών προς το Αιγαίο, όπου ίσως να μεταφέρονται οι προνύμφες του ξιφία.

Οι περισσότερες προσπάθειες αναγνώρισης και καθορισμού των περιοχών ωοτοκίας του ξιφία βασίζονται σε παρατηρήσεις της αναλογίας φύλου σε όλο το δείγμα και σε κάθε κλάση μεγέθους καθώς και σε ανάλυση του γοναδοσωματικού δείκτη (Mejuto & Garcia-Cortes, 2003). Οι περιοχές ωοτοκίας που προτιμώνται από τον ξιφία χαρακτηρίζονται από θερμές υδάτινες μάζες των υποτροπικών και τροπικών ζωνών στα δυτικά των ωκεανών (Mejuto *et al.*, 1994; 1995; Mejuto & Garca, 1997; Arocha & Lee, 1996; Matsumoto & Kazama, 1974; Nishikawa & Ueyanagi, 1974; Nishikawa *et al.*, 1978, 1985), ίσως επειδή τα θερμότερα ύδατα τείνουν να συγκεντρώνονται στις δυτικές επιφανειακές ζώνες των στροβίλων (SCRS/02/105). Η διεθνής βιβλιογραφία υποδεικνύει το εξής εύρος θερμοκρασιών των θαλασσιών υδάτων ως το καταλληλότερο για την ωοτοκία του ξιφία: 22-24⁰C (Rey, 1988). Σύμφωνα όμως με τους Mejuto *et al.* (1994) η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία δεν μπορεί να θεωρηθεί δείκτης κατάλληλος για τον καθορισμό των δυνητικών περιοχών αναπαραγωγής του ξιφία, επειδή έχει διαφανεί ότι σημαντικό ρόλο στην επιτυχή αναπαραγωγική διαδικασία αλλά και στην βιωσιμότητα αυγών και νυμφών, παίζει η θερμική ομοιογένεια των ανώτερων επιφανειακών ζωνών, σε περιοχές όπου επικρατεί θερμοκλινές μεγαλύτερου βάθους. Γι' αυτό το λόγο οι περιοχές αναπαραγωγής συνδέονται με την κατανομή των ισόθερμων καμπυλών σε ζώνες κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας, ιδιαίτερα σε βάθη 50-200 μ. (Mejuto & Garcia-Cortes, 2003).

Οι Tibbo και Lauzier (1969) ήταν οι πρώτοι που εξέφρασαν την υπόθεση ότι οι νύμφες του ξιφία σχετίζονται με οριζόντιες διαβαθμίσεις θερμοκρασίας και αλατότητας. Η σύλληψη νυμφών κατά μήκος των συνόρων του Ρεύματος του Κόλπου Loop και του κόλπου του Μεξικού (Richards & Potthoff, 1980) και του Ρεύματος του Κόλπου στον Ατλαντικό (Potthoff & Kelley, 1982; Post *et al.*, 1997) καθώς και η συσχέτιση της κατανομής των νυμφών με τις διαφορετικές υδάτινες μάζες στην περιοχή του Ρεύματος του Κόλπου (Gononi *et al.*, 2000) υποστηρίζουν την ιδέα ότι οι νύμφες εμφανίζονται σε μεγάλη αφθονία σε ζώνες μετώπων.

Η σπανιότητα των νυμφών παρεμποδίζει την κατανόηση της χωρικής του εξάπλωσης (Haury *et al.*, 1978) και του χωρικού προτύπου αναπαραγωγής τους. Η συγκέντρωση σε κάποιες περιοχές νυμφών, μεγάλων σε μέγεθος και πιθανόν σε ηλικία, μπορεί να είναι αποτέλεσμα είτε τοπικής αναπαραγωγής και επαγόμενης διατήρησης τους στην περιοχή είτε μεταφοράς τους από μια απομακρυσμένη περιοχή αναπαραγωγής (Gononi *et al.*, 2000).



Εικόνα 12 κατανομή των θερμοκρασιών 23°C -25°C σε χάρτη κλιματολογίας του μήνα Ιουνίου.

Τόνος

Οι βιοτικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την στρατολόγηση του τόνου περιλαμβάνουν την επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία, η οποία επιδρά στην ανάπτυξη και θνησιμότητα αυγών και προνυμφών, η διαθεσιμότητα τροφής, ο άνεμος και τα ρεύματα καθώς και οι μικρής κλίμακας στροβιλισμοί. Μακροπρόθεσμοι κύκλοι που παρατηρούνται σε αλιευτικά δεδομένα μπορεί να οφείλονται σε μια εναλλαγή των περιοχών ωτοκίας στον Ατλαντικό και τη Μεσόγειο, εξαιτίας μεταβολών των ωκεανογραφικών συνθηκών και / ή της διαθεσιμότητας τροφής.

Οι θερμοκρασίες που φαίνεται να προτιμώνται από τα άτομα που ωτοκοούν, όπως προέκυψαν από τα δεδομένα αφθονίας, κυμαίνονται μεταξύ 21°C και 23°C. Η επιλογή αυτών των θερμοκρασιών σε χάρτες κατανομής επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας ανέδειξαν την βορειοανατολική Λεβαντίνη, ως πιθανό τόπο ωτοκίας, στην αρχή της αναπαραγωγικής περιόδου, από τα τέλη Μαΐου έως τις αρχές Ιουνίου. Από τα τέλη Ιουνίου έως το τέλος της αναπαραγωγικής περιόδου, οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από τις προαναφερθείσες θερμοκρασίες καταλαμβάνουν το ανατολικό Αιγαίο, όπου την περίοδο αυτή οι συνθήκες είναι βέλτιστες για την διατήρηση προνυμφών.

Οι περιοχές ωτοκίας της Δυτικής Μεσογείου χαρτογραφούνται από τα τέλη Ιουνίου έως και τις αρχές Αυγούστου. Ο τόνος του ανατολικού Ατλαντικού αναπαράγεται στη δυτική Μεσόγειο κατά την περίοδο Ιούνιος-Ιούλιος (Susca *et al.*, 2001; Medina *et al.*, 2002; Corriero *et al.*, 2003). Οι τρεις κύριες γνωστές περιοχές αναπαραγωγής τοποθετούνται στη δυτική και

κεντρική Μεσόγειο: γύρω από τις Βαlearίδες νήσους, γύρω από τη Μάλτα και στη βόρεια Tyrrhenian θάλασσα.

Οι Karakulak *et al.* (2004) παρατήρησαν την αναπαραγωγική διαδικασία του τόνου (*Thunnus thynnus*) στην Λεβαντίνη, κατά την περίοδο τέλη Μαΐου έως αρχές Ιουνίου 2003, βασιζόμενοι σε στοιχεία των γονάδων ατόμων που συνέλαβαν βόρεια της Κύπρου. Οι συγγραφείς θεωρούν ότι τα ευρήματά τους επιβεβαιώνουν την υπόθεση ότι ο τόνος αναπαράγεται στην Ανατολική Μεσόγειο, όπου η αναπαραγωγική διαδικασία μπορεί να πραγματοποιείται ένα μήνα νωρίτερα σε σχέση με την περίοδο που αναφέρεται στις άλλες περιοχές αναπαραγωγής της Μεσογείου

Οι πληροφορίες για την βιολογία της αναπαραγωγής του τόνου όσον αφορά στην ανατολική Μεσόγειο περιορίζονται σε ευρήματα αυγών και νυμφών (Vodyanitsky, 1936; Piccinetti & Piccinetti Manfrin, 1994; Nishida *et al.*, 1998; Piccinetti *et al.*, 1995; Piccinetti *et al.*, 1997) και παρατηρήσεις ατόμων με ώριμες γονάδες (Akyüz & Artüz, 1957; Oray & Karakulak, 1998).

Η παρακολούθηση της οικολογίας της αναπαραγωγής του τόνου σε συνθήκες αιχμαλωσίας από τους Niwa *et al.* (2003) έδειξε ότι ορισμένα θηλυκά άτομα είναι ικανά να αναπαράγονται σχεδόν καθημερινά για εκτεταμένες χρονικές περιόδους αν παραμείνουν στις κατάλληλες θερμοκρασίες των υδάτων και έχουν αρκετή τροφή. Η αναπαραγωγή στα πειράματά τους συνέβαινε καθημερινά όταν η θερμοκρασία παρέμενε μεγαλύτερη από 24°C.

Η ιστολογική έρευνα του αναπαραγωγικού κύκλου των θηλυκών ατόμων τόνου στη δυτική και κεντρική Μεσόγειο, που πραγματοποιήθηκε από τους Corriero *et al.* (2003) έδειξε τα εξής αποτελέσματα: Οι ωοθήκες των ώριμων ατόμων τόνου εμφανίζονται μη ενεργές την περίοδο Αύγουστος έως Μάρτιος, οπότε περιλαμβάνουν μόνο περινεϊκά (perinucleolar) ωοκύτταρα. Η ανάπτυξη των ωοθηκών ξεκινά τον Απρίλιο-αρχές Μαΐου με την εμφάνιση ωοκυτάρων στο λιπιδικό στάδιο. Η βιτελογένεση αρχίζει στα μέσα Μαΐου και η μεταβιτελογένεση συμβαίνει στα τέλη Μαΐου έως τα μέσα Ιουνίου. Στα τέλη Ιουνίου προς αρχές Ιουλίου βρέθηκαν ενυδατωμένα ωοκύτταρα, ένδειξη επικείμενης αναπαραγωγής, σε δείγματα που συλλήφθηκαν στα ύδατα των Βαlearίδων νήσων.

Ο Rodriguez-Roda (1976) αναφέρει μια περίοδο αναπαραγωγής του τόνου μεταξύ Μαΐου και Ιουλίου· οι Susca *et al.* (2001) ανέφεραν ότι η αναπαραγωγή συμβαίνει το δεύτερο μισό του Ιουνίου και οι Medina *et al.* (2002) βρήκαν προ-ενυδατωμένα ωοκύτταρα στα τέλη Ιουνίου και τις πρώτες ημέρες του Ιουλίου· σύμφωνα με τους Corriero *et al.* (2003) η αναπαραγωγή συμβαίνει στα τέλη Ιουνίου προς αρχές Ιουλίου. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα αλιευτικά δεδομένα έδειξε ότι η αναπαραγωγή στην Ανατολική Μεσόγειο πιθανόν διαρκεί από τον Μάιο έως τις αρχές Ιουλίου.

Ο τόνος μεταναστεύει κάθε χρόνο σε καθορισμένους τόπους ωοτοκίας επιδεικνύοντας μια ισχυρή τάση επιστροφής σε αυτές ('homing behavior', Cury *et al.*, 1998).

Όσον αφορά στις περιοχές αναπαραγωγής οι Medina *et al.* (2002) και οι Corriero *et al.* (2003) αναφέρουν ότι βρήκαν δείγματα έτοιμα για αναπαραγωγή μόνο στις Βαlearίδες νήσους, ενώ οι Nishida *et al.* (1998) αναφέρουν υψηλή παρουσία νυμφών τόνου και στη νότια Tyrrhenian Sea (νότια της Σικελίας) και στην Κεντρική Μεσόγειο (νότια της Μάλτας).

Περιοχές όπως το βόρειο Ιόνιο πέλαγος, η νότια Αδριατική, το κανάλι της Σαρδηνίας, η Ligurian sea και το Bocche di Bonifacio, θεωρούνται περιοχές τροφοληψίας και ανάπτυξης (Corriero *et al.*, 2003). Οι De Metrio *et al.* (2002) σε ένα πείραμα όπου χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρονικοί πομποί, ανέφεραν άλλη μια περιοχή τροφοληψίας του τόνου, τις περιόδους, πριν και μετά την αναπαραγωγή στα ύδατα γύρω από την Κορσική. Στην Ανατολική Μεσόγειο τέτοιες περιοχές πιθανόν να βρίσκονται στο Καρπάθιο και στο Β. Λυβικό.

Οι Lutcavage *et al.* (1999) και Block *et al.* (2001) σε αντίστοιχα πειράματα παρατήρησαν ότι άτομα αρκετά ανεπτυγμένα σε μέγεθος ώστε να θεωρούνται ώριμα, δεν παρουσιάστηκαν σε καμία από τις γνωστές περιοχές αναπαραγωγής κατά τη διάρκεια τη αναπαραγωγικής περιόδου. Τέτοια ευρήματα δημιούργησαν ερωτήματα πάνω στην ύπαρξη περιοχών αναπαραγωγής, που δεν έχουν επιβεβαιωθεί.

