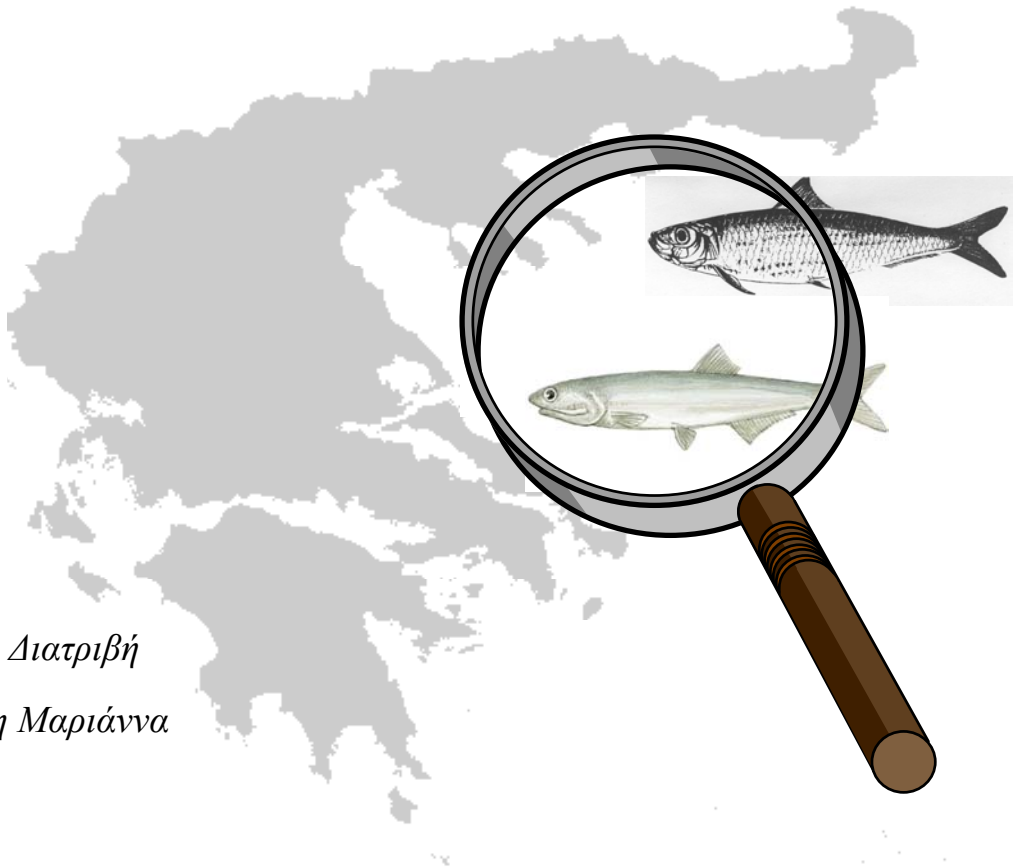


Μελέτη της οριζόντιας κατανομής των μικρών πελαγικών ειδών *Sardina pilchardus* W. και *Engraulis encrasicolus* L. και των παραγόντων που την επηρεάζουν στις Ελληνικές θάλασσες.



Διδακτορική Διατριβή
Γιαννουλάκη Μαριάννα

Στον Αλέξανδρο

Τα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Καθηγητής Ν. Τσιμενίδης (Επιβλέπων)
Καθηγήτρια Μ. Κεντούρη
Αναπλ. καθηγητής Κ. Κουτσικόπουλος

Τα μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Καθηγητής Ν. Τσιμενίδης (Επιβλέπων)
Καθηγήτρια Μ. Κεντούρη
Καθηγητής Ε. Ζούρος
Αναπλ. Καθηγητής Κ. Κουτσικόπουλος
Αναπλ. Καθηγητής Κ. Στεργίου
Επικ. Καθηγητής Ι. Καρακάσης
Λέκτορας Κ. Λύκα

Πρόλογος

Η παρούσα διατριβή πραγματοποιήθηκε εξ' ολοκλήρου στο Πανεπιστήμιο Κρήτης από τον Σεπτέμβριο του 1998 ως τον Οκτώβριο του 2003 και χρηματοδοτήθηκε από ερευνητικά προγράμματα του Ινστιτούτου Θαλάσσιας Βιολογίας Κρήτης.

Τα ηχοβολιστικά αποτελούν ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την μελέτη των ψαριών στο φυσικό τους περιβάλλον. Οι ακουστικές μέθοδοι είναι ανεξάρτητες της αλιείας και χρησιμοποιούνται κυρίως από τους αλιευτικούς επιστήμονες για την αντικειμενική εκτίμηση και παρακολούθηση των ιχθυαποθεμάτων των μικρών πελαγικών. Παράλληλα όμως επειδή επιτρέπουν την συνεχή καταγραφή δεδομένων καθίστανται ιδανικά για το πάντρεμα της συμπεριφοράς των ψαριών με την οικολογία και την παροχή βασικής βιολογικής πληροφορίας για τους ιχθυοπληθυσμούς: (α) με την εφαρμογή τεχνικών όπως η γεωστατιστική, με την οποία είναι δυνατή η μελέτη του τρόπου με τον οποίο οργανώνονται στον χώρο οι συγκεντρώσεις των ψαριών, ενώ (β) με την ταυτόχρονη δειγματοληψία περιβαλλοντικών παραμέτρων διευκολύνεται η μελέτη της κατανομής των ψαριών σε σχέση με περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Η εφαρμογή ωστόσο τέτοιου είδους μεθοδολογιών μπορεί να δημιουργήσει σημαντικές δυσκολίες σε ένα βιολόγο που για να ασχοληθεί με αυτό καλείται να θυμηθεί, να συνθέσει και να συμπληρώσει γνώσεις που προέρχονται από την Βιολογία, τα Μαθηματικά και την Φυσική για να μπορέσει να ερμηνεύσει τελικά αυτό που κατά την αρχική παρατήρηση πάνω στο πλοίο έδειχνε χαοτικό και τυχαίο. Για τον λόγο αυτό θα ήθελα πρώτον από όλους να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Α. Μαχιά χωρίς την επιστημονική βοήθεια, την υποστήριξη, την υπομονή και την ηθική ενθάρρυνση του οποίου στις καθημερινές δυσκολίες η παρούσα διατριβή δεν θα ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί. Ήταν αυτός που πάντα με ωθούσε να αναζητήσω την βιολογική διάσταση των αποτελεσμάτων μου, καθώς είναι πολύ εύκολο αυτή να αγνοηθεί ή να υποτιμηθεί κάτω από το βάρος του διαθέσιμου όγκου πληροφορίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Ν. Τσιμενίδη, που μου εμπιστεύτηκε το θέμα, για την ηθική, υλική και επιστημονική συμπαράστασή του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του κατά την εκπόνηση και την συγγραφή αυτής της εργασίας..

Ευχαριστώ επίσης θερμά τον αναπληρωτή καθηγητή Κ. Κουτσικόπουλο για τις ιδέες, τις συμβουλές, τις οξυδερκείς και χρήσιμες παρατηρήσεις του, που συχνά αποδείχτηκαν πολύτιμες και καθοριστικές κατά την εκπόνηση και την συγγραφή της παρούσας διατριβής αποδεικνύοντας ότι η απόσταση Ηράκλειο-Πάτρα δεν είναι τόσο μεγάλη.

Την καθηγήτρια Μ. Κεντούρη για την υποστήριξη, τις συμβουλές και τις χρήσιμες παρατηρήσεις της κατά την εκπόνηση και τη συγγραφή της παρούσας διατριβής.

Εκτός από τους παραπάνω που αποτελούσαν την τριμελή συμβουλευτική επιτροπή θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής: τους καθηγητές Ε. Ζούρο, Κ. Στεργίου, Ι. Καρακάση και Κ. Λύκα για τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους που βελτίωσαν σημαντικά την εικόνα της παρούσας διατριβής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ι. Χαραλάμπους για την πολύτιμη βοήθειά του και την υποστήριξη που απλόχερα μου προσέφερε στις δυσκολίες της εφαρμογής και της προσαρμογής της γεωστατιστικής θεωρίας στις ιδιαιτερότητες των διαθέσιμων δεδομένων καθώς και τον Σ. Σωμαράκη που με τις χρήσιμες και πάντα εύστοχες παρατηρήσεις του τόσο κατά την εκπόνηση όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας διατριβής, ήταν πάντα διαθέσιμος να με βοηθά στο να διευκρινίζω απορίες και να προσεγγίζω σφαιρικότερα τα αποτελέσματά μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον σύμβουλο στατιστικής του Πανεπιστημίου του Aberdeen A. Ziur για τις πολύτιμες συμβουλές του σχετικά με την εφαρμογή των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων στα δεδομένα. Τον καθηγητή Β. Ναυπακτίτη για την πολύτιμη ενθάρρυνσή του κατά το ξεκίνημα της διδακτορικής μου διατριβής, το ενδιαφέρον του και τις ιδέες του σχετικά με την επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στην αφθονία των μικρών πελαγικών. Τον Δρ. Κ. Παπακωνσταντίνου για τον χρόνο που διέθεσε στην ανάγνωση της διατριβής, τις χρήσιμες παρατηρήσεις του και τα καλά του λόγια.

Θα ήταν μεγάλη παράλειψη από μέρους μου να ξεχάσω τον Α. Μανουσάκη για την ανεκτίμητη συμβολή του στο ηχοβολιστικό σκέλος της διατριβής, για τα λογισμικά προγράμματα BIOSON, HABITAT & CTD που ανέπτυξε αλλά και την πολύ καλή συνεργασία μας στα πλαίσια όλων των ερευνητικών πλάνων. Επίσης, τον καπετάνιο Μ. Κοκκό και όλο το πλήρωμα του “Ε/Σ ΦΙΛΙΑ” για την τεχνική βοήθεια και την πολύτιμη συνεργασία τους κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Τους Ε. Μαραβέγια, Δ. Βάτσο, Χ. Τσιμενίδου, Α. Καπανταγάκη, Α. Στεριώτη, Α. Χατζηαθανασίου, Ν. Παπαδοπούλου, C. Smith, Π. Πίττα, Ν. Φραγκοπούλου, Α. Ράμφο, Μ. Γεωργιάδη, Σ. Ζόμπολα, Ε. Τζανάτο, Γ. Τσερπέ, Ν. Περιστεράκη, Α. Πινάκη, Χ. Σταματάκη, Μ. Καμπακλή, Ε. Παληκαρά και όλους τους φίλους και συναδέλφους για την ενθάρρυνση και την βοήθεια τους όλη αυτή την περίοδο.

Τον Α. Ροΐδη για την ενθάρρυνση, τη συμπαράσταση και την ανοχή του, για όλα αυτά τα χρόνια που μοιράστηκε τις καθημερινές αγωνίες και τα άγχη μου. Τους γονείς μου για την πολύτιμη ηθική και υλική συμπαράστασή τους.

Μαριάννα Γιαννουλάκη
Ηράκλειο Οκτώβριος 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενικά-Τα μικρά πελαγικά είδη ψαριών.....	1
1.2 Μελετούμενα είδη.....	1
1.2.1 Η Ευρωπαϊκή Σαρδέλα.....	1
Στοιχεία Βιολογίας-Οικολογία	1
Εξάπλωση στον Ελλαδικό χώρο-Αλιεία στις Ελληνικές Θάλασσες	2
1.2.2 Ο Γαύρος.....	3
Στοιχεία Βιολογίας- Οικολογία	3
Εξάπλωση στον Ελλαδικό χώρο-Αλιεία στις Ελληνικές Θάλασσες	4
1.3 Περιοχή Μελέτης.....	4
1.4 Ηχοβολισμός.....	7
1.5 Σκοπός- Κριτήρια επιλογής των ειδών.....	9
2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	11
2.1 Εισαγωγή.....	11
2.2 Υλικά και Μέθοδοι.....	11
2.3 Αποτελέσματα.....	16
2.3.1. Η Υδρολογία της περιοχής του Βορείου Αιγαίου	16
2.3.2. Η Υδρολογία της περιοχής του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου και του Ιονίου.....	19
2.3.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά.....	24
2.4 Συζήτηση	27
3. Η ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΓΑΥΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1995-2001	29
3.1 Εισαγωγή.....	29
3.2 Υλικά και Μέθοδοι.....	29
3.2.1 Διαδικασία ακουστικής δειγματοληψίας	30
3.2.2. Ταυτοποίηση των ψαριών-Δειγματοληψία με πελαγική τράτα.....	31
3.2.3. Επεξεργασία ακουστικών δεδομένων	35
3.2.4. Ανάλυση των δειγμάτων των ψαριών	37
3.2.5. Διερευνητική προσέγγιση	38
3.3. Αποτελέσματα.....	39
3.3.1. Οριζόντια κατανομή της σαρδέλας και του γαύρου.....	39
3.3.2. Οι κατά μήκος συνθέσεις	45
3.3.3 Διερευνητική προσέγγιση	52
3.4. Συζήτηση	54
4. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	56
5. ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΠΕΛΑΓΙΚΩΝ	60
5.1. Εισαγωγή.....	60
5.2 Εισαγωγή στην Γεωστατιστική Ανάλυση.....	60
5.3 Υλικά και Μέθοδοι.....	62
Ακουστική δειγματοληψία.	62
Γεωστατιστική Μεθοδολογία.	62
5.3 Αποτελέσματα.....	67
5.4 Συζήτηση	82

6. ΟΙ ΧΩΡΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΠΕΛΑΓΙΚΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	85
6.1. Εισαγωγή.....	85
6.2 Υλικά και Μέθοδοι.....	85
6.2.1. Ακουστική δειγματοληψία.	85
6.2.2. Στατιστική ανάλυση.....	86
6.3. Αποτελέσματα.....	89
6.3.1 Το σύνολο των μικρών πελαγικών.....	89
6.3.2. Ο γαύρος.....	91
6.3.3. Η σαρδέλα.....	94
6.3.4. Η Πυκνότητα των ψαριών σε σχέση με την τοπογραφία.....	96
6.4. Συζήτηση.....	97
7. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥ ΓΑΥΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ I: ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ.....	100
7.1 Εισαγωγή.....	100
7.2 Υλικά και Μέθοδοι.....	101
7.2.1 Επιλογή Ενδιαυτήματος.....	102
7.3 Αποτελέσματα.....	105
7.3.1. Βόρειο Αιγαίο.....	105
7.3.2. Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και Ιόνιο (Καλοκαίρι).....	107
7.3.3. Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και Ιόνιο (Χειμώνας).....	111
7.4. Συζήτηση.....	115
8. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥ ΓΑΥΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ II: ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΑ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	117
8.1 Εισαγωγή.....	117
8.2 Υλικά και Μέθοδοι.....	118
8.2.1. Γενικευμένα προσθετικά μοντέλα (Generalized Additive Models).....	118
8.3. Αποτελέσματα.....	121
8.3.1. Η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη σαρδέλα.....	128
8.3.1.1 Καλοκαίρι.....	128
8.3.1.1 Χειμώνας.....	128
8.3.2. Η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στο γαύρο.....	137
8.3.2.1 Καλοκαίρι.....	137
8.3.2.2 Χειμώνας.....	137
8.4 Συζήτηση.....	147
9. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ.....	152
9.1. Γενική Συζήτηση.....	152
9.2. Συμπεράσματα.....	159
9.3. Summary.....	161
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	162

1. Εισαγωγή

1.1 ΓΕΝΙΚΑ-ΤΑ ΜΙΚΡΑ ΠΕΛΑΓΙΚΑ ΕΙΔΗ ΨΑΡΙΩΝ

Τα μικρά πελαγικά συνιστούν μεγάλο μέρος των παγκόσμιων αλιευμάτων (36% των παγκόσμιων αλιευμάτων το 1994, Freon & Misund 1999), καθίστανται έτσι ιδιαίτερης οικονομικής σημασίας. Για το λόγο αυτό τα μικρά πελαγικά αποτέλεσαν το αντικείμενο εκτενούς μελέτης της βιολογίας τους και κυρίως της κατανομής της αφθονίας τους (Freon & Misund 1999 και εκεί αναφορές) στο παρελθόν. Χαρακτηρίζονται από μικρή διάρκεια ζωής, αναπαράγονται μέσα στα πρώτα 1-3 χρόνια του κύκλου ζωής τους, παράγουν μεγάλο αριθμό αβγών και σχηματίζουν χαρακτηριστικού τύπου κοπάδια, τα σχολεία. Η πλειονότητα των μικρών πελαγικών ειδών ψαριών είναι πρώτης τάξεως καταναλωτές που τρέφονται με φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν, συνιστώντας έτσι σημαντικό συνδετικό κρίκο στην θαλάσσια τροφική αλυσίδα, καθώς τα ίδια αποτελούν το θήραμα μεγαλύτερων τάξεων καταναλωτών. Ο σχηματισμός σχολείων συνιστά αναπόσπαστο χαρακτηριστικό των μικρών πελαγικών (Freon & Misund 1999). Με τον όρο σχολείο (school) αναφερόμαστε σε κοπάδια που εκτελούν συγχρονισμένη και πολωμένη κολύμβηση. Αντίθετα ο όρος κοπάδι ή αγέλη (shoal) αναφέρεται σε μια ομάδα ψαριών, που παραμένουν μαζί για κοινωνικούς λόγους, χωρίς να δίνεται καμία σημασία στην δομή και στην λειτουργία τους (Pitcher 1986). Εξαιρουμένου ενός τμήματος των νυμφικών σταδίων της ζωής τους, όλες οι δραστηριότητες των μικρών πελαγικών ειδών λαμβάνουν χώρα μέσα σε σχολεία. Ο σχηματισμός των σχολείων σχετίζεται με τη θρέψη, την αναπαραγωγή, την μετανάστευση, την αποφυγή των θηρευτών, ενώ παράλληλα όλες οι παραπάνω δραστηριότητες αντικατοπτρίζονται σε αλλαγές στην εσωτερική δομή, στην πυκνότητα, στο σχήμα, στο μέγεθος και στις μετακινήσεις των σχολείων (Blaxter & Hunter 1982). Στις Ελληνικές θάλασσες δύο από τα πιο κοινά και άφθονα είδη μικρών πελαγικών ειδών ψαριών είναι η Ευρωπαϊκή σαρδέλα (*Sardina pilchardus* W.) και ο Ευρωπαϊκός γαύρος (*Engraulis encrasicolus* L.). Τα δύο αυτά είδη αποτελούν το 11.4% και 18.5% αντίστοιχα, του συνόλου των Ελληνικών αλιευμάτων, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερης οικονομικής σημασίας για την Ελληνική αλιεία (Stergiou *et al.*, 1997a). Στη μελέτη της κατανομής αυτών των δύο ειδών στις Ελληνικές θάλασσες και των παραμέτρων που την καθορίζουν επικεντρώθηκε η παρούσα διατριβή.

1.2 ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΑ ΕΙΔΗ

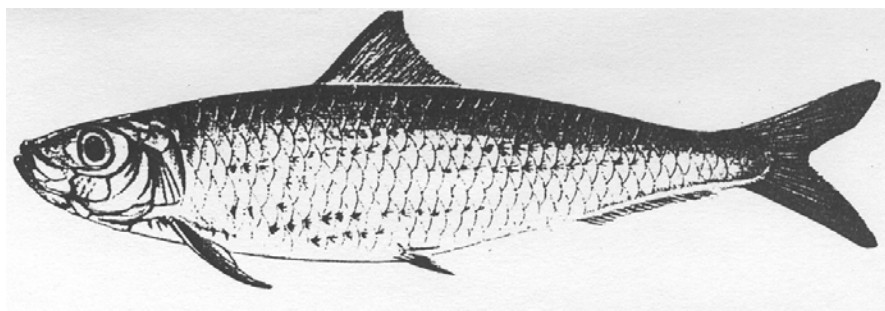
1.2.1 Η Ευρωπαϊκή σαρδέλα

Στοιχεία Βιολογίας-Οικολογία

Η περιοχή εξάπλωσης της Ευρωπαϊκής σαρδέλας (Walbaum, 1793) περιλαμβάνει όλη τη Μεσόγειο, τη βορειο-αφρικανική ακτή του Ατλαντικού ως τις Αζόρες και από την Πορτογαλική ακτή του Ατλαντικού ως τα Βρετανικά νησιά και την περιοχή νότια της Νορβηγίας (59°) (Froese & Pauly 2003). Η πλειονότητα των Clupeidae είναι πλαγκτονοφάγα, (Blaxter & Hunter 1982). Το είδος *Sardina pilchardus* (Εικ. 1.1) τροφοληπτικά χαρακτηρίζεται ως επιλεκτικό πλαγκτονοφάγο (Whitehead 1985). Στη διαίτα των ενηλίκων κυριαρχεί το ζωοπλαγκτόν, αλλά και το φυτοπλαγκτόν υπάρχει σε μεγάλα ποσοστά. Αναλύσεις στομαχικού περιεχομένου έχουν δείξει ότι τα κυρίαρχα ζώα στη διατροφή της σαρδέλας στον Ατλαντικό είναι τα *Calanus finmarchicus*, *Pseudocalanus elongatus* και *Centropages typicus* (Culley 1970), ενώ στη Μεσόγειο τα *Calanus helgolandius*, *Paracalanus parvus*, *Pseudocalanus elongatus*, *Oncea sp.* και *Euchaeta hebes*

(Skrivanic & Zavodnic 1973). Τα μέγιστα της διατροφής έχουν παρατηρηθεί στο λυκόφως, μετά τη δύση του ηλίου (Vucetic 1961).

Στην Αδριατική αναφέρεται ότι οι οριζόντιες μετακινήσεις της σαρδέλας σχετίζονται με τη θερμοκρασία του νερού, την αλατότητα (στα νεαρά κυρίως άτομα), την διαθεσιμότητα της τροφής και ειδικότερα την κατανομή του ζωπλαγκτού και τα ρεύματα (Culley 1970; Skrivanic & Zavodnik 1973). Μελέτες αναφέρουν την συσχέτιση της κατανομής και των μετακινήσεων της σαρδέλας με την κατανομή ζωοπλαγκτονικών ειδών (Culley 1970; Skrivanic & Zavodnik 1973; Τσιμενίδης και συνεργάτες, 1996). Στην Ελλάδα, αναφέρονται μετακινήσεις της σαρδέλας προς τις ακτές κατά τους καλοκαιρινούς μήνες όταν βρίσκεται εκτός αναπαραγωγικής περιόδου



Εικόνα 1. 1. Ενήλικο άτομο σαρδέλας (*Sardina pilchardus*)

(Τσιμενίδης και συνεργάτες, 1996), γεγονός που συμφωνεί με τις καταγραφές των Skrivanic και Zavodnik (1973) στην Αδριατική. Οι κάθετες νυχθημερήσιες μετακινήσεις είναι γνωστό ότι σχετίζονται με την φωτεινή ακτινοβολία όταν δεν εμποδίζονται από το βάθος του βυθού (Giannoulaki *et al.*, 1999).

Μελέτες μακροδομής ωτολίθων από το σύνολο των περιοχών εξάπλωσης δείχνουν ότι η σαρδέλα σπάνια ξεπερνά τα 5-6 έτη ζωής (Τσιμενίδης & Καραγκίτσου 1984; Whitehead 1985) και ωριμάζει αναπαραγωγικά για πρώτη φορά με τη συμπλήρωση του πρώτου χρόνου και σε μήκος περίπου 12 cm (Γκάνιας και συνεργάτες 2000). Η σαρδέλα εμφανίζει παρατεταμένη περίοδο ωοτοκίας. Στο στενό της Μάγλης το μέγιστο της ωοτοκίας έχει παρατηρηθεί τον Ιούνιο, όταν η θερμοκρασία των νερών ανεβαίνει πάνω από τους 10 °C (Culley 1970). Σε μικρότερα γεωγραφικά πλάτη η αναπαραγωγή μετατοπίζεται προς το φθινόπωρο και το χειμώνα και εκτείνεται μέχρι την άνοιξη (Dragesund 1964; Quintanilla & Perez 2000). Στον κόλπο της Νάπολης η κύρια αναπαραγωγική περίοδος εντοπίζεται στις αρχές του Ιανουαρίου, αλλά συνεχίζεται ως τον Απρίλιο (Dragesund 1964). Στην Ελλάδα είναι γνωστό ότι η αναπαραγωγή λαμβάνει χώρα από το Νοέμβριο ως τον Απρίλιο (Daoulas & Economou 1986; Anonymous 2001) και το μέγιστο της αναπαραγωγικής δραστηριότητας συμπίπτει με τους ψυχρότερους μήνες του χρόνου.

Εξάπλωση στον Ελλαδικό χώρο-Αλιεία στις Ελληνικές Θάλασσες.

Η σαρδέλα είναι από τα πιο κοινά εμπορικά είδη των Ελληνικών θαλασσών με μέση ετήσια αλιευτική παραγωγή που ανέρχεται περίπου στο 12% της μέσης ετήσιας ολικής Ελληνικής παραγωγής (Stergiou & Georgoroulos 1993; Stergiou *et al.*, 1997a) και στο 23% της μέσης ετήσιας παραγωγής του Βορείου Αιγαίου (Stergiou & Pollard 1995). Ο κύριος όγκος των αλιευμάτων της σαρδέλας εκφορτώνεται στο Βόρειο Αιγαίο (Τσιμενίδης & Καραγκίτσου 1984; Stergiou & Georgoroulos 1993; Stergiou *et al.*, 1997a). Το μεγαλύτερο μέρος των αλιευόμενων ποσοτήτων της προκύπτει από την αλιεία με κυκλικά δίχτυα (γρι-γρι) (Stergiou 1986), ενώ μικρότερες ποσότητες προκύπτουν από την αλιεία με μηχανότρατα. Δημοσιευμένες εργασίες αναφέρουν την παρουσία του είδους στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου (Konsuloff & Drensky 1943), στον Βόρειο Ευβοϊκό, στο Νότιο Ευβοϊκό, στον Σαρωνικό, στον Πατραϊκό, στον

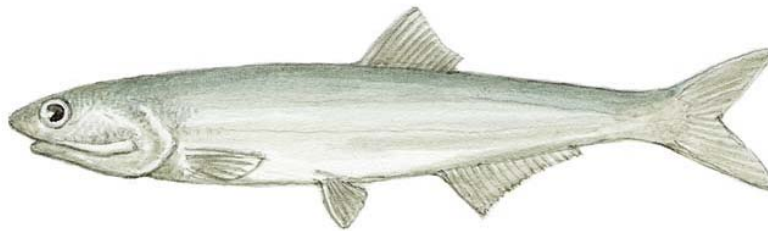
Θερμαϊκό και στον Αμβρακικό κόλπο (Laskaridis 1948) και οι Tsimenides *et al.*, (1994) το θεωρούν ως ένα από τα κυρίαρχα είδη στον Σαρωνικό κόλπο και το Θρακικό. Πρόσφατες μελέτες αναφέρονται στην κατανομή της στο Βόρειο Αιγαίο (Τσιμενίδης και συνεργάτες 1996; Giannoulaki *et al.*, 2002), στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και στο Ιόνιο (Giannoulaki *et al.*, 2001).

Πρέπει να σημειωθεί ότι αποτελέσματα γενετικής ανάλυσης έδειξαν την πιθανή ύπαρξη διαφορετικών γενετικά πληθυσμών σαρδέλας στις Ελληνικές Θάλασσες (Anonymous 2001).

1.2.2 Ο Ευρωπαϊκός γαύρος

Στοιχεία Βιολογίας-Οικολογία

Ο Ευρωπαϊκός γαύρος (*Engraulis encrasicolus* L.) είναι ο μόνος αντιπρόσωπος της οικογένειας Engraulidae στην Μεσόγειο (Εικ. 1.2). Η κατανομή του περιλαμβάνει τον Β.Α. Ατλαντικό, την Μεσόγειο και την Μαύρη Θάλασσα (Reid 1967; Whitehead 1985).



Εικόνα 1.2. Ενήλικο άτομο γαύρου (*Engraulis encrasicolus*).

Ο γαύρος είναι κατ' εξοχήν ζωοπλαγκτονοφάγος (Tudela & Palomera 1997) αν και στη Μαύρη Θάλασσα έχει αναφερθεί και σποραδική κατανάλωση φυτοπλαγκτού (Mikhman & Tomanovich 1978; Bulganova 1993). Τρέφεται κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας, συνήθως με μικρού μεγέθους (<2 mm) κωπήποδα και κατά δεύτερο λόγο με κλαδοκεραιωτά, νύμφες μαλακίων και οστρακώδη, καθώς και μεγαλύτερα άτομα όπως νύμφες δεκαπόδων και ψαριών, αμφίποδα, κωπηλάτες κ.α. Στη δυτική Μεσόγειο η ένταση της διατροφής κορυφώνεται κατά τις απογευματινές ώρες και φαίνεται να εξαρτάται από το βάθος όπου παρατηρείται το μέγιστο της χλωροφύλλης (*deep chlorophyll maximum* -Tudela & Palomera 1997).

Μελέτες της μακροδομής των ωτολίθων από το σύνολο της περιοχής εξάπλωσης του είδους έχουν δείξει ότι ο γαύρος δεν ξεπερνά τα τέσσερα έτη ζωής (Τσιμενίδης & Καραγκίτσου 1984; Karacam & Duzgunes 1990; Morales-Nin & Pertierra 1990). Ο γαύρος ωριμάζει αναπαραγωγικά πρώτη φορά με τη συμπλήρωση του πρώτου έτους ζωής και σε μήκος 10-11 cm (Demir 1965; Τσιμενίδης & Καραγκίτσου 1984; Motos *et al.*, 1991; Uriarte *et al.*, 1996). Η αναπαραγωγική περίοδος του γαύρου είναι παρατεταμένη και εκτείνεται από την Άνοιξη έως το Φθινόπωρο (Vucetic 1957; Demir 1965; Palomera & Sabates 1990; Motos *et al.*, 1991; Palomera 1992; Σωμαράκης 1993; Garcia & Palomera 1996; Motos *et al.*, 1996) και κυρίως από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο, και σπάνια από το Μάρτιο ή και μετά το Νοέμβριο. Στις Ελληνικές Θάλασσες το μέγιστο της αναπαραγωγής του γαύρου λαμβάνει χώρα κατά την περίοδο μετάβασης από την άνοιξη στο καλοκαίρι (Σωμαράκης 1993, 1999).

Η ένταση και τα πεδία αναπαραγωγής σχετίζονται με εποχές/ περιοχές υψηλής παραγωγικότητας και συγκεκριμένα με συνθήκες ευνοϊκές για τη διατροφή των ενηλίκων (π.χ. χερσαίες εκροές, ανοδικά ρεύματα (upwellings) και μετωπικά συστήματα (fronts, Palomera 1992; Garcia *et al.*, 1994; Motos *et al.*, 1996).

Εξάπλωση στον Ελλαδικό χώρο-Αλιεία στις Ελληνικές Θάλασσες.

Ο γαύρος είναι από τα πιο άφθονα είδη των Ελληνικών θαλασσών και μαζί με την σαρδέλα, *Sardina pilchardus* αποτελούν το επικρατές ζεύγος των μικρών πελαγικών (Stergiou *et al.*, 1997a). Σε παλαιότερες βιβλιογραφικές αναφορές (Βιδάλης 1949) αναφέρεται ότι ο γαύρος αφθονεί και ψαρεύεται στον Πατραϊκό, Σαρωνικό, Ευβοϊκό και Παγασητικό κόλπο, στο Θρακικό πέλαγος και στη Λέσβο, ενώ πιο περιστασιακές είναι οι εμφανίσεις του στα στενά της Κέρκυρας, στις Κυκλάδες, στα Δωδεκάνησα και στο Κρητικό πέλαγος.

Ο κύριος όγκος των αλιευμάτων του γαύρου εκφορτώνεται στο Βόρειο Αιγαίο (Τσιμενίδης & Καραγκίτσου 1984; Stergiou & Georgopoulos 1993; Stergiou *et al.*, 1997a). Σχεδόν το σύνολο των αλιευόμενων ποσοτήτων του γαύρου προκύπτει από την αλιεία με κυκλικά δίχτυα (γρι-γρι) (Stergiou 1986), ενώ οι ποσότητες που αλιεύονται παρουσιάζουν ένα εποχιακό πρότυπο (Stergiou 1990) που οφείλεται σε αντίστοιχες εποχιακές μεταναστεύσεις. Ο γαύρος φαίνεται να μετακινείται προς βαθύτερα νερά κατά το τέλος του καλοκαιριού – αρχές φθινοπώρου και ξανά πίσω προς τα παράκτια πεδία την άνοιξη (Τσιμενίδης & Καραγκίτσου 1984; Stergiou 1990). Στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και στο Ιόνιο οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του γαύρου αναφέρονται στον Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο, στο βόρειο τμήμα του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου και στον Πατραϊκό κόλπο (Machias *et al.*, 2001).

Αποτελέσματα ανάλυσης του μιτοχονδριακού DNA (Magoulas *et al.* 1996), έχουν δείξει ότι στις Ελληνικές Θάλασσες υπάρχουν δύο ξεχωριστοί πληθυσμοί του γαύρου, που παρουσιάζουν αυξημένο βαθμό γενετικής απομόνωσης. Ο γαύρος του Β. Αιγαίου έχει διαφορετική γενετική σύσταση (αυξημένη συχνότητα μιτοτύπων «τύπου Μαύρης Θάλασσης») σε σχέση με τα αποθέματα του Ιονίου και της Δυτικής Μεσογείου.

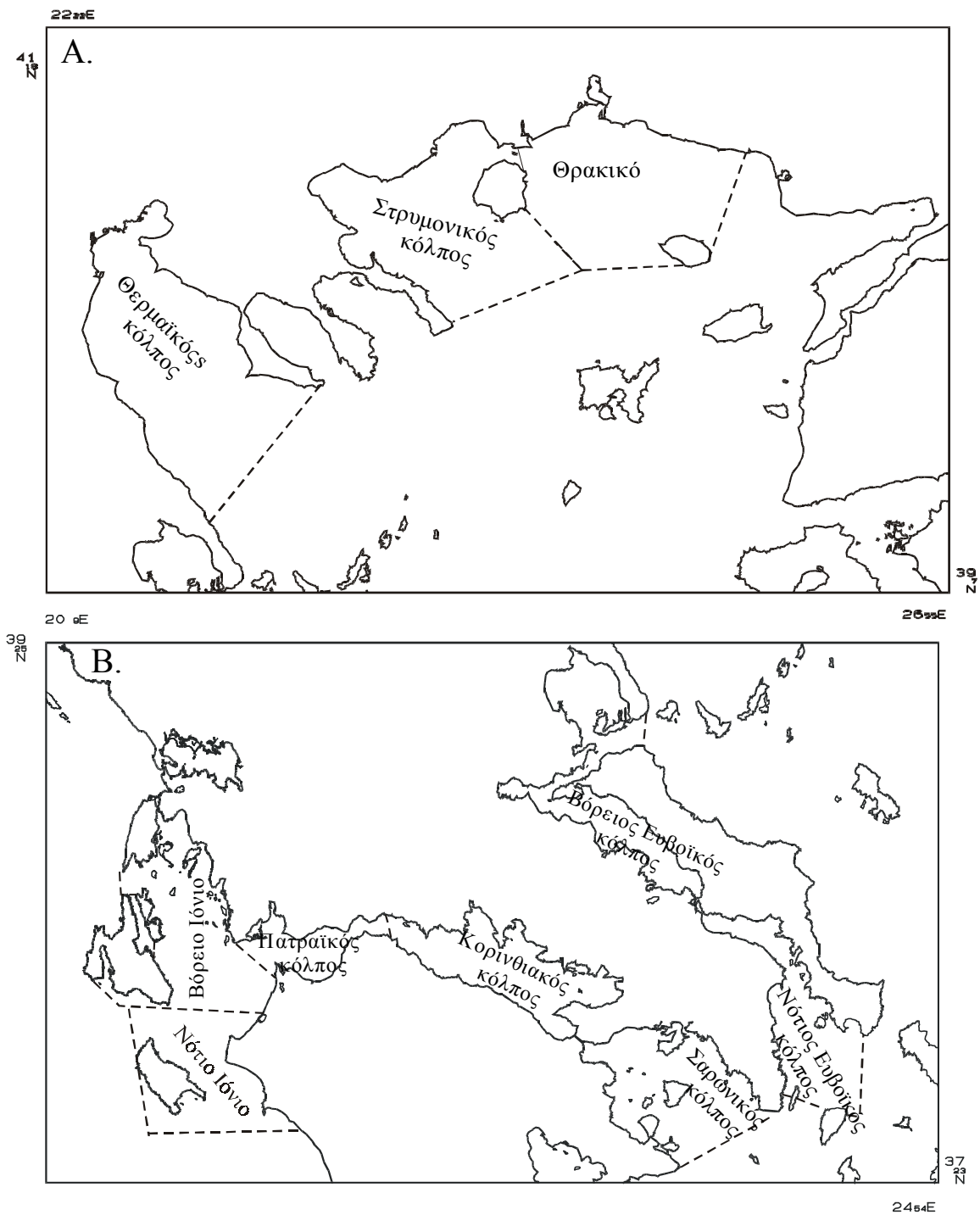
1.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το έντονο γεωγραφικό ανάγλυφο της Ελλάδας συντελεί στη δημιουργία κλειστών ή ημικλειστών κόλπων (π.χ. ο Κορινθιακός κόλπος, ο Β. Ευβοϊκός κόλπος και ο Ν. Ευβοϊκός κόλπος) που συνδέονται μεταξύ τους με ένα ή περισσότερα στενά περάσματα. Η ετερογένεια στη βαθυμετρία συνιστά έναν ακόμη σημαντικό παράγοντα διαφοροποίησης των Ελληνικών θαλασσών. Περιοχές όπως ο Κορινθιακός κόλπος και το νότιο Ιόνιο χαρακτηρίζονται από μεγάλα βάθη και μικρής έκτασης υφαλοκρηπίδα, αντίθετα οι θαλάσσιες περιοχές του Βορείου Αιγαίου χαρακτηρίζονται από εκτεταμένη υφαλοκρηπίδα (π.χ. το Θρακικό Πέλαγος) και μικρά βάθη (π.χ. το βόρειο τμήμα του Θερμαϊκού κόλπου). Σε σχέση με τον γενικότερο ολιγοτροφικό χαρακτήρα των Ελληνικών Θαλασσών, η περιοχή Θρακικού – Στρυμονικού κόλπου και γενικότερα το Βόρειο Αιγαίο είναι από τις πιο παραγωγικές θαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας και χαρακτηρίζονται από υψηλή αφθονία φυτοπλαγκτού, χλωροφύλλης *a* και ζωοπλαγκτού (Stergiou & Georgopoulos 1993; Stergiou *et al.*, 1997a).

Οι ψυχρές, χαμηλής αλατότητας υδάτινες μάζες που προέρχονται από την Μαύρη Θάλασσα και εισέρχονται στο Αιγαίο από τα στενά του Βοσπόρου, τη Θάλασσα του Μαρμαρά και τα Στενά των Δαρδανελίων επηρεάζουν κυρίως την υδρολογία και την κυκλοφορία των νερών του Βορείου Αιγαίου και σε μικρότερο βαθμό του Β. Ευβοϊκού κόλπου, του νότιου τμήματος του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου και του Σαρωνικού κόλπου (Stergiou *et al.*, 1997a). Η εισροή γλυκών νερών, η οποία είναι εντονότερη στο Βόρειο Αιγαίο, και τα ανοδικά ρεύματα που είναι πλούσια σε θρεπτικά (upwelling) και αποτελούν συχνό φαινόμενο στο βόρειο τμήμα του

Κορινθιακού κόλπου, του Πατραϊκού κόλπου καθώς και κατά μήκος των Δυτικών ακτών της Πελοποννήσου, συνεισφέρουν περαιτέρω στην ετερογένεια του οικοσυστήματος των Ελληνικών Θαλασσών.

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από ερευνητικά ταξίδια που πραγματοποιήθηκαν στο Βόρειο Αιγαίο, το Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο. Ειδικότερα, η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στο Βόρειο Αιγαίο (41.02° Β ως 39.43° Ν και 25.92° Α ως 22.54° Δ), το Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο (39.37° Β ως 37.47° Ν και 24.55° Α ως 20.33° Δ). Ο όρος Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο αναφέρεται στην περιοχή που περιλαμβάνει τον Β. Ευβοϊκό κόλπο, το Ν. Ευβοϊκό κόλπο και τον Σαρωνικό κόλπο. Αντίστοιχα ο όρος Ιόνιο αναφέρεται στην ευρύτερη περιοχή που περιλαμβάνει τον Κορινθιακό κόλπο, τον Πατραϊκό κόλπο, το βόρειο και το νότιο τμήμα του ελληνικού Ιονίου Πελάγους (Εικ. 1.3).



Εικόνα 1.3. Χάρτης της περιοχής μελέτης Α. Βόρειο Αιγαίο και Β. Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και Ιόνιο, όπου με διακεκομμένη γραμμή διακρίνονται οι υποπεριοχές δειγματοληψίας.

1.4 ΗΧΟΒΟΛΙΣΜΟΣ

Ηχοβολισμός είναι ένας γενικός όρος, ο οποίος συνήθως αναφέρεται στη χρήση ήχων για την ανίχνευση στόχων, αξιοποιώντας την κυματική ιδιότητα του ήχου να σκεδάζεται, όταν συναντά σώματα διαφορετικής πυκνότητας από το μέσο στο οποίο διαδίδεται. Ουσιαστικές έρευνες για την αξιοποίηση αυτής της ιδιότητας του ήχου άρχισαν το 1918, στον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, με σκοπό την ανίχνευση υποβρυχίων και ο πρώτος ερευνητής που περιέγραψε ένα επιτυχημένο πείραμα για την ηχητική ανίχνευση ψαριών, ήταν ο Kimura το 1929 (MacLennan & Simmonds 1992).

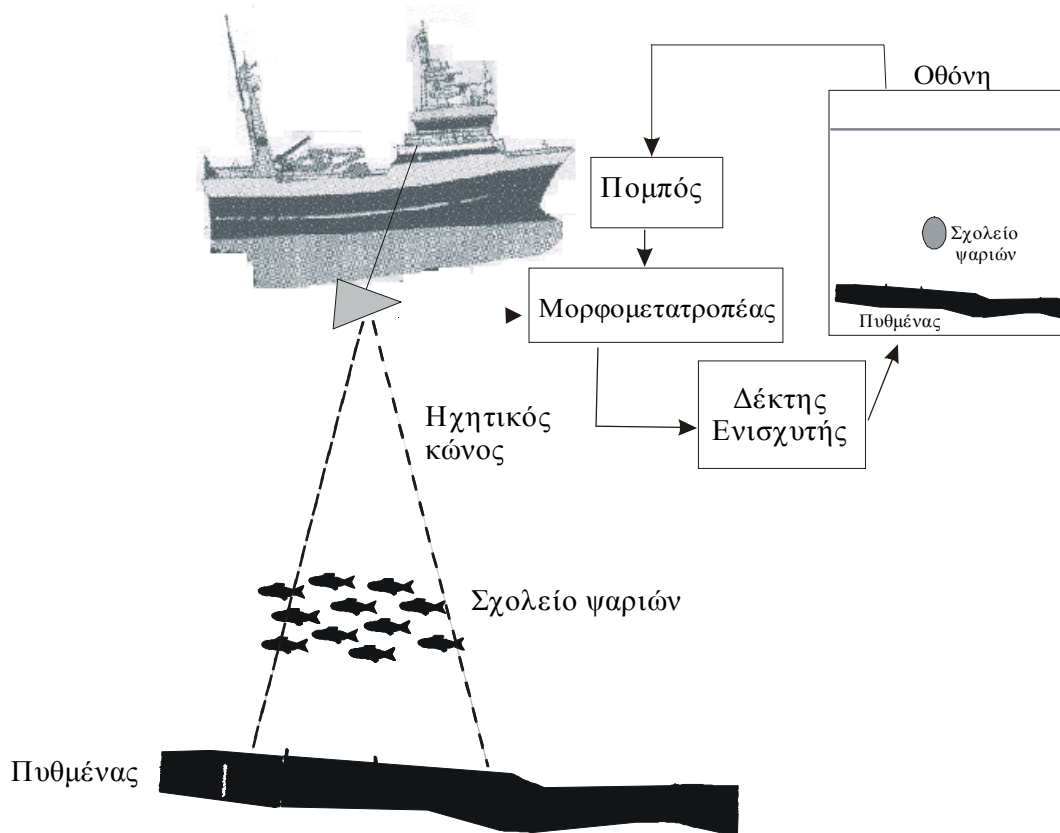
Μερικές από τις πρώτες προσπάθειες για τη χρήση υδροακουστικών στην ανίχνευση ψαριών διεξήχθησαν την δεκαετία του 1930 στα αναπαραγωγικά πεδία του γάδου στην θάλασσα του Μπάρεντς και στα αλιευτικά πεδία της ρέγγας στα ανοιχτά των Βρετανικών νησιών. Μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο τα ηχοβολιστικά καταλαμβάνουν σταδιακά ολοένα και πιο σημαντική θέση στην εμπορική αλιεία ως μέσα εντοπισμού ψαριών. Είναι γεγονός ότι τα περισσότερα ψάρια που αλιεύονται από τράτες ή κυκλικά δίχτυα εντοπίζονται αρχικά από ηχοβολιστικά ή σόναρς, ενώ σε ορισμένες περιοχές όπως στα αλιευτικά πεδία του Βορείου Ατλαντικού και της Θάλασσας του Μπέρινγκ, η αλιεία στηρίζεται αποκλειστικά στον εντοπισμό των ψαριών με ηχοβολιστικά μέσα (Misund 1997).

Τα ηχοβολιστικά είναι όργανα τα οποία εκπέμπουν ηχητικούς παλμούς μέσω ενός μορφομετατροπέα (transducer), οι οποίοι διαδίδονται μέσα στο νερό (Εικ. 1.4). Οι μορφομετατροπείς έχουν διττή λειτουργία (MacLennan & Simmonds 1992):

- ◆ Μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε ηχητικό παλμό, που συχνά καλείται και σφύριγμα (ping).
- ◆ Μετατρέπουν τους ως προς αυτούς διαδιδόμενους μέσα στο νερό ήχους σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο ενισχύεται στη συνέχεια με ένα ενισχυτή (Εικ. 1.4).

Γενικά ένα ηχητικό κύμα διαδίδεται σφαιρικά (προς όλες τις κατευθύνσεις). Όμως ένα ηχοβολιστικό, ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κατασκευή του, μπορεί να εστιάζει την διάδοση της ηχητικής ενέργειας προς μια κατεύθυνση και συγκεκριμένα κάθετα ως προς το βυθό. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός ενός ηχητικού κώνου (ή δέσμης) διάδοσης των κυμάτων. Όταν ο ηχητικός παλμός συναντήσει κάποιον στόχο σκεδάζεται. Τα σκεδαζόμενα κύματα διαδίδονται εκ νέου από το αντικείμενο (τα ψάρια στην συγκεκριμένη περίπτωση), προς όλες τις κατευθύνσεις (Εικ. 1.4). και ένα τμήμα της σκεδαζόμενης ενέργειας (η οπισθοανακλώσα ενέργεια) επιστρέφει στο μορφομετατροπέα, όπου μετατρέπεται σε ηχητική ενέργεια. Η απόσταση του στόχου υπολογίζεται από το χρόνο που απαιτείται για να επιστρέψει το εκπεμπόμενο σήμα. Οι απαιτούμενες διορθώσεις γίνονται αυτόματα και το λαμβανόμενο σήμα

ενισχυμένο από τα ηλεκτρικά κυκλώματα στον δέκτη του μορφομετατροπέα απεικονίζεται στην οθόνη του ηχοβολιστικού (MacLennan & Simmonds 1992).



Εικόνα 1.4. Σχηματική παρουσίαση των βασικών αρχών του ηχοβολισμού. Ο ήχος από τον πυθμένα και σχολείο των ψαριών παρουσιάζονται στο ηχογράμμα που λαμβάνεται στην οθόνη (κατά MacLennan & Simmonds 1992).

Η ένταση του ήχου που προέρχεται από ένα στόχο, π.χ. ένα κοπάδι ψαριών εξαρτάται από το **ηχοανακλαστικό δυναμικό (Η.Δ.)** του στόχου. Το ηχοανακλαστικό δυναμικό (Η.Δ.) του στόχου είναι ο αριθμός που μας δείχνει την ένταση του επιστρέφοντος ήχου που συλλαμβάνει το ηχοβολιστικό. Όσο μεγαλύτερο είναι το ηχοανακλαστικό δυναμικό (Η.Δ.) τόσο ισχυρότερος είναι ο ήχος που επιστρέφει σε σχέση με τον αρχικά εκπεμπόμενο (MacLennan & Simmonds 1992). Ειδικότερα το Η.Δ. είναι μια λογαριθμική μέτρηση της προσπίπτουσας ενέργειας σε σχέση με την οπισθανακλώμενη από τον στόχο. Το Η.Δ. των ψαριών εξαρτάται από το είδος του ψαριού, το μέγεθος του και τον προσανατολισμό του σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας (Love 1977; Blaxter & Batty 1990; Ona 1990; MacLennan & Simmonds 1992; Misund 1997). Η νηκτική κύστη είναι εκείνο το μέρος του σώματος του ψαριού (στα είδη που έχουν νηκτική κύστη) που συμβάλλει κατά 90% ή και περισσότερο, στην ανακλώμενη ενέργεια και επομένως καθορίζει κατά κύριο λόγο την τιμή του Η.Δ. του ψαριού (Foote 1980).

Στην αλιευτική έρευνα, η χρήση ακουστικών μεθόδων βρήκε ευρεία εφαρμογή κυρίως στη μέτρηση της πυκνότητας των ψαριών για την εκτίμηση των αλιευτικών αποθεμάτων (MacLennan & Simmonds, 1992). Η ανάγκη εκτίμησης της ποσότητας των ψαριών σε μια περιοχή με βάση

τον ήχο που ανακλούν οδήγησε στην ανάπτυξη του ηχο-ολοκληρωτή (echo integrator) στον οποίο η τάση που προέρχεται από τα οπισθοανακλώμενα ακουστικά σήματα τετραγωνίζεται και αθροίζεται ανά διαστήματα βάθους αλλά και διανυόμενης απόστασης. Βαθμονομώντας τον ηχο-ολοκληρωτή με μεταλλικές σφαίρες γνωστού Η.Δ. (Foote *et al.*, 1987) καθίσταται δυνατή η μέτρηση των καταγραφών των ηχοβολιστικών. Εφόσον το Η.Δ. του καταγεγραμμένου ψαριού είναι γνωστό το αποτέλεσμα της ολοκλήρωσης του ήχου μπορεί να μετατραπεί σε μονάδες πυκνότητας ψαριών (MacLennan & Simmonds 1992). Οι παραπάνω αρχές εφαρμόζονται πλέον ευρέως σε ακουστικές έρευνες για την εκτίμηση οικονομικά σημαντικών ιχθυοαποθεμάτων.

Σήμερα οι υδροακουστικές μέθοδοι επιτρέπουν την ανίχνευση και τον ακριβή εντοπισμό των ψαριών συνιστώντας έτσι ένα πολύτιμο εργαλείο τόσο για την αλιευτική έρευνα όσο και για την αλιεία με πελαγική τράτα και κυκλικά δίχτυα (γρι-γρι). Με τα ηχοβολιστικά καθίσταται δυνατή η έρευνα ενός μεγάλου όγκου νερού σε μικρό χρονικό διάστημα, ενώ οι επιστημονικές εφαρμογές των ηχοβολιστικών οργάνων επιτρέπουν την ακριβή χαρτογράφηση της κατανομής και της αφθονίας των ιχθυοαποθεμάτων, με μέθοδο ανεξάρτητη της εμπορικής αλιείας.

Η ανάπτυξη των ηχοβολιστικών οργάνων όμως ταυτόχρονα αύξησε την αλιευτική πίεση καθώς έδωσε τη δυνατότητα στους ψαράδες να εντοπίζουν και να αλιεύουν τα ιχθυοαποθέματα πέρα των ορίων που επιτρέπουν την αειφορική διατήρηση των παγκόσμιων αλιευτικών αποθεμάτων, γεγονός που καθιστά πιο επιτακτική την ανάγκη επιστημονικής παρακολούθησης των οικονομικά σημαντικών ιχθυοαποθεμάτων (Pauly *et al.*, 2002).

1.5 ΣΚΟΠΟΣ-ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ

Υπάρχουν πολλές δημοσιευμένες εργασίες που αφορούν διάφορες πλευρές της βιολογίας, της οικολογίας και της αλιείας του γαύρου και της σαρδέλας στις Ελληνικές θάλασσες (π.χ. εκτίμηση αποθεμάτων: Τσιμενίδης και συνεργάτες 1996; Machias *et al.*, 2001; Giannoulaki *et al.*, 2001; ηλικία, αύξηση και αναπαραγωγή: Laskaridis 1948; Tserpes & Tsimenides 1991, Koutrakis *et al.*, 2001, Γκάνιας και συνεργάτες 2000; Machias *et al.*, 2001; Ganiyas *et al.*, 2002a; Ganiyas *et al.*, 2002b; Voulgaridou & Stergiou 2003, γενετική: Spanakis *et al.*, 1989; Magoulas *et al.*, 1996, φυσιολογία: Machias & Tsimenides 1995; 1996, μελέτη των αβγών και των ιχθυονυμφών: Yannopoulos *et al.*, 1973; Daoulas & Economou 1986; Σωμαράκης 1999, ιχθυοπλαγκτονικές έρευνες: Σωμαράκης 1999; Somarakis *et al.* 2000; Somarakis *et al.*, 2002a; Somarakis *et al.*, 2002b, κάθετη μετανάστευση: Giannoulaki *et al.*, 1999, κατανομή με ηχοβολιστικά: Machias *et al.*, 1996, 2001; Maravelias *et al.*, 1997; Giannoulaki *et al.*, 2001, εκτίμηση των αποθεμάτων: Tsimenides & Caragitsou, 1984; Τσιμενίδης και συνεργάτες 1996; Machias *et al.*, 2001; Giannoulaki *et al.*, 2001 και ανάλυση αλιευτικών δεδομένων: Stergiou 1989; 1990; 1992; Stergiou & Christou 1996; Stergiou *et al.*, 1997b).

Ωστόσο, οι υπάρχουσες γνώσεις μας είναι ελλιπείς όσον αφορά την γεωγραφική κατανομή των αποθεμάτων του γαύρου και της σαρδέλας στο Κεντρικό Αιγαίο και στο Ιόνιο, τους βιοτικούς και βιοτικούς παράγοντες που την επηρεάζουν, τις τυχόν μεταβολές της κατανομής τους ανάλογα με την εποχή, το πώς οργανώνονται τα σχολεία των μικρών πελαγικών και τις τυχόν διαφοροποιήσεις στην οργάνωση των σχολείων ανά περιοχή ή ανά εποχή. Το κενό αυτό στοχεύει να καλύψει η παρούσα διδακτορική διατριβή, η οποία περιλαμβάνει δύο ευρύτερες ενότητες. Η πρώτη είναι μια σύντομη περιγραφική ενότητα που αφορά τα υδρολογικά και βιοτικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, μια αδρή περιγραφή της κατανομής των δύο ειδών στην περιοχή καθώς και στοιχεία για την κατά μήκος σύνθεση των πληθυσμών των δύο ειδών.

Στη συνέχεια, μια δεύτερη εκτενέστερη ενότητα στοχεύει:

- ♦ Στον προσδιορισμό της γεωγραφικής κατανομής του γαύρου και της σαρδέλας στις Ελληνικές θάλασσες (εντοπισμός περιοχών προτίμησης).
- ♦ Στην αναζήτηση πιθανών διαφοροποιήσεων στην κατανομή τους σε δύο διαφορετικές εποχές (χειμώνα και καλοκαίρι) και

♦ Στον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των χωρικών δομών (δηλ. του τρόπου με τον οποίο οργανώνονται οι ομάδες των σχολείων των ψαριών στο χώρο) που σχηματίζουν ο γαύρος και η σαρδέλα και το πρότυπο με το οποίο κατανέμονται στο χώρο. Τέτοιου είδους γνώση είναι απαραίτητη για την ανάλυση προβλημάτων που αφορούν στην κατανομή της αλιευτικής προσπάθειας, για το σχεδιασμό και την πυκνότητα της δειγματοληψίας σε αλιευτικές έρευνες, τη μη μεροληπτική εκτίμηση της βιομάζας των ψαριών και περαιτέρω για την λήψη διαχειριστικών επιλογών.

♦ Στον προσδιορισμό των παραγόντων εκείνων που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά των χωρικών δομών των ψαριών και τα διαφοροποιούν ανά περιοχή. Καθώς είναι γνωστό ότι η κατανομή των ψαριών στο χώρο είναι συνάρτηση δύο παραγόντων: α) του τρόπου με τον οποίο τα ψάρια καταλαμβάνουν το διαθέσιμο χώρο και β) της επίδρασης της γεωμετρίας του ενδιαίτηματος (Petitgas 1993a), μια προσπάθεια σύνδεσης της τοπογραφίας της περιοχής με τις χωρικές δομές των μικρών πελαγικών αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον κυρίως στις Ελληνικές Θάλασσες, που χαρακτηρίζονται από πολύπλοκη μορφολογία.

♦ Στη συσχέτιση της οριζόντιας κατανομής των δύο ειδών με αβιοτικές και βιοτικές παραμέτρους και στην ανεύρεση εκείνων των παραμέτρων, που επιδρούν στη βιομάζα και στην κατανομή της σαρδέλας και του γαύρου. Αυτό καθίσταται εφικτό καθώς υπάρχουν διαθέσιμα ακουστικά δεδομένα που μπορούν να συνδυαστούν με σύγχρονα καταγεγραμμένα αβιοτικά και βιοτικά δεδομένα.

Η διατριβή βασίστηκε στα προγράμματα εκτίμησης των ιχθυοαποθεμάτων του γαύρου και της σαρδέλας του Ινστιτούτου Θαλάσσιας Βιολογίας Κρήτης και χρηματοδοτήθηκε από το διαρθρωτικό πρόγραμμα «Ανάπτυξη της Ελληνικής Αλιείας» (ΕΠΕΤ), το πρόγραμμα “Evaluation of the Southern Greek anchovy stocks” (DG-XIV 97/0048) και το πρόγραμμα “Evaluation of the Southern Greek sardine stocks” (DG-XIV 98/039).

Πέραν της συνεισφοράς της στην αρτιότερη γνώση της βιολογίας των δύο ειδών, η παρούσα διατριβή στοχεύει να αποτελέσει ένα μελλοντικό εργαλείο για ακριβέστερες μελλοντικές υδροακουστικές έρευνες και εκτιμήσεις της αφθονίας των δύο ειδών. Παράλληλα στοχεύει στην παροχή πληροφοριών που θα συμβάλουν στην καλύτερη διαχείριση των ιχθυοαποθεμάτων του γαύρου και της σαρδέλας, καθώς η γνώση της κατανομής των ψαριών στο χώρο είναι απαραίτητη για την ανάλυση προβλημάτων που αφορούν στην κατανομή της αλιευτικής προσπάθειας στο χώρο (Beverton & Holt 1957).

Η επιλογή των συγκεκριμένων ειδών εκτός από την αλιευτική τους σημασία στηρίχτηκε στα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- ♦ Συνυπάρχουν και απαντούν σε μεγάλες αφθονίες στις Ελληνικές θάλασσες.
- ♦ Συνιστούν ιχθυοαποθέματα μεγάλης οικονομικής σημασίας.
- ♦ Αναπαράγονται σε διαφορετικές εποχές.
- ♦ Είναι γνωστές οι εξισώσεις υπολογισμού του ηχοανακλαστικού δυναμικού τους από προηγούμενες μελέτες (Μαχιάς 1994; Machias & Tsimenides 1995; Machias *et al.*, 2000)
- ♦ Αποτελούν αντικείμενο μελέτης του Πανεπιστημίου Κρήτης και του Ινστιτούτου Θαλάσσιας Βιολογίας Κρήτης.

2. Υδρολογικά και Βιολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Συνήθως το ενδιαφέρον των αλιευτικών μελετών επικεντρώνεται στην εκτίμηση του ιχθυοαποθέματος σε μια περιοχή και όχι στο γιατί ορισμένα είδη παρουσιάζουν μεγαλύτερη αφθονία σε ορισμένες περιοχές σε σχέση με άλλες. Δηλαδή το ενδιαφέρον των αλιευτικών επιστημόνων απορροφά η μελέτη του ιχθυοαποθέματος και πολύ λιγότερο το περιβάλλον το οποίο δημιουργεί τις συνθήκες για το συγκεκριμένο ιχθυοαπόθεμα (Parsons *et al.*, 1986). Ωστόσο η διερεύνηση των υδρολογικών και βιολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης παρέχει μια εικόνα των ιδιαιτεροτήτων του συγκεκριμένου περιβάλλοντος και αποτελεί ένα πρώτο βήμα για την κατανόηση των περιβαλλοντικών εκείνων παραγόντων που δύνανται να επιδράσουν στην συμπεριφορά των ψαριών, την αφθονία και την κατανομή τους.

Η θερμοκρασία και η αλατότητα είναι δύο βασικές αβιοτικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν κάθε θαλάσσιο οικοσύστημα (Parsons *et al.*, 1986) και οι τιμές τους μπορεί να παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση ανά περιοχή και περίοδο δειγματοληψίας. Παράλληλα η χλωροφύλλη-α και το ζωοπλαγκτόν αποτελούν δύο στοιχειώδεις βιοτικές παραμέτρους που συνθέτουν την εικόνα της παραγωγικότητας ενός υδάτινου οικοσυστήματος (Parsons *et al.*, 1986). Θεωρήθηκε λοιπόν σκόπιμο ότι μια ικανοποιητική διερευνητική προσέγγιση του ενδιαφέροντος που ζουν τα υπό μελέτη είδη περιλαμβάνει την κατανομή της θερμοκρασίας και της αλατότητας σε διαφορετικά βάθη καθώς και την κατανομή της μέσης συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α και του ζωοπλαγκτού στην περιοχή. Στην κατανομή αυτών των αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων επικεντρώνεται το παρόν κεφάλαιο.

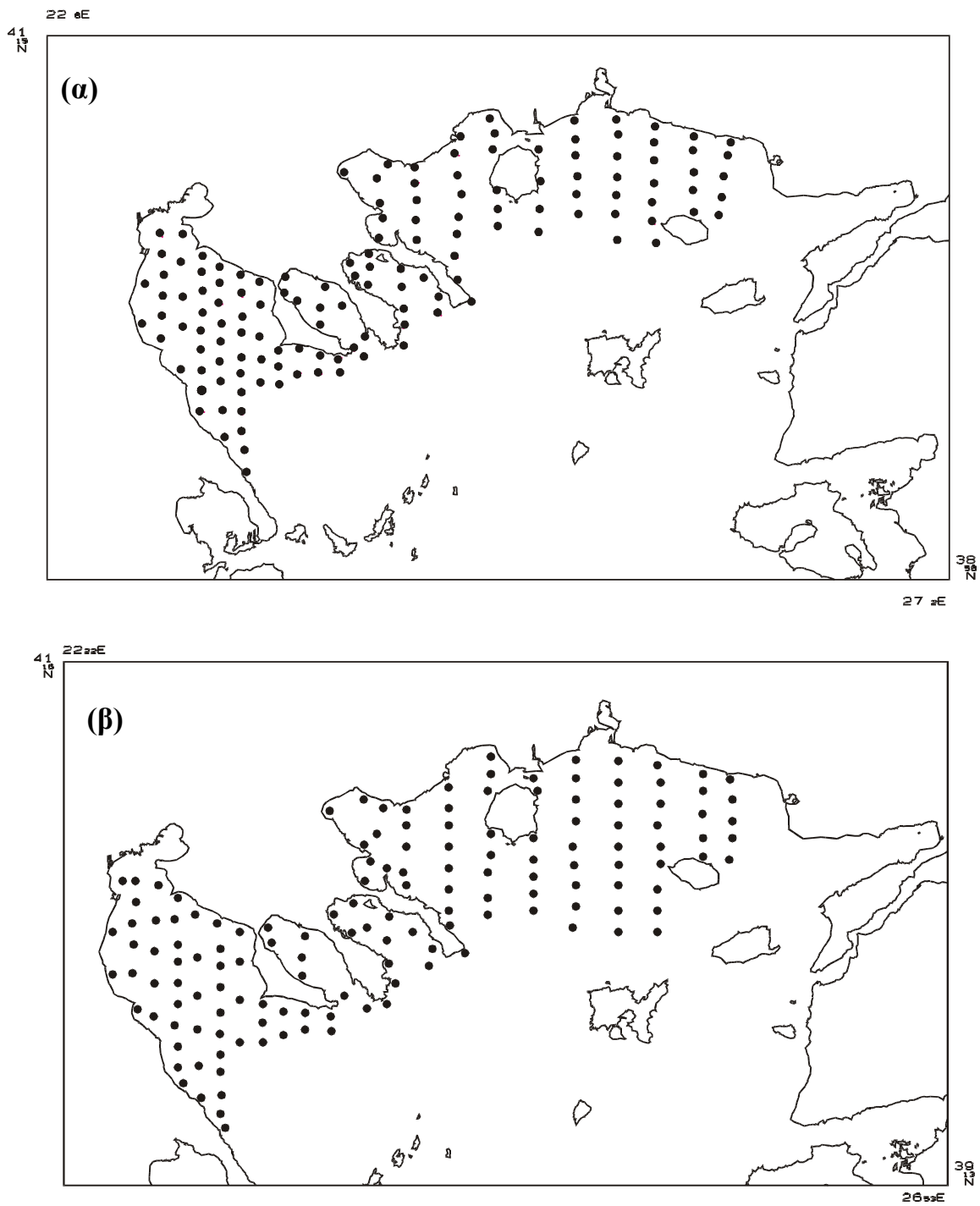
2.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Κατά τη διάρκεια των ερευνητικών ταξιδιών και κατά μήκος της πορείας που ακολούθησε το πλοίο για την υδροακουστική δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε συλλογή αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων σε προκαθορισμένους σταθμούς (Εικ. 2.1 ως 2.3). Πιο συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν δεδομένα στο Βόρειο Αιγαίο από (α) 139 σταθμούς το 1995 και (β) 147 το 1996, στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο από (γ) 130 σταθμούς το 1998, (δ) 170 σταθμούς τον Ιούνιο του 1999, (ε) 113 σταθμούς το Δεκέμβριο του 1999 και (ζ) από 145 σταθμούς το Δεκέμβριο του 2000 - Ιανουάριο του 2001.

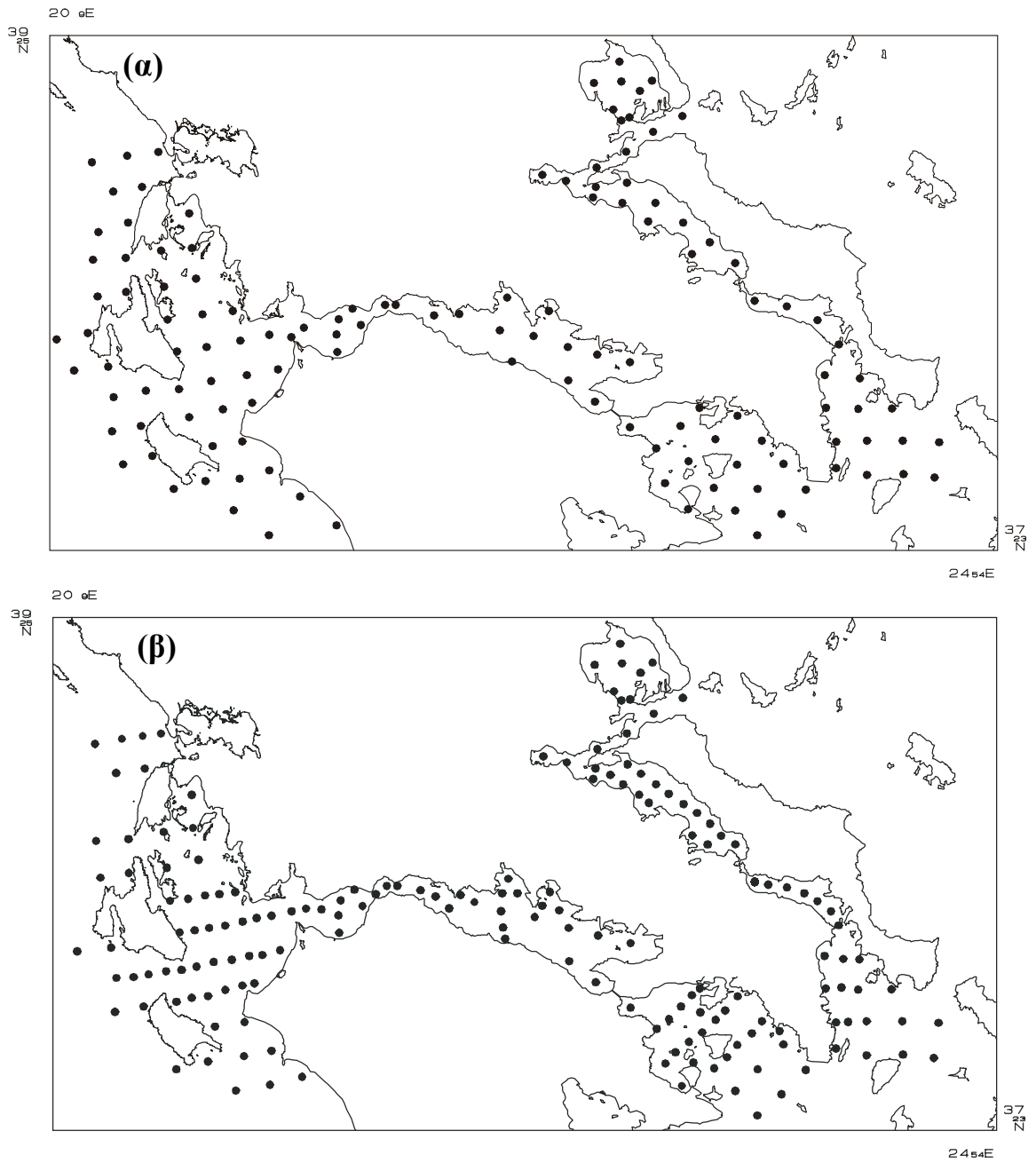
Η δειγματοληψία των αβιοτικών παραμέτρων πραγματοποιήθηκε με το Ε/Σ «ΦΙΛΙΑ». Τον Ιούνιο του 1995, τον Ιούνιο του 1996 και τον Ιούλιο του 1998 χρησιμοποιήθηκε ένα SBE-19 CTD (κατασκευή της Sea Bird), το οποίο ήταν επιπλέον εξοπλισμένο με ένα φλουροόμετρο WetLabs. Τον Ιούνιο του 1999, το Δεκέμβριο του 1999, το Δεκέμβριο του 2000 και τον Ιανουάριο του 2001 χρησιμοποιήθηκε ένα SBE-25 CTD που ήταν επίσης εξοπλισμένο με ένα φλουροόμετρο WetLabs. Παράλληλα με τις μετρήσεις του CTD συλλέχθηκαν, σε επιλεγμένους σταθμούς, δείγματα νερού με φιάλες Niskin σε διαφορετικά βάθη, ώστε να βαθμονομηθούν τα δεδομένα του φλουροόμετρου. Οι μετρήσεις του φλουροόμετρου τον Ιούνιο του 1995 και 1996 δεν ήταν αξιόπιστες λόγω προβλημάτων στην λειτουργία και την βαθμονόμηση του οργάνου και για αυτό τα δεδομένα αυτά δεν χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή.

Σε κάθε σταθμό λαμβάνονταν μετρήσεις α) θερμοκρασίας (°C) β) αλατότητας (psu) και γ) χλωροφύλλης α (μg/l) ανά 1 μέτρο από την επιφάνεια και μέχρι τον πυθμένα ή ως τα 250μ από την επιφάνεια σε σταθμούς με μεγαλύτερα βάθη. Η επεξεργασία των στοιχείων έγινε με τη βοήθεια των λογισμικών προγραμμάτων Seasave & Seaplot της Seabird, και οι χάρτες σχεδιάστηκαν με το πρόγραμμα Surfer για Windows 98 της Golden Software, Inc.

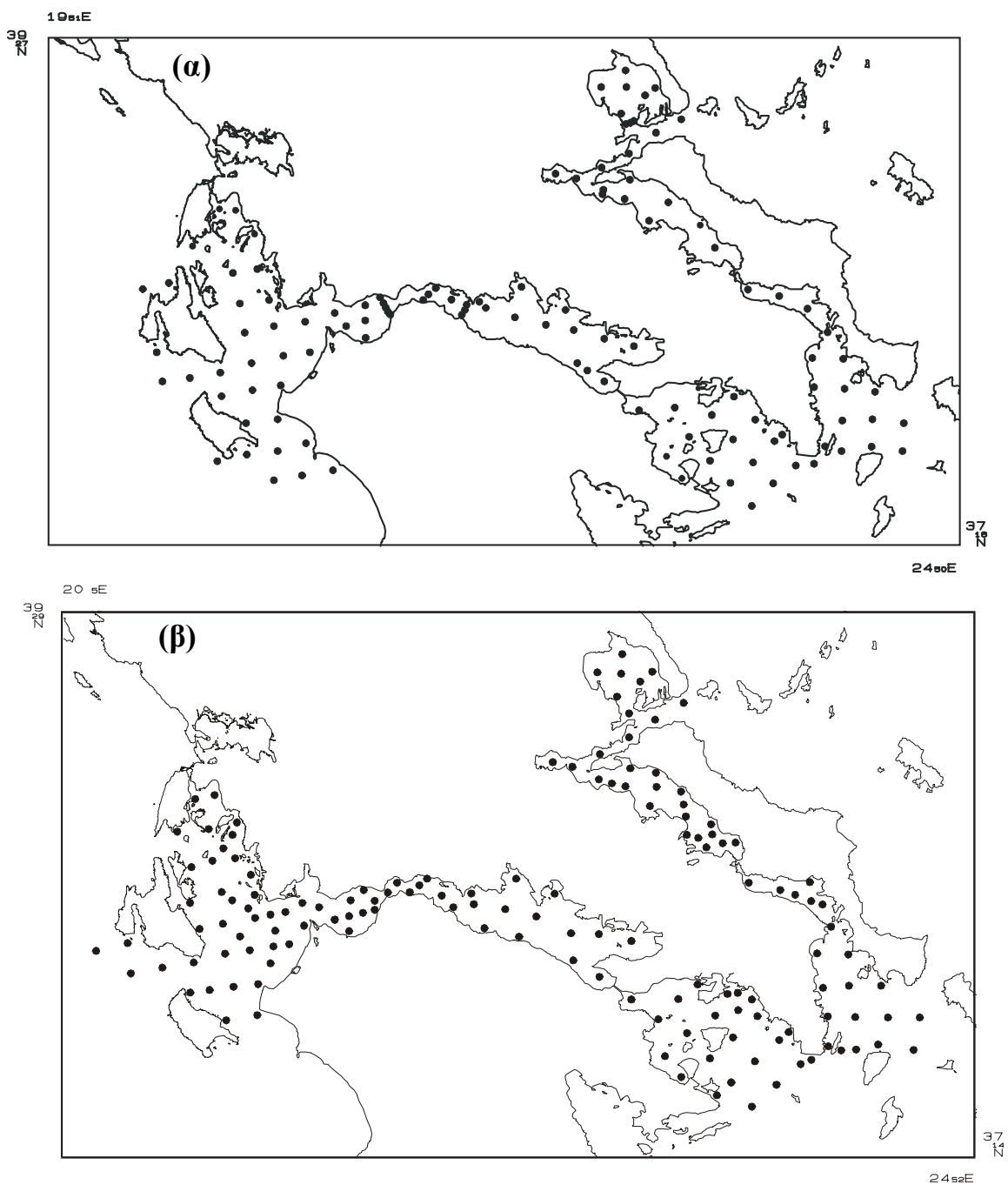
Επιπλέον, μετρήθηκε ο όγκος ανά μονάδα επιφάνειας (ml/m^2) του ζωοπλαγκτού που συλλέχθηκε με κάθετες σύρσεις Bongo (300 μm άνοιγμα ματιού), σε βάθος 5 μ από τον βυθό ως την επιφάνεια ή από τα 250 μ ως την επιφάνεια, σε σταθμούς με μεγαλύτερα βάθη.



Εικόνα 2.1. Οι σταθμοί δειγματοληψίας στο Βόρειο Αιγαίο (α) τον Ιούνιο του 1995 και (β) τον Ιούνιο του 1996.



Εικόνα 2.2. Οι σταθμοί δειγματοληψίας στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο (α) τον Ιούλιο του 1998 και (β) τον Ιούνιο του 1999.



Εικόνα 2.3. Οι σταθμοί δειγματοληψίας (α) στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο το Δεκέμβριο του 1999 και (β) το Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο το Δεκέμβριο του 2000 και στο Ιόνιο τον Ιανουάριο του 2001.