Τέτοιες περιοχές μπορεί να βρίσκονται στην Ανατολική Μεσόγειο, που όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης και της χαρτογράφησης των περιοχών που χαρακτηρίζονται από θερμοκρασίες που προτιμώνται από το είδος, τοποθετούνται στη νότια παράλια της Τουρκίας και ανατολικά της Κύπρου.

4.4 Συμπεράσματα

Δορυφορικά δεδομένα περιβαλλοντικών παραμέτρων σε συνδυασμό με την εφαρμογή GIS μεθόδων παρέχουν μια λεπτομερή εικόνα της επιφανειακής ωκεάνιας κυκλοφορίας καθώς και την ικανότητα αναγνώρισης περιοχών αυξημένης πρωτογενούς παραγωγικότητας.

Η κατανομή της αλιείας των μεγάλων πελαγικών στην Ανατολική Μεσόγειο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διερεύνηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων που καθορίζουν τη μεταναστευτική συμπεριφορά του τόνου και του ξιφία.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας προτείνουν τη συσχέτιση των δεικτών αφθονίας με ωκεανογραφικές διαδικασίες μεγάλης κλίμακας, όπως στρόβιλοι και επιφανειακά ρεύματα. Η φύση της σχέση τους με μέσης κλίμακας διαδικασίες αύξησης της πρωτογενούς παραγωγικότητας (αναβλύσεις, θερμικά μέτωπα) δεν μπόρεσε να διαλευκανθεί, ενώ υποστηρίχθηκε η υπόθεση της παρουσίας περιοχών ωοτοκίας και των δυο ειδών στην Ανατολική Μεσόγειο. Δεδομένα μικρής χωρικής κλίμακας θεωρούνται απαραίτητα για μια τέτοια λεπτομερή ανάλυση.

Δεδομένα που αφορούν στην ηλικιακή δομή των πληθυσμών, στην κατανομή προνυμφών και στην αναλογία φύλου είναι απαραίτητα για την απόκτηση μιας ολοκληρωμένης εικόνας της σχέσης των μεγάλων πελαγικών ιχθύων με το θαλάσσιο περιβάλλον και της αναπαραγωγικής τους συμπεριφοράς. Η παρούσα έρευνα ανέδειξε επίσης την ανάγκη χρήσης δεδομένων πομπών για την λεπτομερέστερη μελέτη των μεταναστευτικών κινήσεων των δυο ειδών, ενώ όπως προτείνεται και σε άλλες μελέτες, η κατανομή των θηραμάτων τους θα μπορούσε να εξηγήσει τις σχέσεις που παρατηρήθηκαν μεταξύ της κατανομής τόνου και ξιφία και περιοχών υψηλής πρωτογενούς παραγωγικότητας.

Ταυτόχρονα η χρήση δορυφορικών δεδομένων κατανομής περιβαλλοντικών παραμέτρων και χρονοσειρών αλιευτικών δεδομένων και η διαχείρισή τους σε βάσεις Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμο εργαλείο για την αποτίμηση και διαχείριση των αποθεμάτων.

5. Βιβλιογραφία

- Acha, E.M., Mianzan, H.W., Guerrero, R.A., Favero, M. and Bava, J., 2004. Marine fronts at the continental shelves of austral South America: Physical and ecological processes. *J. Mar. Sys.*, **44(1-2)**:83-105.
- 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*) *Fish. Oceanogr.* 11:129-142
- Akyuz, E., & Artüz, I. (1957) Some observations on the biology of tuna (*Thunnus thynnus*) caught in Turkish waters. Conseil général des pêches pour la Méditerranée. Document Techniques. Rome. 14; 93-99.
- Allen, J.T., Smeed, D.A., Tintore, J. and Ruiz, S., 2001. Mesoscale subduction at the Almeria-Oran front: Part 1: Ageostrophic flow. *J. Mar. Sys.*, **30(3-4)**:263-285.
- Andrade, HA. & CA., Garcia. (1999) Skipjack tuna fishery in relation o sea surface temperature off the southern Brazilian coast. *Fish. Ocean* 8(4): 245-254.
- Anonymous (1956) US Navy Marine Climatic Atlas of the World, Vol. 1 North Atlantic Ocean. NAVAER 50-1c-528. Washington, DC: US Government Printing Office, 18pp + 275 charts.
- Anonymous (2000) The swordfish fishery in th Central and Eastern Mediterranean Sea. Final report. Project No 97/0046. Commission of the European Communities, Directorate General for Fisheries-DG XIV.
- Arocha, F. & Lee, D.W. (1996) Maturity at size, reproductive seasonality, spawning frequency, fecundity and sex ratio in swordfish from Northwest Atlantic. ICCAT Collected Volume of Scientific Papers 45 (2): 350-357. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Madrid.
- Ault, J.S., Luo, J., Smith, S.G., Serafy, J.E., Wang, J.D., Humston, R., & Diaz, G.A. (1999) A spatial dynamic multistock production model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56: 4-25.
- Austin, M.P. (1971) Role of regression analysis in plant ecology. *Proc. Ecol. Soc. Aust.* 6: 63-75.
- Bach, P., Dagorn L., Bertrand, A., Josse, E., & Misselis C. (2003) Acoustic telemetry versus monitored longline fishing for studying the vertical distribution of pelagic fish: bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in French Polynesia. *Fisheries Research* 60: 281-292.
- Bakun, A. (1998) Ocean triads and radical interdecadal stock variability: bane and boon for fishery management science. In: Reinventing Fisheries Management. T.J. Pitcher, P.J.B. Hart and D. Pauly (eds) London: Chapman & Hall, pp. 331-358.
- Bakun, A. and Agostini, V. (2001) Seasonal patterns of wind driven upwelling/downwelling in the Mediterranean Sea. *Sci. Mar.*, 65(3):243-257.
- Bakun, A. and Parrish R.H. (1990) Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats: the Brazilian sardine (*Sardinella Aunta*). *J. Cons. Explor. Mer.* 46:269-283.
- Bakun, A. and Parrish, R.H. (1991) Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats: the anchovy (*Engraulis anchoita*) of the southwestern Atlantic. *ICES J. Mar. Sci.* 48:343-361.
- Beamish, R.J., McFarlane, G.A., & King, J.R. (2005) Migratory patterns of pelagic fishes and possible linkages between open ocean and coastal ecosystems off the Pacific coast of North America. *Deep Sea Research II* 52: 739-755.
- Belkin, I.M., 2002. New challenge: ocean fronts. *J. Mar. Sys.*, **37(1-3)**:1-2

- Belkin, I.M. and Gordon, A.L., 1996. Southern Ocean fronts from the Greenwich meridian to Tasmania. *J. Geophys. Res.*, **101(C2)**:3675-3696.
- Bertrand, A., Josse, E., Bach, P., & Dagorn L. (2003) Acoustics for ecosystem research: lessons and perspectives from a scientific program focusing on tuna-environment relationships. *Aquatic Living Resources* 16:197-203.
- Bigelow, K.A., Boggs, C.H., & He X. (1999) Environmental effects on swordfish and blue shark catch rates in the US North Pacific longline fishery. *Fisheries Oceanography* 8(3): 178-198
- Bigelow, K.A., Hampton, J., & Miyabe, N. (2002) Application of a habitat-based model to estimate effective longline fishing effort and relative abundance of Pacific bigeye tuna (*Thunnus obesus*) *Fish. Oceanogr.* 11:3, 143-155.
- Block, B.A., Dewar, H., Blackwell, S.A., Williams, D., Prince, E.D., Farwell, C.J., Boustany, A., Teo, S.L.O., Seitz, A., Walli, A., & Douglas, F. (2001). Migratory movements, depth preferences, and thermal biology of Atlantic bluefin tuna. *Science* 293: 1310-1314.
- Block, BA., Keen, JE., Castillo, B., Dewar, H., Freund, EV., Marcinek, DJ., Brill, RW., Rarwell, C. (1997) Environmental preferences of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) at the northern extent of its range. *Marine Biology* 130: 119-132.
- Bonatti, J.P., and Rao, V.B, 1999. Meso-scale perturbations and thermocline fronts in the south Atlantic Ocean. *Dyn. Atm. Oc.*, **30(1)**:1-24.
- Booth, A.J. (1998) Spatial analysis of fish distribution and abundance: a GIS approach. In F Funk, TJ Quinn II, J Heifetz, JN Ianelli, JE Powers, JF Schweigert, PJ Sullivan, CI Zhang, eds. *Fisheries Stock Assessment Models*, pp.719-740. Alaska Sea Grant College Programme Report No. AK/SG/98/01, University of Alaska Fairbanks.
- Borja, A., Santiago, J. (2002) Does the North Atlantic oscillation control some processes influencing recruitment of temperate tunas? ICCAT Collected Volume of Scientific Papers 54(4): 964-984. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Madrid.
- Borzelli, G. and Ligi, R., 1999. Autocorrelation scales of the SST distribution and water masses stratification in the Channel of Sicily. *J. Atm. Oc. Tech.*, **16(6)**:776-781.
- Brill, R.W., & Lutcavage, M.E. (2001) Understanding environmental influences on movements and depth distributions of tunas and billfishes can significantly improve population assessments. In: *Oceanography and Fisheries of the Charleston Bump*. G.R. Sedberry (ed.) Bethesda, MD: American Fisheries Society, Symposium 25, pp. 179-198.
- Broadhurst, M.K., & Hazin, H.V. (2001) Influences of type and orientation of bait on catches of swordfish (*Xiphias gladius*) and other species in an artisanal sub surface longline fishery off northeastern Brazil. *Fisheries Research* 53: 169-179.
- Brown, S.K., Buja, K.R., Jury, S.H., Monaco, M.E., & Banner, A. (2000). Habitat suitability index models for eight fish and invertebrate species in Casco and Sheepscot Bays, Maine. *North American Journal of Fisheries Management*, 20(2), 408-435.
- Bulgakov, N.P., Yaroshenya, R.A., Skripaleva, E.A. and Voskresenskaya, L.A., 1999. Thermohaline characteristics of large-scale irregularities and frontal zones of the tropical Atlantic. *Phys. Ocean.*, 10(1):31-45.
- Caddy, J.F., Refk, R., & Do-Chi, T. (1995). Productivity estimates for the Mediterranean: evidence of accelerating ecological change. *Ocean and Coastal Management*, 26(1), 1-18.
- Cayula, J.F. and Cornillon, P., 1992. Edge detection algorithm for SST images. *J. Atm. Oc. Tech.*, 9(1):67-80.

- Cayula, J.F. and Cornillon, P., 1995. Multi-image edge detection for SST images. *J. Atm. Oc. Tech.*, 12(4):821-829.
- Corriero, A.S., Desantis, M., Deflorio, F., Acone, C., Bridges, de la Serna, J.M., Megalofonou, P., & De Metrio, G. (2003) Histological investigation on the ovarian cycle of the eastern Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.). *Journal of Fish Biology* 63: 108-119.
- Cury, P. and Roy, C. (1989) Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46:670-680.
- Cury, P. and Roy, C. (1989) Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46:670-680.
- Cury, P., Anneville, A., Bard, F.X., Fonteneau, A., & Roy, C. (1998) Obstinate North Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus thynnus*): an evolutionary perspective to consider spawning migration. *ICCAT Scientific Papers* 50: 239-247.
- Cushing, D.H. (1989) A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and those that are only weakly stratified. *Journal of Plankton Research* 11: 1-13.
- Dagorn, L., & Bach, P.J. (2000) Movement patterns of large bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the open ocean, determined using ultrasonic telemetry. *Marine Biology* 136: 361-371.
- De la Serna J.M., Ortiz de Urbina J.M., & Alot, E. (2002) Analysis of sex ratio by length-class for bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) in the western Mediterranean and eastern Atlantic. SCRS/02/045
- De Metrio, G., Arnold, G.P., Block, B.A., de la Serna, J., M., Deflorio, M., Cataldo, M., Yannopoulos, C., Megalofonou, P., Beemer, S., Farwell, C. & Seitz, A. (2002). Behaviour of post-spawning Atlantic bluefin tuna tagged with pop-up satellite tags in the Mediterranean and Eastern Atlantic. *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers* 54: 415-424.
- De Metrio, G., Corriero, A., Desantis, S., Zubani, D., Cirillo, F., Deflorio, M., Bridges, C.R., Eicker, J., de la Serna, J.M., Megalofonou, P., & Kime, D.E. (2003) Evidence of high percentage of intersex in the Mediterranean swordfish (*Xiphias gladius* L.). *Marine Pollution Bulletin* 46: 358-361.
- De Metrio, G., Oray, I., Arnold, G.P., Lutcavage, M., Deflorio, M., Cort, J.L., Karakulak, S., Anbar, N., Ultanur, M. (2004) Joint Turkish-Italian research in the Eastern Mediterranean: bluefin tuna tagging with pop-up satellite tags. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT* 56(3): 1163-1167.
- Demarcq, H., & Faure, V. (2000) Coastal upwelling and associated retention indices derived from satellite SST. Application to *Octopus vulgaris* recruitment. *Oceanologica Acta*, 23(4): 391-408.
- Dijkstra, H.A., & Molemaker, M.J. (1999) Imperfections of the North Atlantic wind driven ocean circulation: continental geometry and wind stress shape. *Journal of Marine Research*, 57(1): 1-28.
- Drakopoulos, P.G., Valavanis, V., & Georgakarakos, S. (2000) Spatial and temporal distribution of chlorophyll in the Aegean Sea according to SeaWiFS imagery. In Proceedings of the 6th Hellenic Symposium on Oceanography and Fisheries, May 2000, Chios Greece.
- Durand, M.-H., Cury, P., Mendelssohn, R., Roy, C., Bakun, A. and Pauly, D. (eds) (1998) *Global Versus Local Changes in Upwelling Systems*. Paris: ORSTOM editions.
- ESRI, 1994. *ARC Macro Language*. Environmental Systems Research Institute, Inc. Press, Redlands CA, USA.
- Estrada, M. (1996) Primary production in the northwestern Mediterranean. *Scientia. Marina* 60 (Suppl. 2):55-64.
- Feliks, Y. and Ghil, M., 1993. Downwelling-front instability and eddy formation in the Eastern Mediterranean. *J. Phys. Oceanogr.*, **23(1)**:61-78.
- Ferrier, G. and Anderson, J.M., 1997. The application of remotely sensed data in the study of frontal systems in the Tay Estuary, Scotland, U.K. *Int. J. Rem. Sens.*, **18(9)**:2035-2065.

- Fielding, S., Crisp, N., Allen, J.T., Hartman, M.C., Rabe, B. and Roe, H.S.J., 2001. Mesoscale subduction at the Almeria-Oran front: Part 2. Biophysical interactions. *J. Mar. Sys.*, **30(3-4)**:287-304.
- FMP (Highly Migratory Species Fishery Management Plan) (1998) HMS Fish Habitat Provisions.
- Franks, P.J.S. (1992) Sink or swim: accumulation of biomass at fronts. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 82:1-12.
- Fromentin, JM. (2002) Is the recruitment a key biological process in the hypothetical NAO-Atlantic tunas relationships? ICCAT Collected Volume of Scientific Papers 54(4): 1008-1016. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Madrid.
- Gaertner, D. & Dreyfus-Leon M. (2004) Analysis of non-linear relationships between catch per unit effort and abundance in a tuna purse-seine fishery simulated with artificial neural networks. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 812-820
- Georgopoulos D., A. Theocharis, & G. Zodiatis (1989). Intermediate water formation in the Cretan Sea (S. Aegean Sea). *Oceanologica Acta*, 12 (4), 353-359.
- Govoni, J.J., Stender B.W., & Pashuk O., (2000) Distribution of larval swordfish, *Xiphias gladius*, and probable spawning off the southeastern United States. *Fisheries Bulletin*, 98: 64-74.
- Guisan, A., T.C., Edwards, Jr., & Hastie T. (2002) Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling* 157: 89-100.
- Hardman-Mountford, N.J. and Glade, J.M.M, 2003. Seasonal and interannual variability of oceanographic processes in the Gulf of Guinea: an investigation using AVHRR sea surface temperature data. *Int. J. Rem. Sens.*, **24(16)**:3247-3268.
- Harrison, W.G., Aristegui, J., Head, E.J.H., Li, W.K.W., Longhurst AR, Sameoto DD (2001). Basin scale variability in plankton biomass and community metabolism in the sub tropical North Atlantic Ocean. *Deep Sea Research II*, 48: 2241-2269.
- Hastie, T.J. & Tibshirani, R.J. (1986) Generalized Additive Models. *Stat. Sci.* 1: 297-318.
- Hastie, T.J. & Tibshirani, R.J. (1990) Generalized Additive Models. New York: Chapman and Hall.
- Haury, L.R., McGowam, J.A., & Weibe, P.H. (1978) Patterns and processes in the time-space scales of plankton distributions. In J. H. Steele (ed.) *Spatial pattern in plankton communities*, 277-327. Plenum, New York.
- Hecht, A., & Gertman, I. (2001) Physical features of the eastern Mediterranean resulting from the integration of POEM data with Russian Mediterranean Cruises. *Deep-Sea Research I* 48: 1847-1876.
- Hickox, R., Belkin, I., Cornillon, P. and Shan, Z., 2000. Climatology and seasonal variability of ocean fronts in the East China, Yellow and Bohai Seas from satellite SST data. *Geophys. Res. Lett.*, **27(18)**:2945-2948.
- Hinton, MG. & R., Deriso (1998) Distribution and stock assessment of swordfish, *Xiphias gladius*, in the eastern Pacific Ocean from catch and effort data standardized on biological and environmental parameters. In: *Biology and Fisheries of Swordfish, Xiphias gladius*. Papers from the International Symposium on Pacific Swordfish, Ensenada, Mexico, 11-14 December 1994. Barrett, I., Sosa-Nishizaki, O. and Bartoo, N. (eds). NOAA Tech. Rep. NMFS 142:161-179.
- Hoey, J. (1983) Analysis of longline fishing effort for apex predators (swordfish, shark, and tuna) in the western North Atlantic and Gulf of Mexico. Ph.D. diss., Univ. Rhode Island, Kingston, RI, 288 p.
- Humston, R., Ault, J.S., Lutcavage, M.E., & Olson, D.B. (2000) Schooling and migration of large pelagic fishes relative to environmental cues. *Fish. Oceanogr.* 9:136-146.
- Jacques, G., (1989). Oligotrophie du milieu pélagique de Méditerranée occidentale: un paradigme qui s'estompe? *Bull. Soc. Zoologique de France* 114(17-29).

- Karakulak, S., Oray, I., Corriero, A., Aprea, A., Spedicato, D., Zubani, D., Santamaria, N., & De Metrio, G. (2004) First information on the reproductive biology of the bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Eastern Mediterranean. ICCAT Collected Volume of Scientific Papers 56(3): 1158-1162. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Madrid.
- Karl, DM. (1999) A sea of change: biochemical variability in the North Pacific Subtropical Gyre. *Ecosystems* 2: 181-214.
- Kieser R, Langford G, Cooke K (1995). The use of Geographic Information Systems in the acquisition and analysis of fisheries acoustic data. In Proceedings of the ICES International Symposium on Fisheries and Plankton Acoustics. June 1995, Aberdeen Scotland.
- Konda, M., N. Imasato, and A. Shibata, 1996: A new method to determine near sea surface air temperature by using satellite data. *J. Geophys. Res.*, 101(14): 349-14 360.
- Kostianoy, A.G., Ginzburg, A.I., Frankignoulle, M. and Delille B., 2004. Fronts in the Southern Indian Ocean as inferred from satellite sea surface temperature data. *J. Mar. Sys.*, **45**:55-73.
- L'Helguen, S., Le Corre, P., Madec, C. and Morin, P., 2002. New and regenerated production in the Almeria-Oran front area, eastern Alboran Sea. *Deep Sea Res. I*, **49(1)**:83-99.
- Larnicol, G., Ayoub, N. and Le Traon, P.Y., 2002. Major changes in Mediterranean sea level variability from 7 years of TOPEX/Poseidon and ERS-1/2 data. *J. Mar. Sys.*, **33-34**:63-89.
- Laurs, R.M., Fiedler, P.C. & Montgomery, D.R. (1984) Albacore tuna catch distributions relative to environmental features observed from satellites. *Deep Sea Research* 31(9A): 1085-1099.
- Le Vourche, J., Millot, C., Castagne', N., Le Borgne, P. and Olry, J.P. (1992) Atlas of thermal fronts of the Mediterranean sea derived from satellite imagery. Mem. l'Istitute oceanogrphique, Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish Resources. G.D. Sharp and J. Csirke (eds) FAO Fish. Rep. 291 (2,3), 1224pp.
- Legeckis, R., Brown, C.W., Chang, P.S., 2002. Geostationary satellites reveal motions of ocean surface fronts. *J. Mar. Sys.*, **37**:3-15.
- Leming, T.D., May, N., & Jones, P. (1999). A Geographic Information System for near real time use of remote sensing in fisheries management in the Gulf of Mexico. NOAA National Environmental Satellite, Data, and Information Service. Final Report to US Department of Commerce. <http://sgiot2.wwb.noaa.gov/-COASTWATCH/reference.htm>
- Lemos, R.T., & Gomes, J.F. (2004) Do local environmental factors induce daily and yearly variability in bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) trap catches? *Ecological modeling* 177: 143-156.
- Li, G., & Shao, Y. (1998) Remote sensing of oceanic primary productivity and its GIS estimation model. *Acta Geographica Sinica*, 53(6): 546-553.
- Longhurst, A.R. (1998). *Ecological Geography of the Sea*. Academic Press, San Diego, 398 pp.
- Lutcavage, M.E., Brill, R.W., Skomal, G.B., Chase, B.C. & Howey, P.W. (1999) Results of pop-up satellite tagging of spawning size class fish in the Gulf of Maine: do North Atlantic bluefin tuna spawn in mid-Atlantic? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 173-177.
- Lykousis, V., G., Chronis, A., Tselepidis, NB., Price, A., Theocharis, I., Sikou-Frangou, F., Van Wambeke, R., Danovaro, S., Stavrakakis, G., Duineveld, D., Georgopoulos, L., Ignatiades, A., Souvermezoglou, F., Voutsinou-Taliadouri (2002) Major outputs of the recent multidisciplinary biogeochemical researches undertaken in the Aegean Sea. *J. Mar. Sys.*, 33-34: 313-334.
- Malanotte-Rizzoli P., B.B., Manca, M.R., d'Alcala, A., Theocharis, S., Brenner, G., Budillon, E., Ozsoy (1999). The Eastern Mediterranean in the 80s and in the 90s: the big transition in the intermediate and deep circulations. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 29:365-395.

- Marsac, F., White, B.,W., Tourre, Y.,M. (2004) Coupling of tuna catch and planetary waves on interannual time scales in the Indian ocean. *Fisheries oceanography* (in press).
- Marullo S. , R. Santoleri , P. Malanotte-Rizzoli , A. Bergamasco (1999a). The sea surface temperature field in the Eastern Mediterranean from advanced very high resolution radiometer AVHRR data Part I. Seasonal variability. *Journal of Marine Systems* 20: 63-81.
- Marullo S. , R. Santoleri , P. Malanotte-Rizzoli , A. Bergamasco (1999b). The sea surface temperature field in the Eastern Mediterranean from advanced very high resolution radiometer AVHRR data Part II. Interannual variability. *Journal of Marine Systems* 20: 83-112.
- Matsumoto, W.M., & Kazama, T.M.(1974) Occurrence of young billfishes in the Central Pacific Ocean. In R.S. Shomura and F. Williams, (eds). *Proceedings of the International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 9-12, (1972) Part 2. Review and Contributed Papers*, p.238-251. US. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS-SSRF-675.
- Matteoda, AM. & SM., Glenn (1996) Observations of recurrent mesoscale eddies in the eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical research* 101(20): 687-709.
- Mavor, T.P. and Bisagni, J.J., 2001. Seasonal variability of sea-surface temperature fronts on Georges Bank. *Deep Sea Res. II*, **48**:215-243.
- McConnaughey, R.A. & Smith, K.R. (2000) Associations between flatfish abundance and surficial sediments in the eastern Bering Sea. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57: 2410-2419.
- Meaden, G.J. (1996a). Monitoring fisheries effort and catch using a Geographical Information System and a Global Positioning System. In *Proceedings of the 2nd World Fisheries Conference: July 1996, Brisbane, Australia*.
- Meaden, G.J. (1996b). Potential for Geographical Information Systems (GIS) in fisheries management. In *Computers in Fisheries Research*. BA Megrey and E Moksness, eds. pp.41-79. Chapman and Hall, London.
- Meaden, G.J. (2000) GIS in Fisheries Management. *GeoCoast*, 1(1), 82-101.
- Medina, A., Abascal, F.,J., Megina, C., & Garca, A. (2002). Stereological assessment of the reproductive status of female Atlantic northern bluefin tuna during migration to Mediterranean spawning grounds through the Strait of Gibraltar. *Journal of Fish Biology* 60: 203-217.
- Megalofonou, P., Dean, J.,M., De Metrio, G, Wilson, C., & Berkeley, S. (1995) Age and growth of juvenile swordfish, *Xiphias gladius* Linnaeus, from the Mediterranean Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 188: 79-88.
- Mejuto, J., & Garcia B. (1997) "A preliminary analysis of gonadal indices of the swordfish (*Xiphias gladius* L) in the Atlantic Ocean". ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap. Vol. XLVI (3): 336-343. (SCRS 96/142).
- Mejuto, J., & Garcia, B. (2003) A description of a possible spawning area of the swordfish (*Xiphias gladius*) in the tropical northwest Atlantic. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 55 (4): 1449-1458.
- Mejuto, J., de la Serna, J.M., Garcia, B., Quintans, M., & A lot, E., (1994) Sex ratio at size of the swordfish (*Xiphias gladius* L.) in the Atlantic and Mediterranean Sea: Similarity between different spatial-temporal strata. ICCAT Col. Vol. Sci. Pap. Vol. XLII (1): 322-327.
- Mejuto, J., J.,M., de la Serna, B., García. (1995) An overview of the sex-ratio at size of the swordfish (*Xiphias gladius* L.) around the world: Similarity between different strata. ICCAT Col. Vol. Sci. Pap. Vol. XVIX(3):197-205.
- Miller, P., 2004. Multi-spectral front maps for automatic detection of ocean colour features from SeaWiFS. *Int. J. Rem. Sens.*, 25(7-8): 1437-1442.