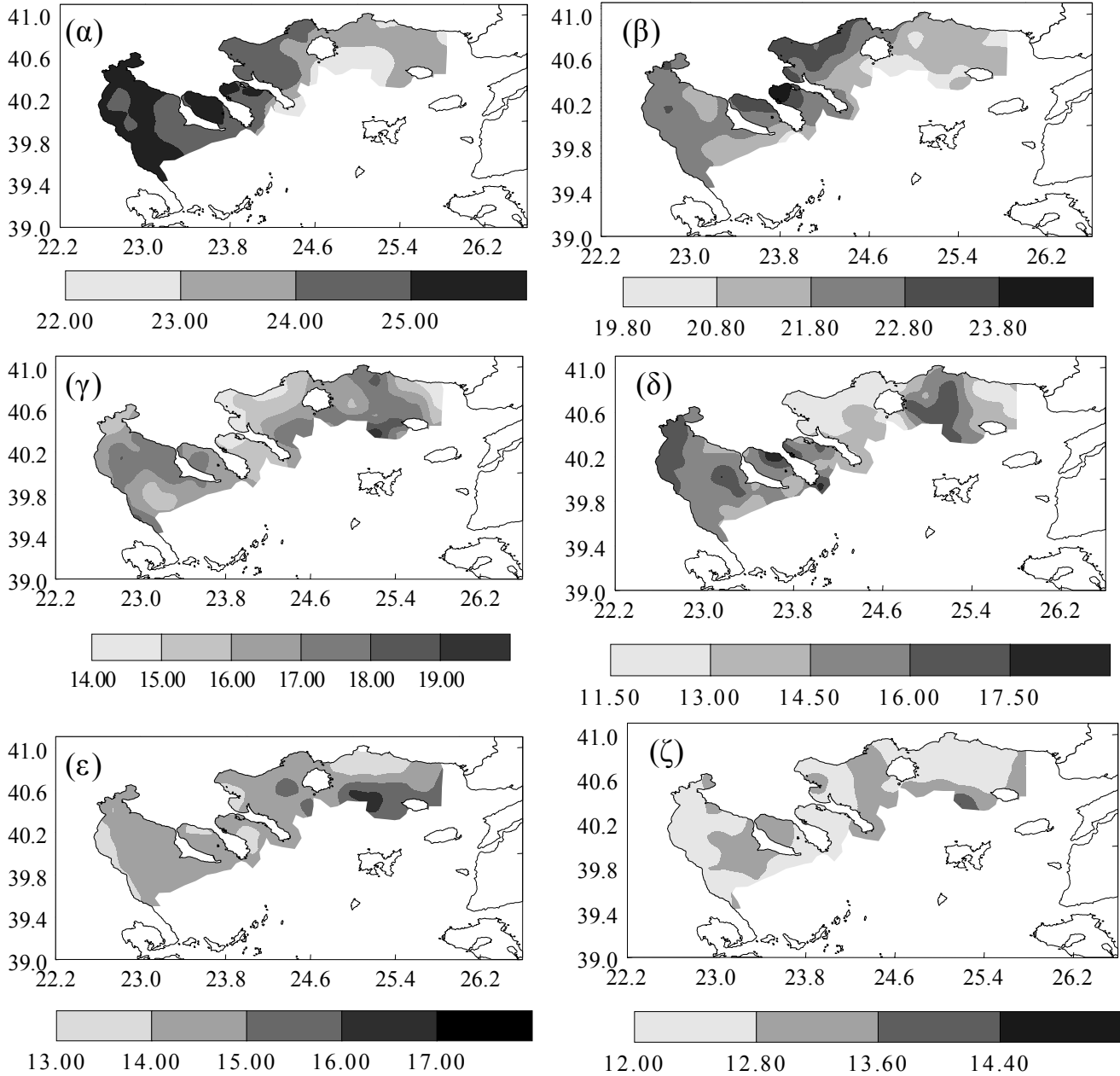
2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

2.3.1. Η Υδρολογία της περιοχής του Βορείου Αιγαίου

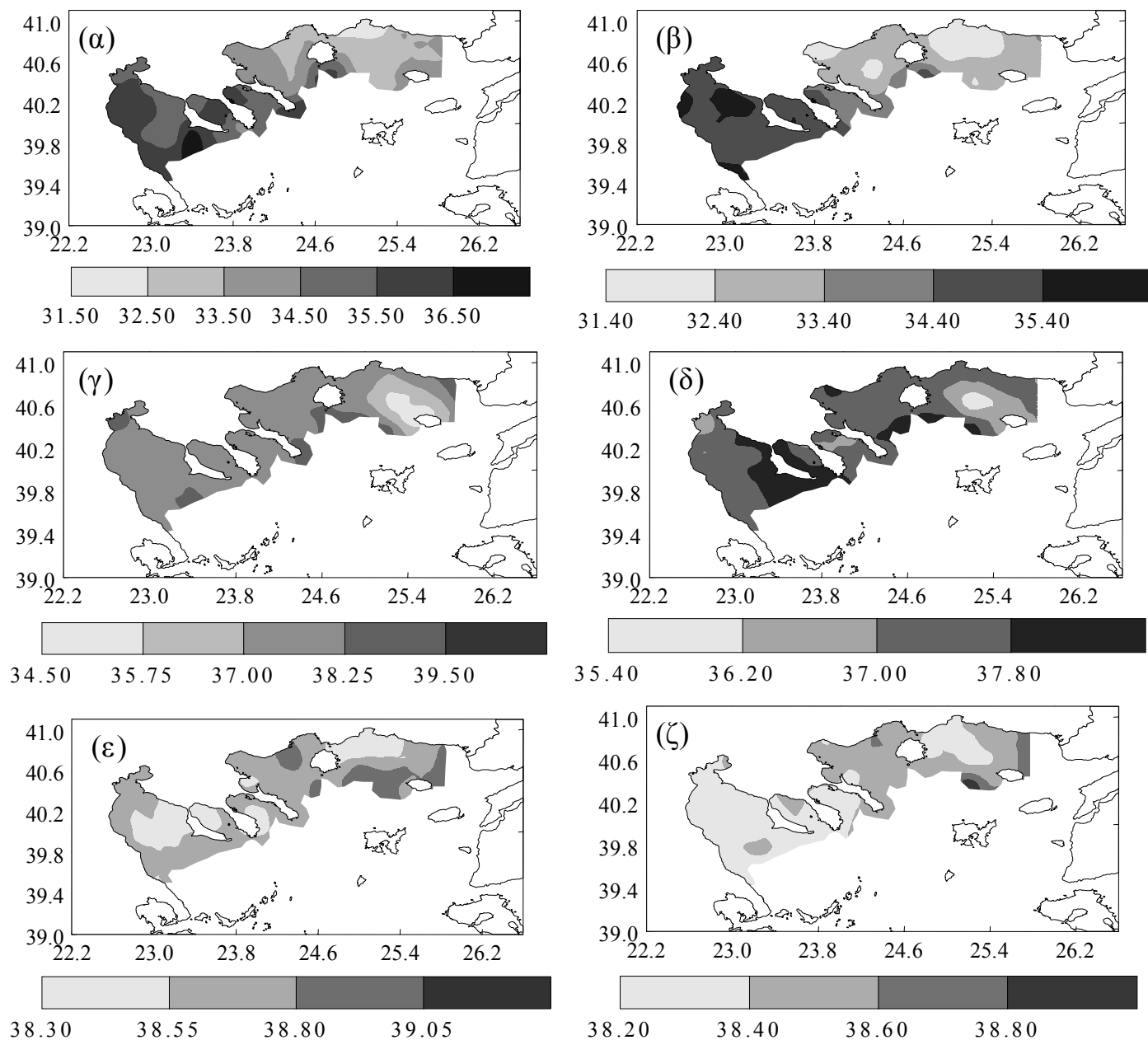
Στις εικόνες 2.4 και 2.5 παρουσιάζεται η κατανομή της θερμοκρασίας και της αλατότητας στο Βόρειο Αιγαίο τον Ιούνιο του 1995 και 1996 (στα 5m, 25m και 50m). Παρατηρούμε ότι (α) οι χαμηλότερες επιφανειακές (στα 5m) θερμοκρασίες καταγράφηκαν στο Θρακικό (Εικ. 2.4.α, 2.4.β), (β) η οριζόντια διαβάθμιση της θερμοκρασίας είναι εντονότερη στα 25m, με κύριο χαρακτηριστικό τις χαμηλότερες θερμοκρασίες στις περιοχές που βρίσκονται υπό την επίδραση ποταμών (Εβρου, Νέστου, Στρυμόνα και Πηνειού - Εικ. 2.4.γ, 2.4.δ) και (γ) στα 50m δεν παρατηρούνται αξιόλογες οριζόντιες μεταβολές (Εικ. 2.4.ε, 2.4.ζ).

Σε ότι αφορά την αλατότητα της περιοχής έρευνας τα επιφανειακά νερά (5m) χαρακτηρίζονταν από χαμηλές τιμές αλατότητας στην περιοχή του Θρακικού και του Στρυμονικού κόλπου και υψηλές τιμές αλατότητας στην περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου (Εικ. 2.5.α, 2.5.β). Το 1996 παρατηρήθηκε στα 25m μια «γλώσσα» νερού χαμηλής αλατότητας στην περιοχή του Θρακικού (Εικ. 2.5.γ, 2.5.δ). Αντίθετα, στα 50m στο Θρακικό παρατηρήθηκαν υψηλότερες τιμές αλατότητας σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές (Εικ. 2.5.ε, 2.5.ζ).

Σε γενικές γραμμές οι έντονες μεταβολές των παραμέτρων παρατηρήθηκαν μέχρι το βάθος των 50m. Καθοριστικό ρόλο στην οριζόντια διαβάθμισή της θερμοκρασίας και της αλατότητας κατείχε το ψυχρό, χαμηλής αλατότητας νερό της Μαύρης θάλασσας σε συνδυασμό με τις εκροές των ποταμών (Εβρος, Νέστος, Στρυμόνας, Πηνειός, Αξιός).



Εικόνα 2.4. Η κατανομή της θερμοκρασίας (°C) στο Βόρειο Αιγαίο τον Ιούνιο του 1995 (αριστερή στήλη) και τον Ιούνιο του 1996 (δεξιά στήλη) (α), (β) στα 5m βάθος (γ),(δ) στα 25m βάθος και (ε), (ζ) στα 50m βάθος.



Εικόνα 2. 5. Η κατανομή της αλατότητας (psu) στο Βόρειο Αιγαίο τον Ιούνιο του 1995 (αριστερή στήλη) και τον Ιούνιο του 1996 (δεξιά στήλη) (α), (β) στα 5m βάθος (γ), (δ) 25m βάθος και (ε), (ζ) στα 50m βάθος.

2.3.2. Η Υδρολογία της περιοχής του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου και του Ιονίου

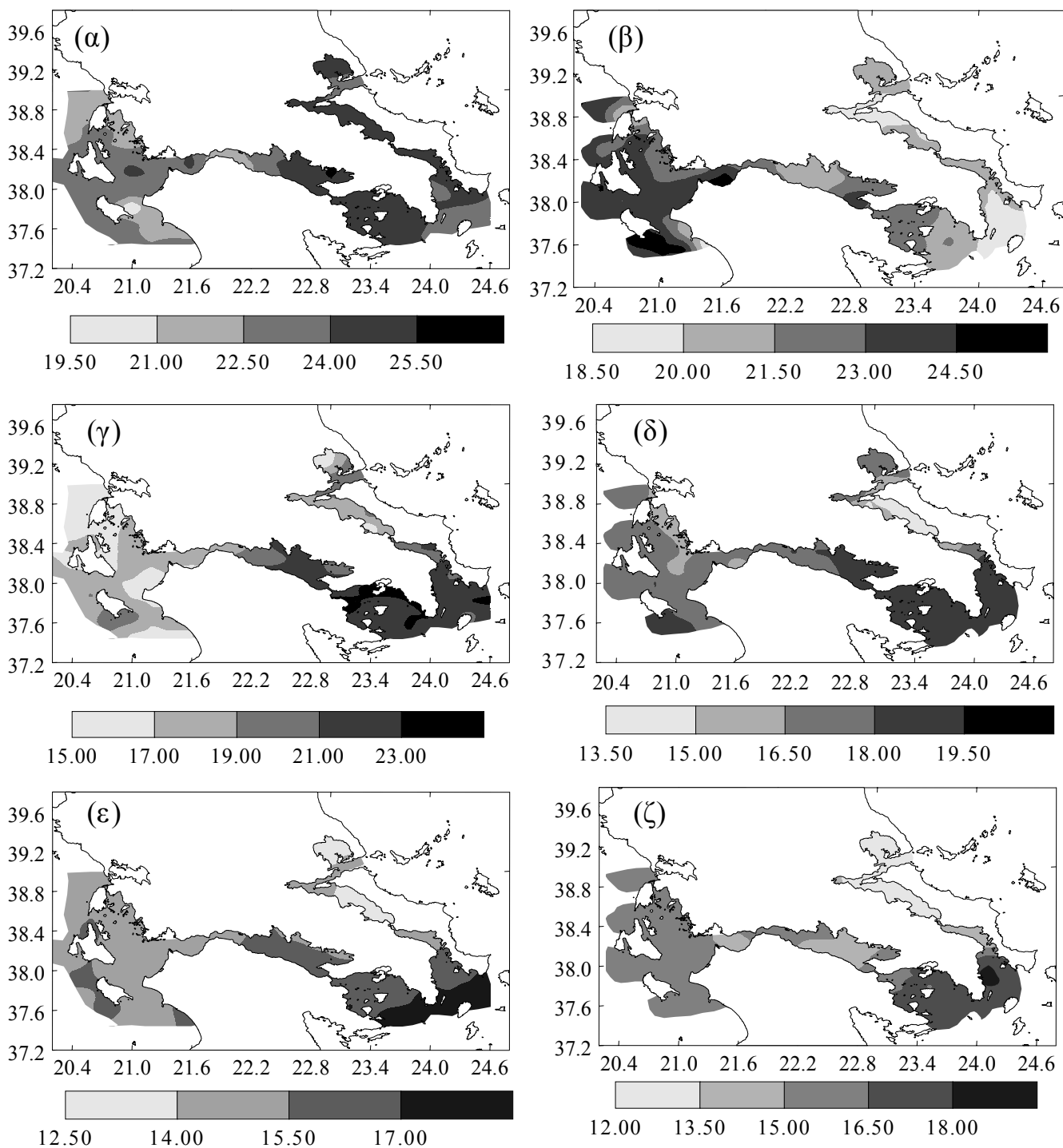
Η οριζόντια κατανομή της θερμοκρασίας κατά την θερινή περίοδο δειγματοληψίας (Ιούλιος 1998 και Ιούνιος 1999) παρουσίασε έντονη διαφοροποίηση ανάμεσα στην ανατολική (δηλ. το Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο) και στη δυτική περιοχή μελέτης (δηλ. την ευρύτερη περιοχή του Ιονίου). Στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο (Σαρωνικός κόλπος, Νότιος Ευβοϊκός κόλπος, Βόρειος Ευβοϊκός κόλπος και Παγασητικός κόλπος) παρατηρήθηκαν σε γενικές γραμμές υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την ευρύτερη περιοχή του Ιονίου (Ιόνιο, Πατραϊκός κόλπος και Κορινθιακός κόλπος) (Εικ. 2.6, 2.7). Αναλυτικότερα, στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο οι χαμηλότερες θερμοκρασίες στα 5m, 25m και 50m παρατηρήθηκαν στον Παγασητικό κόλπο και στο Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο (μόνη εξαίρεση η θερμοκρασία στα 5m τον Ιούλιο του 1998), ενώ οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν στο Σαρωνικό κόλπο. Στο Ιόνιο οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν κατά μήκος της δυτικής ακτής της Πελοποννήσου και στην περιοχή ανάμεσα στον Πατραϊκό και στον Κορινθιακό κόλπο, όπου υπάρχουν περιοχές αναβλύσεων ψυχρών μαζών νερού (Εικ. 2.6). Οι υψηλότερες θερμοκρασίες καταγράφηκαν στο νότιο τμήμα του Ιονίου (Εικ. 2.6).

Ανάλογη διαφοροποίηση στην οριζόντια κατανομή της θερμοκρασίας με αυτή που επικρατούσε τους θερινούς μήνες μεταξύ Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου και Ιονίου παρατηρήθηκε και το χειμώνα (Δεκέμβριος 1999, Δεκέμβριος 2000 – Ιανουάριος 2001). Γενικά, οι χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας στα 5m, 25m, 50m παρατηρήθηκαν στον Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο (Εικ. 2.7). Στο Ιόνιο οι χαμηλότερες θερμοκρασίες στα 5m και 50m καταγράφηκαν στον Κορινθιακό κόλπο και οι υψηλότερες στο νότιο τμήμα του Ιονίου (Εικ. 2.7). Στο στρώμα των 50m οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν στο βόρειο τμήμα του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου και στον Πατραϊκό κόλπο (Εικ. 2.7).

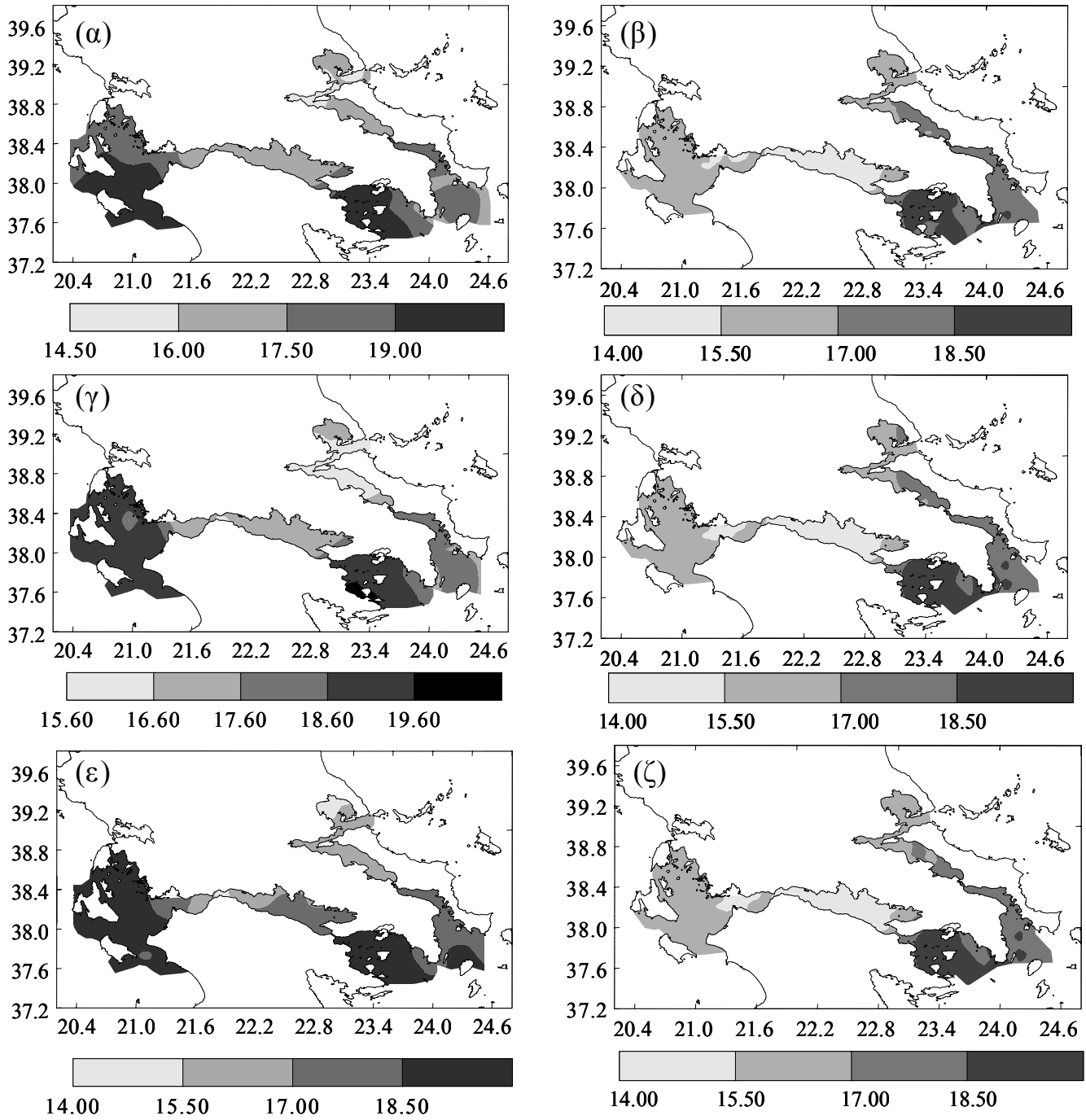
Παρόλο που το γενικό πρότυπο παρέμενε ίδιο στις δύο χρονιές δειγματοληψίας, παρατηρήθηκαν διαφορές που αφορούσαν κυρίως στις χαμηλότερες θερμοκρασίες στην περιοχή του Ιονίου τον Ιανουάριο του 2001. Οι διαφορές αυτές μπορεί να σχετίζονται με την υστέρηση στη δειγματοληψία κατά ένα μήνα (Ιανουάριος 2001) το χειμώνα, γεγονός που δικαιολογεί μια γενικότερη μείωση στη θερμοκρασία του νερού.

Ανάλογη διαφοροποίηση παρατηρήθηκε και στην οριζόντια κατανομή της αλατότητας. Χαμηλότερες αλατότητες στα 5m, 25m και 50m παρατηρήθηκαν στον Παγασητικό και στον Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο (Εικ. 2.8) κατά την θερινή περίοδο και τις δύο χρονιές. Χαμηλές τιμές επιφανειακής αλατότητας παρατηρήθηκαν επίσης στο βόρειο ανατολικό τμήμα του Σαρωνικού κόλπου που βρίσκεται κάτω από την επίδραση της πόλεως των Αθηνών και στο βόρειο τμήμα του Πατραϊκού κόλπου (Εικ. 2.8).

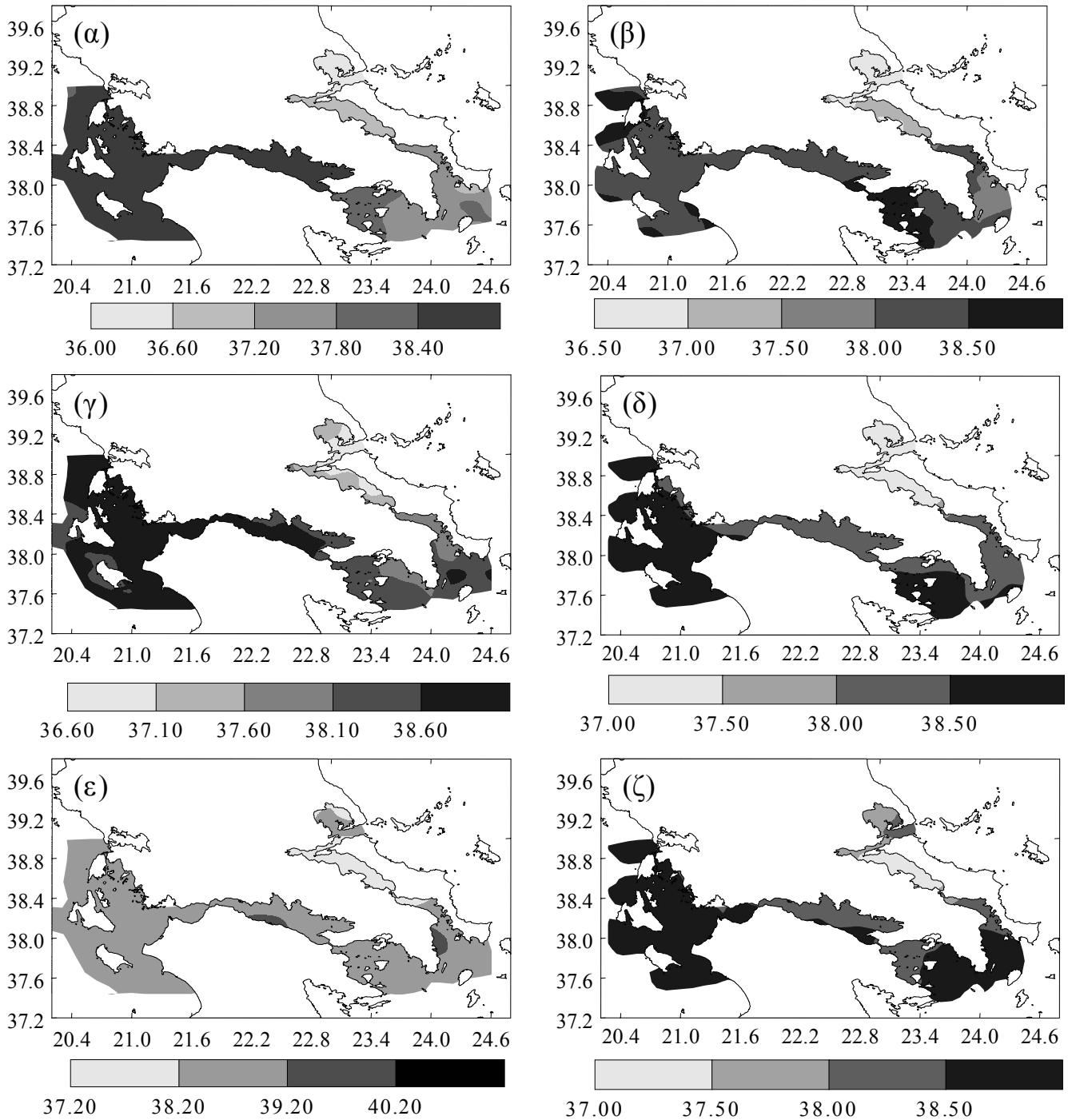
Τον χειμώνα η έντονη διαφοροποίηση στην οριζόντια κατανομή της αλατότητας στα 5m, 25m και 50m ανάμεσα στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και στο Ιόνιο διατηρήθηκε, με χαμηλότερες αλατότητες στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και κυρίως στον Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο (Εικ. 2.9). Στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου οι χαμηλότερες τιμές επιφανειακής αλατότητας παρατηρήθηκαν στον Πατραϊκό κόλπο (Εικ. 2.9).



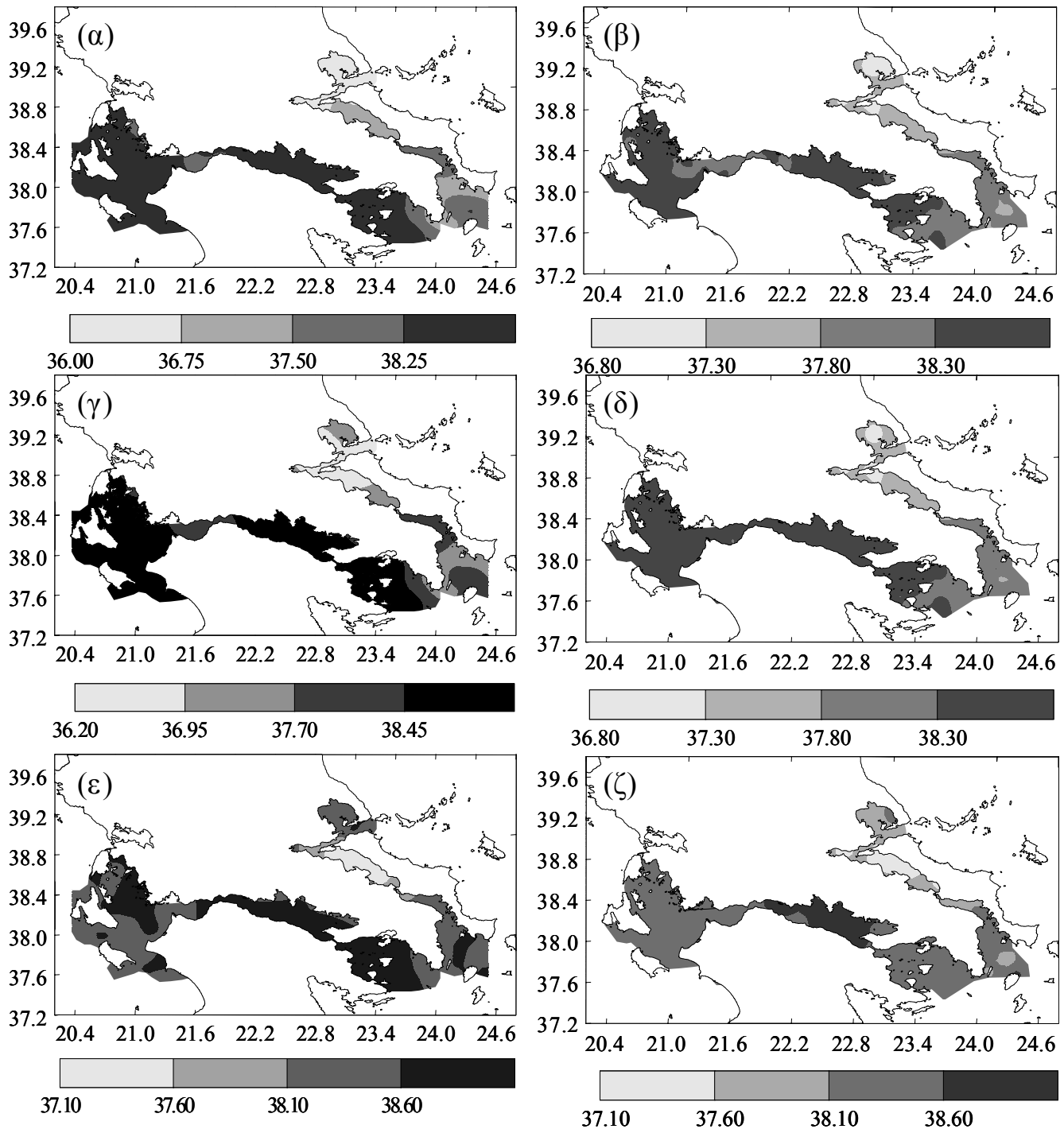
Εικόνα. 2. 6. Η κατανομή της θερμοκρασίας (°C) στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο τον Ιούλιο του 1998 (αριστερή στήλη) και τον Ιούνιο του 1999 (δεξιά στήλη) (α), (β) στα 5m βάθος (γ), (δ) 25m βάθος και (ε), (ζ) στα 50m βάθος.



Εικόνα 2. 7. Η κατανομή της θερμοκρασίας (°C) στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο το Δεκέμβριο του 1999 (αριστερή στήλη), στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο το Δεκέμβριο του 2000 και στο Ιόνιο τον Ιανουάριο 2001 (δεξιά στήλη) (α), (β) στα 5m βάθος (γ), (δ) 25m βάθος και (ε), (ζ) στα 50m βάθος.



Εικόνα 2. 8. Η κατανομή της αλατότητας (psu) στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο τον Ιούλιο του 1998 (αριστερή στήλη) και τον Ιούνιο του 1999 (δεξιά στήλη) (α), (β) στα 5m βάθος (γ), (δ) 25m βάθος και (ε), (ζ) στα 50m βάθος.

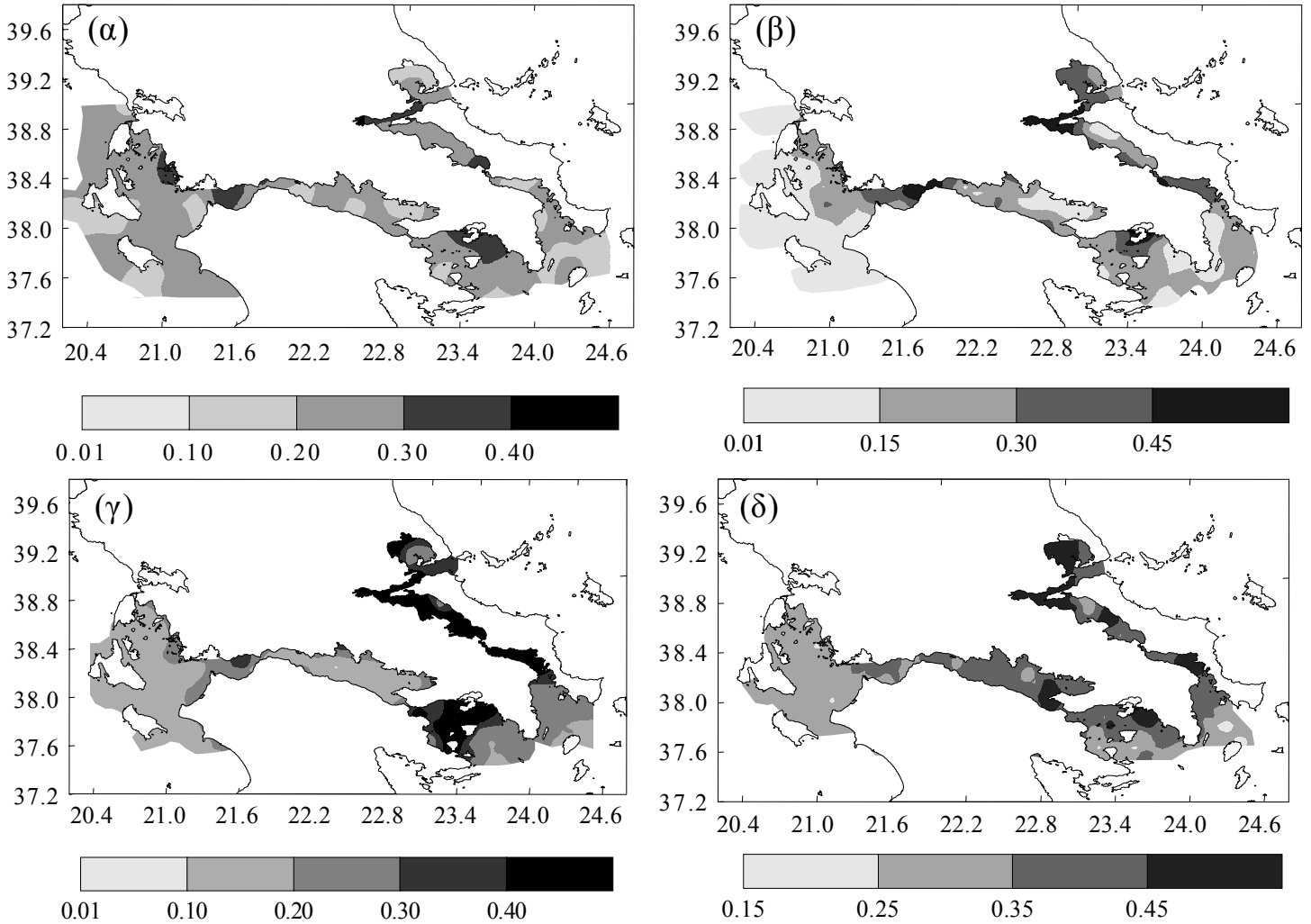


Εικόνα 2. 9. Η κατανομή της αλατότητας (psu) στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο το Δεκέμβριο του 1999 (αριστερή στήλη), στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο το Δεκέμβριο του 2000 και στο Ιόνιο τον Ιανουάριο 2001 (δεξιά στήλη) (α), (β) στα 5m βάθος (γ), (δ) 25m βάθος (ε), (ζ) και στα 50m βάθος.

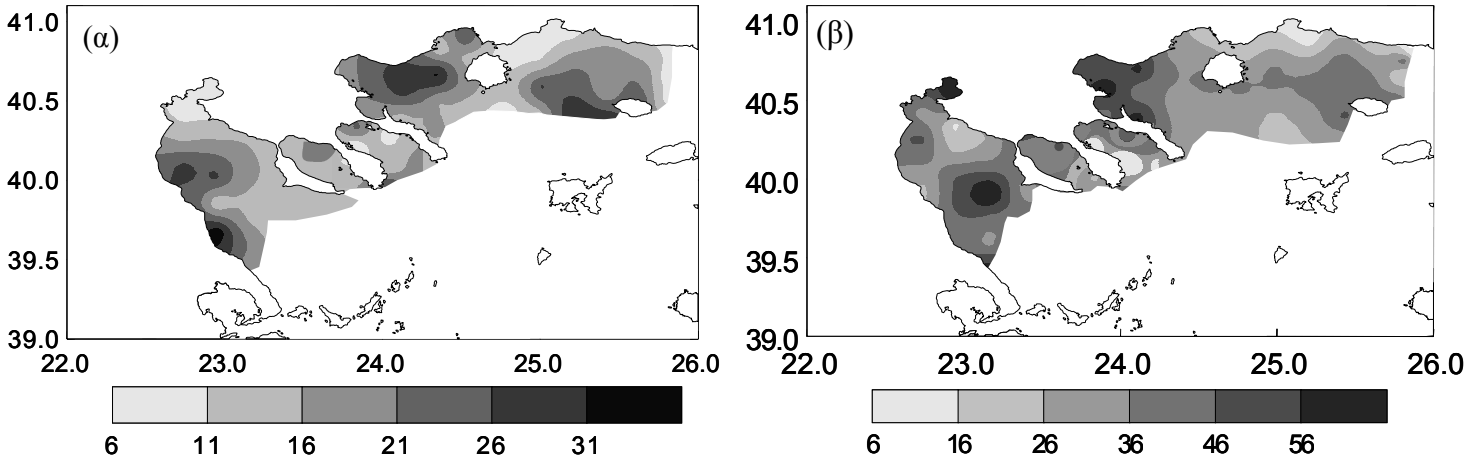
2.4. Βιολογικά χαρακτηριστικά

Τα δεδομένα της χλωροφύλλης –α στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου όπως αρχικά αναφέρθηκε δεν ήταν αξιόπιστα και για αυτό δεν χρησιμοποιήθηκαν. Στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου οι υψηλότερες τιμές της μέσης συγκέντρωσης χλωροφύλλης –α παρατηρήθηκαν κυρίως στο Βόρειο Ευβοϊκό και στο Σαρωνικό κόλπο σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας (Εικ. 2.10.α,β,γ,δ). Στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου οι υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στον Πατραϊκό κόλπο σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας, εικόνα που ήταν πιο έντονη κυρίως κατά την θερινή περίοδο (Εικ. 2.10.α,β,γ,δ). Στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου η χλωροφύλλη –α κυμαίνονταν σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με το Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο το Δεκέμβριο του 1999 και τον Ιανουάριο του 2001 (Εικ. 2.10.γ,δ).