- Mitchelson-Jacob, G. and Sundby, S., 2001. Eddies of Vestfjorden, Norway. *Cont. Shelf Res.*, 21(16-17):1901-1918.
- Moore, J.K. and Abbott, M.R., 2002. Surface chlorophyll concentrations in relation to the Antarctic Polar Front: seasonal and spatial patterns from satellite observations. *J. Mar. Sys.*, **37**:69-86.
- Moore, J.K., Abbott, M.R., & Richman, J.G. (1999) Location and dynamics of the Antarctic Polar Front from satellite sea surface temperature data. *Journal of Geophysical Research*, 104: 3059-3073.
- Nakamura, H. (1969) Tuna Distributions and Migrations. London: Fishing News (Books) Ltd, 76 pp.
- Napolitano, E., Oguz, T., Malanotte-Rizzoli, P., Yilmaz, A., & Sansone, E.. (2000) Simulations of biological production in the Rhodes and Ionian basins of the eastern Mediterranean. *Journal of Marine Systems*, 24(3-4): 277-298.
- Nardelli, B.B., Santoleri, R. & Sparnocchia, S. (2001) Small mesoscale features at a meandering upper-ocean front in the Western Ionian Sea (Mediterranean Sea): Vertical motion and potential vorticity analysis. *J. Phys. Oceanogr.*, 31(8): 2227-2250.
- Nishida, T. & Chen, D.G. (2004) Incorporating spatial autocorrelation into the general linear model with an application to the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) longline CPUE data. *Fisheries research* 70: 265-274.
- Nishida, T., Tsuji, S., & Segawa, K., (1998) Spatial data analyses of Atlantic bluefin tuna larval surveys in the 1994 ICCAT BYP. ICCAT. Collective Volume of Scientific Papers 48: 107-110. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Madrid.
- Nishikawa, Y., & Ueyanagi, S. (1974) The distribution of the larvae of swordfish, *Xiphias gladius*, in the Indian and Pacific Oceans, p. 261-264. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep., NMFS. SSRF-675.
- Nishikawa, Y., Honma, M., Ueyanagi, S., & Kikkawa, S. (1985) Average distribution of larvae of oceanic species of scombroid fishes, 1956-1981. *Far Seas Fish. Res. Lab., S Series 12*, 99p.
- Nishikawa, Y., Kikkawa, S., Honma, M., & Ueyanagi, S. (1978) Distribution atlas of larval tunas, billfishes, and related species—results of larval surveys by R/V Shunyo Maru and Shoyo Maru (1956-1975). *Far Seas Res. Lab., S Series 9*, 99p.
- Niwaa, Y., Nakazawa, A., Margulies, D., Scholey, V.P., Wexler, J.B., & Chow, S.(2003) Genetic monitoring for spawning ecology of captive yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) using mitochondrial DNA variation. *Aquaculture* 218: 387-395.
- Ocean Circulation, Open University, Oceanography Course Team, Pergamon Press, 1989.
- Olson, D.B., Hitchcock, G.L., Mariano, A.J., Ashjian, C.J., Peng, G., Nero R.W., & Podesta, G.P. (1994) Life on the edge: marine life and fronts. *Oceanography* 7:52-60.
- Oray, I.K., & Karakulak, S. (1998) Investigations on the reproductive biology of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*, L. 1758) in the North Aegean Sea. ICCAT. Collective Volume of Scientific Papers 49: 120-125. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Madrid.
- Ottersen, G., Planque, B., Belgrano, A., Post, E., Reid, P. C. & Stenseth, N. C. 2001 Ecological effects of the North Atlantic Oscillation. *Oecologia* 128: 1-14.
- Parrish, R.H.A., Bakun, A., Husby D.M. & Nelson C.S. (1983) Comparative climatology of selected environmental processes in relation to eastern boundary current pelagic fish reproduction, pp. 731-778. In: *Proceedings of the Expert Monaco*, 16:152.
- Pauly, D., Christensen, V., Froese, R., Longhurst, A., Platt, T., Sathyendranath, S., Sherman, K., & Watson, R. (2000) Mapping fisheries onto marine ecosystems: a proposal for a consensus approach for regional, oceanic and global integrations. ICES 2000 Annual Science Conference September 2000, Bruges Belgium. ICES CM 2000/T:14.

- Philander S.G.H. (1990) El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. Academic Press: San Diego.
- Piccinetti, C., & G., Piccinetti Manfrin. (1994) Distribution des larves de Thonidés en Méditerranée. FAO Fisheries Report 494: 186, 206.
- Piccinetti, G., Piccinetti-Manfrin, G., & Soro. S. (1997) Résultats d'une campagne de recherche sur les larves de thonidés en Méditerranée. ICCAT. Collective Volume of Scientific Papers 46: 207-214. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Madrid.
- Piccinetti-Marfin, G., Marano, G., De Metrio, G., Piccinetti, G. (1995) An attempt to find eggs and larvae of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Black Sea. ICCAT. Collective Volume of Scientific Papers 44: 316-317. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Madrid.
- Piola, A.R., Campos, E.J.D., Moller, O.O., Charo, M., and Martinez, C., 2000. Subtropical shelf front off eastern South America. *J. Geophys. Res.*, 105(C3):6565-6578.
- Platt, T., & Sathyendranath, S. (1988) Oceanic primary production: estimation by remote sensing at local and regional scales. *Science*, 241: 1613-1620.
- Platt, T., & Sathyendranath, S. (1999) Spatial structure of pelagic ecosystem processes in the global ocean. *Ecosystems*, 2: 384-394.
- Podesta, G.P., Browder, J.A. & Hoey, J.J. (1993) Exploring the association between swordfish catch rates and thermal fronts on U.S. longline grounds in the western North Atlantic. *Continental Shelf Res.* 13:253-277.
- Polovina, J.,J. & Howell, E.,A. (2005) Ecosystem indicators from satellite remotely sensed oceanographic data for the North Pacific. *ICES Journal of Marine Science* 62: 319-327.
- Post, J.T., Serafy, J.E., Ault, J.S., Capo, T.R., & de Sylva, P.D. (1997) Field and laboratory observations on larval Atlantic sailfish (*Istiophorus platypterus*) and swordfish (*Xiphias gladius*). *Bulletin of Marine Science*, 60: 1026-1034.
- Potthoff, T., & Kelley, S. (1982) Development and structure of the vertebral column, fins and fin supports, branchiostegal rays and squamation in the swordfish, *Xiphias gladius*. *Fisheries Bulletin*, 80: 161-186.
- Poulos, S.E., Drakopoulos, P.G., & Collins, M.B. (1997) Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean sea (Eastern Mediterranean): an overview. *J. Mar. Sys.* 13: 225-244.
- Quinn, G.P. & Keough, M.L. (2002) Experimental design and data analysis for biologists. University Press Cambridge.
- Rey, J.,C. (1988) Comentarios sobre las áreas de reproducción del pez espada (*Xiphias gladius*) en el Atlántico y Mediterráneo. Col. Vol. Sci. Pap. Vol. XXVII: 180-193.
- Richards, W., J., & T., Potthoff (1980) Larval distributions of scombrids (other than bluefin tuna) and swordfish in the Gulf of Mexico in the spring of 1977 and 1978. ICCAT Collected Volume of Scientific Papers 9: 680-694. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Madrid.
- Robinson A.,R., W.,G., Leslie, A., Theocharis, A., Lascaratos (2001). Mediterranean Sea Circulation. OCEAN CURRENTS/ Mediterranean Sea Circulation (1-19).
- Rodriguez-Roda, J. (1967). Fecundidad del Atun, *Thunnus thynnus* (L), de la costa sudatlantica de Espana. *Investigaciones Pesqueras* 31: 33-52.
- Rubec, P.J., White, M., Wilder, D., McMichael, R., Coyne, M., Monaco, M.E., Smith, S.G. & Ault, J.S. (2000) Spatial methods to delineate fish distributions in Tampa Bay and Charlotte Harbor, Florida.

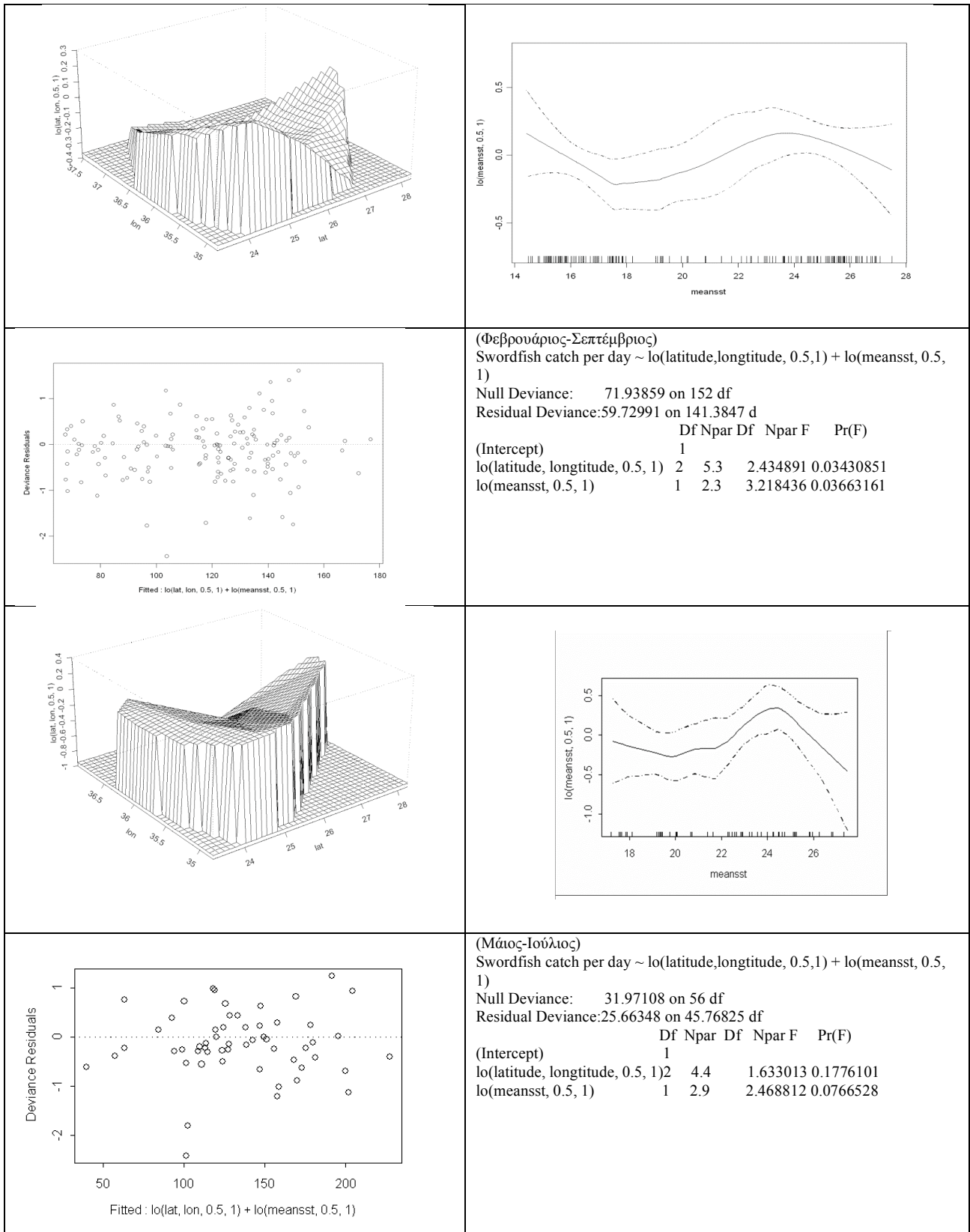
- In Proceedings of the Fisheries GIS Symposium of the American Fisheries Society, August 2000, St. Louis, MO.
- Sabates, A., Salat, J. and Maso, M., 2004. Spatial heterogeneity of fish larvae across a meandering current in the northwestern Mediterranean. *Deep Sea Res. I*, **51(4)**:545-557.
- Santiago, J. (1998) The North Atlantic Oscillation and recruitment of temperate tunas. ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.. ICCAT Collected Volume of Scientific Papers 48(3): 240-249. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Madrid.
- Santiago, J. (1999) Short note on possible relations between the eastern bluefin tuna recruitment and environmental variability. ICCAT Collected Volume of Scientific Papers 49(4): 383-385. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Madrid.
- Sharma, R., Gopalan, A.K.S. & Ali, M.M. (1999) Interannual variation of eddy kinetic energy from TOPEX altimeter observations. *Marine Geodesy* 22(4): 239-248.
- Schick, R.S., J., Goldstein & M., Lutcavage (2004) Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) distribution in relation to sea surface temperature fronts in the Gulf of Maine (1994-96). *Fish. Oceanogr.* 13: 225-239.
- Seki, M.P., Polovina, J.J., Kobayashi, D.R., Bidigare, R.R. and Mitchum, G.T. (2002) An oceanographic characterization of swordfish (*Xiphias gladius*) longline fishing grounds in the springtime subtropical North Pacific. *Fish. Oceanogr.*, 11(5):251-266.
- Shaw, A.G.P. & Vennell, R. (2000) A Front-Following Algorithm for AVHRR SST Imagery. *Remote Sens. Environ.* 72: 317-327.
- Shaw, A.G.P. and Vennell, R., (2001) Measurements of an oceanic front using a front-following algorithm for AVHRR SST imagery. *Remote Sens. Environ.*, **75**:47-62.
- Solanki, H.U., Dwivedi, R.M., & Narain, A. (1998). Satellite observations of coastal upwelling in the North Arabian Sea and its impacts on the fishery resources. In Proceedings of the International Symposium on Information Technology in Oceanography (Ito 1998), October 1998, Goa India, 12-16.
- Stergiou, K.I., Christou, E.,D., Georgopoulos, D., Zenetos, A., & Souvermezoglou, C. (1997) The Hellenic Seas: physics, chemistry, biology and fisheries. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 35: 415-538.
- Stergiou, K.I., Tserpes, G. & Peristeraki, P. (2003) Modelling and forecasting monthly swordfish catches in the Eastern Mediterranean. *Sci. Mar.* 67 (Suppl. 1): 283-290.
- Su, Y. & Sheng, Y. (1999). Visualizing upwelling at Monterey Bay in an integrated environment of GIS and scientific visualisation. *Marine Geodesy*, 22(2): 93-104.
- Susca, V., Corriero, A., Bridges, C.R., & De Metrio, G. (2001) Study of the sexual maturity of female bluefin tuna: purification and partial characterization of vitellogenin and its use in an enzyme-linked immunosorbent assay. *Journal of Fish Biology* 58: 815-831.
- Sverdrup, H.U. (1953) On conditions for vernal blooming of phytoplankton. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 18:287-295.
- The POEM Group (1992) General circulation of the Eastern Mediterranean. *Earth Sciences Review* 32: 285-308.
- Theocharis, A., Balopoulos, E., Kioroglou, S., Kontoyiannis, H., & Iona, A. (1999) A synthesis of the circulation and hydrography of the South Aegean Sea and the Straits of the Cretan Arc (March 1994-January 1995). *Progress in Oceanography* 44: 469-509

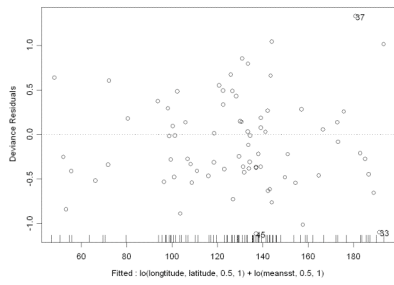
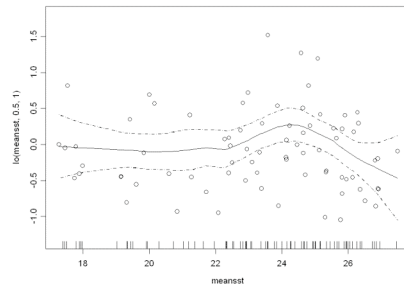
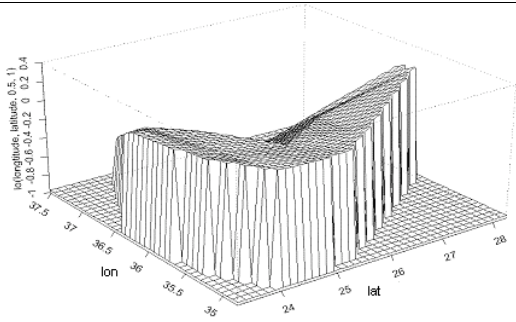
- Theocharis, A., Georgopoulos, D., Lascaratos, A., & Nittis, K. (1993) Water masses and circulation in the central region of the Eastern Mediterranean (E. Ionian, S. Aegean and NW Levantine). *Deep-Sea Research II* 40: 1121-1142.
- Therianos, A.D., 1974. Rainfall and geographical distribution of river runoff in Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, **XI**:28-58. [in Greek]
- Thorpe, S.A. (1998) Turbulence in the stratified and rotating World Ocean. *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, 11, 171-181.
- Tibbo, S.N., & Lauzier, L.M. (1969) Larval swordfish (*Xiphias gladius*) from three localities in the western Atlantic. *Journal of Fisheries Research Board Can.*, 26: 3248-3251.
- Ullman, D.S. and Cornillon, P.C., 1999. Surface temperature fronts off the East Coast of North America from AVHRR imagery. *J. Geophys. Res.*, 104(C10):23459-23478.
- Ullman, D.S. and Cornillon, P.C., 2000. Evaluation of front detection methods for satellite-derived SST data using in situ observations. *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 17(12):1667-1675.
- Ullman, D.S. and Cornillon, P.C., 2001. Continental shelf surface thermal fronts in winter off the northeast U.S. coast. *Cont. Shelf Res.*, 21(11-12):1139-1156.
- Valavanis, V., Georgakarakos, S., Koutsoubas, D., Arvanitidis, C., & Haralabus, J. (2001) Development of a marine information system for Cephalopod fisheries in the Greek Seas (Eastern Mediterranean). *Bulletin of Marine Science* (in press).
- Valavanis, V.D., 2002. *Geographic Information Systems in Oceanography and Fisheries*. Taylor & Francis, London.
- Valavanis, V.D., Drakopoulos, P., & Georgakarakos, S. (2000) Upwelling identification and measurement system. In Proceedings of the 10th Hellenic Geographic Symposium, October 2000, Athens Greece.
- Valavanis, V.D., Drakopoulos, P., & Georgakarakos, S. (1999) A study of upwellings using GIS. In Proceedings of CoastalGIS 1999 International Conference on GIS and New Advances in Integrated Coastal Management, September 1999, Best, France.
- Valavanis, V.D., Georgakarakos, S., & Haralabus, J. (1998) A methodology for GIS interfacing of marine data. In Proceedings of GISPlaNET 98 International Conference and Exhibition of Geographic Information, September 1998, Lisbon Portugal.
- Valavanis, V.D., Kapantagakis, A., Katara, I., Palialexis, A. (2004) Critical regions: a GIS based model of marine productivity hotspots. *Aquatic Sciences* 66(1): 139-148.
- Velegrakis, A.F., Oikonomou, E., Theocharis, A., Collins, M.B., Kontoyiannis, H., Papadopoulos, V., Voulgaris, G., Wells, T. and Balopoulos, E., 1999. Internal waves revealed by Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery in the vicinity of the eastern Cretan Arc Straits (Eastern Mediterranean). *Progr.Oceanogr.*, 44(4):553-572.
- Vodyanitsky, V.,A. (1936) Observations on pelagic eggs of epy Black Sea fishes. *Travaux de la Station Biologique de Sebastopol* 5; 3-40.
- Wang, D., Liu, Y., Qi, Y. and Shi, P., 2001. Seasonal variability of thermal fronts in the Northern South China Sea from satellite data. *Geophys. Res. Lett.*, 28(20):3963-3966.
- Wang, SP., Sun, CL., Punt, AE., Yeh, SZ. (2005) Evaluation of a sex specific age-structured assessment method for the swordfish, *Xiphias gladius*, in the North Pacific ocean. *Fisheries Research* 73: 79-97.
- Ward, T.J., Vanderklift, MA., Nicholls, AO., Kenchington, RA. (1999) Selecting marine reserves using habitat and species assemblages as surrogates fro biological diversity. *Ecological Applications* 9(2): 691-698.

- Ware, D.M., and R.E. Thomson. (1991) Link between long-term variability in upwelling and fish production in the northeast Pacific Ocean. *Can. J. Fish. Aquatic Sci.*: 48, 2296-2306.
- White, B.W., Gloersen, K.A., Marsac, F., Tourre, Y.M. (2004) Influence of coupled Rossby waves on primary productivity and tuna abundance in the Indian Ocean. *Journal of Oceanography* 60: 531-541.
- Wilson, C. & Adame, D. (2002) The Effect of Rossby Waves on Surface Chlorophyll in the Indian Ocean. AGU, 83(4), Ocean Sciences Meet. Suppl., Abstract OS11Q-08.
- Yee, T.W. & Mitchell, N.D. (1991) Generalized Additive Models in plant ecology. *J. Veg. Sci.* 2: 587-602.
- Zagaglia, C.R., Lorenzetti, J.A. & Stech, J.L. (2004) Remote sensing data and longline catches of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the equatorial Atlantic. *Remote Sensing of environment* 93: 267-281.