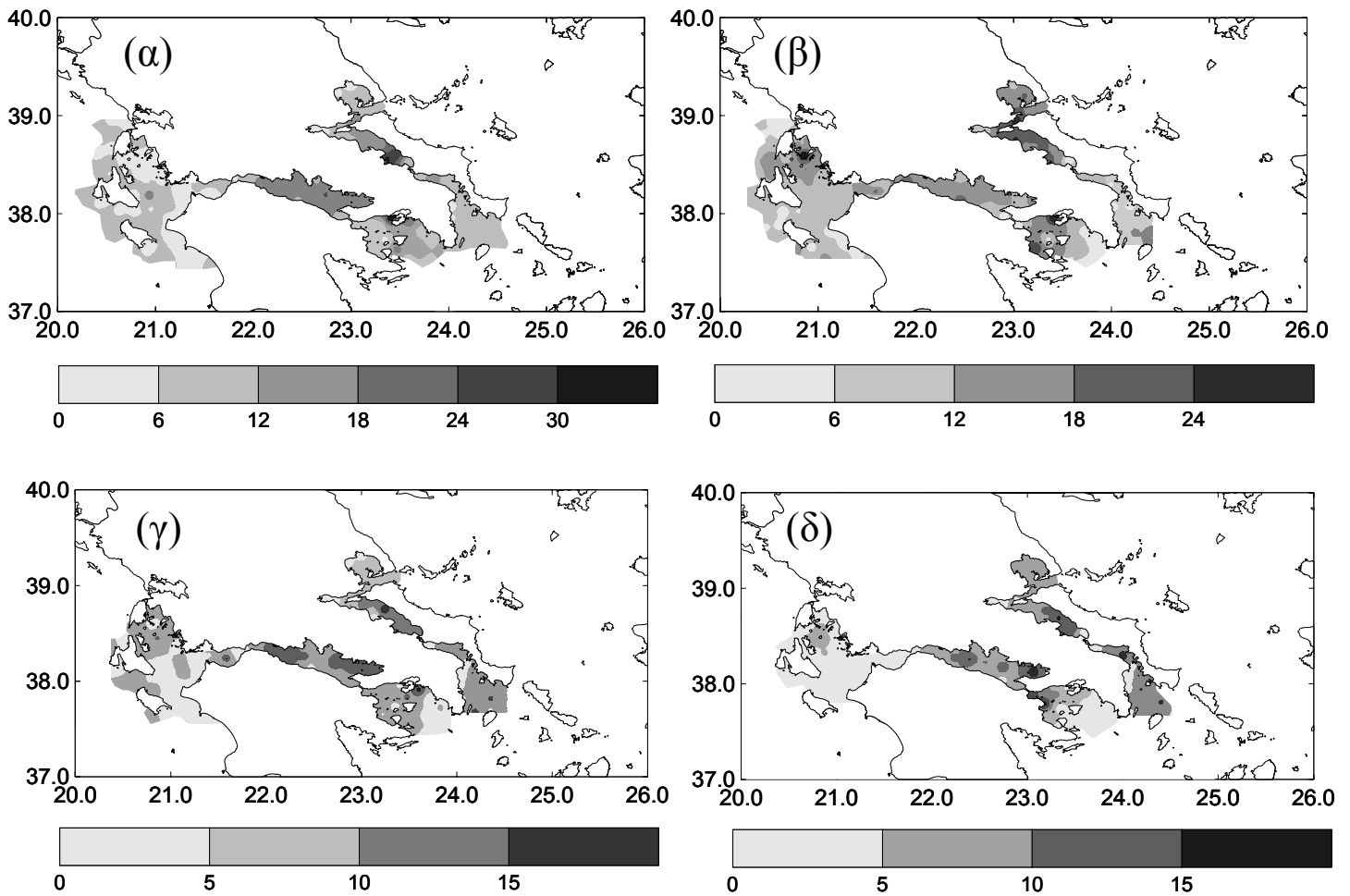
Τον Ιούνιο του 1995 οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης ζωοπλαγκτού (ml/m^2) παρατηρήθηκαν στην περιοχή του Θρακικού, μεταξύ της Θάσου και της Σαμοθράκης, στο εσωτερικό τμήμα του Στρυμονικού κόλπου και στο Δυτικό τμήμα του Θερμαϊκού κόλπου (Εικ.2.11.α). Παρόμοια ήταν η εικόνα της συγκέντρωσης του ζωοπλαγκτού τον Ιούνιο του 1996, με εξαίρεση το Θερμαϊκό κόλπο όπου οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης του ζωοπλαγκτού παρατηρήθηκαν στο νότιο τμήμα του (Εικ. 2.11.β). Τον Ιούλιο του 1998 και τον Ιούνιο του 1999 οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης ζωοπλαγκτού παρατηρήθηκαν στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου στο Βόρειο Ευβοϊκό και στο Σαρωνικό κόλπο καθώς και στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου στον Κορινθιακό κόλπο (Εικ.12.α,β). Κατά τις χειμερινές περιόδους δειγματοληψίας (Δεκέμβριο 1999 και Δεκέμβριο-Ιανουάριο 2000-01) οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης ζωοπλαγκτού καταγράφηκαν στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο στο Βόρειο Ευβοϊκό και στο Σαρωνικό κόλπο. Στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου οι υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στον Κορινθιακό κόλπο και στην περιοχή μεταξύ Κεφαλονιάς, Λευκάδας και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (Εικ.12.γ,δ).



Εικόνα 10. Η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο (α) τον Ιούλιο του 1998. (β) τον Ιούνιο του 1999. (γ) το Δεκέμβριο του 1999 και (δ) το Δεκέμβριο του 2000-Ιανουάριο 2001.



Εικόνα 2.11. Η κατανομή του όγκου ανά μονάδα επιφάνειας του ζωοπλαγκτού (ml/m^2) σύμφωνα με τα δεδομένα του bongο στο Βόρειο Αιγαίο (α) τον Ιούνιο του 1995 και (β) τον Ιούνιο του 1996.



Εικόνα 2.12. Η κατανομή της συγκέντρωσης του ζωοπλαγκτού (ml/m^2) σύμφωνα με τα δεδομένα του bongο στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο (α) τον Ιούλιο του 1998, (β) τον Ιούνιο του 1999, (γ) το Δεκέμβριο του 1999 και (δ) το Δεκέμβριο του 2000 – Ιανουάριο του 2001.

2.4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Μια πρώτη προσέγγιση των αβιοτικών παραμέτρων στην περιοχή μελέτης έδειξε ότι:

- ◆ Στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου ήταν εμφανής η αντίθεση στο ανώτερο στρώμα του νερού μεταξύ του Θρακικού (χαμηλές τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας) και του Θερμαϊκού κόλπου (υψηλές τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας).
- ◆ Στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο σε γενικές γραμμές διαπιστώθηκε ότι ο Παγασητικός, καθώς και ο Βόρειος και ο Νότιος Ευβοϊκός κόλπος χαρακτηρίζονταν από ψυχρά, χαμηλής αλατότητας νερά, εικόνα η οποία παρατηρήθηκε τόσο το καλοκαίρι όσο και το χειμώνα. Οι ψυχρές χαμηλής αλατότητας μάζες νερού κατά την χειμερινή περίοδο όμως περιορίστηκαν στον Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο και στο βόρειο τμήμα του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου.
- ◆ Η ευρύτερη περιοχή του Ιονίου (Κορινθιακός κόλπος, Πατραϊκός κόλπος, Ιόνιο) χαρακτηρίζονταν από υψηλές τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας στο ανώτερο στρώμα της κολώνας του νερού και στις δύο εποχές. Η παρουσία ανοδικών ρευμάτων ήταν συχνή στην περιοχή του Ιονίου.

Το Βόρειο Αιγαίο και κυρίως το Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο, είναι θαλάσσιες περιοχές που χαρακτηρίζονται από έντονο μορφολογικό ανάγλυφο καθώς συνιστούν ένα σύνολο ανοιχτών και ημίκλειστων διακριτών λεκανών που συνδέονται μεταξύ τους με ένα ή περισσότερα, στενά ή μη περάσματα (Stergiou *et al.*, 1997a). Επιπλέον μια σειρά από παράγοντες που ρυθμίζουν την κυκλοφορία των νερών στις περιοχές αυτές αυξάνουν περαιτέρω την ετερογένεια του περιβάλλοντος στην υπό μελέτη περιοχή.

Αναλυτικότερα, το Βόρειο Αιγαίο έχει εκτεταμένη υφαλοκρηπίδα και είναι από τις πιο παραγωγικές περιοχές του Αιγαίου. Το νερό της Μαύρης Θάλασσας (ΜΘΝ) σε συνδυασμό με τις απορροές των ποταμών που εκβάλλουν στην περιοχή αποτελούν τους καθοριστικούς παράγοντες που επηρεάζουν την κυκλοφορία στην κολώνα του νερού (Zervakis *et al.*, 2000). Το ψυχρό, χαμηλής αλατότητας νερό της Μαύρης θάλασσας εισέρχεται στο Αιγαίο μέσω των στενών του Βοσπόρου, της θάλασσας του Μαρμαρά και των στενών των Δαρδανελίων και έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός πολύ έντονου αλοκλινούς στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου το οποίο εκτείνεται μέχρι το βάθος των 80m. Το επιφανειακό ρεύμα νερού που εισέρχεται μέσω του στενού των Δαρδανελίων, το καλοκαίρι κάτω από την επίδραση των Ετήσιων ανέμων (ισχυροί βορειανατολικοί άνεμοι) κινείται νοτιοδυτικά ως τις ακτές της Εύβοιας. Χαμηλής αλατότητας νερά εισέρχονται μέσω του στενού μεταξύ Εύβοιας και Άνδρου στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο και στο ανατολικό τμήμα του Σαρωνικού κόλπου. Αντίθετα το φθινόπωρο, τον χειμώνα και την άνοιξη το ΜΘΝ κινείται βορειοδυτικά και εισέρχεται στο Θρακικό διαμέσου του στενού μεταξύ Λήμνου και Ίμβρου. Στη συνέχεια κινείται νότια κατά μήκος των ανατολικών ακτών της ηπειρωτικής χώρας ως την Εύβοια (Stergiou *et al.*, 1997a και εκεί αναφορές, Somarakis *et al.*, 2002a). Στην επίδραση του ΜΘΝ οφείλεται η ύπαρξη χαμηλής θερμοκρασίας και χαμηλής αλατότητας επιφανειακών νερών στην περιοχή του Θρακικού και στον Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο. Η περιορισμένη επικοινωνία μεταξύ Βόρειου και Νότιου Ευβοϊκού κόλπου είναι εμφανής καθώς υπάρχουν δύο διακριτές υδάτινες μάζες στις δύο υποπεριοχές.

Η περιοχή του Ιονίου βρίσκεται κάτω από την επίδραση των νερών της Λεβαντίνης (ΛΝ). Οι υδάτινες μάζες που προέρχονται από την Λεβαντίνη (ΛΝ) χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές αλατότητας και θερμοκρασίας, τα χαρακτηριστικά όμως αυτά αμβλύνονται μετά από διαδικασίες διασποράς και ανάμιξης όσο απομακρύνονται από την περιοχή προέλευσης (Stergiou *et al.*, 1997a και εκεί αναφορές). Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του χειμώνα το ΛΝ υπόκειται ενός ανώτερου στρώματος (60-140m) χαμηλότερης αλατότητας και υψηλότερης θερμοκρασίας και στη συνέχεια εκτείνεται μέχρι τα 800-900m. (Stergiou *et al.*, 1997a και εκεί αναφορές). Η επίδραση του ΛΝ στην περιοχή του Ιονίου και του ΜΘΝ στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου και του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου σε συνδυασμό με το έντονο γεωγραφικό ανάγλυφο, καθώς και την παρουσία ποταμών και περιοχών ανοδικών ρευμάτων (κυρίως στην περιοχή του Ιονίου) είναι οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την κατανομή των αβιοτικών και των βιοτικών

παραγόντων στην περιοχή και κατ' επέκταση επηρεάζουν την κατανομή των συγκεντρώσεων των ψαριών στην περιοχή.

Η κατανομή της μέσης συγκέντρωσης της χλωροφύλλης –α και του ζωοπλαγκτού έδειξε την ύπαρξη κάποιων περιοχών με αυξημένη παραγωγικότητα όπως:

- ◆ οι ρηχές παράκτιες περιοχές του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου, που βρίσκονται κάτω από την επίδραση ποταμών
- ◆ η περιοχή που συνδέει το Βόρειο και το Νότιο Ευβοϊκό κόλπο, όπου πραγματοποιείται σημαντική κάθετη ανάμιξη
- ◆ το βορειανατολικό τμήμα του Σαρωνικού κόλπου, που βρίσκεται υπό την επίδραση της αστικής περιοχής της Αθήνας
- ◆ ο Πατραϊκός κόλπος, όπου υπάρχουν μια σειρά από διαδικασίες εμπλουτισμού (ποτάμια, ανοδικά ρεύματα κατά μήκος της βόρειας ακτής) και η περιοχή που συνδέει τον Πατραϊκό και τον Κορινθιακό κόλπο καθώς και το βόρειο τμήμα του Κορινθιακού κόλπου, όπου παρατηρήθηκε συχνά σημαντική κάθετη ανάμιξη.

Είναι γνωστό (Parsons *et al.*, 1984 και εκεί αναφορές) ότι διαφορές στην παραγωγικότητα μπορεί να συνδέονται με παράγοντες όπως οι παλίρροιες, η παρουσία κυκλωνικών συστημάτων (π.χ. Θρακικό) και η τοπική γεωμορφολογία. Η τελευταία θα μπορούσε να ενισχύσει την επίδραση στην παραγωγικότητα φαινομένων όπως οι εισροές από ποτάμια (π.χ. Βόρειος Ευβοϊκός κόλπος) και η παρουσία ανοδικών ρευμάτων (π.χ. Πατραϊκός κόλπος, βόρειο τμήμα Κορινθιακού κόλπου).

3. Η γεωγραφική κατανομή της σαρδέλας και του γαύρου στην περιοχή μελέτης κατά την περίοδο 1995-2001.

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκτίμηση της κατανομής και της αφθονίας των μικρών πελαγικών με ακουστικά μέσα είναι ευρέως διαδεδομένη και θεωρείται από τις πιο αξιόπιστες μεθοδολογίες (MacLennan & Simmonds 1992; Petitgas & Levenez 1996; Tameishi *et al.*, 1996; Abad *et al.*, 1998a; Abad *et al.*, 1998b; Misund & Coetzee 2000). Η πληροφορία που περιέχεται σε τέτοιου είδους δεδομένα είναι πολύ περισσότερη από αυτή που συνήθως εκμαιεύεται με την απλή ολοκλήρωση του ήχου και την εκτίμηση της βιομάζας του είδους στόχου.

Ένα από τα κυριότερα προβλήματα που πρέπει να ξεπεραστούν κατά την ανάλυση των ακουστικών δεδομένων, πέρα του μεγάλου όγκου των δεδομένων που πρέπει να αναλυθούν, είναι η κατηγοριοποίηση του λαμβανόμενου ήχου. Ο χαρακτηρισμός δηλαδή των στόχων που φαίνονται σε ένα ηχόγραμμα ώστε να είναι δυνατή η μετάβαση από τον ήχο στο ψάρι και η εξαγωγή συμπερασμάτων για την κατανόηση της συμπεριφοράς και της βιολογίας των οργανισμών. Η γνώση του ηχοανακλαστικού δυναμικού των υπό μελέτη ειδών, σε συνδυασμό με τη συχνή δειγματοληπτική αλιεία και την ταυτοποίηση των ηχοβολισμένων κοπαδιών διευκολύνουν τον χαρακτηρισμό του ήχου που λαμβάνεται από το ηχοβολιστικό (MacLennan & Simmonds 1992). Κατά την εκπόνηση της παρούσας διατριβής οι ήδη γνωστές εξισώσεις υπολογισμού του ηχοανακλαστικού δυναμικού των *Engraulis encrasicolus* και *Sardina pilchardus* (Μαχιάς 1994, Machias & Tsimenides 1995; Μαχιάς και συν., 1997; 2000), διευκόλυναν σημαντικά την ταυτοποίηση του ήχου που καταγράφηκε από το ηχοβολιστικό.

Επιπλέον, μια βασική αλλά συχνά παραγκωνισμένη, πλευρά της ανάλυσης τέτοιου είδους δεδομένων αφορά μια αρχική προσέγγιση που περιλαμβάνει α) την κατασκευή και την μελέτη χαρτών κατανομής ενός είδους με βάση τα επεξεργασμένα ακουστικά δεδομένα και β) τον υπολογισμό απλών ιστογραμμάτων κατανομής του ήχου. Οι χάρτες κατανομής και η εξέταση των ιστογραμμάτων της κατανομής του ήχου επιτρέπουν μια ικανοποιητική πρώτη προσέγγιση της κατανομής του είδους και με εποπτικό τρόπο μπορούν να οδηγήσουν στον εντοπισμό διαφοροποιήσεων μεταξύ υποπεριοχών και περιόδων δειγματοληψίας. Τέτοιου είδους πληροφορία μπορεί να αποτελέσει μια πρώτη ένδειξη για τους παράγοντες εκείνους (π.χ. αβιοτικούς και βιοτικούς παράγοντες, τοπογραφία) που ρυθμίζουν την κατανομή του είδους. Παράλληλα τα αποτελέσματα της αλιείας με πελαγική τράτα παρέχουν μια πολύτιμη βιολογική πληροφορία που αφορά την κατά μήκος σύνθεση των πληθυσμών των μικρών πελαγικών στην υπό μελέτη περιοχή.

3.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα ακουστικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια έξι ερευνητικών πλόων με το Ε/Σ ΦΙΛΙΑ (μήκος σκάφους 26.10 m, μέγιστο πλάτος 7.27 m, ιπποδύναμη 450 hp). Αναλυτικότερα τα ακουστικά δεδομένα προέρχονται από:

Α) 2 ερευνητικούς πλόες που πραγματοποιήθηκαν στο Βόρειο Αιγαίο, τον Ιούνιο του 1995 και τον Ιούνιο του 1996, αντίστοιχα

Β) 2 ερευνητικούς πλόες που πραγματοποιήθηκαν τον Ιούλιο του 1998 και τον Ιούνιο του 1999 στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο και

Γ) 3 ερευνητικούς πλόες που πραγματοποιήθηκαν το Δεκέμβριο του 1999 στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και στο Ιόνιο, το Δεκέμβριο του 2000 στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και τον Ιανουάριο του 2001 στο Ιόνιο, αντίστοιχα.

Α. Ακουστικός εξοπλισμός: Το ηχοβολιστικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Biosonics Dual Beam 120 kHz V-Fin Echounder (Model 120, 3° + 3°). Το επιστρεφόμενο σήμα του τελευταίου καταγράφηκε σε ψηφιακές κασέτες DAT με τη βοήθεια ενός Biosonic, Tape Recorder Interface, Model 171, παρέχοντας έτσι την δυνατότητα αναπαράστασης ολόκληρου του ταξιδιού. Ταυτόχρονα, το επιστρεφόμενο σήμα αντιστοιχίστηκε με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος με ακρίβεια ενός ¹ring με την βοήθεια ενός Dual Beam Processor ESP Model 281 και ενός φορητού Garmin GPS τα οποία συνδέονταν με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Η πρώτη ανάλυση των υδροακουστικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τα ακόλουθα λογισμικά πακέτα: α) Model 221 Echo Integrator, β) Model 281 Dual-Beam Processor, γ) Esp New Echo Echogram και δ) ESP Output File Viewer. Στη συνέχεια η επεξεργασία των αποτελεσμάτων του κάθε ερευνητικού ταξιδιού έγινε με το λογισμικό πρόγραμμα BIOSON, το οποίο ετοιμάστηκε στο ΙΘΑΒΙΚ για το σκοπό αυτό.

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν συμβουλευτικά ένα ηχοβολιστικό Scanmar RX400, στα 50 kHz το οποίο προσαρμόστηκε πάνω στην πελαγική τράτα, ώστε να επιτρέπεται η ρύθμιση από το πλοίο του βάθους αλιείας και των κοπαδιών των ψαριών που εισέρχονται σε αυτή.

Β. Άλλος εξοπλισμός: Μια πελαγική τράτα με 10 mm μάτι σάκου από κόμβο σε κόμβο, οριζόντιο άνοιγμα 24m, και κάθετο άνοιγμα 20m.

3.2.1 Διαδικασία ακουστικής δειγματοληψίας

Ο ηχοβολισμός πραγματοποιήθηκε :

- κατά μήκος 35 προκαθορισμένων διατομών στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου τον Ιούνιο του 1995 και τον Ιούνιο του 1996 (Εικ. 3.1 & 3.2) όπου καταγράφηκαν ακουστικά δεδομένα σε 753 ναυτικά μίλια (ν.μ.) και σε 813 ν.μ. αντίστοιχα,
- κατά μήκος 68 προκαθορισμένων διατομών στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου και του Ιονίου τον Ιούλιο του 1998 (Εικ. 3.3) όπου καταγράφηκαν ακουστικά δεδομένα σε 1123 ν.μ.,
- κατά μήκος 64 προκαθορισμένων διατομών στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου και του Ιονίου τον Ιούνιο του 1999 (Εικ. 3.4) όπου καταγράφηκαν ακουστικά δεδομένα σε 986 ν.μ.,
- κατά μήκος 58 προκαθορισμένων διατομών στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου και του Ιονίου το Δεκέμβριο του 1999 (Εικ. 3.5) όπου καταγράφηκαν ακουστικά δεδομένα σε 1048 ν.μ., και
- κατά μήκος 56 προκαθορισμένων διατομών στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου το Δεκέμβριο 2000 και του Ιονίου τον Ιανουάριο-Φεβρουάριο του 2001 (Εικ. 3.6) όπου καταγράφηκαν ακουστικά δεδομένα σε 1102 ν.μ.

Η ταχύτητα του σκάφους κατά την διάρκεια του ηχοβολισμού ήταν 8.5 ν.μ. την ώρα. Το σχέδιο της ακουστικής δειγματοληψίας ήταν σύμφωνο με το σχέδιο διατομών του Bazigos (1974). Έτσι, οι διατομές ήταν παράλληλες και κάθετες ως προς την ακτογραμμή στο Θρακικό πέλαγος και στο Θερμαϊκό κόλπο. Στις κλειστές περιοχές και συγκεκριμένα στο Στρυμονικό κόλπο, στο Συγγιτικό κόλπο, στον κόλπο της Κασσάνδρας και στο εσωτερικό του Θερμαϊκού κόλπου σχημάτιζαν ζικ-ζακ με τριγωνικό σχέδιο. Οι αποστάσεις μεταξύ των διατομών ήταν 10 ν.μ. στο Θρακικό πέλαγος και 5 ν.μ. στο Θερμαϊκό κόλπο (Bazigos 1974). Η αύξηση της πυκνότητας της ακουστικής δειγματοληψίας στο Θερμαϊκό κόλπο οφείλεται στο πιο πολύπλοκο γεωγραφικό ανάγλυφο και στην μεγαλύτερη αφθονία των μικρών πελαγικών στην περιοχή.

Αντίστοιχα στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο οι διατομές ήταν παράλληλες και κάθετες ως προς την ακτογραμμή στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο, στο Σαρωνικό κόλπο και στο Ιόνιο

¹ ring είναι ένας εκπεμπόμενος από τον μορφομετατροπέα ηχητικός παλμός

Πέλαγος ενώ σχημάτιζαν ζικ-ζακ με τριγωνικό σχέδιο στον Παγασητικό κόλπο, στο Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο, στον Κορινθιακό κόλπο και στον Πατραϊκό κόλπο. Η απόσταση μεταξύ των διατομών ήταν 8 ν.μ. (Bazigos 1974).

Επισημαίνεται ότι με τις παραπάνω δειγματοληψίες θεωρείται ότι εξασφαλίζεται η ολοκληρωμένη εικόνα της κατανομής των υπό μελέτη ειδών εφόσον συλλέγονται δεδομένα:

1) από διαφορετικές εποχές όπου διαφοροποιείται:

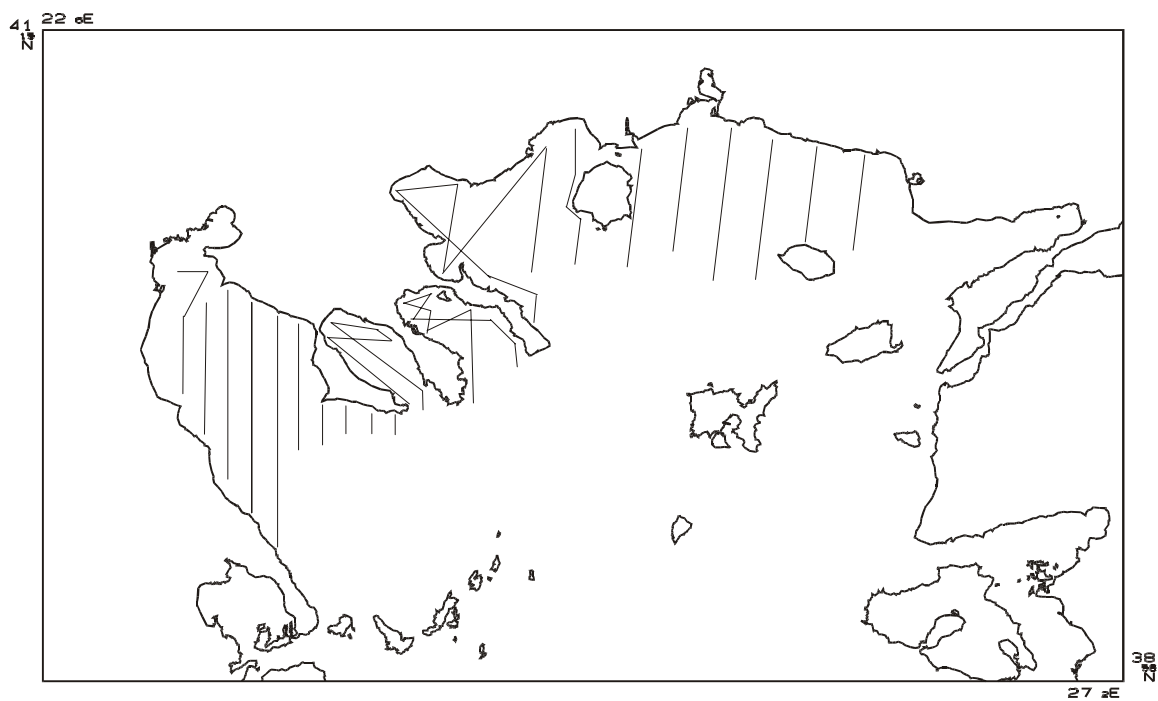
α) η κατανομή των αβιοτικών παραγόντων,

β) η φυσιολογική κατάσταση των ψαριών (ηλικία, αναπαραγωγική ετοιμότητα) αλλά και

2) από υποπεριοχές με διαφορετική βαθυμετρία και τοπογραφία.

3.2.2. Ταυτοποίηση των ψαριών-Δειγματοληψία με πελαγική τράτα.

Αναγνωριστικές σύρσεις με πελαγική τράτα διεξήχθησαν κατά μήκος των ακουστικών διατομών ώστε να εξασφαλιστούν αντιπροσωπευτικά δείγματα από κάθε περιοχή. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 10 σύρσεις στο Βόρειο Αιγαίο τον Ιούνιο του 1995 και 28 σύρσεις τον Ιούνιο του 1996. Στο Κεντρικό Αιγαίο και στο Ιόνιο πραγματοποιήθηκαν 17 σύρσεις τον Ιούλιο του 1998, 13 σύρσεις τον Ιούνιο του 1999, 10 σύρσεις το Δεκέμβριο του 1999, και 22 σύρσεις το Δεκέμβριο του 2000 - Ιανουάριο του 2001. Οι σύρσεις πραγματοποιήθηκαν με ταχύτητα σκάφους 4-5 ν.μ. και ταυτόχρονα με την αλιεία πραγματοποιήθηκε και ηχοβολισμός. Ο ηχοβολισμός που πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονα με την αλιεία επέτρεψε να γίνει επί τόπου εκτίμηση του εύρους των τιμών του ηχοανακλαστικού των ψαριών (MacLennan & Simmonds 1992). Οι σύρσεις χρησιμοποιήθηκαν επίσης για τη συλλογή βιολογικού δείγματος που επέτρεψε την εξαγωγή πληροφορίας για τις κατά μήκος συνθέσεις των ειδών.



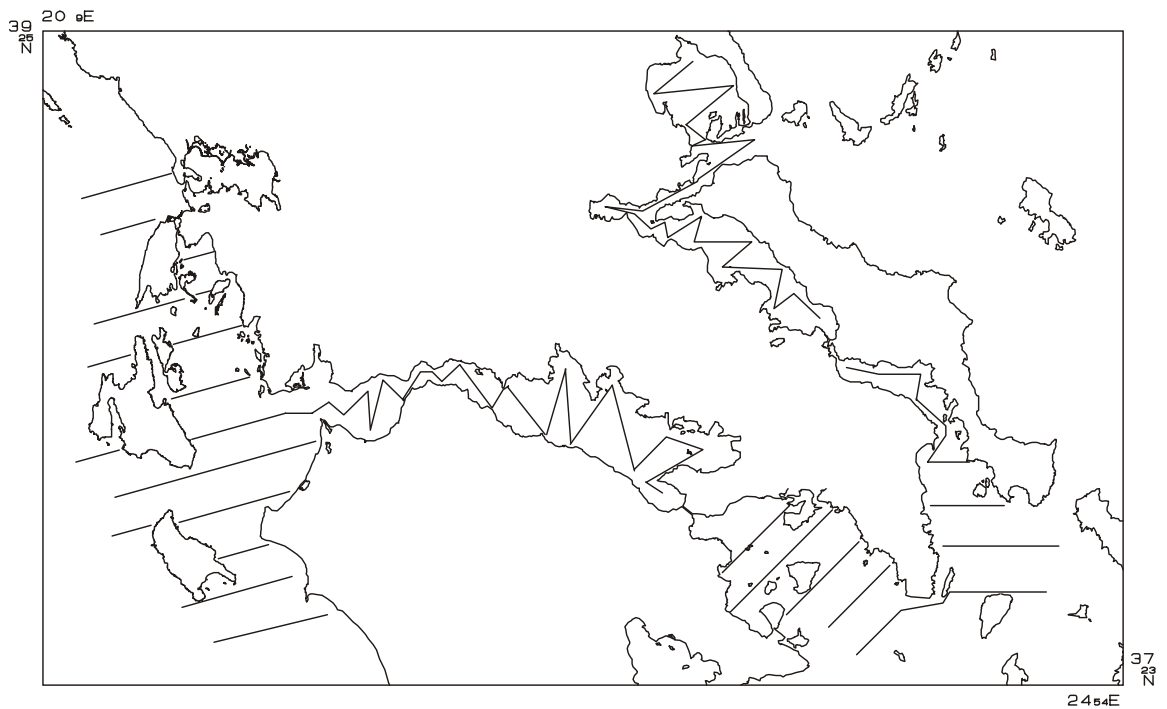
Εικόνα 3. 1. Χάρτης όπου φαίνονται οι διατομές της ακουστικής δειγματοληψίας στο Βόρειο Αιγαίο τον Ιούνιο 1995.



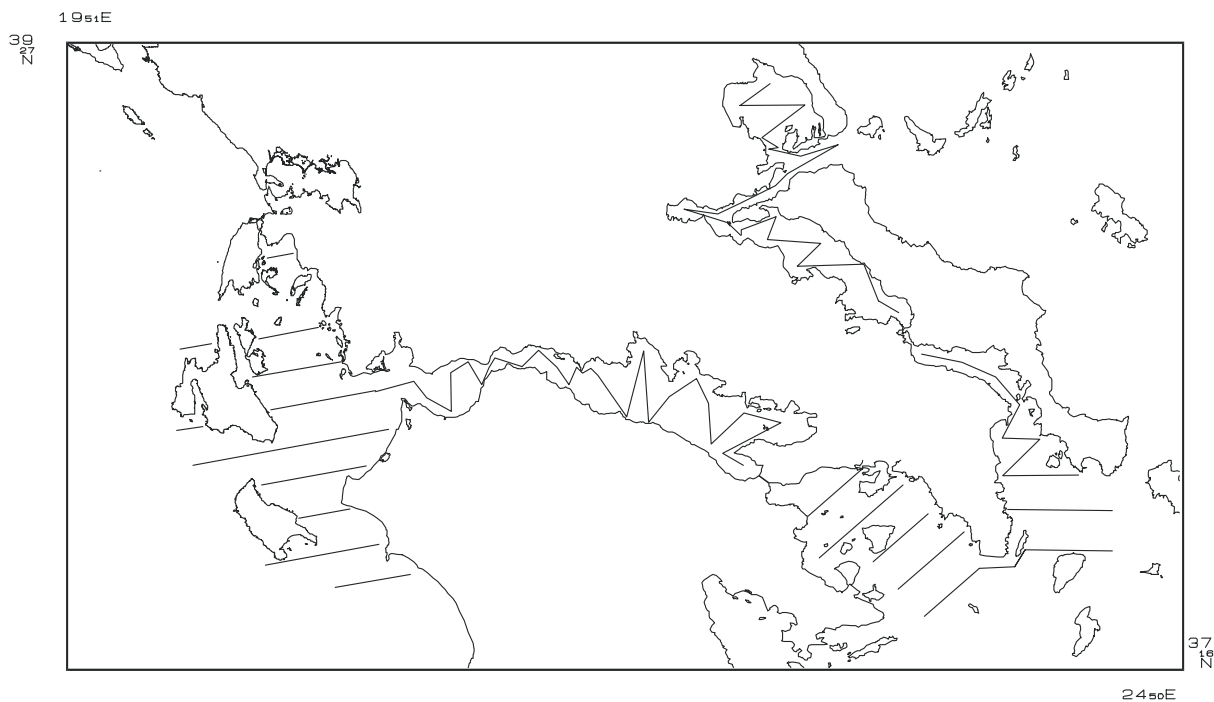
Εικόνα 3. 2. Χάρτης όπου φαίνονται οι διατομές της ακουστικής δειγματοληψίας στο Βόρειο Αιγαίο τον Ιούνιο 1996.



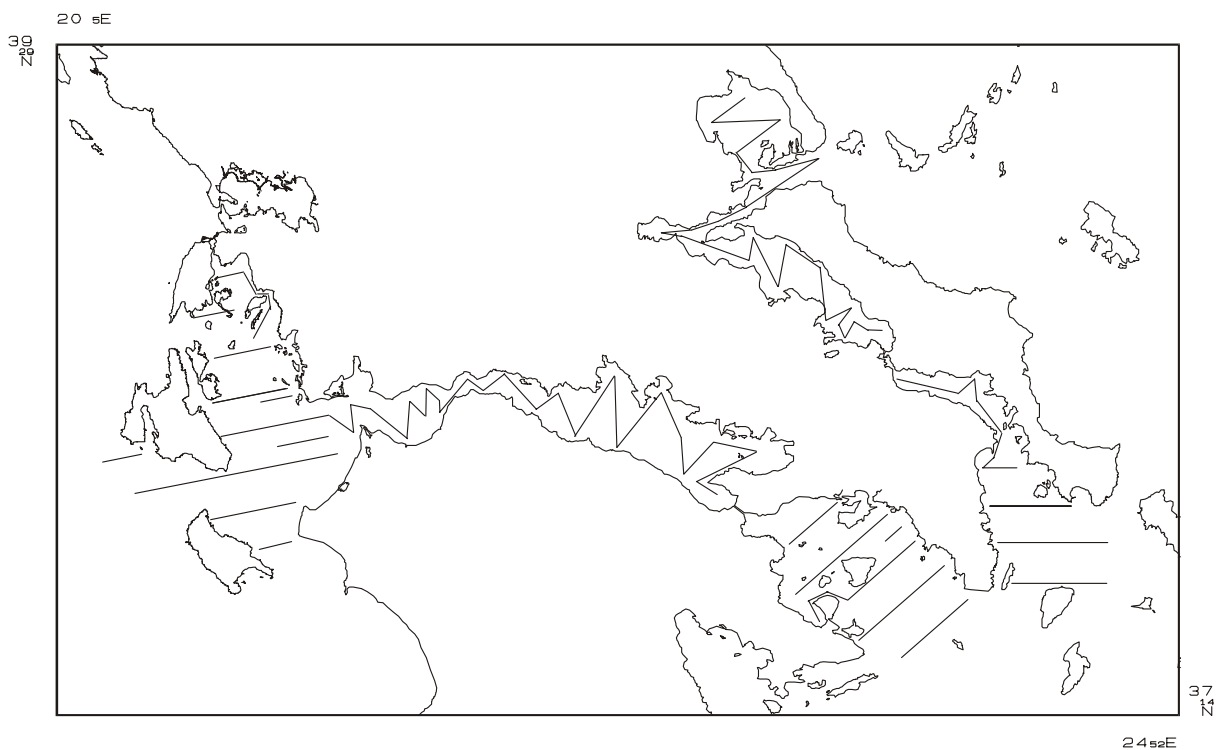
Εικόνα 3. 3. Χάρτης όπου φαίνονται οι διατομές της ακουστικής δειγματοληψίας στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και Ιόνιο τον Ιούλιο 1998.



Εικόνα 3. 4. Χάρτης όπου φαίνονται οι διατομές της ακουστικής δειγματοληψίας στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και Ιόνιο τον Ιούνιο 1999.



Εικόνα 3. 5. Χάρτης όπου φαίνονται οι διατομές της ακουστικής δειγματοληψίας στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο το Δεκέμβριο 1999.



Εικόνα 3. 6. Χάρτης όπου φαίνονται οι διατομές της ακουστικής δειγματοληψίας στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο το Δεκέμβριο 2000 και το Ιόνιο τον Ιανουάριο 2001.

3.2.3. Επεξεργασία ακουστικών δεδομένων

Κατά την επεξεργασία των ακουστικών δεδομένων, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες διαδικασίες:

- Χαρακτηρισμός όλων των στόχων με βάση το ηχοανακλαστικό δυναμικό (Η.Δ.) του κάθε είδους, μέχρι τα 100m βάθος, το οποίο συνιστά το μέγιστο βάθος όπου τα υπό μελέτη είδη απαντούν κατά την διάρκεια της ημέρας (Garcia *et al.*, 1994; Giannoulaki *et al.*, 1999). Όπως ήδη αναφέρθηκε και στην παράγραφο 1.4 το ηχοανακλαστικό δυναμικό (Η.Δ.) του στόχου είναι ο αριθμός που μας δείχνει την ένταση του επιστρεφόμενου ήχου που συλλαμβάνει το ηχοβολιστικό. Ουσιαστικά το Η.Δ. είναι μια λογαριθμική μέτρηση της προσπίπτουσας ενέργειας σε σχέση με την οπισθοανακλώμενη από τον στόχο ή διαφορετικά η ακουστική διατομή του στόχου εκφρασμένη σε decibel (db). Η ακουστική διατομή σ , μετράται σε μονάδες επιφάνειας στο S.I. σύστημα (mm^2 ή mmd), και εκφράζεται από τον λόγο των εντάσεων των προσπιπτόντων ως προς τα ανακλώμενα κύματα (MacLennan & Simmonds 1992).

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{I_b}{I_i} \quad (\text{εξίσωση 3.1})$$

όπου I_i είναι η ένταση των προσπιπτόντων στο στόχο κυμάτων στο κέντρο του μεταδιδόμενου παλμού, I_b είναι η ένταση στο κέντρο του οπισθοανακλώμενου παλμού και R είναι η απόσταση στόχου-ηχοβολιστικού. Το σ δηλαδή περιγράφεται ως η ένταση του ήχου που μεταδίδεται ανά μονάδα επιφάνειας (MacLennan & Simmonds 1992).

Τελικά το Η.Δ. ορίζεται ως:

$$\text{Η.Δ.} = 10 \cdot \log\left(\frac{\sigma}{4\pi}\right) \quad (\text{εξίσωση 3.2})$$

Η χρήση του Η.Δ. διευκολύνει καθώς ως λογαριθμικό μέγεθος μπορεί να καλύψει πολλές τάξεις μεγέθους υδρόβιων οργανισμών από το μικροσκοπικό πλαγκτόν ως τα κητώδη. Η τιμή του Η.Δ. προκειμένου για τα ψάρια εξαρτάται από το είδος του ψαριού, το μέγεθός του και τον προσανατολισμό του σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας (Love 1977; Blaxter & Batty 1990; Ona 1990; MacLennan & Simmonds 1992). Η νηκτική κύστη είναι εκείνο το μέρος του σώματος του ψαριού (στα είδη που έχουν νηκτική κύστη) που συμβάλλει πάνω από 90% στην ανακλώμενη ενέργεια και καθορίζει κατά κύριο λόγο την τιμή του Η.Δ. του ψαριού (Foote 1980). Παράλληλα είναι γνωστό (Foote 1987; MacLennan & Simmonds 1992) ότι το Η.Δ. σχετίζεται με το μήκος του ψαριού με εξίσωση της μορφής:

$$\text{Η.Δ.} = 20 \log L - b \quad (\text{εξίσωση 3.3})$$

Όπου:

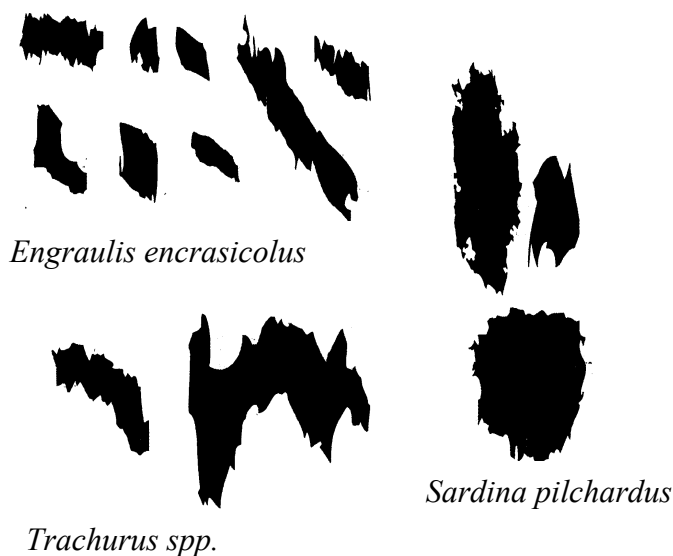
L = το ολικό μήκος του ψαριού και b = σταθερά.

Τα είδη *Sardina pilchardus* και *Engraulis encrasicolus* είναι δυνατόν να διαχωριστούν με βάση το Η.Δ. Οι εξισώσεις εκτίμησης του Η.Δ. των ειδών αυτών είναι γνωστές (Μαχιάς 1994, Machias & Tsimenides 1995; Μαχιάς και συν., 1997; 2000) και τα δύο είδη ανακλούν σε διαφορετικό εύρος τιμών του Η.Δ. Ειδικότερα, το είδος *Sardina pilchardus* ανακλά από -46 έως -55 dB και το είδος *Engraulis encrasicolus* από -56 έως -60 dB (Machias & Tsimenides 1995; Μαχιάς και συν., 1997; 2000). Επομένως με βάση το Η.Δ. ήταν δυνατός ένας αρχικός διαχωρισμός των ηχοβολισμένων ψαριών σε είδη. Το γεγονός αυτό επέτρεψε τον ακριβέστερο διαχωρισμό των δύο ειδών στην περίπτωση των μεμονωμένων στόχων και κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν τα κοπάδια του γαύρου και της σαρδέλας διασκορπίζονται.

- Χαρακτηρισμός των μεμονωμένων στόχων με βάση το Η.Δ. Επειδή τα είδη *Sardina pilchardus* και *Engraulis encrasicolus* ανήκουν στα φυσόστομα είδη, στα οποία η νηκτική κύστη επικοινωνεί με το πεπτικό κανάλι και επομένως και με το περιβάλλον νερό λήφθηκε υπόψη και το βάθος στο οποίο βρίσκονταν οι στόχοι. Τα ψάρια αυτά δεν μπορούν να εκκρίνουν αέριο στη νηκτική κύστη ενώ βρίσκονται κάτω από το νερό. Έτσι, λόγω της επίδρασης της

υδροστατικής πίεσης στο μέγεθος και στο σχήμα της νηκτικής κύστης, η ακουστική διατομή μειώνεται με την αύξηση του βάθους και το Η.Δ. μεταβάλλεται έντονα (MacLennan & Simmonds 1992; Misund 1997 και εκεί αναφορές).

Παράλληλα, λήφθηκε υπόψη η παρουσία του είδους *Sardinella aurita* (κοιν. Φρίσσα), κοντά στην επιφάνεια (0-20 μ) κατά την διάρκεια της ημέρας (Gerlotto & Freon 1992; Freon *et al.*, 1993).



Εικόνα 3. 7. Το σχήμα των κοπαδιών των ειδών *Sardina pilchardus*, *Engraulis encrasicolus* και *Trachurus spp.* όπως αυτό καταγράφεται από το ηχοβολιστικό.

- Κατάταξη των κοπαδιών με βάση τα χαρακτηριστικά των κοπαδιών του κάθε είδους (MacLennan & Simmonds 1992; Masse 1996; Reid 2000). Είναι γνωστό ότι τα κοπάδια συγκεκριμένων ειδών παρουσιάζουν χαρακτηριστικά π.χ. σχήμα και μέγεθος, που είναι αντιπροσωπευτικά του είδους και μπορούν να αποτελέσουν διαγνωστικό χαρακτηριστικό (Rose & Leggett 1988; Scalabrin & Masse 1993; Reid & Simmonds 1993; Haralabous & Georgakarakos 1996; Masse 1996; Reid 2000). Το χαρακτηριστικό σχήμα (Εικ. 3.7) των κοπαδιών του γαύρου και της σαρδέλας πιστοποιήθηκε με βάση την εμπειρία προηγούμενων ετών, όπως προέκυψε από τη σύνθεση του αλιεύματος μετά από αλιεία κοπαδιών συγκεκριμένου σχήματος που παρατηρήθηκαν πάνω στο πλοίο. Αναλυτικότερα, καθ' όλη την πορεία της ακουστικής δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε καταγραφή των κοπαδιών των ψαριών όπως αναγνωρίστηκαν στο ηχογράμμα ενός ηχοβολιστικού μονής δέσμης (στα 38 kHz) και στη συνέχεια έγινε χαρακτηρισμός των κοπαδιών-στόχων με βάση την ώρα και το βάθος καταγραφής.

Είναι γνωστό ότι η κατάταξη του ήχου σε είδη πραγματοποιείται με βάση (α) τα αποτελέσματα της αλιείας με πελαγική τράτα δηλ. την σύσταση και την αναλογία των ειδών στο αλιεύμα και (β) την εξέταση των ηχογραμμάτων (MacLennan & Simmonds 1992; Reid 2000). Η εξέταση των ηχογραμμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί (α) με μέθοδο αυτόματης αναγνώρισης και κατάταξης του ήχου και (β) με άμεση παρατήρηση. Η μέθοδος της αυτόματης αναγνώρισης χρησιμοποιεί λογισμικά προγράμματα ανάλυσης εικόνας που εφαρμόζονται σε ψηφιοποιημένα ηχογράμματα (Reid & Simmonds 1993; Reid 2000). Τα λογισμικά αυτά συστηματοποιούν και χρησιμοποιούν μια σειρά από χαρακτηριστικά των κοπαδιών (π.χ. το μέγεθος, το σχήμα, η ένταση του ήχου κ.λ.π) για να τα κατατάξουν σε είδη.

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την αυτοματοποίηση της διαδικασίας της κατάταξης του ήχου, την μείωση της προσπάθειας και του χρόνου επεξεργασίας των δεδομένων. Η άμεση παρατήρηση στηρίζεται στην καταγραφή και τον χαρακτηρισμό των κοπαδιών των ψαριών κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας και στη συνέχεια την αντιστοίχησή τους με τα ακουστικά δεδομένα. Η διαδικασία αυτή αν και περισσότερο επίπονη επιτρέπει την «σύνθεση» στοιχείων που δεν δύνανται να κωδικοποιηθούν λογισμικά (π.χ. την συνέχεια των ομάδων των σχολείων στο χώρο και στο χρόνο, την γενικότερη εμφάνιση των κοπαδιών). Στην παρούσα εργασία ο χαρακτηρισμός των κοπαδιών έγινε με την μέθοδο της άμεσης παρατήρησης σε συνδυασμό με την χρήση των τιμών του ΗΔ των μεμονωμένων στόχων ψαριών γύρω από το κοπάδι, αξιοποιώντας την δυνατότητα διάκρισης των πελαγικών ειδών στις Ελληνικές θάλασσες. Επιπλέον πάρθηκαν υπόψη και τα αποτελέσματα της αλιείας, δεδομένου ότι σε περιοχές που παρατηρούνται πολλά και μικρά σχολεία ψαριών η αναγνώριση των ειδών μόνο με βάση τα χαρακτηριστικά των σχολείων μπορεί να έχει μικρή διαγνωστική αξία και ο συνδυασμός τους με τα αποτελέσματα της αλιείας με πελαγική τράτα εξασφαλίζει την ορθότερη κατάταξη του ήχου σε είδη (Petitgas *et al.*, 2003).

- Διόρθωση του αριθμού των παρατηρούμενων στόχων σταθμίζοντάς τους με βάση τους στόχους που καταγράφει το ηχοβολιστικό σε βάθος 100m (μέγιστο βάθος ηχοβολισμού). Εξαιτίας της αύξησης της ακτίνας του ηχητικού κώνου με το βάθος, ο αριθμός των ηχοβολισμένων ψαριών στα μικρότερα βάθη είναι αναλογικά μικρότερος σε σχέση με τον αντίστοιχο αριθμό στα μεγαλύτερα βάθη. Ο συντελεστής διόρθωσης (Biosonics, 1990) αποδίδεται από τη σχέση:

$$k = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{2 * R}{2 * r} = \frac{2 * \tan(\phi) * D_{\max}}{2 * \tan(\phi) * d} = \frac{D_{\max}}{d} \quad (\text{εξίσωση 3.4})$$

όπου:

Δ= η διάμετρος του ηχητικού κώνου στο μέγιστο βάθος
 δ= η διάμετρος του ηχητικού κώνου στο βάθος ηχοβολισμού του στόχου
 R= η ακτίνα του ηχητικού κώνου στο μέγιστο βάθος
 r= η ακτίνα του ηχητικού κώνου στο βάθος ηχοβολισμού του στόχου
 φ = η γωνία ηχοβολισμού
 Dmax= το μέγιστο βάθος ηχοβολισμού (100m)
 d= το βάθος ηχοβολισμού του στόχου

- Λόγω της πληθώρας των ακουστικών δεδομένων (π.χ. 500 ως 1500 στόχοι που αποδόθηκαν σε ψάρια ανά ένα ναυτικό μίλι ακουστικής δειγματοληψίας) κατέστη αναγκαία η ολοκλήρωση των στόχων που ανήκαν στα είδη *Sardina pilchardus* και *Engraulis encrasicolus* από την επιφάνεια μέχρι το βυθό με βάση τη Στοιχειώδη Δειγματοληπτική Μονάδα (ΣΜΔ-ESDU). Η Στοιχειώδης Δειγματοληπτική Μονάδα (ΣΜΔ-ESDU) είναι το μήκος της πορείας του σκάφους κατά μήκος της οποίας οι ακουστικές μετρήσεις σταθμίστηκαν για να δώσουν ένα δείγμα και στην παρούσα διατριβή το μέγεθος της καθορίστηκε στο ένα ναυτικό μίλι (MacLennan & Simmonds 1992). Στη συνέχεια έγινε μετατροπή της ακουστικής διατομής του κάθε είδους σε βιομάζα (kg/v.μ.).
- Κατασκευή χαρτών κατανομής των ειδών *Sardina pilchardus* και *Engraulis encrasicolus* με βάση τη βιομάζα του κάθε είδους στο Βόρειο Αιγαίο, στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και στο Ιόνιο για κάθε περίοδο δειγματοληψίας.
 Οι χάρτες κατανομής των παραπάνω ειδών κατασκευάστηκαν με το πρόγραμμα Surfer v7 της Golden Software Inc.

3.2.4. Ανάλυση δειγμάτων

Εκτιμήθηκε η σύσταση του αλιεύματος της κάθε σύρσης με τράτα και η κατά μήκος σύνθεση του αλιεύματος του γαύρου και της σαρδέλας. Ένα τυχαίο δείγμα 200 ατόμων από κάθε είδος, κρατήθηκε από κάθε σύρση για περαιτέρω εργαστηριακή ανάλυση. Η μέση συχνότητα κάθε κλάσης μήκους εκτιμήθηκε σε 6 επιμέρους υποπεριοχές α) στο Θρακικό, β) στο Στρυμονικό κόλπο, γ) στο Θερμαϊκό κόλπο, δ) στο Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο, ε) στο Νότιο Ευβοϊκό και Σαρωνικό κόλπο, ζ) στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου (δηλ. τον Κορινθιακό κόλπο, τον Πατραϊκό κόλπο και το βόρειο και το νότιο Ιόνιο). Η ενιαία αντιμετώπιση του Ν. Ευβοϊκού και του Σαρωνικού κόλπου καθώς και της ευρύτερης περιοχής του Ιονίου κρίθηκε αναγκαία καθώς δεν είχε πραγματοποιηθεί επαρκής αριθμός σύρσεων με πελαγική τράτα στις επιμέρους υποπεριοχές. Η μέση συχνότητα κάθε κλάσης μήκους εκτιμήθηκε σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$f_j = \frac{\sum_{k=1}^M \left(\frac{n_{jk}}{t_k} \right)}{\sum_{k=1}^M \left(\frac{N_k}{t_k} \right)} \quad (\text{εξίσωση 3.4})$$

Όπου f_j είναι η μέση συχνότητα του γαύρου ή της σαρδέλας της κλάσης μήκους j , n_{jk} είναι ο αριθμός των ατόμων του γαύρου ή της σαρδέλας μήκους κλάσης j στον σταθμό αλιείας k , N_k είναι ο συνολικός αριθμός των ατόμων του γαύρου ή της σαρδέλας στο σταθμό αλιείας k , t_k είναι ο χρόνος αλιείας στον σταθμό k και M ο αριθμός των σταθμών αλιείας στην περιοχή. Η παραπάνω εξίσωση είναι κατάλληλη ακόμα και αν το αλιεύμα είναι μικρό και οι κατά μήκος συνθέσεις όχι σαφείς. Λαμβάνει υπόψη την διάρκεια της σύρσης σε κάθε σταθμό αλιείας καθώς κατά μέσο όρο, μεγαλύτερης διάρκειας σύρσεις παράγουν περισσότερα ψάρια (MacLennan & Simmonds 1992).

3.2.5. Διερευνητική προσέγγιση

Χρησιμοποιήθηκαν ακουστικά δεδομένα που αφορούσαν στον ήχο του συνόλου των μικρών πελαγικών και περιελάμβαναν δεδομένα α) ηχοανακλαστικού δυναμικού (σε db) και β) ακουστικής διατομής (σε mmd). Λόγω της πολυπλοκότητας του γεωγραφικού ανάγλυφου της περιοχής μελέτης, η διερευνητική προσέγγιση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε 10 υποπεριοχές (Εικ.1.3). Η διάκριση σε αυτές τις υποπεριοχές βασίστηκε α) στον γεωγραφικό διαχωρισμό των υποπεριοχών και β) στις βαθυμετρικές τους διαφορές. Ειδικότερα η ανάλυση εφαρμόστηκε ξεχωριστά για α) το Θρακικό πέλαγος, β) τον Στρυμονικό κόλπο, γ) τον Θερμαϊκό κόλπο, δ) τον Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο, ε) το Νότιο Ευβοϊκό κόλπο, ζ) τον Σαρωνικό κόλπο, ε) τον Κορινθιακό κόλπο, η) τον Πατραϊκό κόλπο, θ) το βόρειο τμήμα της περιοχής του Ιονίου και ι) το νότιο τμήμα της περιοχής του Ιονίου. Το βόρειο τμήμα της περιοχής του Ιονίου περιελάμβανε κυρίως την περιοχή που περικλείεται από τα νησιά της Κεφαλονιάς, της Λευκάδας και της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, ενώ το νότιο τμήμα του Ιονίου περιελάμβανε την περιοχή μεταξύ Ζακύνθου και δυτικής Πελοποννήσου καθώς και την περιοχή νότια της Ζακύνθου. Οι κόλποι της Χαλκιδικής εξαιρέθηκαν της ανάλυσης λόγω της έλλειψης επαρκούς αριθμού δεδομένων που θα μείωναν την αξιοπιστία του αποτελέσματος.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε για κάθε υποπεριοχή δειγματοληψίας: (α) υπολογισμός του ιστογράμματος συχνοτήτων του ηχοανακλαστικού δυναμικού σε κλάσεις των 0.2 db και (β) ολοκλήρωση της ακουστικής διατομής ανά ένα ναυτικό μίλι (Στοιχειώδης Μονάδα

Δειγματοληψίας – ΣΜΔ) και στη συνέχεια η διαγραμματική απεικόνισή της σε αντιστοιχία με το μέσο βάθος βυθού ανά διαδοχικά ναυτικά μίλια κατά μήκος της πορείας του σκάφους (διαδοχικές ΣΔΜ). Πρέπει να σημειωθεί ότι αυξημένες τιμές ηχοανακλαστικού δυναμικού μπορεί να είναι ενδεικτικές πυκνότερων συγκεντρώσεων ψαριών (MacLennan & Simmonds 1992, Misund 1997; Reid 2000).

Για την διερευνητική προσέγγιση των ακουστικών δεδομένων θεωρήθηκε ορθότερη η χρήση του ήχου που αφορά στο σύνολο των μικρών πελαγικών ως πιο αντικειμενική πρώτη εκτίμηση των χωρικών δομών (δηλ. το πώς οργανώνονται οι συγκεντρώσεις των ψαριών στο χώρο) που σχηματίζουν τα μικρά πελαγικά. Στόχος αυτού του είδους της προσέγγισης ήταν (α) η λήψη μιας αδρής πρώτης εικόνας των χωρικών δομών των μικρών πελαγικών καθώς και των τυχόν διαφοροποιήσεων ανά υποπεριοχή δειγματοληψίας και (β) ο έλεγχος των μεταβολών του ήχου σε σχέση με ένα στοιχειώδες τοπογραφικό χαρακτηριστικό, όπως το μέσο βάθος βυθού. Τα συμπεράσματα μιας τέτοιας προσέγγισης θεωρήθηκε ότι μπορούν να είναι ενδεικτικά της επίδρασης της τοπογραφίας της περιοχής στο πρότυπο κατανομής των συγκεντρώσεων των μικρών πελαγικών στο χώρο.

3.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.3.1. Οριζόντια κατανομή της σαρδέλας και του γαύρου.

Οι χάρτες οριζόντιας κατανομής της βιομάζας του γαύρου και της σαρδέλας (Εικ. 3.8 ως 3.10) έδειξαν την εναλλαγή υψηλών και χαμηλών συγκεντρώσεων στην κατανομή των δύο ειδών. Αναλυτικότερα:

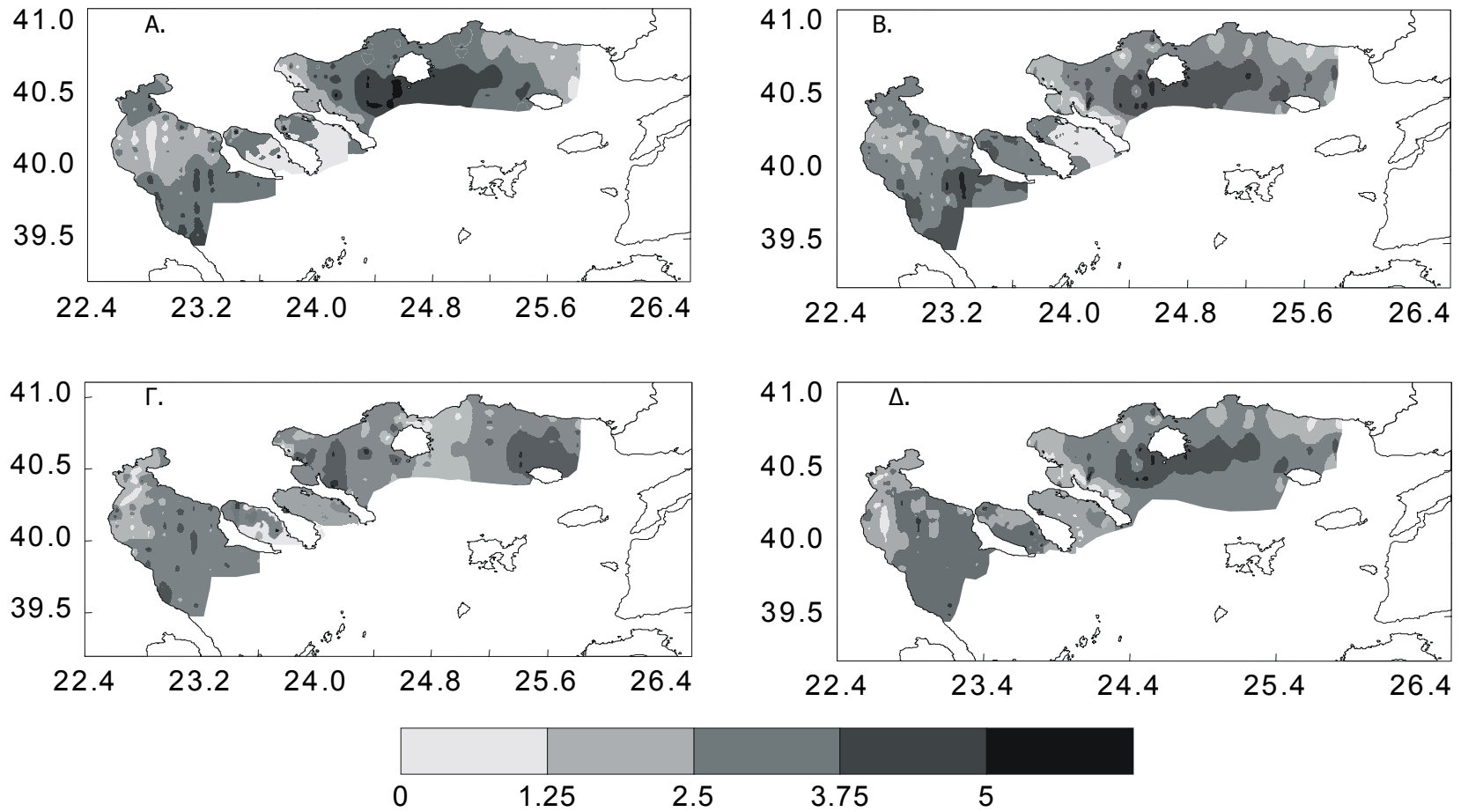
- Στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου τον Ιούνιο του 1995 και τον Ιούνιο του 1996, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του γαύρου και της σαρδέλας παρατηρήθηκαν στο Θρακικό στην περιοχή μεταξύ της Σαμοθράκης και της Θάσου. Σημαντικές συγκεντρώσεις των δύο ειδών παρατηρήθηκαν επίσης στον Στρυμονικό κόλπο ανάμεσα στη Θάσο και στην χερσόνησο του Άθου (Εικ. 3.8.Α, 3.8.Β, 3.8.Γ, 3.8.Δ). Μικρότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν στο εσωτερικό του κόλπου της Κασσάνδρας και του Συγγιτικού κόλπου. Στον Θερμαϊκό κόλπο οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των δύο ειδών εντοπίστηκαν κυρίως στο νοτιοανατολικό τμήμα του κόλπου (Εικ. 3.8.Α, 3.8.Β, 3.8.Γ, 3.8.Δ).

- Τον Ιούλιο του 1998, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των δύο ειδών στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου παρατηρήθηκαν στον Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο, στο βόρειο τμήμα του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου και στο βορειοανατολικό τμήμα του Σαρωνικού κόλπου (Εικ. 3.9.Α, 3.9.Β). Στην περιοχή του Ιονίου οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις της σαρδέλας παρατηρήθηκαν στον Πατραϊκό κόλπο και στην περιοχή μεταξύ της Κεφαλονιάς, της Λευκάδας και της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (Εικ. 3.9.Α). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του γαύρου παρατηρήθηκαν στο νότιο τμήμα της Ζακύνθου, στην περιοχή νοτιοδυτικά της Κεφαλονιάς και στο εξωτερικό τμήμα του Ιονίου, στην περιοχή μεταξύ της Λευκάδας και της Κεφαλονιάς (Εικ. 3.9.Β).

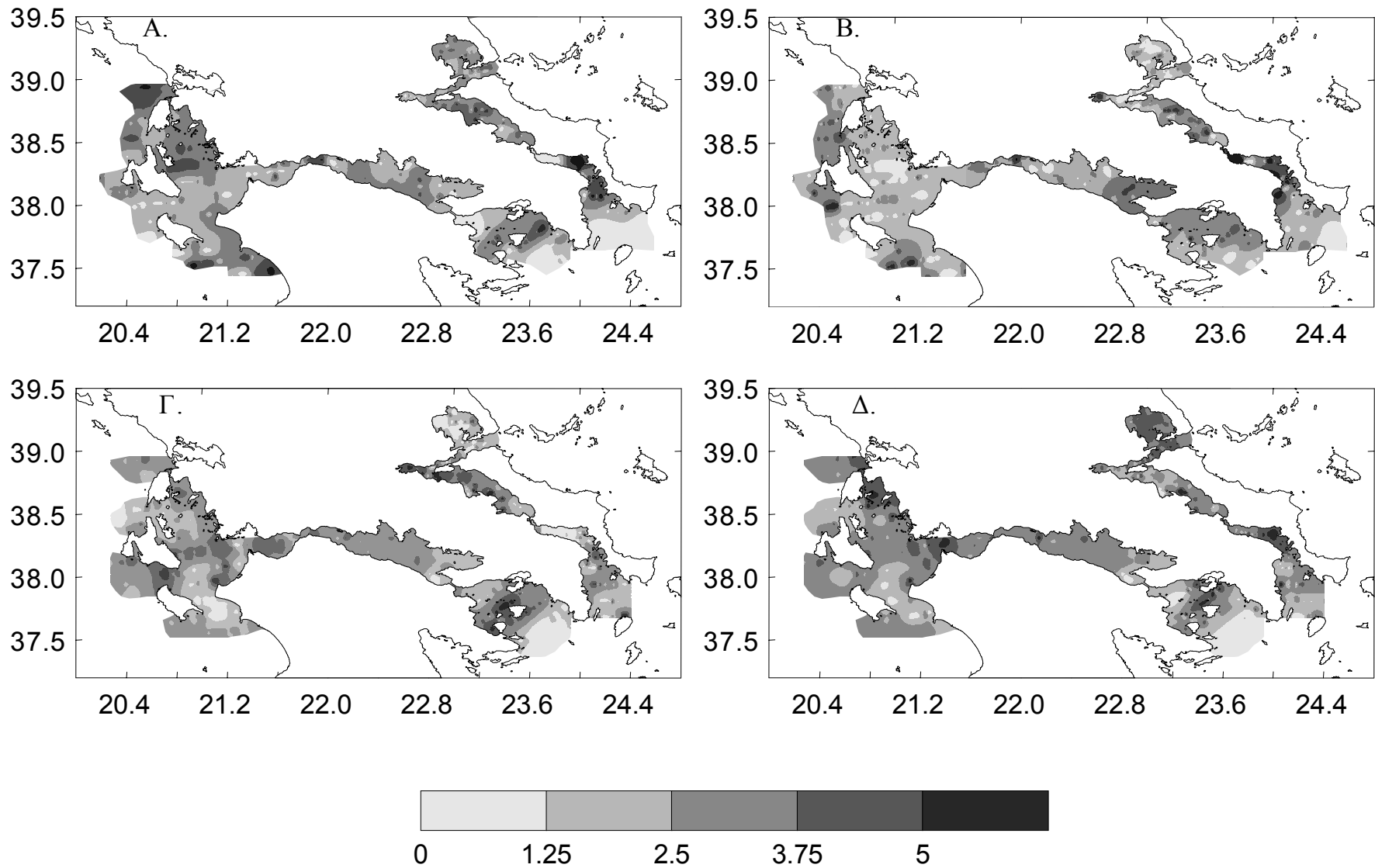
- Παρόμοια, τον Ιούνιο του 1999 στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις της σαρδέλας παρατηρήθηκαν στο κεντρικό και στο νότιο τμήμα του Β. Ευβοϊκού κόλπου και στην περιοχή δυτικά της Αίγινας στον Σαρωνικό κόλπο (Εικ. 3.9.Γ). Αντίστοιχα, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του γαύρου παρατηρήθηκαν στο βόρειο τμήμα του Β. Ευβοϊκού κόλπου, στο βόρειο τμήμα του Ν. Ευβοϊκού κόλπου καθώς και στην περιοχή δυτικά της Αίγινας στον Σαρωνικό κόλπο (Εικ. 3.9.Δ). Στην περιοχή του Ιονίου οι κυριότερες συγκεντρώσεις του γαύρου και της σαρδέλας εντοπίστηκαν στον Πατραϊκό κόλπο (Εικ. 3.9.Γ, 3.9.Δ), κοντά στις ακτές της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και κυρίως στην περιοχή ανάμεσα στην Λευκάδα και στη Δυτική Στερεά Ελλάδα. Οι διαφορές στις συγκεντρώσεις του γαύρου σε σχέση με τον Ιούλιο του 1998, αφορούσαν κυρίως στην κατανομή των συγκεντρώσεων στα Ιόνια νησιά καθώς και στη σχετική σημασία των συγκεντρώσεων, όπως την αύξηση των συγκεντρώσεων στον Σαρωνικό κόλπο.

• Το Δεκέμβριο του 1999 αυξημένες συγκεντρώσεις σαρδέλας παρατηρήθηκαν σε όλη σχεδόν την έκταση του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου και στο βόρειο κυρίως τμήμα του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου. Στην περιοχή του Ιονίου οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις της σαρδέλας παρατηρήθηκαν στο Δυτικό τμήμα του Κορινθιακού κόλπου, στον Πατραϊκό κόλπο και μεταξύ της Ζακύνθου και των Δυτικών ακτών της Πελοποννήσου. Μικρότερες συγκεντρώσεις σαρδέλας παρατηρήθηκαν στον Σαρωνικό κόλπο και μεταξύ της Λευκάδας και της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (Εικ. 3.10.Α). Αντίστοιχα, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του γαύρου παρατηρήθηκαν στο βόρειο τμήμα του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου, στο βόρειο τμήμα του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου καθώς και στον Πατραϊκό κόλπο. Μικρότερες συγκεντρώσεις γαύρου παρατηρήθηκαν στον Σαρωνικό κόλπο, βορειοανατολικά της Αίγινας και στο Ιόνιο κυρίως στην περιοχή μεταξύ της Λευκάδας και της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας καθώς και στην περιοχή βορειοανατολικά της Ζακύνθου και νοτιοδυτικά της Κεφαλονιάς (Εικ. 3.10.Β).

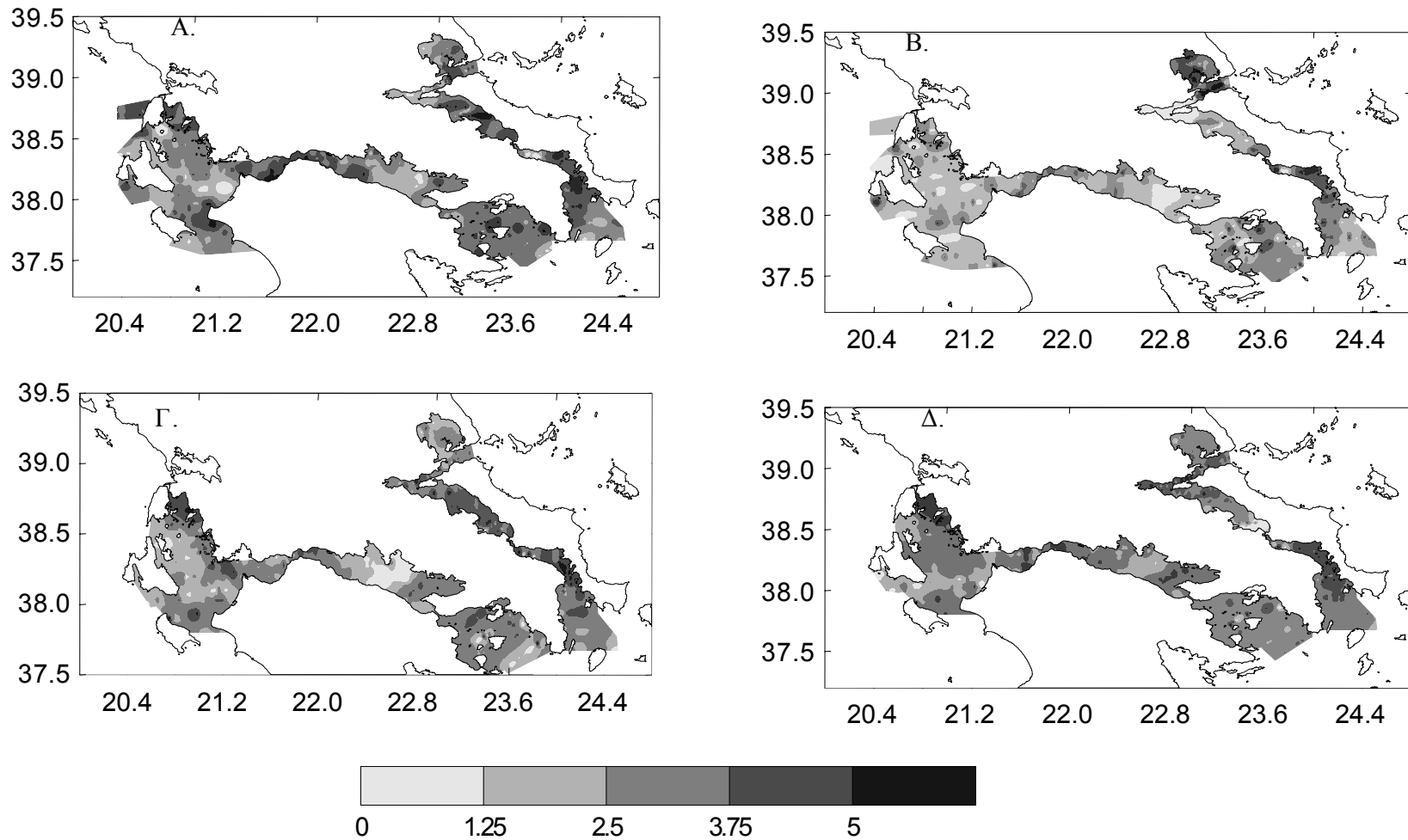
• Το Δεκέμβριο του 2000 οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις της σαρδέλας παρατηρήθηκαν στο κεντρικό και νότιο τμήμα του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου και στο βόρειο τμήμα του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου. Στον Σαρωνικό κόλπο οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις της σαρδέλας καταγράφηκαν κυρίως στο δυτικό τμήμα του κόλπου (Εικ. 3.10.Γ). Στην περιοχή του Ιονίου τον Ιανουάριο του 2001 παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις σαρδέλας στο δυτικό τμήμα του Κορινθιακού κόλπου, στον Πατραϊκό κόλπο, καθώς και στην περιοχή ανάμεσα στη Λευκάδα και στις ακτές της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (Εικ. 3.10.Γ). Αντίστοιχα, το Δεκέμβριο του 2000 οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του γαύρου παρατηρήθηκαν στο βόρειο τμήμα του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου και στο βόρειο τμήμα του νότιου Ευβοϊκού κόλπου (Εικ. 3.10.Δ). Στην περιοχή του Ιονίου τον Ιανουάριο του 2001, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του γαύρου παρατηρήθηκαν στην περιοχή που συνδέει τον Κορινθιακό με τον Πατραϊκό κόλπο και στην περιοχή ανάμεσα στη Λευκάδα και στη Δυτική Στερεά Ελλάδα (Εικ. 3.10.Δ).



Εικόνα 3. 8. Χάρτες κατανομής (ln(kg/v.μ.) στο Βόρειο Αιγαίο. Α) της σαρδέλας τον Ιούνιο 1995, Β) του γαύρου τον Ιούνιο 1995, Γ) της σαρδέλας τον Ιούνιο 1996 και Δ) του γαύρου τον Ιούνιο 1996.



Εικόνα 3. 9. Χάρτες κατανομής ($\ln(\text{kg}/\text{v.}\mu.)$) στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και στο Ιόνιο. Α) της σαρδέλας τον Ιούλιο 1998, Β) του γαύρου τον Ιούλιο 1998, Γ) της σαρδέλας τον Ιούνιο 1999 και Δ) του γαύρου τον Ιούνιο 1999.

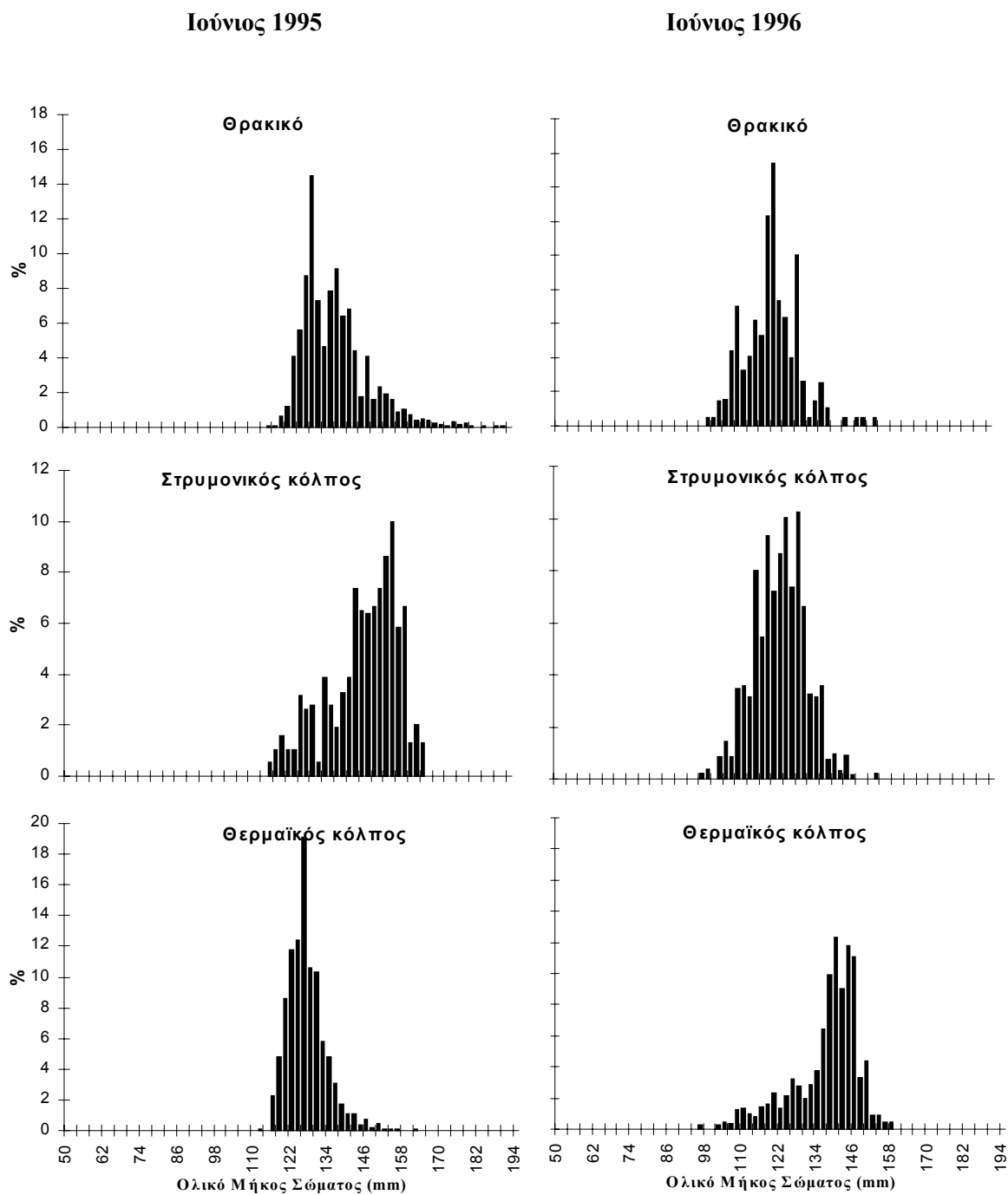


Εικόνα 3. 10. Χάρτες κατανομής ($\ln(\text{kg}/\text{v.}\mu.)$) στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και στο Ιόνιο. Α) της σαρδέλας το Δεκέμβριο 1999, Β) του γαύρου το Δεκέμβριο 1999, Γ) της σαρδέλας το Δεκέμβριο 2000 και Δ) του γαύρου το Δεκέμβριο 2000.