6. Παραρτήματα

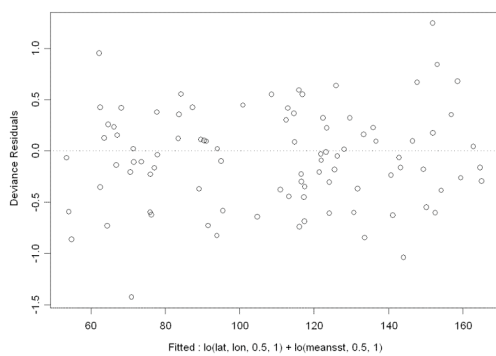
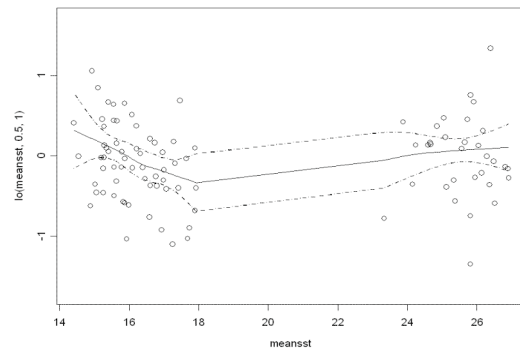
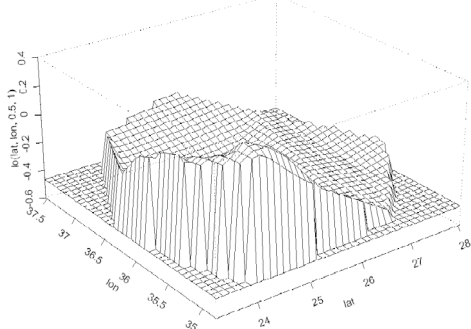
Παράρτημα 1. Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα - Ξιφίας





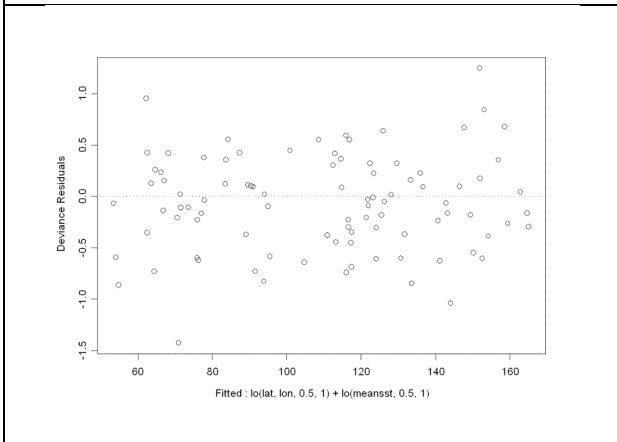
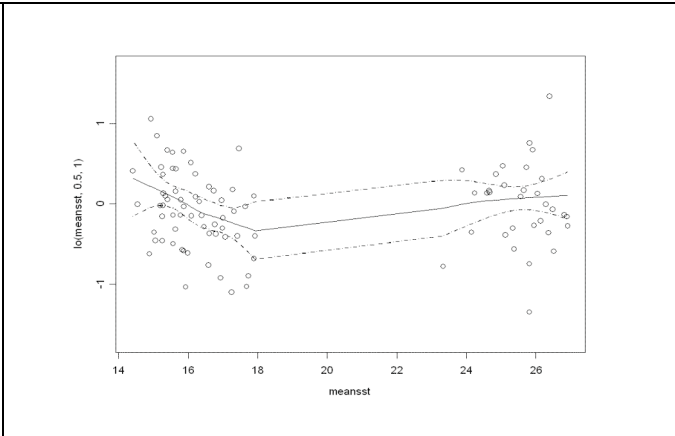
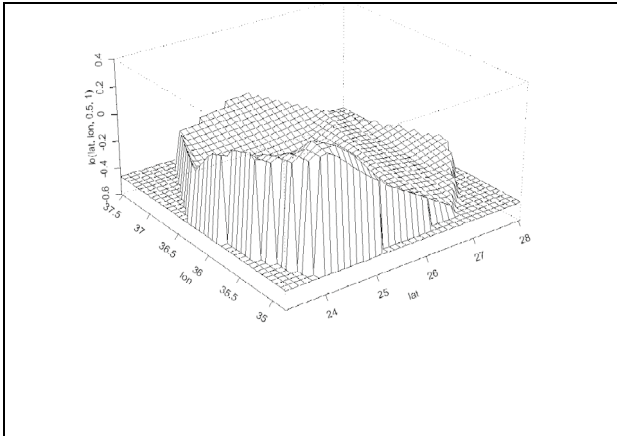
(Μάιος-Αύγουστος)
 Swordfish catch per day ~ lo(latitude, longitude, 0.5,1) + lo(meansst, 0.5, 1)
 Null Deviance: 28.24291 on 76 degrees of freedom
 Residual Deviance: 20.6595 on 65.28356 degrees of freedom

	Df	Npar	Df	Npar	F	Pr(F)
(Intercept)	1					
lo (longitude, latitude, 0.5, 1)	2	5.0			2.405381	0.04639694
lo(meansst, 0.5, 1)	1	2.8			2.750307	0.05420298



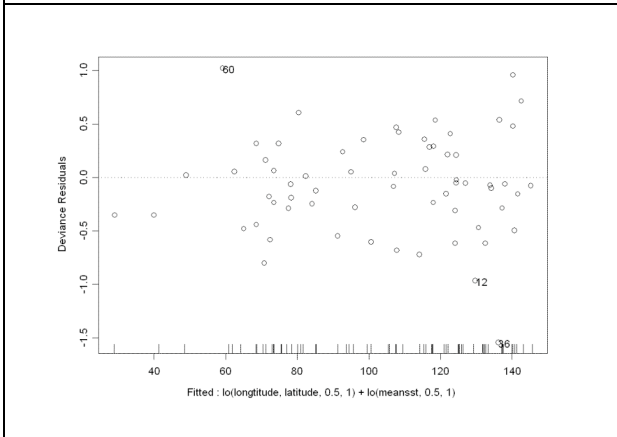
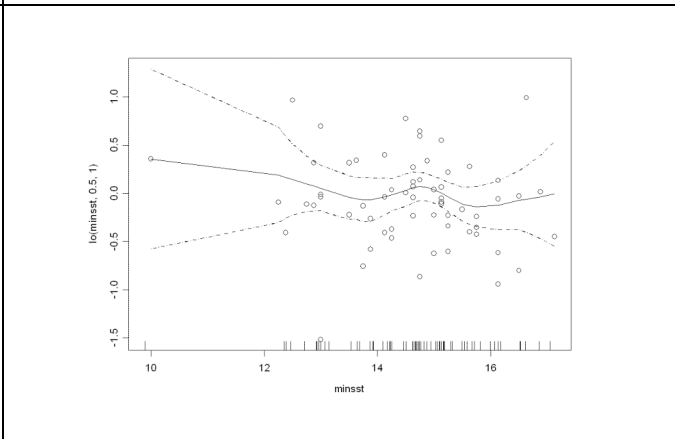
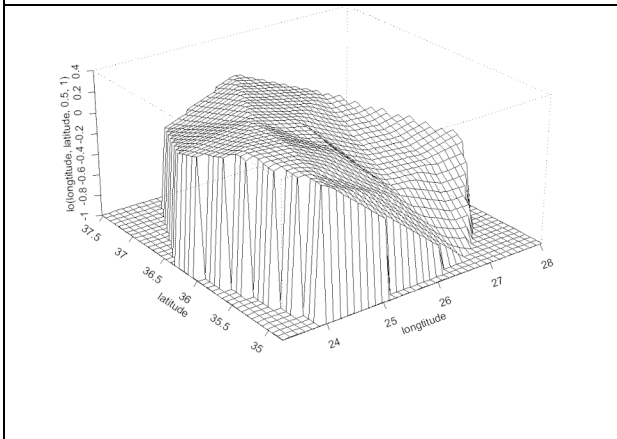
(Φεβρουάριος-Απρίλιος, Αύγουστος-Σεπτέμβριος)
 Swordfish catch per day ~ lo(latitude,longitude, 0.5,1) + lo(meansst, 0.5, 1)
 Null Deviance: 31.19002 on 92 df
 Residual Deviance: 20.92692 on 80.28214 df

	Df	Npar	Df	Npar	F	Pr(F)
(Intercept)	1					
lo(latitude, longitude, 0.5, 1)	2	5.7			2.402240	0.0371320
lo(meansst, 0.5, 1)	1	3.0			1.482632	0.2254529



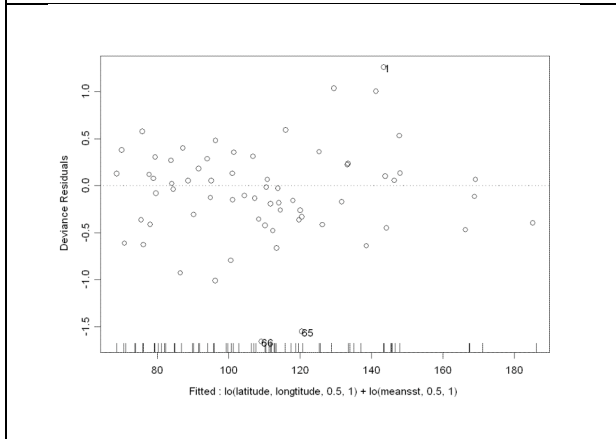
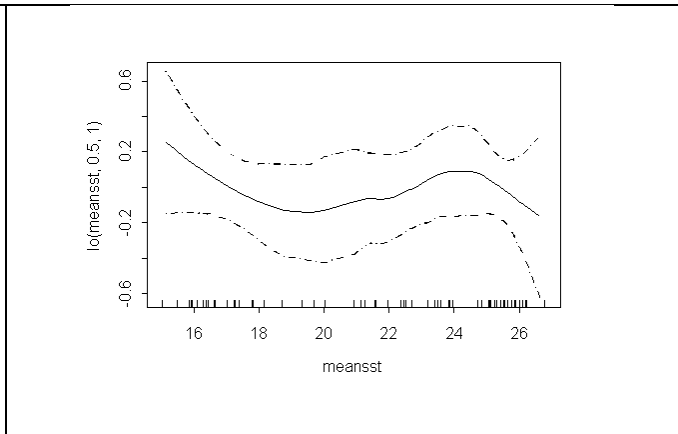
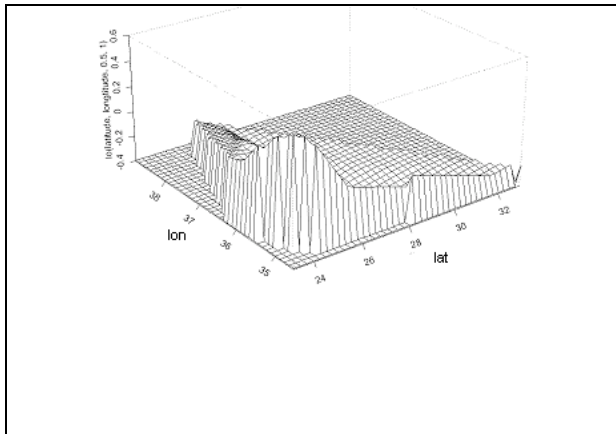
(Φεβρουάριος-Απρίλιος, Αύγουστος-Σεπτέμβριος)
 Swordfish catch per day ~ lo(latitude,longitude, 0.5,1) + lo(meansst, 0.5, 1)
 Null Deviance: 31.19002 on 92 df
 Residual Deviance: 20.92692 on 80.28214 df

	Df	Npar	Df	Npar	F	Pr(F)
(Intercept)	1					
lo(latitude, longitude, 0.5, 1)	2	5.7	2.402240	0.0371320		
lo(meansst, 0.5, 1)	1	3.0	1.482632	0.2254529		



(Φεβρουάριος-Απρίλιος)
 Swordfish catch per day ~ lo(latitude,longitude, 0.5,1) + lo(meansst, 0.5, 1)
 Null Deviance: 20.79389 on 63 degrees of freedom
 Residual Deviance: 13.57891 on 52.23499 degrees of freedom

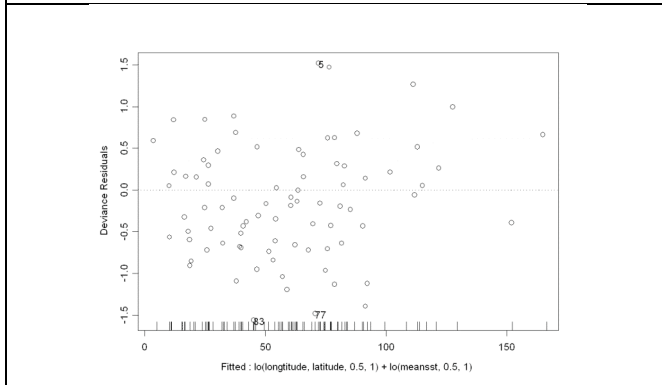
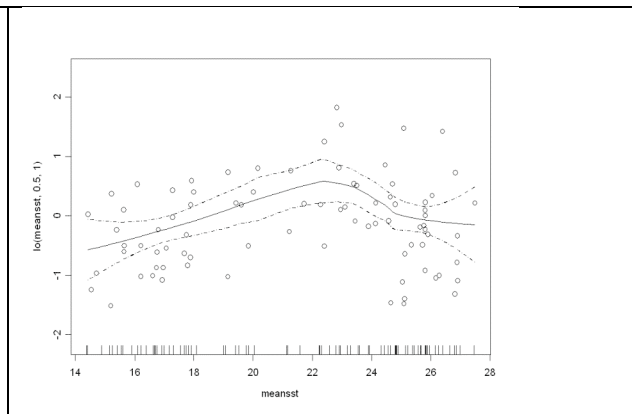
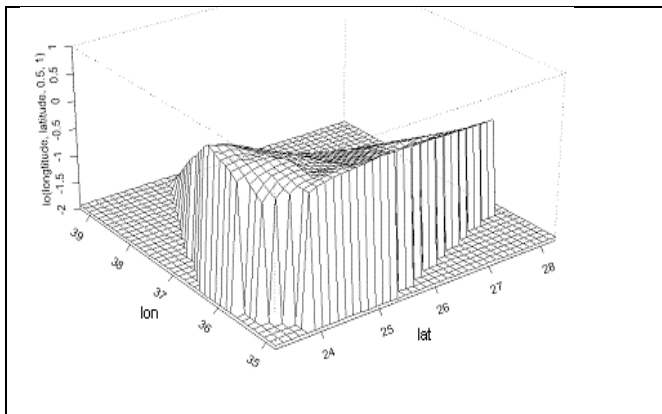
	Df	Npar	Df	Npar	F	Pr(F)
(Intercept)	1					
lo(longitude, latitude, 0.5, 1)	2	5.0	2.875179	0.0228623		
lo(meansst, 0.5, 1)	1	2.8	0.186792	0.8913309		



swo.catch.day ~ lo(latitude, longitude, 0.5, 1) + lo(meansst, 0.5, 1)
 Null Deviance: 22.72517 on 65 degrees of freedom
 Residual Deviance: 17.6049 on 53.04289 degrees of freedom

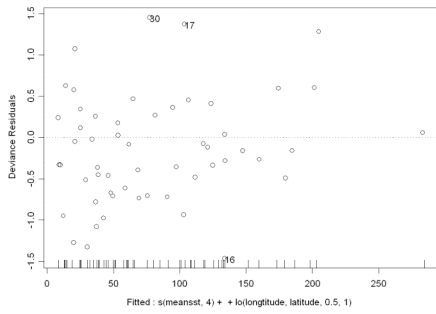
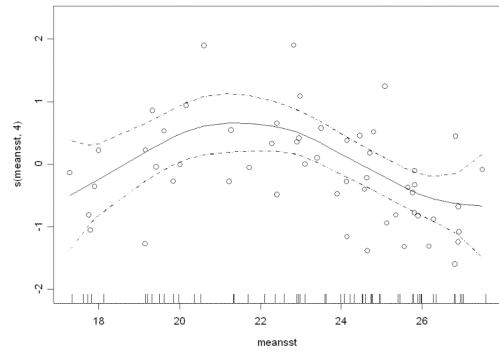
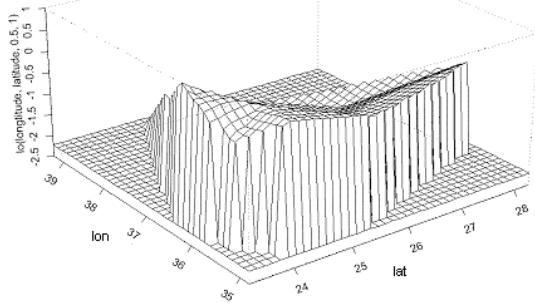
	Df	Npar	Df	Npar	F	Pr(F)
(Intercept)	1					
lo(latitude, longitude, 0.5, 1)	2	6.7	0.797614	0.5879238		
lo(meansst, 0.5, 1)	1	2.3	1.462916	0.2398772		

Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα – Τόνος



(Φεβρουάριος-Σεπτέμβριος)
 bluefin tuna catch per day ~ lo(longitude, latitude, 0.5, 1) + lo(meansst, 0.5, 1)
 Null Deviance: 82.02376 on 82 degrees of freedom
 Residual Deviance: 38.25944 on 71.11119 degrees of freedom

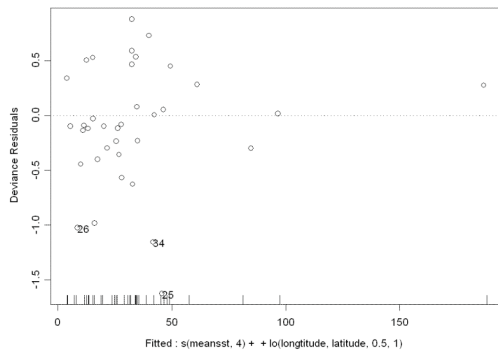
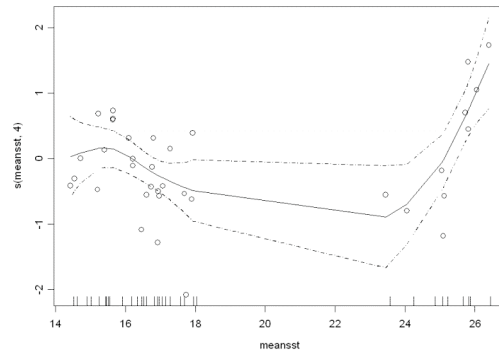
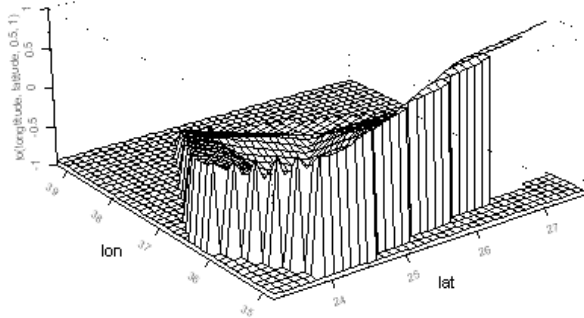
	Df	Npar	Df	Npar	F	Pr(F)
(Intercept)	1					
lo(longitude, latitude, 0.5, 1)	2	5.4	3.628116	0.004626938		
lo(meansst, 0.5, 1)	1	2.5	5.873708	0.002200662		



(Μάιος-Αύγουστος)
 $\text{bft.catch.day} \sim \text{s}(\text{meansst}, 4) + + \text{lo}(\text{longitude}, \text{latitude}, 0.5, 1)$,
 Null Deviance: 69.1332 on 54 degrees of freedom

Residual Deviance: 24.36869 on 42.89096 degrees of freedom

	Df	Npar	Df	Npar	F	Pr(F)
(Intercept)	1					
s(meansst, 4)	1	3.0	5.029536	0.004494591		
lo(longitude, latitude, 0.5, 1)	2	5.1	5.736675	0.000355555		

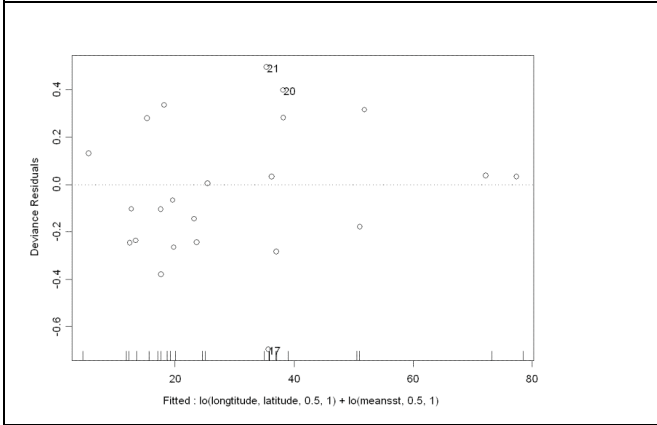
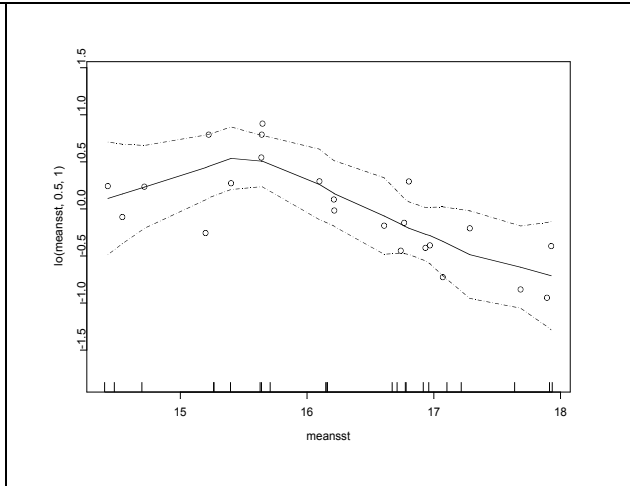
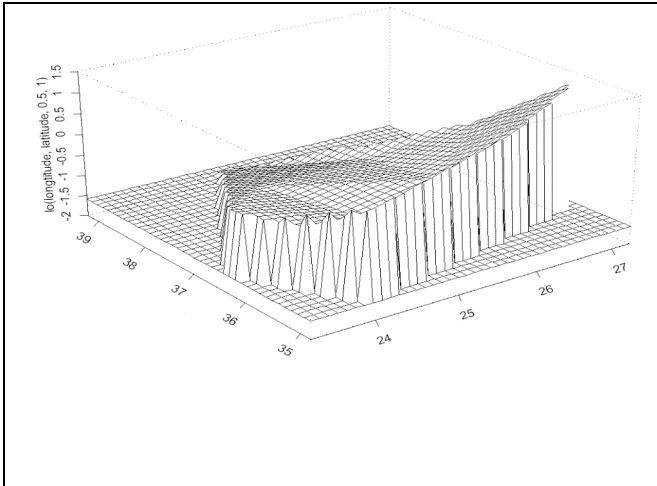


(Φεβρουάριος-Απρίλιος, Σεπτέμβριος)
 $\text{bluefin tuna catch per day} \sim \text{s}(\text{meansst}, 4) + + \text{lo}(\text{longitude}, \text{latitude}, 0.5, 1)$

Null Deviance: 36.1819 on 35 degrees of freedom

Residual Deviance: 10.75164 on 23.53168 degrees of freedom

	Df	Npar	Df	Npar	F	Pr(F)
(Intercept)	1					
s(meansst, 4)	1	3.0	7.149034	0.0013983		
lo(longitude, latitude, 0.5, 1)	2	5.5	2.055943	0.1026780		

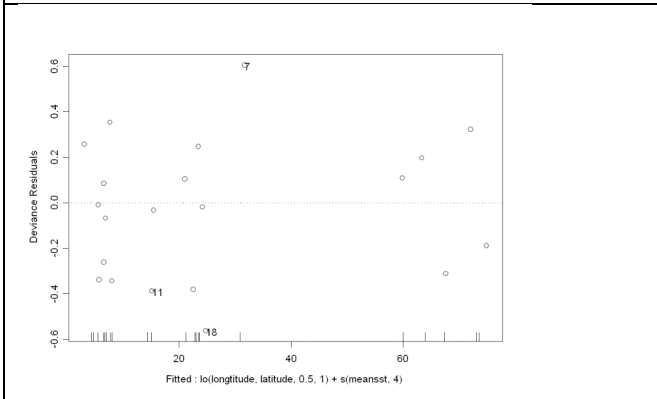
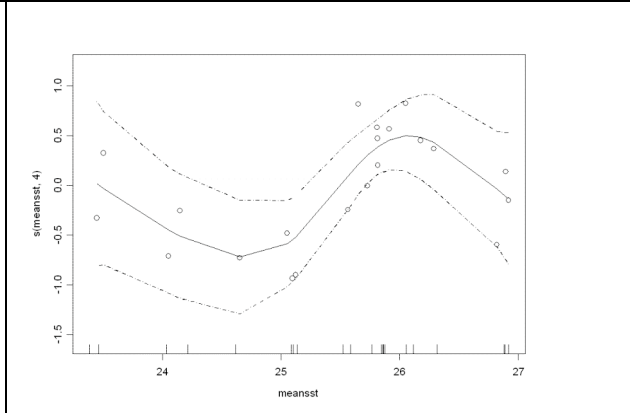
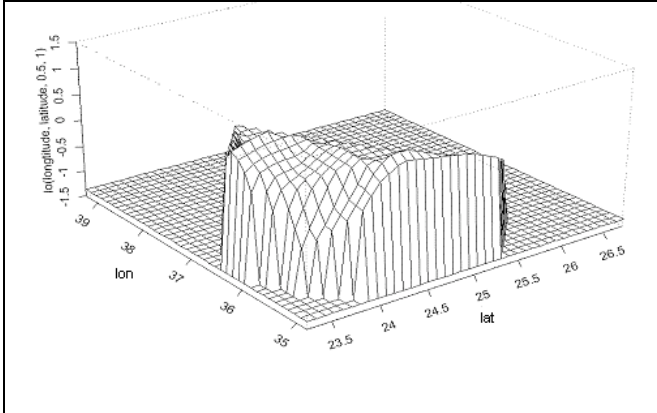


(Φεβρουάριος-Απρίλιος)

bft.catch.day ~ lo(longitude, latitude, 0.5, 1) + lo(meansst, 0.5, 1)