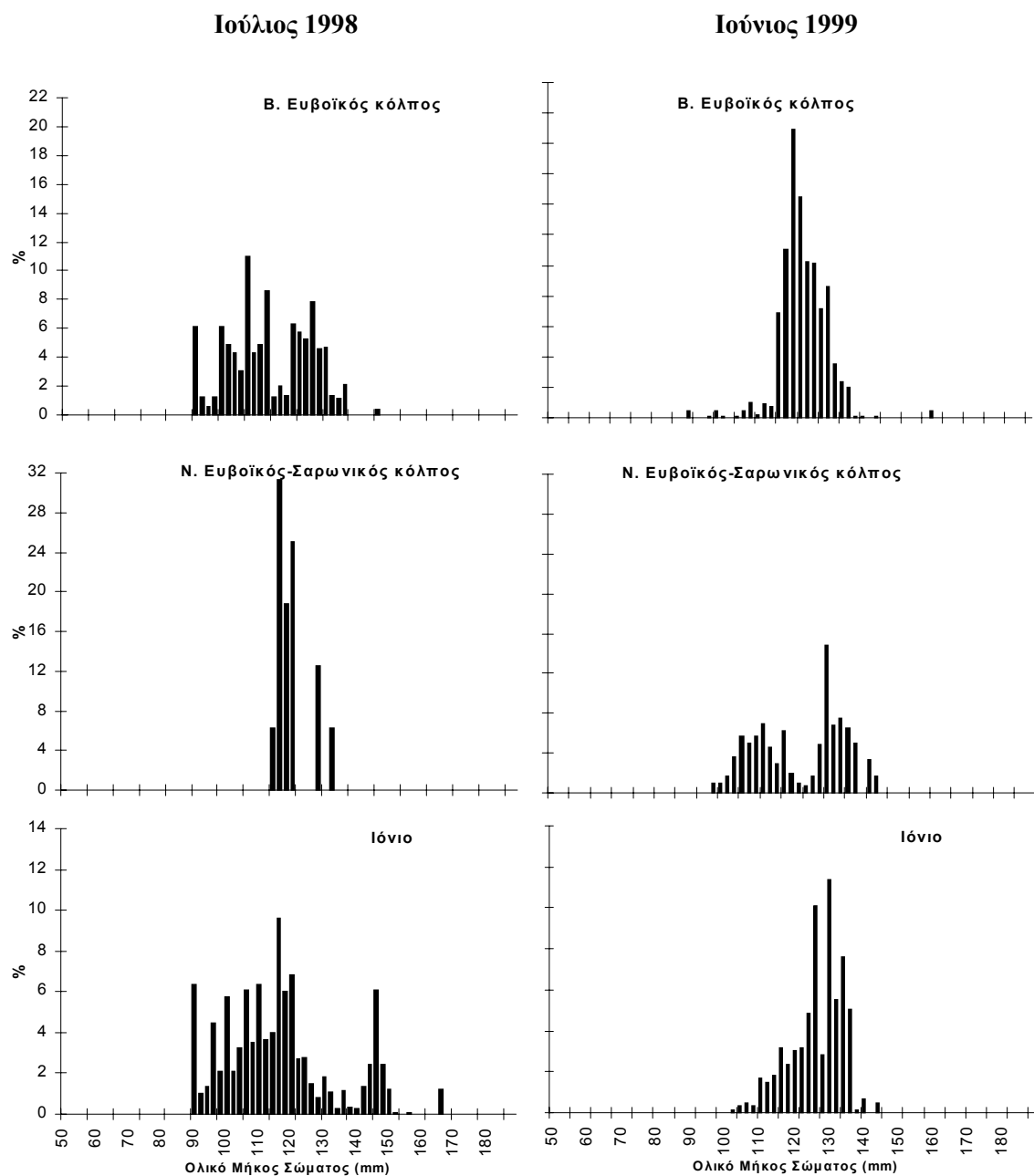
3.3.2. Κατά μήκος συνθέσεις.

Οι κατά μήκος συνθέσεις του γαύρου με βάση τις μέσες συχνότητες μήκους παρουσιάζονται στις Εικ. 3.11, 3.12 και 3.13. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου (στο Θρακικό, στο Στρυμονικό κόλπο και στο Θερμαϊκό κόλπο) κυριαρχούσαν άτομα γαύρου μήκους >100 mm και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας (Εικ. 3.11). Αντίστοιχα, στο Β. Ευβοϊκό κόλπο, στο Ν. Ευβοϊκό – Σαρωνικό κόλπο και στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου, τον Ιούλιο του 1998 και τον Ιούνιο του 1999 παρατηρήθηκαν υψηλά ποσοστά γαύρου σε κλάσεις μήκους > 100 mm (Εικ. 3.12). Αντίθετα κατά τη χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας (Δεκέμβριο του 1999, Δεκέμβριο 2000 - Ιανουάριο 2001) παρατηρήθηκαν αυξημένα ποσοστά και σε μικρότερες κλάσεις μήκους (<100 mm) στον πληθυσμό του γαύρου (Εικ. 3.13). Ειδικότερα, στο Β. Ευβοϊκό κόλπο αν και παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους από 78 ως 158 mm το Δεκέμβριο του 1999, και από 58 ως 158 mm το Δεκέμβριο του 2000, οι κλάσεις μήκους <100 mm ήταν εκείνες που παρουσίαζαν τα υψηλότερα ποσοστά και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας (Εικ. 3.13). Αντίθετα, στην περιοχή του Ν. Ευβοϊκού – Σαρωνικού κόλπου αν και παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους από 58 ως 148 mm, κυριαρχούσαν οι κλάσεις μήκους >100 mm τόσο το Δεκέμβριο του 1999 όσο και το Δεκέμβριο του 2000 (Εικ. 3.13). Στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου το Δεκέμβριο του 1999 και τον Ιανουάριο του 2001 παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους από 58 ως 148 mm. Ωστόσο, το Δεκέμβριο του 1999 κυριαρχούσαν οι κλάσεις μήκους <100 mm, ενώ τον Ιανουάριο του 2001 δεν παρατηρήθηκε εμφανής κυριαρχία κάποιων κλάσεων μήκους (Εικ. 3.13).

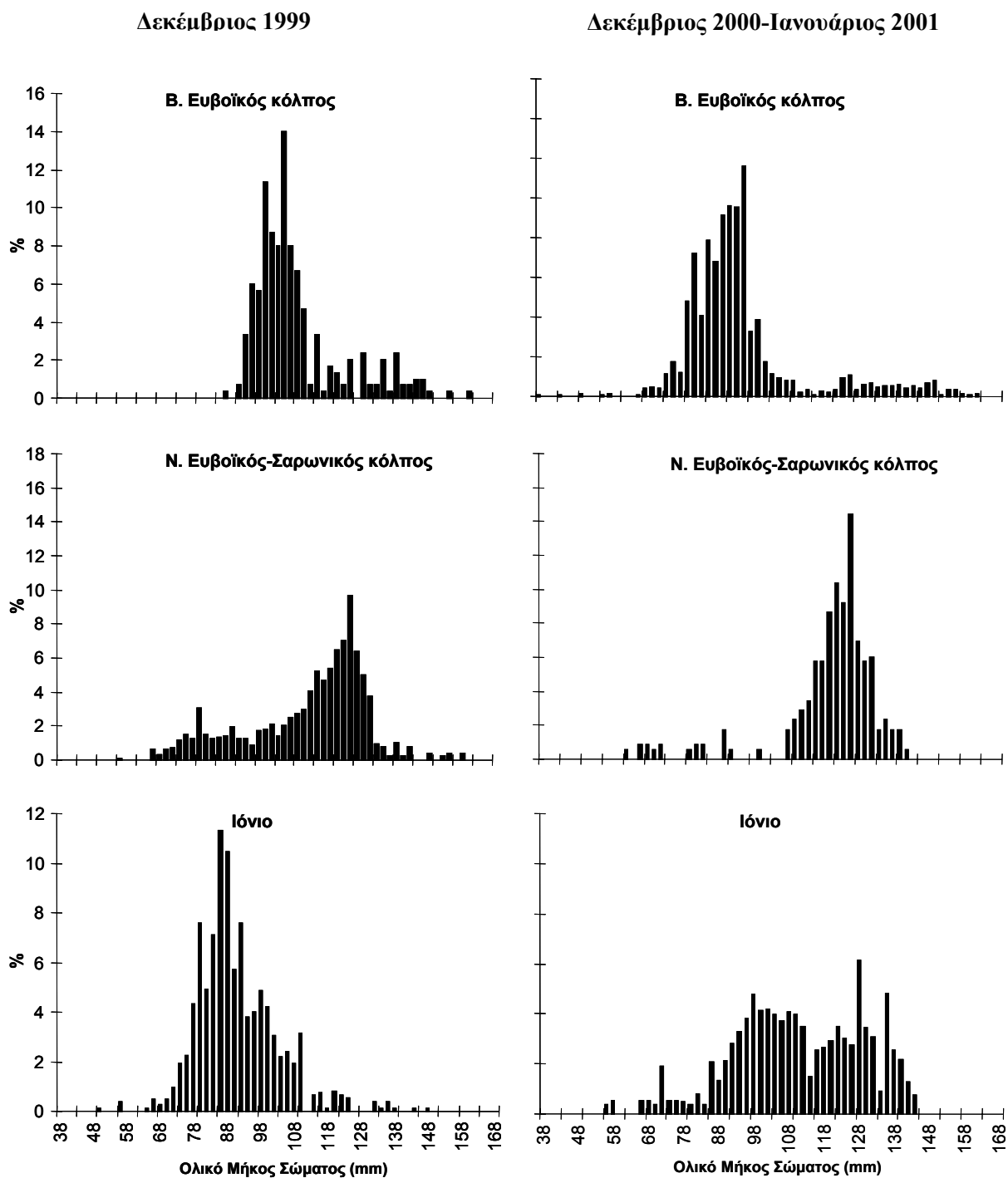
Οι κατά μήκος συνθέσεις της σαρδέλας με βάση τις μέσες συχνότητες μήκους παρουσιάζονται στις Εικ. 3.14, 3.15 και 3.16. Στην περιοχή του Θρακικού τον Ιούνιο του 1995 και τον Ιούνιο του 1996 παρατηρήθηκαν αυξημένα ποσοστά σε κλάσεις μήκους >120 mm αλλά και σε μικρότερες κλάσεις μήκους (<100 mm, Εικ. 3.14). Στον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 1995 παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους >130 mm (Εικ. 3.14). Αντίθετα, τον Ιούνιο του 1996 παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους από 57 ως 169 mm, με κυρίαρχες όμως τις κλάσεις μήκους <100 mm (Εικ. 3.14). Στο Θερμαϊκό κόλπο τόσο τον Ιούνιο του 1995 όσο και τον Ιούνιο του 1996, παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους >115 mm (Εικ. 3.14). Στο Β. Ευβοϊκό κόλπο τον Ιούλιο του 1998 παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους από 70 ως 130 mm, με κυρίαρχες τις κλάσεις μήκους <100 mm (Εικ. 3.15). Ανάλογα, τον Ιούνιο του 1999 παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους από 80 ως 160 mm, με κυρίαρχες τις κλάσεις μήκους >100 mm (Εικ. 3.15). Στο Ν. Ευβοϊκό - Σαρωνικό κόλπο τον Ιούλιο του 1998 παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους από 80 ως 160 mm, με υψηλότερα ποσοστά στις κλάσεις μήκους >100 mm (Εικ. 3.15), ενώ τον Ιούνιο του 1999 παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους από 80 ως 160 mm, με υψηλότερα ποσοστά στις κλάσεις μήκους >100 mm (Εικ. 3.15). Στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου τον Ιούλιο του 1998 παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους από 70 ως 160 mm, με υψηλότερα ποσοστά στις κλάσεις μήκους >100 mm (Εικ. 3.15). Ανάλογα τον Ιούνιο του 1999 στην περιοχή του Ιονίου παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους από 55 ως 160 mm, με υψηλότερα ποσοστά στις κλάσεις μήκους >100 mm (Εικ. 3.15). Κατά τη χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας (Δεκέμβριο του 1999, Δεκέμβριο του 2000 – Ιανουάριο του 2001) παρατηρήθηκαν κλάσεις μήκους από 90 ως 160 mm χωρίς ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις υποπεριοχές δειγματοληψίας (Εικ. 3.16).



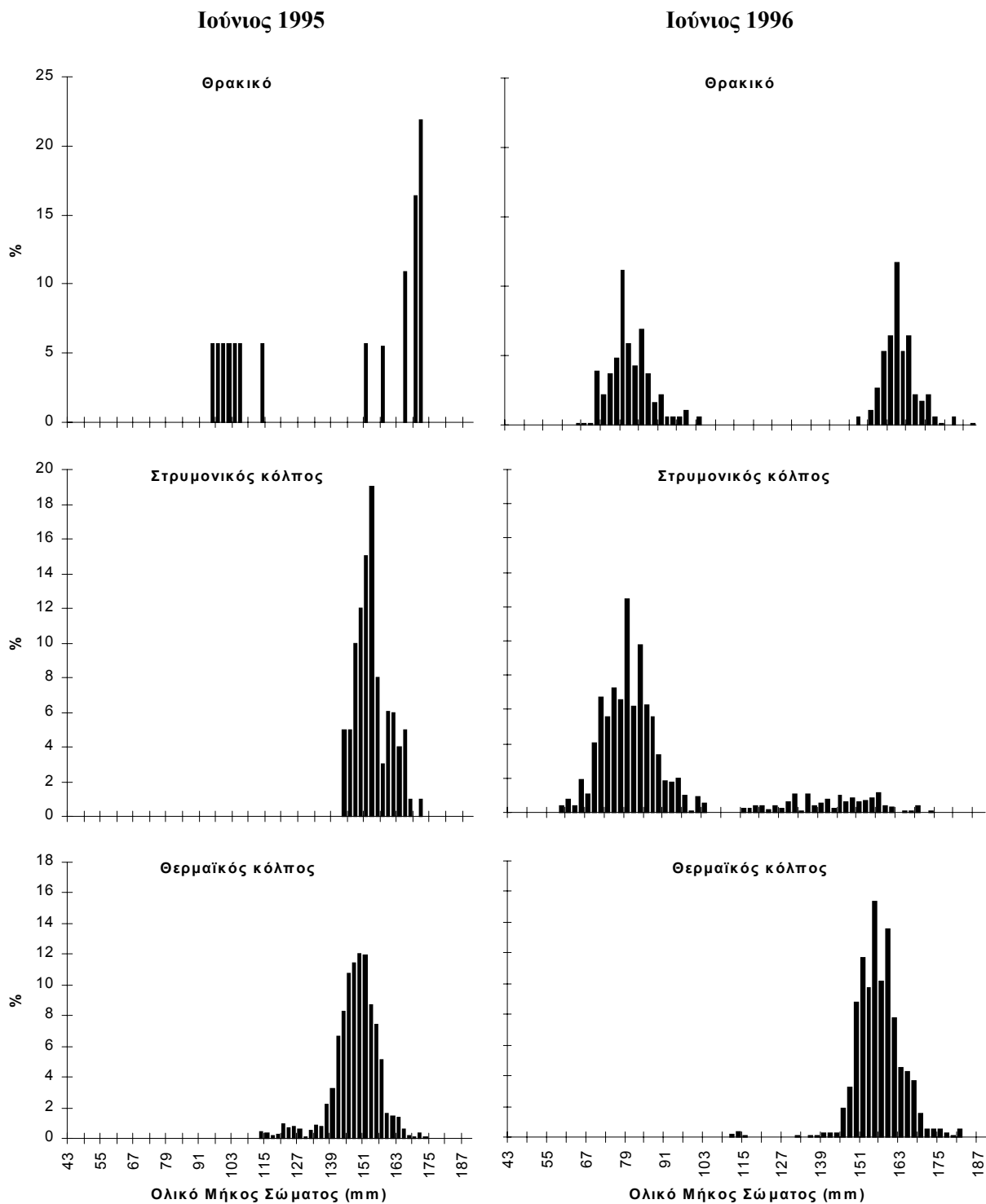
Εικόνα 3.11. Οι κατά μήκος συνθέσεις του γαύρου με βάση τις μέσες συχνότητες μήκους στο Θρακικό, στο Στρυμονικό κόλπο και στο Θερμαϊκό κόλπο, τον Ιούνιο 1995 (αριστερή στήλη) και τον Ιούνιο 1996 (δεξιά στήλη).



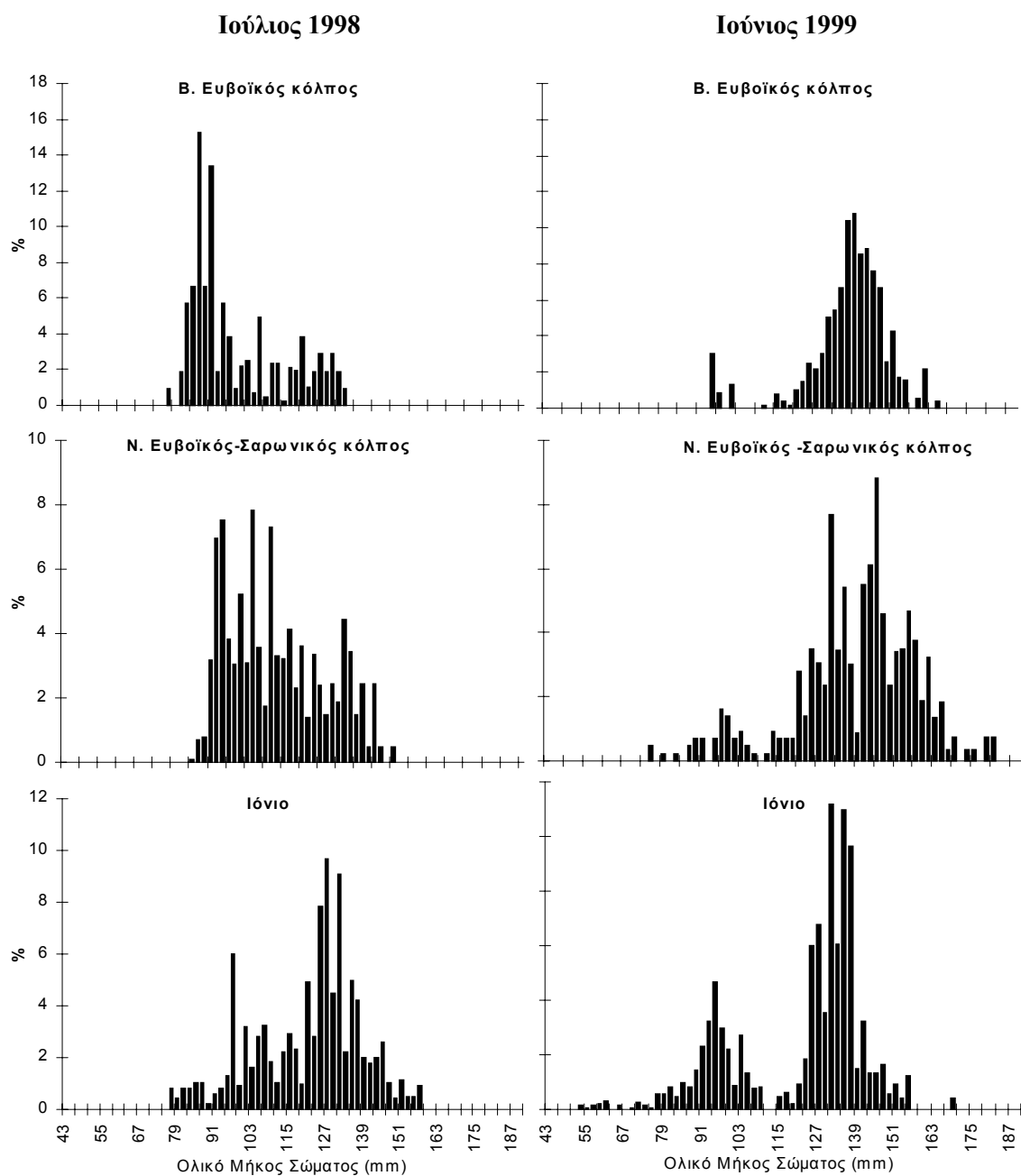
Εικόνα 3.12. Οι κατά μήκος συνθέσεις του γαύρου με βάση τις μέσες συχνότητες μήκους στο Β. Ευβοϊκό κόλπο, στο Ν. Ευβοϊκό-Σαρωνικό κόλπο και στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου, τον Ιούλιο 1998 (αριστερή στήλη) και τον Ιούνιο 1999 (δεξιά στήλη).



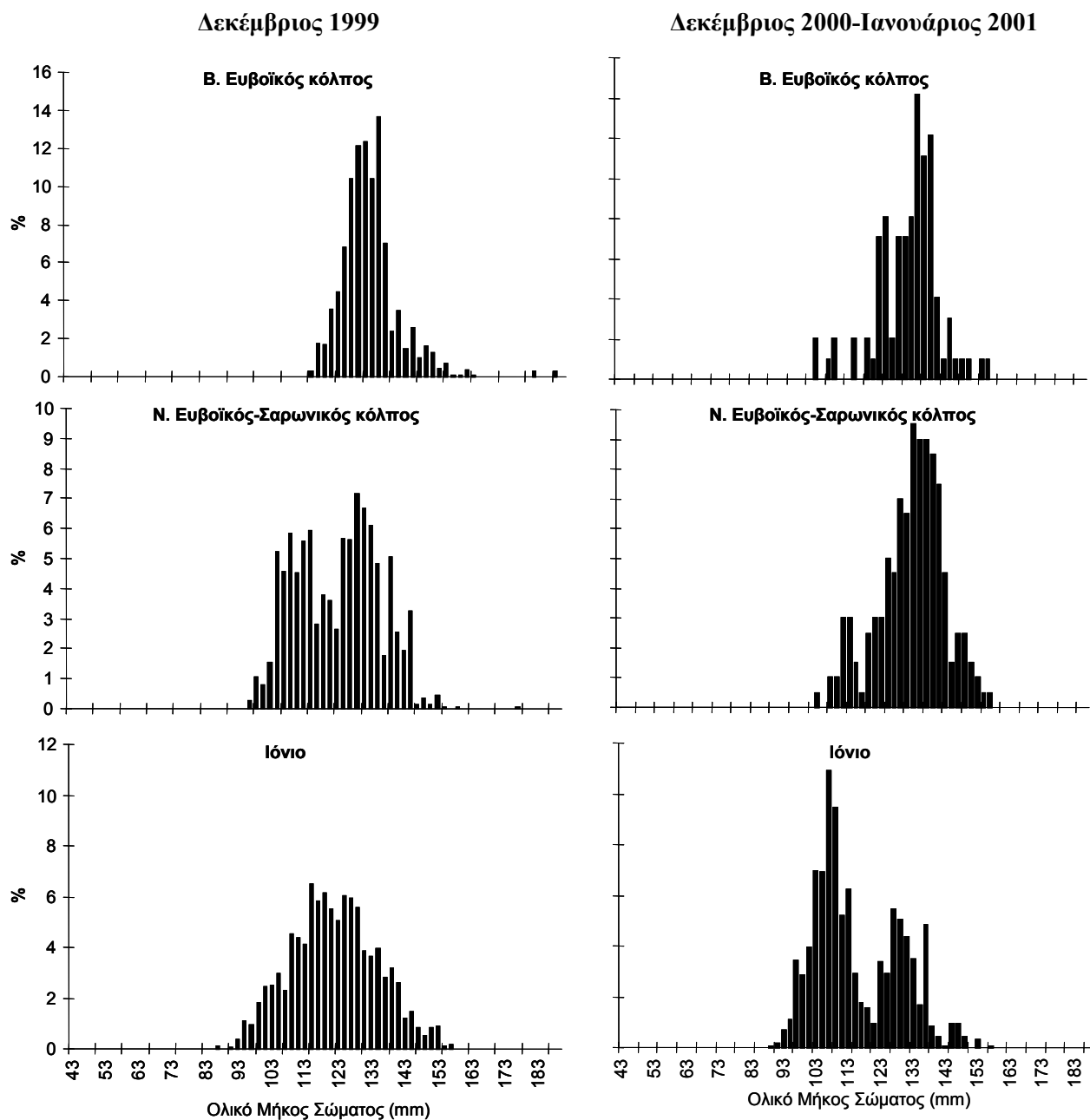
Εικόνα 3.13. Οι κατά μήκος συνθέσεις του γαύρου με βάση τις μέσες συχνότητες μήκους στο Β. Ευβοϊκό κόλπο, στο Ν. Ευβοϊκό-Σαρωνικό κόλπο και στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου, το Δεκέμβριο 1999 (αριστερή στήλη) και το Δεκέμβριο 2000- Ιανουάριο 2001 (δεξιά στήλη).



Εικόνα 3.14. Οι κατά μήκος συνθέσεις της σαρδέλας με βάση τις μέσες συχνότητες μήκους στο Θρακικό, στο Στρυμονικό κόλπο και στο Θερμαϊκό κόλπο, τον Ιούνιο 1995 (αριστερή στήλη) και τον Ιούνιο 1996 (δεξιά στήλη).



Εικόνα 3.15. Οι κατά μήκος συνθέσεις της σαρδέλας με βάση τις μέσες συχνότητες μήκους στον Β. Ευβοϊκό κόλπο, στο Ν. Ευβοϊκό – Σαρωνικό κόλπο και στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου, τον Ιούλιο 1998 (αριστερή στήλη) και τον Ιούνιο 1999 (δεξιά στήλη).

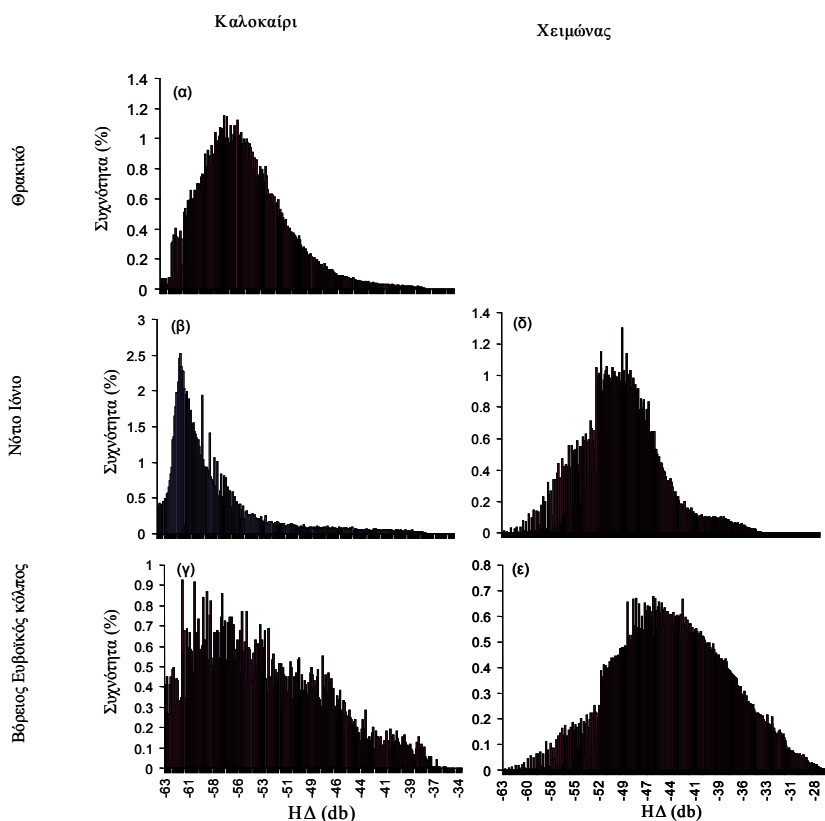


Εικόνα 3.16. Οι κατά μήκος συνθέσεις της σαρδέλας με βάση τις μέσες συχνότητες μήκους στο Β. Ευβοϊκό κόλπο, στο Ν. Ευβοϊκό –Σαρωνικό κόλπο και στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου, το Δεκέμβριο 1999 (αριστερή στήλη) και το Δεκέμβριο 2000- Ιανουάριο 2001 (δεξιά στήλη).

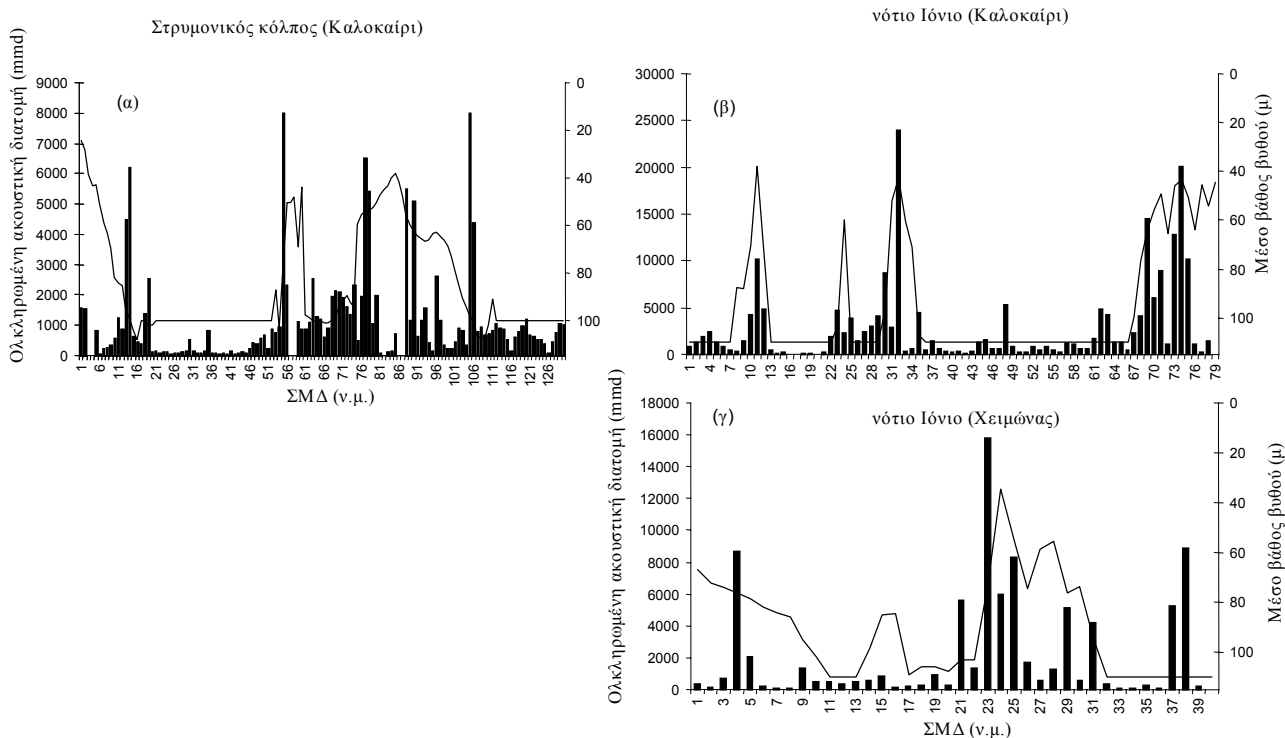
3.3.3 Διερευνητική ανάλυση

Η διερευνητική ανάλυση των ακουστικών δεδομένων έδειξε την ύπαρξη διαφορών στα ιστογράμματα συχνότητων του ηχοανακλαστικού δυναμικού ανάμεσα στις υποπεριοχές και ανάμεσα στις εποχές (Εικ. 3.17). Οι λαμβανόμενες τιμές του ηχοανακλαστικού δυναμικού προέρχονται είτε από μεμονωμένα ψάρια ή συχνότερα από συγκεντρώσεις ψαριών. Επομένως, υψηλότερες συχνότητες μεγαλύτερων τιμών ηχοανακλαστικού δυναμικού μπορεί να είναι ενδεικτικές πυκνότερων συγκεντρώσεων ψαριών (MacLennan & Simmonds 1992, Misund 1997; Reid 2000). Αυξημένη συχνότητα μεγάλων τιμών ηχοανακλαστικού δυναμικού παρατηρήθηκε σε πιο κλειστές περιοχές (κλειστοί ή ημίκλειστοι κόλποι όπως ο Β. Ευβοϊκός) το καλοκαίρι (Εικ. 3.17.α,β,γ). Η διαφοροποίηση αυτή στο πρότυπο κατανομής του ήχου μεταξύ κλειστών κόλπων (π.χ. Β. Ευβοϊκός κόλπος) και πιο ανοιχτών περιοχών (π.χ. νότιο Ιόνιο) ήταν αμβλυμένη κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Εικ. 3.17.δ,ε), όπου σε γενικές γραμμές παρατηρήθηκαν υψηλές συχνότητες μεγαλύτερων τιμών ηχοανακλαστικού δυναμικού σε όλες τις υποπεριοχές.

Τα διαγράμματα της ολοκληρωμένης ακουστικής διατομής ανά διαδοχικές ΣΜΔ κατά μήκος της πορείας του σκάφους σε κάθε υποπεριοχή και των αντίστοιχων τιμών του μέσου βάθους βυθού, φανέρωσαν την ύπαρξη ενός παρόμοιου πρότυπου κατανομής του ήχου και στις δύο εποχές (Εικ. 3.18). Ειδικότερα, τα ψάρια έτειναν να συγκεντρώνονται σε περιοχές όπου υπάρχουν απότομες αλλαγές του βάθους βυθού (απότομη κλίση βυθού).



Εικόνα 3.17. Ιστογράμματα συχνοτήτων ηχοανακλαστικού δυναμικού σε τρεις χαρακτηριστικές υπο-περιοχές το καλοκαίρι και τον χειμώνα. Η διαβάθμιση στην κλειστότητα των περιοχών είναι κατά αύξουσα σειρά (Θρακικό<Ν.Ιόνιο<Β. Ευβοϊκό κόλπο).



Εικόνα 3.18. Ολοκληρωμένη ακουστική διατομή (κολώνες) ανά ΣΜΔ (ν.μ.) και το μέσο βάθος βυθού (γραμμή) κατά μήκος της πορείας της δειγματοληψίας, το καλοκαίρι και το χειμώνα. Η τιμή βάθους βυθού 110 είναι ενδεικτική για βάθη βυθού ≥ 110 ν.μ. ναυτικά μίλια.

3.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παρούσα διατριβή έδειξε την ύπαρξη μη ομοιόμορφης κατανομής των συγκεντρώσεων του γαύρου και της σαρδέλας ανά περιοχή. Ειδικότερα, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης υψηλές συγκεντρώσεις γαύρου και σαρδέλας καταγράφηκαν στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου μεταξύ της Θάσου και της Σαμοθράκης και μεταξύ της Θάσου και της χερσονήσου του Άθου. Παράλληλα, στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο οι δειγματοληψίες επέτρεψαν την σύγκριση της κατανομής των δυο ειδών σε δυο διαφορετικές εποχές, ανάμεσα στο Καλοκαίρι και το Χειμώνα. Αναλυτικότερα, στο Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο παρατηρήθηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις σαρδέλας και γαύρου και στις δύο εποχές δειγματοληψίας. Ωστόσο, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του γαύρου καταγράφηκαν κυρίως στο βόρειο τμήμα του κόλπου, ιδιαίτερα το χειμώνα, ενώ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις της σαρδέλας κυρίως στο κεντρικό και νότιο τμήμα του κόλπου. Ανάλογα, στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των δύο ειδών περιορίζονταν κυρίως στο βόρειο τμήμα του κόλπου.

Στο Σαρωνικό κόλπο δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές μεταβολές στις δύο εποχές δειγματοληψίας και οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίστηκαν κυρίως στην περιοχή μεταξύ της Αίγινας και της Σαλαμίνας και στο βορειοανατολικό τμήμα του κόλπου. Ο Σαρωνικός κόλπος συνιστά ιδιαίτερη περίπτωση, καθώς παρατηρήθηκε έντονη διαφοροποίηση στις συγκεντρώσεις και των δύο ειδών μεταξύ του ανατολικού και του δυτικού τμήματος του κόλπου, που οριοθετείται από το σύμπλεγμα των νησιών Αίγινα-Αγκίστρι-Πόρος. Ειδικότερα, το ανατολικό τμήμα του κόλπου χαρακτηρίζεται από μεγάλα βάθη και πολλές μηδενικές τιμές όσον αφορά τις συγκεντρώσεις του γαύρου και της σαρδέλας, σε αντίθεση με το δυτικό τμήμα του κόλπου. Η παραπάνω παρατήρηση είναι πιθανό να καθιστά τον Σαρωνικό κόλπο μη αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μελέτης της κατανομής των δύο ειδών και των παραγόντων που την επηρεάζουν.

Στον Πατραϊκό κόλπο παρατηρήθηκε πιο εκτεταμένη κατανομή της σαρδέλας και του γαύρου το Χειμώνα σε σχέση με το Καλοκαίρι. Στην περιοχή του Ιονίου (βόρειο και νότιο Ιόνιο), η κατανομή της σαρδέλας εντοπιζόταν κυρίως στο εσωτερικό τμήμα του και ιδιαίτερα κατά την χειμερινή περίοδο, σε άμεση γειτνίαση με τις ακτές της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Η κατανομή του γαύρου παρουσίασε μεγαλύτερη διαφοροποίηση στις δύο εποχές δειγματοληψίας. Το Καλοκαίρι και κυρίως το 1998, μεγάλες συγκεντρώσεις γαύρου εντοπίζονταν στο εξωτερικό τμήμα του Ιονίου (περιφερειακά των νησιών της Λευκάδας, Κεφαλονιάς και της Ζακύνθου). Αντίθετα, το Χειμώνα ο γαύρος παρουσίασε αυξημένες συγκεντρώσεις σε άμεση γειτνίαση με τις ακτές της ηπειρωτικής χώρας (στην περιοχή μεταξύ της Ζακύνθου και των ακτών της Δυτικής Πελοποννήσου και στην περιοχή μεταξύ της Λευκάδας και των ακτών της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας).

Σε γενικές γραμμές, παρατηρήθηκε ότι η κατανομή και οι αυξημένες συγκεντρώσεις των δύο ειδών συνδέονταν με περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας. Τέτοιες περιοχές συνιστούν οι ρηχές παράκτιες περιοχές του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου, το βόρειο τμήμα του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου και ο κόλπος των Πατρών. Επιπλέον η συγκριτική εξέταση της κατανομής του γαύρου και της σαρδέλας στις δύο εποχές δειγματοληψίας έδειξε μια τάση εποχιακής διαφοροποίησης στην κατανομή των δυο ειδών. Ειδικότερα, το Χειμώνα παρατηρήθηκε μία τάση για αυξημένες συγκεντρώσεις ψαριών πλησιέστερα στις ακτές της ηπειρωτικής χώρας (βόρειο τμήμα του Ν. Ευβοϊκού κόλπου, κόλπος Ναυπάκτου και περιοχή μεταξύ Λευκάδας και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας).

Εποχιακή διαφοροποίηση παρατηρήθηκε επίσης στις κατά μήκος συνθέσεις του γαύρου και της σαρδέλας όπως αυτές υπολογίστηκαν με βάση τις μέσες συχνότητες μήκους από την αλιεία με πελαγική τράτα. Τα ποσοστά των μικρότερων κλάσεων μήκους ήταν αυξημένα για το γαύρο το χειμώνα και για τη σαρδέλα το καλοκαίρι, γεγονός που συνδέεται με την βιολογία των

δύο ειδών. Ο γαύρος αναπαράγεται στις ελληνικές θάλασσες από το Μάιο ως το Σεπτέμβριο (Somarakis 1999; Anonymous 2000; Somarakis *et al.*, 2000) και η σαρδέλα από το Νοέμβριο ως το Μάρτιο (Anonymous 2001; Ganias *et al.*, 2001a). Επομένως η θερινή περίοδος δειγματοληψίας συνιστά (α) την αναπαραγωγική περίοδο για τον γαύρο, ο πληθυσμός του οποίου απαρτίζεται κυρίως από μεγάλα άτομα (>100 mm), και (β) την περίοδο μετά την στρατολόγηση για την σαρδέλα, ο πληθυσμός της οποίας απαρτίζεται από μικρά και μεγάλα άτομα. Αντίστοιχα, η χειμερινή περίοδος δειγματοληψίας συνιστά (α) την αναπαραγωγική περίοδο για την σαρδέλα, ο πληθυσμός της οποίας απαρτίζεται κυρίως από μεγάλα άτομα (> 100 mm), και (β) την περίοδο μετά την στρατολόγηση για το γαύρο, ο πληθυσμός του οποίου απαρτίζεται από μικρά και μεγάλα άτομα.

Επιπλέον, διαφοροποίηση στα ποσοστά συμμετοχής των διαφόρων κλάσεων μήκους παρατηρήθηκε ανάμεσα στις υποπεριοχές. Για παράδειγμα, στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου οι μικρές κλάσεις μήκους της σαρδέλας (100 mm) εμφανίστηκαν κυρίως στο Θρακικό (τον Ιούνιο του 1995 & του 1996) και στο Στρυμονικό κόλπο (τον Ιούνιο του 1996). Ανάλογα, στο Ν. Ευβοϊκό – Σαρωνικό κόλπο παρατηρήθηκαν μικρά και μεγάλα άτομα γαύρου το Δεκέμβριο του 1999 και το Δεκέμβριο του 2000, ωστόσο τα μεγάλα άτομα (>100 mm) ήταν αυτά που παρουσίαζαν τα υψηλότερα ποσοστά. Αντίθετα στην περιοχή του Ιονίου και του Β. Ευβοϊκού κόλπου επικρατούσαν τα μικρότερα άτομα γαύρου (<100 mm).

Τα αποτελέσματα της διερευνητικής προσέγγισης υπαινίσσονται την επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής στην κατανομή των μικρών πελαγικών. Αναλυτικότερα, η διερευνητική ανάλυση για το σύνολο των μικρών πελαγικών έδειξε ότι το καλοκαίρι η συχνότητα των μεγάλων τιμών ηχοανακλαστικού δυναμικού (πυκνότερες συγκεντρώσεις ψαριών), ήταν υψηλότερη σε υποπεριοχές με μεγαλύτερο βαθμό κλειστότητας (π.χ. ημίκλειστους ή κλειστούς κόλπους όπως ο Β. Ευβοϊκός, ο Κορινθιακός και ο Πατραϊκός κόλπος) σε σχέση με ανοιχτές περιοχές (π.χ. το Θρακικό και το νότιο Ιόνιο). Η διαφοροποίηση αυτή μεταξύ των υποπεριοχών ήταν λιγότερο έντονη το χειμώνα, όταν υψηλές συχνότητες μεγάλων τιμών ηχοανακλαστικού δυναμικού παρατηρήθηκαν σε όλες τις υποπεριοχές.

Ένας άλλος παράγοντας που συνδέεται με την τοπογραφία της περιοχής μελέτης και φάνηκε ότι επιδρά στην κατανομή των ψαριών είναι η μεταβολή του μέσου βάρους. Σύμφωνα με τη διερευνητική ανάλυση τα ψάρια έτειναν να συγκεντρώνονται σε περιοχές με απότομες αλλαγές του βάρους (απότομη κλίση βυθού) και στις δύο εποχές. Ο Mais (1977) αναφέρει επίσης ότι το είδος *Engraulis mordax* συχνά απαντά σε περιοχές με απότομες μεταβολές του βάρους. Αυτού του είδους η συμπεριφορά των ψαριών φαίνεται ότι σχετίζεται με την αύξηση της ταχύτητας των ρευμάτων και την έντονη ανάδευση, συνθήκες που επικρατούν σε αυτές τις περιοχές και ευνοούν την παραγωγικότητα και τη θήρευση (Freon & Misund 1999).

Συνοψίζοντας, οι χάρτες κατανομής του γαύρου και της σαρδέλας αποτέλεσαν πηγή πολύτιμης πληροφορίας καθώς παρείχαν μια γρήγορη εποπτική εικόνα της κατανομής των ψαριών που προΐδεάζουν για πιθανές συσχετίσεις με την κυκλοφορία των νερών στην περιοχή, με τις αβιοτικές (π.χ. θερμοκρασία και αλατότητα) και τις βιοτικές παραμέτρους (π.χ. πρωτογενής παραγωγικότητα και ζωοπλαγκτόν) αλλά και με την τοπογραφία της περιοχής. Η τελευταία παρατήρηση ενισχύθηκε από τα αποτελέσματα της διερευνητικής προσέγγισης των ακουστικών δεδομένων του συνόλου των μικρών πελαγικών. Κρίθηκε έτσι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος η περαιτέρω εξέταση της επίδραση της τοπογραφίας στην κατανομή και στις δομές των μικρών πελαγικών στα πλαίσια της παρούσας διατριβής καθώς οι σχετικές μελέτες σε θαλάσσιες περιοχές με πολύπλοκη τοπογραφία (όπως οι Ελληνικές θάλασσες) είναι περιορισμένες (π.χ. Simard *et al.*, 1993; Maravelias *et al.*, 1997).

4. Δομή και αντικείμενο της εργασίας.

Οι χάρτες κατανομής, η κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού, τα ιστογράμματα κατανομής του ήχου σε σχέση με ορισμένα βασικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά όπως το βάθος βυθού, έδωσαν μια ικανοποιητική πρώτη εικόνα των χαρακτηριστικών των συγκεντρώσεων του γαύρου και της σαρδέλας στις Ελληνικές Θάλασσες. Τα ερωτήματα που προκύπτουν στη συνέχεια αφορούν το πώς οργανώνονται οι συγκεντρώσεις των ψαριών στο χώρο (π.χ. ομοιογενείς ή ετερογενείς συγκεντρώσεις), αν εμφανίζουν κάποιο συγκεκριμένο δομικό πρότυπο στο χώρο (π.χ. μικρής ή μεγάλης κλίμακας χωρικές δομές), αν αυτό το πρότυπο συνδέεται με κάποιους εξωγενείς παράγοντες (π.χ. την τοπογραφία της περιοχής), ποιοι είναι οι αβιοτικοί και οι βιοτικές παράμετροι που καθορίζουν το ενδιαίτημα των ειδών, πώς αυτοί επηρεάζουν την βιομάζα των ψαριών, αν διαφοροποιούνται εποχιακά και με βάση την κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού και τέλος αν υπάρχει κάποιος παράγοντας κλειδί και ποιος είναι αυτός.

Μελέτες που αφορούν τέτοιου είδους ερωτήματα δεν έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν στις Ελληνικές Θάλασσες για το γαύρο και τη σαρδέλα, εκτός από την προσέγγιση των Maravelias *et al.*, (1997) που περιελάμβανε την μελέτη των χωρικών δομών, του τρόπου δηλ. οργάνωσης των συγκεντρώσεων των ψαριών στο χώρο, στην περιοχή του Στρυμονικού κόλπου. Προσεγγίσεις που αφορούν στη μελέτη των χωρικών δομών έχουν πραγματοποιηθεί για τα συγκεκριμένα είδη στη Δυτική Μεσόγειο (Freon & Misund 1999 και αναφορές), για το *Engraulis capensis* και το *Sardinops sagax* στη Νότια Αφρική (Barange & Hampton 1997) και για το *Sardinella aurita* στην Καραϊβική (Paramo & Roa 2002). Επίσης, δημοσιευμένες εργασίες που αφορούν στη σχέση των μικρών πελαγικών με περιβαλλοντικές παραμέτρους αναφέρονται για το *Sardina pilchardus* στην Αδριατική (Zupanovic 1965, Skrivanic & Zavodnic 1973), το *Engraulis encrasicolus* και το *Sardina pilchardus pilchardus* στο Βισκαϊκό κόλπο (Scalabrin & Masse 1993, Motos *et al.*, 1996, Koutsikopoulos & Le Cann 1996), το *Sardinops sagax* και το *Engraulis ringens* στη βόρεια Χιλή (Yanez *et al.*, 1995, Castillo *et al.*, 1996), και το *Sardinella aurita* στην Καραϊβική (Paramo & Roa 2002).

Η Ανατολική Μεσόγειος, και ειδικότερα οι Ελληνικές θάλασσες, το Βόρειο Αιγαίο και κυρίως το Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο, είναι θαλάσσιες περιοχές που χαρακτηρίζονται από έντονο μορφολογικό ανάγλυφο (Stergiou *et al.*, 1997a). Παρουσιάζει έτσι ιδιαίτερο ενδιαφέρον το πώς αντικατοπτρίζεται η πολυπλοκότητα του γεωγραφικού ανάγλυφου και η ετερογένεια της περιοχής μελέτης στις χωρικές δομές και ποια είναι η σχέση με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που καθορίζουν το ενδιαίτημα αυτών των ειδών. Η διαγραμματική απεικόνιση της προσέγγισης που ακολούθησε η παρούσα διατριβή για την μελέτη των παραγόντων που επιδρούν στην οριζόντια κατανομή των μικρών πελαγικών στις Ελληνικές Θάλασσες παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.1.

Είναι γνωστό, ότι το να αγνοηθεί το πρότυπο με το οποίο κατανέμονται οι πληθυσμοί των μικρών πελαγικών ειδών στο χώρο μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες εκτιμήσεις βιομάζας και διαχειριστικές επιλογές (Freon *et al.*, 1996; Freon & Misund 1999). Τέτοιου είδους πληροφορία είναι απαραίτητη για την ανάλυση προβλημάτων που αφορούν στην κατανομή της αλιευτικής προσπάθειας (Beverton & Holt 1957), για το σχεδιασμό και την πυκνότητα της δειγματοληψίας σε αλιευτικές έρευνες, τη μη μεροληπτική εκτίμηση της βιομάζας των ψαριών και περαιτέρω για τη λήψη διαχειριστικών επιλογών. Επιπλέον η γνώση του ενδιαίτηματος των ειδών, το πώς αυτό διαφοροποιείται ανά υποπεριοχή ή εποχιακά, συνιστά πολύτιμη βιολογική και διαχειριστική πληροφορία για το γαύρο και τη σαρδέλα, που συνιστούν εμπορικά είδη, ιδιαίτερης οικονομικής σημασίας (Stergiou *et al.*, 1997a).

Η κυριότερη δυσκολία που παρουσίασε η ανάλυση των ακουστικών δεδομένων για την εκμείωση της παραπάνω πληροφορίας ήταν η αναπόφευκτη εφαρμογή πολύπλοκων στατιστικών μοντέλων. Ο σκοπός ενός στατιστικού μοντέλου είναι να παρέχει τη μαθηματική βάση για ερμηνεία, ελέγχει την «εφαρμογή» (δηλ. αν οι παράμετροι που χρησιμοποιεί το μοντέλο ερμηνεύουν επαρκώς την εξαρτημένη μεταβλητή), την «ένταση» της σχέσης (δηλ. αν η σχέση

ανάμεσα στην εξαρτημένη και την ανεξάρτητη μεταβλητή είναι σημαντική) και επιβεβαιώνει την συνεισφορά και το ρόλο της κάθε μεταβλητής (Guisan *et al.*, 2002). Η στατιστική δεν αποτελεί πανάκεια, ωστόσο συνιστά πολύτιμο εργαλείο για τη διερεύνηση και την αποκάλυψη της βιολογικής πληροφορίας που υφίσταται ήδη στα αλιευτικά δεδομένα και την οποία συχνά οι ψαράδες λόγω συσσωρευμένης εμπειρίας πολλών γενεών ήδη γνωρίζουν και εκμεταλλεύονται.

Αναλυτικότερα, επειδή τα ακουστικά δεδομένα παρουσιάζουν υψηλό βαθμό αυτοσυσχέτισης, δηλ. οι τιμές των δεδομένων αυτών που καταγράφονται σε μικρή απόσταση τείνουν να μοιάζουν περισσότερο μεταξύ τους σε σχέση με τις τιμές των δεδομένων που καταγράφονται σε μεγαλύτερη απόσταση, η ανάλυσή τους με τις κλασικές στατιστικές μεθόδους (π.χ. γραμμική παλινδρόμηση) καθίσταται προβληματική. Έτσι η μελέτη των χωρικών δομών δηλ. το πώς οργανώνονται οι συγκεντρώσεις των ψαριών στο χώρο καθιστά αναγκαία την εφαρμογή της γεωστατιστικής ανάλυσης (Matheron 1963), η οποία συνιστάται για τέτοιου είδους δεδομένα και προσφέρει πληροφορίες για το δομικό πρότυπο που ακολουθούν οι οργανισμοί στο χώρο. Η γεωστατιστική βρήκε αρχικά εκτεταμένη εφαρμογή στη γεωλογική επιστήμη, ωστόσο την τελευταία δεκαετία εφαρμόζεται και σε ακουστικά αλιευτικά δεδομένα (Simard & Gerlotto 1990; Armstrong *et al.*, 1992; Petitgas 1993a; Maravelias *et al.*, 1996; Barange & Hampton 1997). Η εφαρμογή της στην παρούσα διατριβή συνάντησε ιδιαίτερες δυσκολίες καθώς έπρεπε να ληφθεί υπόψη η πολυπλοκότητα της τοπογραφίας των Ελληνικών Θαλασσών, πρόβλημα που ξεπεράστηκε με τον κερματισμό της συνολικής περιοχής σε υποπεριοχές. Ωστόσο, εκτεταμένη αναφορά στην γεωστατιστική ανάλυση και τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της παρατίθεται στο επόμενο κεφάλαιο (κεφ. 5).

Είναι γνωστό ότι η κατανομή των ψαριών στο χώρο πραγματοποιείται συναρτήσει δύο παραγόντων: α) του τρόπου με τον οποίο τα ψάρια καταλαμβάνουν τον διαθέσιμο χώρο και β) της επίδρασης της γεωμετρίας του ενδιαιτήματος (Petitgas 1993a). Δεδομένης λοιπόν της πολύπλοκης μορφολογίας των Ελληνικών Θαλασσών, η μελέτη της επίδρασης της τοπογραφίας της περιοχής στο χωρικό πρότυπο οργάνωσης του γαύρου και της σαρδέλας αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Στην περίπτωση αυτή οι βασικές παράμετροι που προέκυψαν από την γεωστατιστική ανάλυση, καθώς και μια νέα παράμετρος της οποίας η εισαγωγή κρίθηκε απαραίτητη, εξετάστηκαν ως προς τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (π.χ. το βάθος βυθού, την έκταση και την κλειστότητα περιοχής) μέσω της ανάλυσης της πολλαπλής παλινδρόμησης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 6.

Η θερμοκρασία, η αλατότητα, η παραγωγικότητα είναι οι σημαντικότεροι περιβαλλοντικοί παράγοντες, που κατά το μάλλον ή ήττον καθορίζουν το ενδιαιτήμα των μικρών πελαγικών ψαριών. Η ταυτόχρονη ακουστική δειγματοληψία με τη δειγματοληψία των αβιοτικών (δεδομένα CTD) και βιοτικών δεδομένων (δεδομένα CTD και ζωοπλαγκτόν) επέτρεψε τη μελέτη της επίδρασης των παραπάνω παραμέτρων καθώς και του βάθους του βυθού στη βιομάζα του γαύρου και της σαρδέλας. Επιπλέον, λήφθηκε υπόψη η στρωμάτωση της κολώνας του νερού κατά τη θερινή περίοδο δειγματοληψίας (π.χ. η έκταση του κάθε στρώματος, η μέση θερμοκρασία και η μέση αλατότητα του κάθε στρώματος).

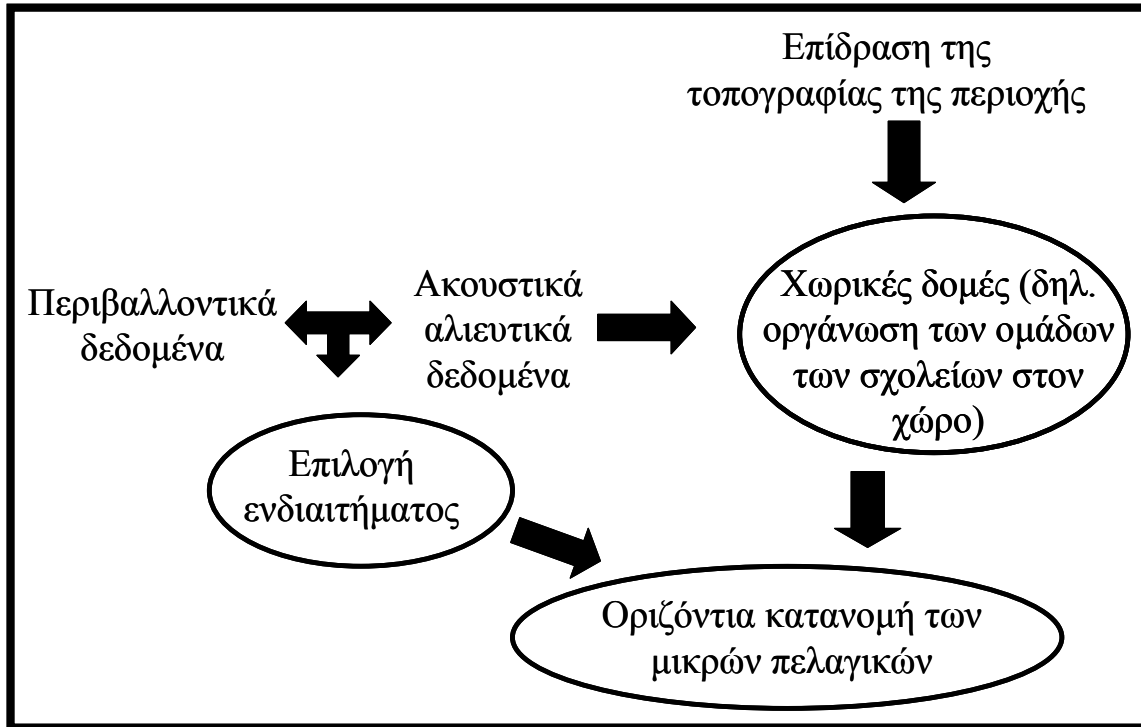
Ωστόσο, καθώς οι συνθήκες στη θάλασσα μεταβάλλονται από χρονιά σε χρονιά, είναι μάλλον απίθανο η κατανομή των ψαριών να έχει πάντα την ίδια ποσοτική σχέση με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Οι σχέσεις είναι λοιπόν αναμενόμενο να είναι μη γραμμικές ή παραμετρικές. Συνεπώς, οι συνήθεις μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης (π.χ. ανάλυση γραμμικής ή πολλαπλής παλινδρόμησης) συχνά αποβαίνουν ανεπαρκείς στην ανίχνευση και στην ποσοτικοποίηση της περιβαλλοντικής επίδρασης. Κρίθηκε έτσι ορθότερη η χρήση δύο μη παραμετρικών μεθόδων (α) της εφαρμογής των αθροιστικών συναρτήσεων της δειγματοληπτικής κατανομής (cumulative distribution functions- CDFs) (Perry & Smith 1994, Swain & Kramer 1994) και (β) της εφαρμογής των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων (Generalized Additive Models-GAMs, Hastie & Tibshirani 1990).

Η εφαρμογή των CDFs (κεφ. 7) παρέχει μια αντικειμενική μέθοδο εκτίμησης του ποσοστού του πληθυσμού του γαύρου ή της σαρδέλας που υπάρχει σε κάθε εύρος τιμών μιας

περιβαλλοντικής παραμέτρου (εντός του εύρους των μετρούμενων τιμών της παραμέτρου). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να διαπιστωθεί αν τα ψάρια τείνουν να κατανέμονται τυχαία στις διάφορες τιμές π.χ. της θερμοκρασίας ή αν τείνουν να συγκεντρώνονται στις μεγαλύτερες ή στις μικρότερες τιμές. Ωστόσο, με την ανάλυση των CDFs μόνο υποθέσεις μπορούν να γίνουν όσον αφορά τη σχετική σημασία των περιβαλλοντικών παραμέτρων που εξετάστηκαν και επιπλέον δεν παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την μορφή της σχέσης ανάμεσα στην βιομάζα των ψαριών και στις περιβαλλοντικές παραμέτρους. Απάντηση σε τέτοιου είδους ερωτήματα στοχεύει να δώσει η παρούσα διατριβή με την εφαρμογή των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων (Generalized Additive Models - GAMs).

Τα GAMs (κεφ. 8) είναι χρήσιμα (α) όταν η σχέση ανάμεσα στις μεταβλητές αναμένεται ιδιαίτερα πολύπλοκη και όχι εύκολο να περιγραφεί από τα συνήθη γραμμικά και μη γραμμικά μοντέλα, (β) όταν δεν υπάρχει κάποιος α priori λόγος για τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένου μοντέλου και (γ) θέλουμε τα ίδια τα δεδομένα να προτείνουν την κατάλληλη συνάρτηση (Hastie & Tibshirani 1986, Hastie & Tibshirani 1990). Στα GAMs εφαρμόζεται μια εξομαλυσμένη σχέση ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες μεταβλητές (π.χ. η θερμοκρασία του νερού και η βιομάζα των ψαριών) μέσω ενός διαγράμματος σημείων (scatterplot). Η χρήση των GAMs περιορίστηκε στην ερμηνεία των οικολογικών διεργασιών που διέπουν τα πρότυπα κατανομής του γαύρου και της σαρδέλας.

Είναι γνωστό ότι οι παράγοντες (βιοτικοί και αβιοτικοί) που χαρακτηρίζουν το ενδιαίτημα ενός οργανισμού συνήθως συνδέονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο που καθίσταται δύσκολος ο εντοπισμός ενός μόνο παράγοντα-κλειδιού. Δεδομένου και της πολύπλοκης μορφολογίας των Ελληνικών Θαλασσών είναι πολύ πιθανό να μην υπάρχει ένας μόνο παράγοντας-κλειδί που διέπει το ενδιαίτημα των μικρών πελαγικών, αλλά ένας συνδυασμός παραγόντων που αλληλεπιδρούν και τελικά οδηγούν σε αντίστοιχη ποικιλομορφία στον τρόπο με τον οποίο οργανώνονται οι συγκεντρώσεις των μικρών πελαγικών στο χώρο.



Εικόνα 4.1. Διαγραμματική απεικόνιση της προσέγγισης που ακολουθήθηκε για την μελέτη των παραγόντων που επιδρούν στην οριζόντια κατανομή των μικρών πελαγικών στις Ελληνικές Θάλασσες.

5. Μελέτη των χωρικών δομών των μικρών πελαγικών

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνέχεια ή μη, της αφθονίας των οργανισμών στο χώρο αποτελεί κοινό φαινόμενο στην οικολογία. Όσοι ερευνητές έχουν εμπειρία πεδίου γνωρίζουν ότι οι οργανισμοί στη φύση δεν κατανομούνται ομοιόμορφα ή τυχαία. Οι φυσικές διεργασίες μεγάλης κλίμακας (π.χ. γεωμορφολογικές διεργασίες στην ξηρά, ρεύματα και άνεμοι στο υγρό περιβάλλον) που αποτελούν τα πρωταρχικά δομικά συστατικά του φυσικού περιβάλλοντος μέσω μεταφοράς ενέργειας προκαλούν τόσο την διαβάθμιση όσο και την ανομοιόμορφη κατανομή άλλων παραμέτρων (π.χ. της θερμοκρασίας και της αλατότητας). Αυτές οι μεγάλης κλίμακας δομές επάγουν τον σχηματισμό ανάλογης ετερογένειας στην κατανομή των βιολογικών συστημάτων, τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Η ύπαρξη ετερογένειας στο χώρο είναι λειτουργικής σημασίας για τα οικοσυστήματα και όχι το αποτέλεσμα τυχαιότητας ή «θορύβου». Ένα θεωρητικό ομοιογενές οικοσύστημα δεν είναι λειτουργικό καθώς η ομοιογένεια καταργεί την ποικιλία των ενδιαιτημάτων (Legendre 1993). Καθίσταται έτσι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος η μελέτη της ετερογένειας του οικοσυστήματος και πώς επηρεάζει τις χωρικές δομές των οργανισμών, δηλ. το πώς οργανώνονται οι οργανισμοί στο χώρο.

Τα μικρά πελαγικά οργανώνονται σε χωρικές δομές, το εύρος των οποίων μπορεί να ποικίλλει από μερικά μέτρα (π.χ. τα σχολεία) ως μερικά χιλιόμετρα (π.χ. ομάδες σχολείων), ωστόσο συνήθως με τον όρο χωρικές δομές αναφερόμαστε σε συγκεντρώσεις ψαριών που ξεπερνούν το μέγεθος του ενός σχολείου (Reid 2000). Το να αγνοήσει κάποιος το πρότυπο με το οποίο κατανομούνται οι πληθυσμοί των μικρών πελαγικών ειδών ψαριών στο χώρο μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες εκτιμήσεις βιομάζας και διαχειριστικές επιλογές (Freon *et al.*, 1996; Freon & Misund 1999) καθώς τέτοιου είδους πληροφορία είναι απαραίτητη για την ανάλυση προβλημάτων που αφορούν στην κατανομή της αλιευτικής προσπάθειας (Beverton & Holt 1957), για το σχεδιασμό και την πυκνότητα της δειγματοληψίας σε αλιευτικές έρευνες, τη μη μεροληπτική εκτίμηση της βιομάζας των ψαριών και περαιτέρω την λήψη διαχειριστικών επιλογών.

Επιπλέον σημαντικά χαρακτηριστικά της βιολογίας των ειδών μπορούν λόγω έλλειψης αυτού του είδους της γνώσης να αγνοηθούν και να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα για τον πληθυσμό. Οι ακουστικές μέθοδοι πλεονεκτούν γιατί επιτρέπουν τη συνεχή καταγραφή της αφθονίας των μικρών πελαγικών ειδών. Το γεγονός αυτό τις καθιστά ιδανικές για την μελέτη της κατανομής των ειδών στο χώρο και πώς αυτή αλλάζει στο χρόνο. Ταυτόχρονα όμως εξαιτίας της αυτοσυσχέτισης¹ που παρουσιάζουν αυτού του είδους τα δεδομένα, η ανάλυσή τους με τις κλασικές στατιστικές μεθόδους καθίσταται προβληματική. Αντίθετα η γεωστατιστική ανάλυση (Matheron 1963) συνιστάται για τέτοιου είδους δεδομένα και έχει εφαρμοστεί επιτυχημένα στο παρελθόν σε ακουστικά αλιευτικά δεδομένα (Simard & Gerlotto 1990; Armstrong *et al.*, 1992; Petitgas 1993a; Maravelias *et al.*, 1996; Barange & Hampton 1997).

5.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.

Η γεωστατιστική θεωρία αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1960 για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της γεωλογίας και της εξόρυξης μεταλλευμάτων, των μαθηματικών και της στατιστικής παρέχοντας τεχνικές με τις οποίες είναι δυνατή η ανάλυση και η πρόβλεψη των τιμών μιας μεταβλητής με βάση τον τρόπο που κατανέμεται στο χώρο (Matheron 1963). Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 ο Georges Matheron δημοσίευσε την εργασία του πάνω στη Θεωρία των χωρο-εξαρτώμενων μεταβλητών (regionalized variables). Σύμφωνα με αυτή είναι δυνατή η εκτίμηση της άγνωστης τιμής μιας μεταβλητής σε μια συγκεκριμένη θέση με βάση τις γνωστές τιμές της ίδιας μεταβλητής που βρίσκονται σε μια δεδομένη απόσταση σε σχέση με αυτή. Ο όρος regionalized variables επιλέχθηκε από τον Matheron για να περιγράψει τις μεταβλητές εκείνες που χαρακτηρίζονται από:

- A) μια τυχαία συνιστώσα, δηλ. ένα τμήμα της μεταβλητής που δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί και
- B) μια δομική συνιστώσα, δηλ. ένα τμήμα της μεταβλητής που μπορεί να μοντελοποιηθεί.

¹ αυτοσυσχετισμένη θεωρείται μια μεταβλητή όταν οι τιμές της μεταβλητής που καταγράφονται σε μικρή απόσταση τείνουν να μοιάζουν περισσότερο μεταξύ τους σε σχέση με τις τιμές της μεταβλητής που καταγράφονται σε μεγαλύτερη απόσταση.

Εξαιτίας της ευρείας εφαρμογής αυτής της θεωρίας στην γεωλογία και κυρίως στον εντοπισμό των σημαντικών οικονομικά ποσοτήτων μεταλλευμάτων είχε ως αποτέλεσμα την εισαγωγή του προθέματος «γεω-» στον όρο στατιστική και την υιοθέτηση του όρου «γεωστατιστική». Στις μέρες μας εφαρμόζεται ευρέως σε κάθε είδους δεδομένα όπου δύο παρακείμενες παρατηρήσεις είναι πιθανότερο να έχουν παραπλήσιες τιμές σε σχέση με άλλες που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από αυτές. Τέτοιου είδους δεδομένα είναι γνωστά ως αυτοσυσχετισμένα, αποτελούν δε τυπικό χαρακτηριστικό των «φυσικών πληθυσμών» (Cochran 1977). Αυτοσυσχετισμένα δεδομένα μπορούν να είναι συγκεντρώσεις ρυπαντών, ύψος βροχοπτώσεων, συστατικά του εδάφους, πυκνότητες εντόμων, κατανομές πουλιών και ψαριών. Γενικά η γεωστατιστική ανάλυση αφορά κυρίως τρία στάδια:

1. την διερευνητική ανάλυση των δεδομένων
2. τη δομική ανάλυση (διασπορογραφία-variography)
3. την πρόβλεψη των εκτιμήσεων της αφθονίας και τη χαρτογράφηση.

Το πρώτο στάδιο είναι διερευνητικό και αφορά τον εντοπισμό ακραίων τιμών και την μετατροπή των γεωγραφικών συντεταγμένων (γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος) σε πραγματικές (x,y) συντεταγμένες. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει την περιγραφή του δομικού προτύπου που παρουσιάζουν τα μικρά πελαγικά στο χώρο. Η περιγραφή της χωρικής δομής πραγματοποιείται μέσω δομικών συναρτήσεων όπως το διασπορόγραμμα (variogram), το οποίο μετράει την μέση ανομοιότητα των τιμών μεταξύ δύο σημείων δειγματοληψίας συναρτήσει της μεταξύ τους απόστασης.

Σε ένα τρίτο στάδιο εφαρμόζεται μια γραμμική μέθοδος πρόβλεψης της εκτίμησης της αφθονίας των ψαριών στο χώρο, γνωστή ως **kriging** (Matheron 1971). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα της δομικής ανάλυσης για να προβλέψει τις τιμές της αφθονίας των ψαριών σε ένα οποιοδήποτε σημείο της περιοχής.

Σε ακουστικά δεδομένα μικρών πελαγικών ειδών η γεωστατιστική προσέγγιση μπορεί να ανιχνεύσει, να μοντελοποιήσει και να εκτιμήσει τα πρότυπα που παρουσιάζει η κατανομή των μικρών πελαγικών ψαριών στο χώρο (Rossi *et al.*, 1992), ουσιαστικά δηλαδή επιτρέπει τον εντοπισμό μεγαλύτερης κλίμακας χωρικών δομών από αυτή του ενός σχολείου (Reid 2000). Η εφαρμογή των γεωστατιστικών εργαλείων στα ακουστικά αλιευτικά δεδομένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μελέτη των χωρικών δομών των μικρών πελαγικών (Bahri & Freon, 2000; Barange & Hampton, 1997), στη σχεδίαση βέλτιστων στρατηγικών δειγματοληψίας και στην πρόβλεψη της αφθονίας των ψαριών σε τοπικό ή συνολικό επίπεδο (Simard & Gerlotto 1990; Maravelias *et al.*, 1996; Barange & Hampton, 1997).

Οι εφαρμογές της γεωστατιστικής θεωρίας σε πληθυσμούς μικρών πελαγικών ειδών στην περιοχή της Μεσογείου είναι περιορισμένες (Maravelias *et al.*, 1997; Bahri & Freon, 2000) και ειδικότερα στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου (Maravelias *et al.*, 1997) η οποία χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα πολύπλοκο γεωγραφικό ανάγλυφο.

Ο εντοπισμός των χωρικών δομών που σχηματίζουν οι ομάδες των σχολείων των ψαριών (clusters of schools) και των χαρακτηριστικών τους (π.χ. μέγεθος) αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό αποτέλεσμα μιας γεωστατιστικής ανάλυσης ακουστικών δεδομένων (Reid 2000). Σε αυτού του είδους την προσέγγιση επικεντρώθηκε η παρούσα διατριβή και τα ακουστικά δεδομένα αναλύθηκαν με σκοπό τον προσδιορισμό του χωρικού δομικού προτύπου των συγκεντρώσεων των μικρών πελαγικών ψαριών. Έμφαση δόθηκε στις χωρικές δομές που σχηματίζουν οι συγκεντρώσεις του γαύρου και της σαρδέλας στις Ελληνικές Θάλασσες και αν αυτές διαφοροποιούνται σε δύο διαφορετικές εποχές. Η πολυπλοκότητα του γεωγραφικού ανάγλυφου και η ετερογένεια της περιοχής δειγματοληψίας (Εικ. 1.3) καθιστούν ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα την μελέτη της επίδρασης της τοπογραφίας της περιοχής μελέτης στο πρότυπο κατανομής των συγκεντρώσεων των ψαριών στο χώρο, δημιουργώντας όμως ταυτόχρονα ιδιαίτερες δυσκολίες ως προς τον τρόπο μελέτης τους καθιστώντας αναγκαία τη διάσπαση της συνολικής περιοχής σε επιμέρους υποπεριοχές.

5.3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ακουστική δειγματοληψία.

Τα στοιχεία που αφορούν την ακουστική δειγματοληψία έχουν ήδη περιγραφεί στην παράγραφο 3.2. του τρίτου κεφαλαίου.

Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της ακουστικής διατομής (σε mmd) στα οποία πραγματοποιήθηκε ολοκλήρωση (άθροιση) ανά 1 ναυτικό μίλι (Στοιχειώδης μονάδα δειγματοληψίας -EDSU) και αφορούσαν α) στο σύνολο του ήχου που προήλθε από μικρά πελαγικά είδη ψαριών, β) τον ήχο που αποδόθηκε στο γαύρο και γ) τον ήχο που αποδόθηκε στην σαρδέλα. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίστηκε τόσο μια αρχική περιγραφή των χωρικών δομών (δηλ. του πρότυπου οργάνωσης των συγκεντρώσεων των ψαριών στο χώρο) που παρουσιάζουν ως σύνολο τα μικρά πελαγικά είδη όσο και μια λεπτομερέστερη προσέγγιση που επικεντρώθηκε στις χωρικές δομές που σχηματίζουν τα δύο κυρίαρχα στην περιοχή μικρά πελαγικά, ο γαύρος και η σαρδέλα.

Η ανάλυση των ακουστικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε 10 υποπεριοχές (Εικ. 1.3). Η διάκριση σε αυτές τις υποπεριοχές βασίστηκε α) στον γεωγραφικό διαχωρισμό των υποπεριοχών και β) στις βαθυμετρικές τους διαφορές. Ειδικότερα η γεωστατιστική ανάλυση εφαρμόστηκε ξεχωριστά για α) το Θρακικό πέλαγος, β) τον Στρυμονικό κόλπο, γ) τον Θερμαϊκό κόλπο, δ) τον Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο, ε) το Νότιο Ευβοϊκό κόλπο, στ) τον Σαρωνικό κόλπο, ζ) τον Κορινθιακό κόλπο, η) τον Πατραϊκό κόλπο, θ) το βόρειο τμήμα της περιοχής του Ιονίου και ι) το νότιο τμήμα της περιοχής του Ιονίου. Το βόρειο τμήμα της περιοχής του Ιονίου περιέλαβε κυρίως την περιοχή που περικλείεται από τα νησιά της Κεφαλονιάς, της Λευκάδας και της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, ενώ το νότιο τμήμα του Ιονίου περιέλαβε την περιοχή μεταξύ Ζακύνθου και δυτικής Πελοποννήσου καθώς και την περιοχή νότια της Ζακύνθου. Οι κόλποι της Χαλκιδικής εξαιρέθηκαν της γεωστατιστικής ανάλυσης λόγω της έλλειψης επαρκούς αριθμού δεδομένων, που απαραίτητος για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Γεωστατιστική Μεθοδολογία.

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες καθώς ήταν αρχικά εκφρασμένες σε μοίρες του γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους έπρεπε να μετατραπούν σε πραγματικές συντεταγμένες (x,y). Αναλυτικότερα, για την εφαρμογή των γεωστατιστικών τεχνικών οι μοίρες του γεωγραφικού πλάτους μετατράπηκαν σε ναυτικά μίλια και οι αποστάσεις υπολογίστηκαν πολλαπλασιάζοντας το γεωγραφικό μήκος με το συνημίτονο του μέσου γεωγραφικού πλάτους σε κάθε υποπεριοχή (Petitgas 1993).

Η περιγραφή της δομής στην γεωστατιστική πραγματοποιείται μέσω των δομικών συναρτήσεων, οι οποίες επιτρέπουν την μέτρηση της μεταβλητότητας των τιμών μεταξύ δύο σημείων δειγματοληψίας συναρτήσει της μεταξύ τους απόστασης. Η δομική συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα ανάλυση είναι το πειραματικό διασπορόγραμμα (experimental variogram) (Matheron 1971; Clark, 1987; Isaaks & Srivastava, 1989), το οποίο εφαρμόστηκε στα ακουστικά δείγματα για κάθε υποπεριοχή δειγματοληψίας. Το πειραματικό διασπορόγραμμα παρείχε ένα μέτρο της αυτοσυσχέτισης των δεδομένων στο χώρο περιγράφοντας πως αυτά μεταβάλλονται με την απόσταση και την κατεύθυνση (Rossi *et al.*, 1992). Η εξίσωση με την οποία καθορίζεται η συνάρτηση του διασπορογράμματος όπως ορίστηκε από τον Matheron (1963) είναι η ακόλουθη:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z_A(x_i) - z_A(x_i + h)]^2 \quad (\text{εξίσωση 5.1})$$

όπου:

$\gamma(h)$: η εκτιμώμενη ημιδιασπορά για τα ζεύγη των σημείων $z_A(x_i)$ και $z_A(x_i+h)$ που απέχουν απόσταση h ,

$N(h)$: ο αριθμός των ζευγαριών όλων των σημείων που απέχουν την Ευκλείδεια απόσταση h (σε ναυτικά μίλια),

$z_A(x_i)$: το άθροισμα της ακουστικής διατομής/ ναυτικό μίλι στη θέση x_i και

$z_A(x_i+h)$: το άθροισμα της ακουστικής διατομής/ ναυτικό μίλι σε απόσταση h από τη θέση x_i .