Null Deviance: 11.35767 on 22 degrees of freedom
Residual Deviance: 1.830648 on 10.81821 degrees of freedom

	Df	Npar	Df	Npar	F	Pr(F)
(Intercept)	1					
lo(longitude, latitude, 0.5, 1)	2	5.0	2.980061	0.0621821		
lo(meansst, 0.5, 1)	1	3.2	2.357323	0.1261601		

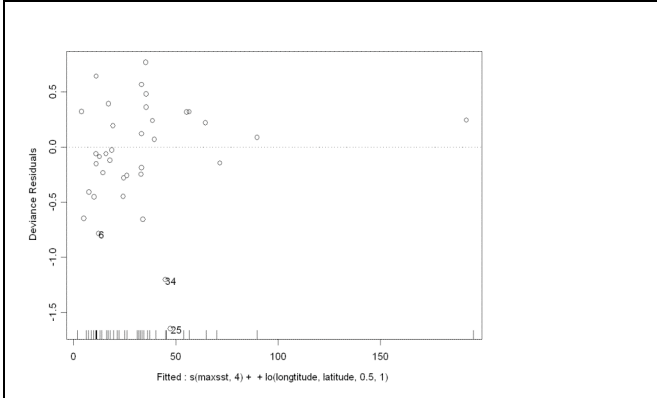
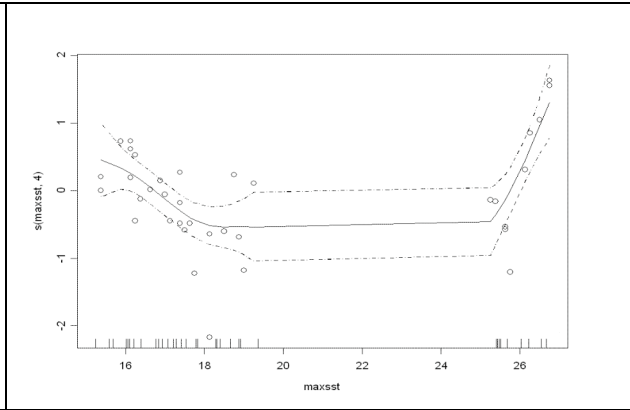
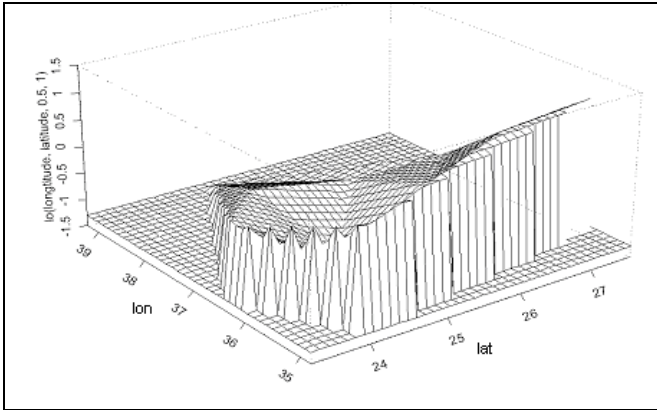


(Αύγουστος-Σεπτέμβριος)

bft.catch.day ~ lo(longitude, latitude, 0.5, 1) + s(meansst, 4)

Null Deviance: 21.42559 on 20 degrees of freedom
Null Deviance: 1.842892 on 7.124348 degrees of freedom

	Df	Npar	Df	Npar	F	Pr(F)
(Intercept)	1					
lo(longitude, latitude, 0.5, 1)	2	6.9	3.521976	0.05823375		
s(meansst, 4)	1	3.0	3.910299	0.06135103		



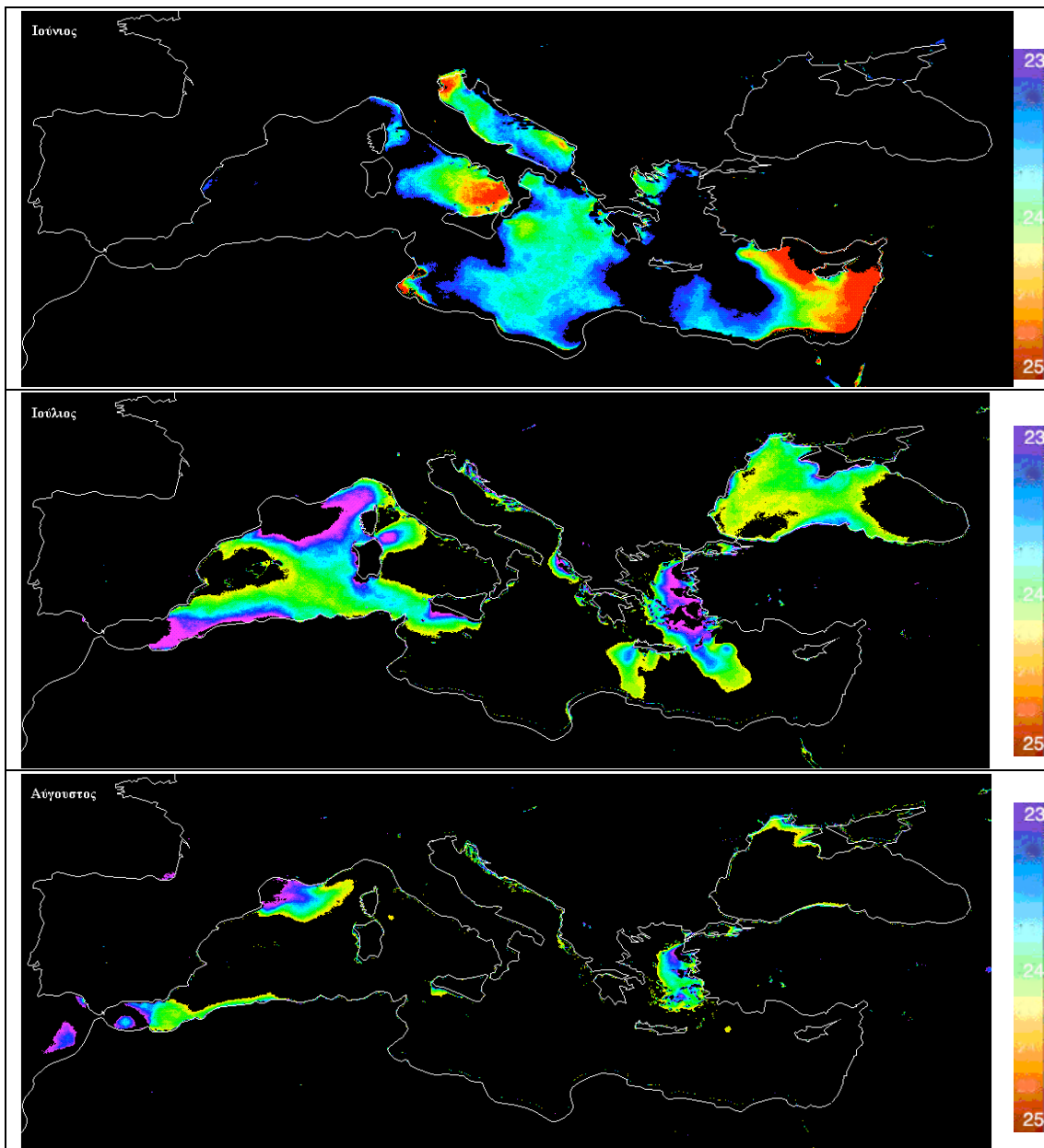
(Φεβρουάριος-Απρίλιος, Σεπτέμβριος)

bluefin tuna catch per day $\sim s(\text{maxsst}, 4) + lo(\text{longitude}, \text{latitude}, 0.5, 1)$

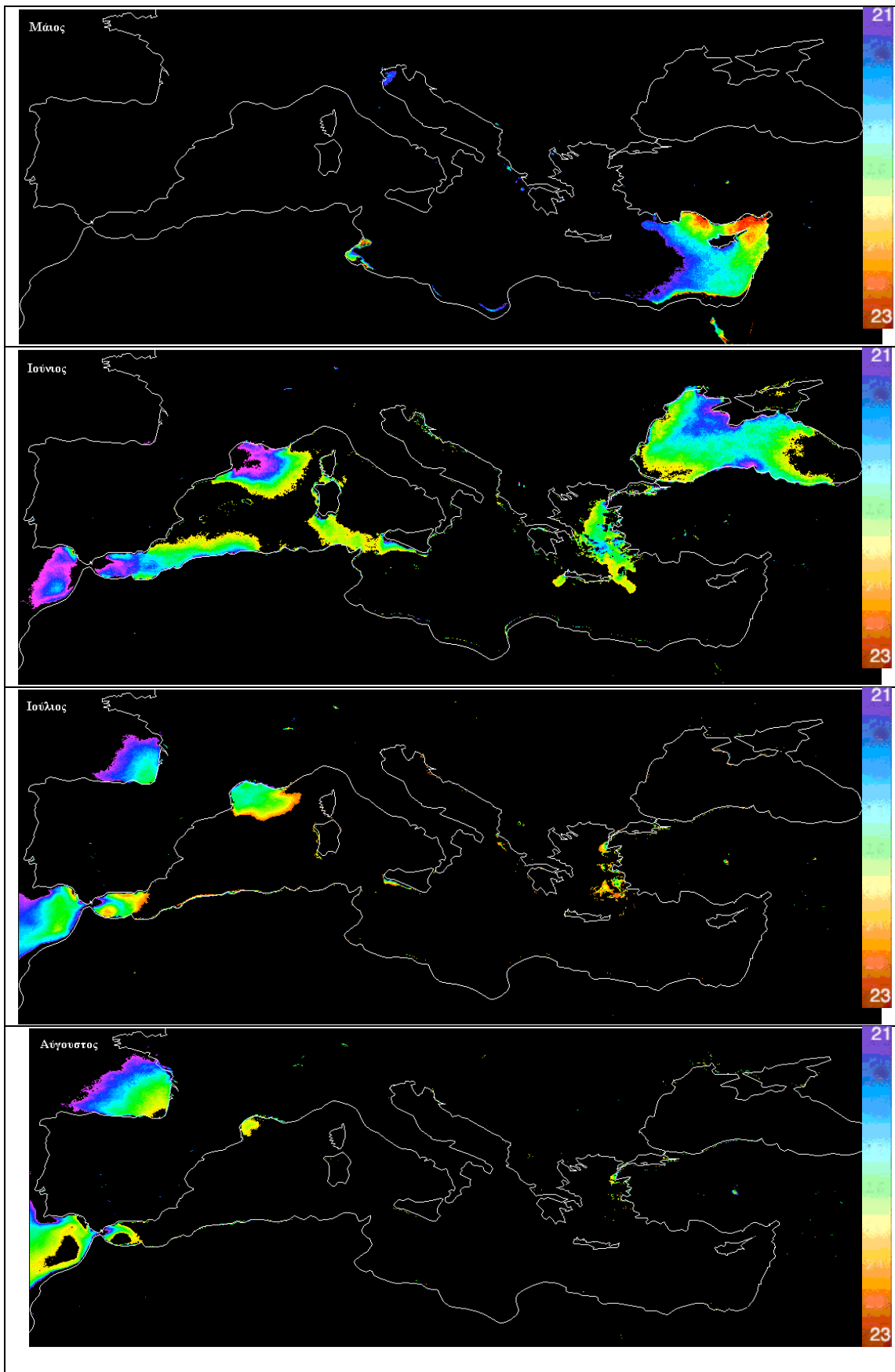
Null Deviance: 36.1819 on 35 degrees of freedom
 Residual Deviance: 8.957898 on 23.5327 degrees of freedom

	Df	Npar	Df	Npar	F	Pr(F)
(Intercept)	1					
s(maxsst, 4)	1	3.0	10.46033	0.000144412		
lo(longitude, latitude, 0.5, 1)	2	5.5	3.91918	0.008628186		

Παράρτημα2.



Επιλογή των θερμοκρασιών που προτιμώνται από τον ξιφία (23⁰-25⁰C), όπως προέκυψαν από την ανάλυση με GAMs, την περίοδο φωτοκίας, σε κλιματολογικούς χάρτες SST.



Επιλογή των θερμοκρασιών που προτιμώνται από τον τόνο (21° - 23° C), όπως προέκυψαν από την ανάλυση με GAMs, την περίοδο φωτοκίας, σε κλιματολογικούς χάρτες SST.