Η συνάρτηση $\gamma(h)$ είναι στην πραγματικότητα το ημι-διασπορόγραμμα (semi-variogram) το οποίο συνήθως αναφέρεται ως διασπορόγραμμα για λόγους ευκολίας.

Δύο βασικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή του διασπορογράμματος είναι ότι ισχύει α) η ομοιογένεια των πληθυσμών και β) η στοιχειώδης στατικότητα (intrinsic stationarity) (Journel & Huilbregts, 1978; Armstrong *et al.*, 1992; Goovaerts 1997). Ο όρος στοιχειώδης στατικότητα σημαίνει ότι τα δεδομένα δύο διαφορετικών σημείων που απέχουν απόσταση h διαθέτουν μια σταθερή μέση τιμή και η διασπορά της καθορίζεται από το εύρος της απόστασης h .

Επειδή τα ακουστικά δεδομένα παρουσίαζαν ορισμένες πολύ υψηλές τιμές, οι οποίες επηρεάζουν την ανάλυση, κρίθηκε αναγκαία (α) η περικοπή (truncation) των πολύ υψηλών τιμών σε χαμηλότερο επίπεδο που αντιστοιχούσε στο 98% της κατανομής στο διάγραμμα των κανονικών πιθανοτήτων (normal probability plot) (Clark 1987; Armstrong 1984; Armstrong *et al.*, 1992; Goovaerts 1997) και (β) ο λογαριθμικός μετασχηματισμός (με το νεπέριο λογάριθμο) των δεδομένων λόγω της ύπαρξης τιμών διαφορετικών τάξεων μεγέθους αλλά και λόγω της έντονης λοξότητας που παρουσίαζε η κατανομή τους, δηλ. υψηλές τιμές που ακολουθούνταν από πολλές χαμηλές τιμές (Rendu, 1979a; Rendu 1979b; Armstrong 1984; Armstrong *et al.*, 1992). Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος τύπος

$$Z^*(x) = \ln(Z(x) + \beta), \quad (\text{εξίσωση 5.2})$$

Όπου

$Z^*(x)$: η μετασχηματισμένη μεταβλητή,

$\ln(Z(x) + \beta)$: ο νεπέριος λογάριθμος της αρχικής μεταβλητής $Z(x)$

και β : μια σταθερά που προστίθεται για την εξουδετέρωση των μηδενικών τιμών.

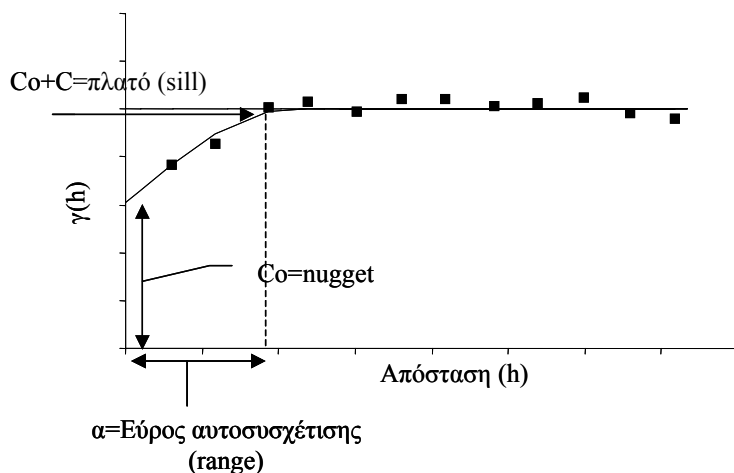
Η τάξη μεγέθους της σταθεράς αυτής β επιλέχθηκε έτσι ώστε να μειωθεί το τυχόν σφάλμα που εισέρχεται κυρίως στις μηδενικές ή κοντά στο μηδέν τιμές, λόγω της μετατροπής τους με τον λογαριθμικό μετασχηματισμό σε αρνητικές τιμές (Rendu, 1979a; Rendu 1979b; Armstrong 1984; Armstrong *et al.*, 1992).

Επιπλέον για να αποφευχθούν πιθανές τάσεις (trends) στα ακουστικά δεδομένα εφαρμόστηκε ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης, όπου το \ln (άθροισμα ακουστικής διατομής/ ν.μ.) εξετάστηκε ως προς το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος και το βάθος του βυθού. Στη συνέχεια το διασπορόγραμμα υπολογίστηκε για τα σφάλματα (residuals) που προέκυψαν από την ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης (Rendu, 1979a; Rendu 1979b; Armstrong 1984; Armstrong *et al.*, 1992; Lo *et al.*, 2001).

Είναι γνωστό ότι το διασπορόγραμμα μπορεί να εκτιμηθεί είτε ως μέση τιμή της διασποράς των σημείων που απέχουν απόσταση h ως προς όλες τις διευθύνσεις (ολοκατευθυντικό διασπορόγραμμα - omnidirectional variogram), οπότε η απόσταση h είναι μόνο αριθμός ή μπορεί να εκτιμηθεί ως προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση (κατευθυντικό διασπορόγραμμα - directional variogram) οπότε σε αυτή την περίπτωση η απόσταση h είναι άνυσμα (Isaaks & Srivastava, 1989; Clark, 1992; Rossi *et al.*, 1992). Στο ολοκατευθυντικό διασπορόγραμμα η τιμή της αυτοσυσχέτισης είναι ανεξάρτητη της κατεύθυνσης. Αντίθετα όταν η αυτοσυσχέτιση μεταβάλλεται τόσο συναρτήσει της απόστασης όσο και της κατεύθυνσης η χωρική δομή θεωρείται ότι παρουσιάζει **ανιστροπία** και επομένως πρέπει να εξετάζεται ως προς κάθε κατεύθυνση ξεχωριστά (Isaaks & Srivastava, 1989; Rossi *et al.*, 1992).

Σε αντίθεση με τις ανοιχτές θαλάσσιες περιοχές όπου

εφαρμόζεται ικανοποιητικά το ολοκατευθυντικό διασπορόγραμμα (Petitgas 1993; Maravelias & Haralabous 1995; Petitgas & Levenez 1996; Barange & Hampton 1997; Maravelias 1997) οι ιδιαιτερότητες της περιοχής



Εικόνα 5.1. Ενδεικτικό διάγραμμα ημι-διασποράς $\gamma(h)$ όπου διακρίνονται τα χαρακτηριστικά του προσαρμοσμένου μοντέλου.

μελέτης με το πολύπλοκο γεωγραφικό ανάγλυφο, έκαναν αναγκαία την εξέταση και της ανισοτροπίας στις χωρικές δομές των ψαριών. Για τον λόγο αυτό υπολογίστηκαν α) τα ολοκατευθυντικά διασπορογράμματα και β) τα περιγράμματα των κατευθυντικών διασπορογραμμάτων (exhaustive directional variograms) (Isaaks & Srivastava, 1989; Rossi *et al.*, 1992) για κάθε περίοδο δειγματοληψίας και για κάθε υποπεριοχή δειγματοληψίας.

Στην περίπτωση που η διάταξη των ακουστικών δεδομένων είναι τυχαία και δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο, όλες οι τιμές του διασπορογράμματος είναι ουσιαστικά ίδιες και το διασπορογράμμα εμφανίζεται οριζόντιο. Τα ακουστικά δεδομένα τα οποία παρουσιάζουν κάποιο δομικό πρότυπο εμφανίζουν ένα διασπορογράμμα το οποίο έχει μικρές τιμές για μικρές αποστάσεις, οι οποίες αυξάνονται με την απόσταση και τελικά φθάνουν σε πλατό έρεα από κάποια απόσταση. Τα χαρακτηριστικά αυτά αντανακλούν τον βαθμό της μεταβλητότητας στον χώρο ή με άλλα λόγια της συνέχειας των δεδομένων. Σταθερές τιμές διασπορογράμματος σημαίνουν ότι κατά μέσο όρο, η διασπορά ανάμεσα στις τιμές δεν μεταβάλλεται με την απόσταση. Οι μικρές τιμές του διασπορογράμματος σε μικρές αποστάσεις αντιστοιχούν σε δεδομένα που είναι περισσότερο συνεχή στο χώρο. Αντίστοιχα, οι μεγάλες τιμές του διασπορογράμματος αντιστοιχούν σε περισσότερο ανόμοια ή ασυνεχή δεδομένα στον χώρο (Isaaks & Srivastava, 1989; Rossi *et al.*, 1992).

Σε κάθε διασπορογράμμα προσαρμόστηκε ένα στατιστικό μοντέλο δηλαδή ένα μοντέλο διασπορογράμματος το οποίο εκτιμάει το πως δομείται η αυτοσυσχέτιση των δεδομένων. Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός τέτοιου μοντέλου είναι το εύρος αυτοσυσχέτισης (range), το πλατό (sill), και το φαινόμενο του βόλου (nugget effect). Η απόσταση στην οποία οι τιμές του διασπορογράμματος σταματάνε να αυξάνονται και κυμαίνονται γύρω από μία τιμή (πλατό -sill) αποτελεί το **εύρος αυτοσυσχέτισης** (range). Το **πλατό** (sill), ισούται με την τιμή της διασποράς των δεδομένων (Εικ. 5.1). Το εύρος αυτοσυσχέτισης καθορίζει την απόσταση εντός της οποίας τα ακουστικά δεδομένα παρέμεναν συσχετισμένα στον χώρο (Εικ. 5.1) και αντιστοιχεί στη μέγιστη διάμετρο των συγκεντρώσεων (patches) ή αλλιώς στη μέγιστη διάμετρο της έκτασης που καταλαμβάνουν οι ομάδες των σχολείων (clusters of schools) που σχηματίζονταν (Reid 2000). Η τιμή στην οποία το διασπορογράμμα τέμνει την τεταγμένη ονομάζεται **“nugget”**. Το “nugget” αντιπροσωπεύει την μη εκτιμούμενη χωρική μεταβλητότητα, η οποία αποδίδεται είτε σε χωροεξαρτώμενη διασπορά που υπάρχει, η οποία όμως βρίσκεται εντός της ελάχιστης απόστασης δειγματοληψίας (<1 ναυτικό μίλι) και επομένως δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί με το παρόν σχήμα δειγματοληψίας, είτε σε πειραματικό σφάλμα το οποίο προσθέτει διασπορά στους υπολογισμούς (Isaaks & Srivastava, 1989; Rossi *et al.*, 1992; Goonaerts 1997). Πρακτικά, όσο μεγαλύτερο είναι το nugget τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των συγκεντρώσεων των ψαριών που δεν κατανέμονται στο χώρο με βάση κάποιο δομικό πρότυπο.

Στα ακουστικά δεδομένα (α) του συνόλου των πελαγικών ειδών (β) του γαύρου και (γ) της σαρδέλας που αναλύθηκαν χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά το **μοντέλο nugget** και το **σφαιρικό μοντέλο**, τα οποία περιέγραψαν ικανοποιητικά τις χωρικές δομές των υπό μελέτη ειδών. Εξαίρεση αποτελούσαν ορισμένες περιπτώσεις όπου παρατηρήθηκε ότι ο συνδυασμός δύο σφαιρικών μοντέλων και η τελική εξαγωγή ενός **μοντέλου συγχωνευμένων χωρικών δομών (nested structures)** απέδιδε ικανοποιητικότερα την χωρική δομή.

Η εξίσωση του σφαιρικού μοντέλου σύμφωνα με τον Cressie (1991) είναι η ακόλουθη:

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C_0 + C_s \left\{ \left(\frac{3}{2} \right) \left(\frac{\|h\|}{a_s} \right) - \left(\frac{1}{2} \right) \left(\frac{\|h\|}{a_s} \right)^3 \right\}, & 0 < \|h\| < a_s \\ C_0 + C_s, & \|h\| \geq a_s \end{cases} \quad (\text{εξίσωση 5.3})$$

όπου

$\gamma(h; \theta)$: το (ημι-) διασπορογράμμα για την απόσταση h και την κατεύθυνση θ ,

C_0 : η τιμή του διασπορογράμματος που αποδίδεται στο nugget,

C_s : η τιμή του διασπορογράμματος που αποδίδεται στη σφαιρική δομή και

a_s : το εύρος αυτοσυσχέτισης της σφαιρικής δομής.

Ο λόγος $\frac{C_s}{C_0 + C_s}$ ισούται με το ποσοστό της ολικής διασποράς ($C_0 + C_s$) που ερμηνεύει η χωροδομική συνιστώσα σε μια ομάδα δεδομένων, με βάση το διαθέσιμο δίκτυο δειγματοληψίας. Ο λόγος $\frac{C_s}{C_0 + C_s}$ ισούται με το ποσοστό της ολικής διασποράς που δεν μπορεί να εκτιμηθεί και οφείλεται στο «nugget effect» (Matheron 1971; Isaaks & Srivastava, 1989; Clark, 1992; Armstrong *et al.*, 1992; Rossi *et al.*, 1992).

Το μοντέλο το οποίο προσαρμόστηκε στο πειραματικό διασπορόγραμμα σε κάθε περίπτωση επιλέχθηκε σύμφωνα με το κριτήριο των σταθμισμένων ελαχίστων τετραγώνων (Weighted Least Squares ή WLS) όπως περιγράφεται στον Cressie (1985;1991):

$$\sum_{j=1}^k \left| (N(h(j))) \left\{ \frac{\gamma(h(j))}{\gamma(h(j); \theta)} - 1 \right\} \right|^2 \quad (\text{εξίσωση 5.4})$$

όπου

$|N(h(j))|$: ο αριθμός των διακριτών ζευγαριών τιμών για απόσταση j ,

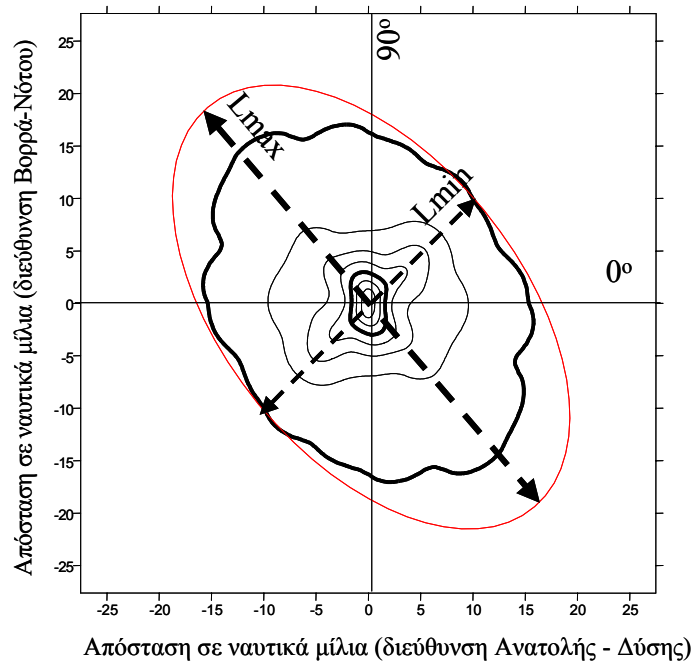
k : ο αριθμός των διαφορετικών αποστάσεων που χρησιμοποιούνται στο πειραματικό διασπορόγραμμα

$\gamma(h(j))$: η τιμή του πειραματικού διασπορογράμματος για απόσταση j και

$\gamma(h(j); \theta)$: η τιμή από το γνωστό μοντέλο διασπορογράμματος με τις άγνωστες παραμέτρους θ .

Το μοντέλο που δίνει την καλύτερη προσαρμογή (ελαχιστοποιεί το κριτήριο των σταθμισμένων ελαχίστων τετραγώνων) επιλέχθηκε σαν αυτό που περιγράφει καλύτερα την χωρική δομή που παρατηρήθηκε στην συγκεκριμένη ομάδα δεδομένων. Σύμφωνα με τον Cressie (1991) το κριτήριο αυτό σταθμίζει περισσότερο τις παρατηρήσεις εκείνες που προκύπτουν από τον μεγαλύτερο αριθμό ζευγαριών τιμών σε μια ορισμένη απόσταση.

Τα δεδομένα των διαφορετικών ειδών, περιοχών και περιόδων δειγματοληψίας παρουσίασαν διαφορετική ολική διασπορά και διαφορετικό πλατό διασπορογράμματος, έτσι για συγκριτικούς λόγους η παρουσίαση έγινε με την χρήση των κανονικοποιημένων διασπορογραμμάτων (standardized variograms), όπου για κάθε περίπτωση οι τιμές του διασπορογράμματος διαιρέθηκαν με την ολική διασπορά του δείγματος ώστε το πλατό του διασπορογράμματος να ισούται με την μονάδα (Rossi *et al.*, 1992).



Εικόνα 5. 2. Αντιπροσωπευτικό κανονικοποιημένο διεξοδικό κατευθυντικό διασπορόγραμμα (standardized directional exhaustive variograms) που αφορά το γαύρο στο Β. Ευβοϊκό κόλπο το Δεκέμβριο 1999. Διακρίνονται το περιγεγραμμένο ελλειψοειδές, ο μέγιστος άξονας (L_{max}) και ο μικρότερος (L_{min}) άξονας της έλλειψης. Τα έντονα περιγράμματα αντιστοιχούν στο A_{60} (εσωτερική γραμμή) και στο A_{100} (εξωτερική γραμμή).

Κατέστη έτσι δυνατή η συγκριτική μελέτη της χωρικής δομής και της χωρο-εξάρτησης των διαφορετικών δειγμάτων (π.χ. υποπεριοχών, εποχών, ειδών).

Όπως ήδη αναφέρθηκε εξετάστηκε η ύπαρξη ανισοτροπίας στις χωρικές δομές των ψαριών, και ειδικότερα διερευνήθηκε η ύπαρξη γεωμετρικής ανισοτροπίας, στην οποία το εύρος αυτοσυσχέτισης διαφοροποιείται με την κατεύθυνση (Isaaks & Srivastava, 1989; Armstrong *et al.*, 1992; Rossi *et al.*, 1992; Zimmerman 1993; Goovaerts 1997). Η μελέτη της ανισοτροπίας απαιτούσε τον υπολογισμό των διεξοδικών κατευθυντικών διασπορογραμμμάτων (exhaustive directional variograms) (Isaaks & Srivastava, 1989; Rossi *et al.*, 1992) για κάθε περίοδο δειγματοληψίας και για κάθε υποπεριοχή δειγματοληψίας.

Για την κατασκευή τους υπολογίστηκαν, τα κατευθυντικά διασπορογράμματα (directional variograms) σε 16 διαφορετικές κατευθύνσεις ανά 22.5° γωνία (βήμα) και $\pm 22^\circ$ γωνία (ανοχή) και στη συνέχεια κατασκευάστηκε ένα πολυκατευθυντικό περιγραμμικό διάγραμμα (contour plot) (Εικ. 5.2). Αυτού του είδους τα δυσδιάστατα γραφήματα της συνέχειας των δεδομένων στο χώρο παρέχουν μια ολοκληρωμένη εποπτική εικόνα του τρόπου που μεταβάλλονται οι χωρικές δομές στις διάφορες κατευθύνσεις (Rendu 1979β; Isaaks & Srivastava, 1989; Rossi *et al.*, 1992). Η δυσδιάστατη αυτή σχεδίαση με περιγραμμικά διαγράμματα εξασφαλίζει την ταυτόχρονη παρουσίαση διαφορετικών διευθύνσεων διασπορογραμμμάτων σε ένα γράφημα. Το προκύπτον γράφημα είναι συμμετρικό ως προς την αρχή του καθώς η τιμή του διασπορογράμματος για απόσταση $+h$ είναι ίση με την τιμή του για απόσταση $-h$, ενώ στο κέντρο του γραφήματος αντιστοιχεί η τιμή για $h=0$ (Rossi *et al.*, 1992). Όταν υπάρχει ισοτροπία, η αύξηση των τιμών του διασπορογράμματος σε αύξουσα απόσταση από το κέντρο είναι όμοια σε κάθε κατεύθυνση και το προκύπτον γράφημα παρουσιάζει ομόκεντρα περιγράμματα. Αντίθετα, στην περίπτωση της γεωμετρικής ανισομετρίας το προκύπτον γράφημα εμφανίζεται ως ελλειψοειδές, του οποίου ο μέγιστος άξονας αντιστοιχεί στην κατεύθυνση της μέγιστης συνέχειας (Εικ. 5. 2).

Για συγκριτικούς λόγους (διαφορετικών ειδών, υποπεριοχών και περιόδων δειγματοληψίας) κατασκευάστηκαν τα κανονικοποιημένα διεξοδικά κατευθυντικά διασπορογράμματα (δηλ. οι τιμές του διασπορογράμματος διαιρέθηκαν με την ολική διασπορά του δείγματος ώστε το πλατό του διασπορογράμματος να ισούται με την μονάδα) και παραλείφθηκαν τα σημεία εκείνα που οι τιμές του υπερέβαιναν την τιμή του πλατό για να διευκολυνθεί η οπτική παρατήρηση. Στη συνέχεια σε κάθε διεξοδικό κατευθυντικό διασπορόγραμμα υπολογίστηκαν τα ακόλουθα γεωμετρικά χαρακτηριστικά:

- ο λόγος ανισοτροπίας λ (Journel & Huijbregts, 1978; Isaaks & Srivastava, 1989; Ecker & Gelfand 1999) που ορίζεται ως ο λόγος του μεγαλύτερου (L_{max}) προς τον μικρότερο άξονα (L_{min}) του περιγεγραμμένου στο διάγραμμα ελλειψοειδούς (Εικ. 5.2),
- η γωνία ανισοτροπίας (θ σε μοίρες) του μεγαλύτερου άξονα (Isaaks & Srivastava, 1989; Ecker & Gelfand 1999). Οι τιμές αυτής της γωνίας κυμαίνονταν από 0° ως 180° και μετρήθηκαν αντίθετα με τη φορά του ρολογιού ξεκινώντας από ανατολικά,
- το εμβαδόν της επιφάνειας (A_{100}) που περικλείεται από το περίγραμμα του 100% της διασποράς (Εικ. 5.2) και
- ο λόγος (R) του εμβαδού της επιφάνειας A_{60} που περικλείεται από το περίγραμμα του 60% της διασποράς και προς το εμβαδόν A_{100}

$$R = \frac{A_{60}}{A_{100}} \quad (\text{εξίσωση 5.5})$$

Καθώς ο στόχος ήταν ο υπολογισμός ενός συγκριτικού δείκτη για όλα τα διασπορογράμματα, ο αριθμητής του κλάσματος επιλέχθηκε ως το μικρότερο περίγραμμα (εδώ το A_{60}) που περιέκλειε το nugget (δηλ. το τμήμα της διασποράς του δείγματος που δεν ερμηνεύεται από τη δομική συνιστώσα) σε κάθε περίπτωση. Ο λόγος R εκφράζει τον ρυθμό μεταβολής της αυτοσυσχέτισης των δεδομένων. Έτσι, μικρές τιμές του δείκτη R δείχνουν ότι εντός μιας μικρής απόστασης αυτοσυσχέτισης αποδίδεται το 60% της ολικής διασποράς (ετερογενής χωρική δομή). Μεγάλες τιμές του λόγου R είναι ενδεικτικές του ότι απαιτείται μεγαλύτερη απόσταση για να αποδοθεί το 60 % της ολικής διασποράς και επομένως ο ήχος μεταβάλλεται περισσότερο σταδιακά με την απόσταση (ομοιογενής χωρική δομή).

Για την γεωστατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά S-plus 2000 v.3 και Spatial Stats v.1.5 της Mathsoft, Geo-Eas v.1.2.1 των E.Englund & A. Sparks, Variowin v.2.21 του Y. Pannatier και Surfer v.7 της Golden Software Inc, ενώ για τις μετρήσεις των διεξοδικών κατευθυντικών

διαγραμμάτων διασποράς χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό UTHSCSA Image Tool for Windows v.3.00 των D. Wilcox, B. Dove, D. McDavid & D. Greer.

5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το σφαιρικό μοντέλο σε συνδυασμό με το φαινόμενο nugget βρέθηκε ως το καταλληλότερο για την περιγραφή των δομών που παρουσίασε ο ήχος του συνόλου των πελαγικών ειδών, όσο και ο ήχος που αντιστοιχούσε στον γαύρο και την σαρδέλα. Σε ορισμένες περιπτώσεις μοντέλα συγχωνευμένων δομών (nested structures) με δύο σφαιρικά μοντέλα θεωρήθηκαν ως τα καταλληλότερα για την περιγραφή των χωρικών δομών. Η προσαρμογή του μοντέλου αποδόθηκε κυρίως με την χρήση των τριών ως τεσσάρων πρώτων σημείων στις περισσότερες περιπτώσεις. Ο μικρότερος αριθμός ζευγαριών για ένα σημείο, που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των ολοκατευθυντικών διασπορογραμμάτων ήταν 95.

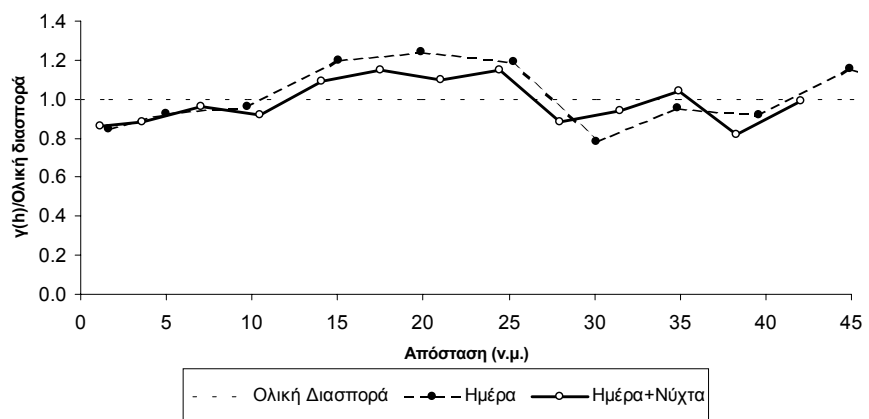
Δεδομένου ότι οι ακουστικές μετρήσεις προέρχονταν από δειγματοληψία ημέρας και νύχτας, πραγματοποιήθηκε έλεγχος για να διαπιστωθεί αν η ενσωμάτωση των δεδομένων της νύχτας αλλοιώνει τα αποτελέσματα της

γεωστατιστικής ανάλυσης. Τα χαρακτηριστικά των διασπορογραμμάτων για τα ακουστικά δεδομένα (α) μόνο ημέρας και (β) ημέρας και νύχτας δεν διαφοροποιούνταν.

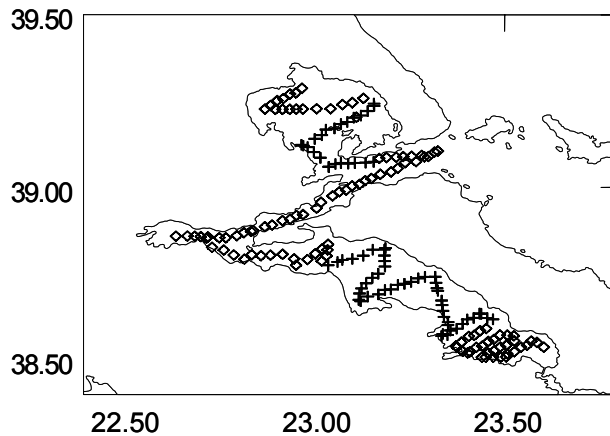
Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα εμπειρικά κανονικοποιημένα ολοκατευθυντικά διασπορογράμματα (α) ημέρας ($C_{\text{ημέρα}}$: 82% και $a_{\text{ημέρα}}$: 12 ν.μ.) και (β) ημέρας και νύχτας (με ποσοστό συμμετοχής νύχτας 40%, $C_{\text{νύχτα+ημέρα}}$: 84% και $a_{\text{νύχτα+ημέρα}}$: 14 ν.μ) στον Β.

Ευβοϊκό το Δεκέμβριο του 2000 (Εικ. 5.3.α) σε συνδυασμό με το τμήμα της δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε μέρα και νύχτα, αντίστοιχα (Εικ. 5.3.β). Επιλέχθηκε έτσι τελικά η χρήση του συνόλου των δεδομένων, η οποία εξασφάλιζε τον αναγκαίο όγκο δεδομένων για την εφαρμογή της γεωστατιστικής ανάλυσης σε όλες τις περιπτώσεις.

Τα προσαρμοσμένα σφαιρικά μοντέλα και οι παράμετροι που τα χαρακτηρίζουν σε κάθε περίπτωση, παρατίθενται αναλυτικά στους πίνακες 5.1 ως 5.3. Στις εικόνες 5.4 ως 5.6 παρουσιάζονται τα κανονικοποιημένα (ημι-) διασπορογράμματα (standardized semi-variograms) και τα αντίστοιχα προσαρμοσμένα σφαιρικά μοντέλα για τα ακουστικά αλιευτικά δεδομένα (α) του συνόλου των μικρών πελαγικών (β) του γαύρου και (γ) της σαρδέλας. Παρατηρούμε ότι όλα τα διασπορογράμματα εμφάνισαν χωρική δομή σε ποσοστό που διαφοροποιήθηκε ανάλογα με την υποπεριοχή μελέτης.



Εικόνα 5.3.α Τα εμπειρικά κανονικοποιημένα ($\gamma(h)$ /ολική διασπορά) ολοκατευθυντικά διασπορογράμματα του $\ln(\text{ολοκληρωμένη ακουστική διατομή}/\text{ν.μ.})$ για το γαύρο με δεδομένα ημέρα και ημέρας και νύχτας, στο Β. Ευβοϊκό κόλπο το Δεκέμβριο του 2000.



Εικόνα 5.3.β. Η πορεία στο Β. Ευβοϊκό κόλπο το Δεκέμβριο του 2000 όπου διακρίνεται η δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε ημέρα και νύχτα, αντίστοιχα.

◇ = Ημέρα + = Νύχτα

Ειδικότερα το ποσοστό της συνολικής διασποράς του συνόλου των μικρών πελαγικών που παρουσίαζε ένα δομικό πρότυπο στο χώρο (δηλ. το ποσοστό κατά το οποίο οι συγκεντρώσεις των μικρών πελαγικών παρουσιάζουν ένα δομικό πρότυπο στο χώρο) κυμάνθηκε από 33.50% ως 78.75% (Πιν. 5.1). Το μικρότερο εύρος αυτοσυσχέτισης των δομών που παρατηρήθηκε ήταν τα 4 ν.μ. και το μεγαλύτερο τα 18 ν.μ. (Πιν. 5.1, Εικ. 5.4).

Ανάλογα ο βαθμός στον οποίο οι συγκεντρώσεις του γαύρου εμφάνιζαν ένα χωρικό δομικό πρότυπο κυμάνθηκε από 15% ως 86% (Πιν. 5.2). Το μικρότερο εύρος αυτοσυσχέτισης των χωρικών δομών που παρατηρήθηκε ήταν τα 4 ν.μ. και το μεγαλύτερο τα 21 ν.μ. (Πιν. 5.2, Εικ. 5.5.). Στη σαρδέλα το ποσοστό της συνολικής διασποράς που ερμηνεύθηκε από χωρικό δομικό πρότυπο κυμάνθηκε από 22% ως 77%, με μικρότερο εύρος αυτοσυσχέτισης των χωρικών δομών στα 3 ν.μ. και μεγαλύτερο στα 22 ν.μ. (Πιν. 5.3, Εικ. 5.5).

Τα κανονικοποιημένα διεξοδικά κατευθυντικά διασπορογράμματα που υπολογίστηκαν παρατίθενται στις εικόνες 5.7 ως 5.12 και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά στον πίνακα 5.4. Παρατηρήθηκε έντονη διαφοροποίηση τόσο στην γενική εικόνα των διεξοδικών κατευθυντικών τυποποιημένων διασπορογραμμάτων (Εικ. 5.7 ως 5.12), όσο και στις γωνίες ανισοτροπίας (θ) και στον λόγο της ανισοτροπίας (λ) ανά περιοχή και ανά εποχή δειγματοληψίας (Πιν. 5.4). Ο λόγος ανισοτροπίας (λ) κυμάνθηκε από 1.02 ως 1.68 για το σύνολο των μικρών πελαγικών, από 1.01 ως 2.18 για το γαύρο και από 1.00 ως 2.30 για τη σαρδέλα.

Μεγαλύτερη διακύμανση παρατηρήθηκε στις τιμές του λόγου των εμβαδών (R) ο οποίος κυμάνθηκε από 0.07 ως 0.37 για το σύνολο των μικρών πελαγικών, από 0.016 ως 0.190 για το γαύρο και από 0.006 ως 0.240 για τη σαρδέλα, παρατηρήθηκαν όμως μικρότερες αποκλίσεις ανά περιοχή και εποχή και στις τρεις περιπτώσεις (Πιν. 5.4). Ο λόγος R είναι ενδεικτικός της εσωτερικής οργάνωσης των χωρικών δομών (patches) που σχηματίζουν τόσο ως σύνολο τα μικρά πελαγικά, όσο και ειδικότερα ο γαύρος και η σαρδέλα. Μικρές τιμές του λόγου R είναι ενδεικτικές ετερογενών χωρικών δομών, δηλαδή χωρικών δομών όπου σχηματίζουν ένα πυρήνα όπου συμβαίνουν μεγάλες μεταβολές των τιμών του ήχου (60% της ολικής διασποράς) σε μικρές αποστάσεις, ενώ σε μεγαλύτερες αποστάσεις οι μεταβολές του ήχου καθίστανται πιο σταδιακές (π.χ. Β. Ευβοϊκός για τη σαρδέλα το Δεκέμβριο του 1999, Εικ. 5.12). Αντίθετα, μεγάλες τιμές του λόγου R δεικνύουν ότι απαιτείται μεγαλύτερη απόσταση για να συμβούν αντίστοιχες μεταβολές των τιμών του ήχου (δηλ. το 60 % της ολικής διασποράς του ήχου) και η προκύπτουσα χωρική δομή είναι πιο ομοιογενής (π.χ. νότιο Ιόνιο για τη σαρδέλα το Δεκέμβριο του 1999, Εικ. 5.12). Παρατηρούμε έτσι, ότι χωρικές δομές παρόμοιου μεγέθους (δηλ. χωρικές δομές με όμοιο εύρος αυτοσυσχέτισης) διαφοροποιήθηκαν ως προς την εσωτερική οργάνωσή τους (π.χ. οι χωρικές δομές της σαρδέλας στον Κορινθιακό κόλπο και στο νότιο τμήμα του Ιονίου το 2001, Πιν. 5.3, 5.4 και Εικ. 5.12).

Πίνακας 5.1. Οι παράμετροι των εφαρμοσμένων σφαιρικών μοντέλων στα (ημι-) διασπορογράμματα της ακουστικής διατομής του συνόλου των μικρών πελαγικών $C_1 =$ το πλατό της πρώτης χωρικής δομής (sill 1), $a_1=$ το εύρος της αυτοσυσχέτισης της πρώτης χωρικής δομής (range 1), $C_2=$ το πλατό της δεύτερης χωρικής δομής (sill 2) στην περίπτωση που υπάρχουν συγχωνευμένες δομές (nested structures), $a_2=$ το εύρος της αυτοσυσχέτισης της δεύτερης χωρικής δομής (range 2) στην περίπτωση που υπάρχουν συγχωνευμένες δομές (nested structures). Σε παρένθεση παρατίθεται το επί της εκατό ποσοστό της διασποράς που ερμηνεύει το κάθε μοντέλο.

Περίοδος δειγματοληψίας	Περιοχή δειγματοληψίας	Μοντέλο nugget	Σφαιρικό μοντέλο 1		Σφαιρικό μοντέλο 2	
		(c_0)	c_1	a_1 (v.μ.)	c_2	a_2 (v.μ.)
Ιούνιος 1995	Θρακικό πέλαγος	1.79 (66.30%)	0.91 (33.70%)	10		
	Στρυμονικός κόλπος	1.44 (47.50%)	1.59 (52.50%)	15		
	Θερμαϊκός κόλπος	1.15 (59.00%)	0.80 (41.00%)	12		
Ιούνιος 1996	Θρακικό πέλαγος	1.79 (50.60%)	1.75 (49.40%)	14		
	Στρυμονικός κόλπος	1.44 (49.30%)	1.48 (50.70%)	11		
	Θερμαϊκός κόλπος	0.50 (42.00%)	0.39 (33.00%)	4	0.29 (25.00%)	10
Ιούλιος 1998	B. Ευβοϊκός κόλπος	2.12 (60.60%)	1.38 (39.43%)	14		
	N. Ευβοϊκός κόλπος	0.64 (34.50%)	1.22 (65.50%)	13		
	Σαρωνικός κόλπος	0.68 (47.00%)	0.77 (53.00%)	10		
	Κορινθιακός κόλπος	0.90 (49.18%)	0.93 (50.82%)	13		
	Πατραϊκός κόλπος	2.15 (54.80%)	1.78 (45.20%)	4		
	β. Ιόνιο	0.82 (41.77%)	1.14 (58.07%)	8		
	ν. Ιόνιο	1.19 (28.30%)	3.02 (71.70%)	12		
Ιούνιος 1999	B. Ευβοϊκός κόλπος	0.82 (29.25%)	1.98 (70.75%)	5		
	N. Ευβοϊκός κόλπος	1.97 (57.00%)	1.49 (43.00%)	12		
	Σαρωνικός κόλπος	0.98 (28.00%)	2.51 (72.00%)	13		
	Κορινθιακός κόλπος	0.35 (35.00%)	0.34 (34.00%)	6	0.31 (31.00%)	17
	Πατραϊκός κόλπος	0.50 (37.00%)	0.85 (63.00%)	11		
	β. Ιόνιο	1.65 (56.00%)	1.30 (44.02%)	16		
	ν. Ιόνιο	0.68 (25.60%)	1.96 (74.40%)	8		
Δεκέμβριος 1999	B. Ευβοϊκός κόλπος	1.49 (40.80%)	2.17 (59.20%)	11		
	N. Ευβοϊκός κόλπος	1.10 (29.77%)	2.60 (70.23%)	18		
	Σαρωνικός κόλπος	0.79 (67.30%)	0.38 (32.70%)	9		
	Κορινθιακός κόλπος	0.99 (23.50%)	3.23 (76.50%)	8		
	Πατραϊκός κόλπος	0.72 (60.00%)	0.48 (40.00%)	7		
	β. Ιόνιο	1.01 (38.00%)	1.65 (62.00%)	5		
	ν. Ιόνιο	0.40 (21.30%)	1.48 (78.70%)	15		
Δεκέμβριος 2000	B. Ευβοϊκός κόλπος	1.80 (64.16%)	1.01 (35.84%)	4		
	N. Ευβοϊκός κόλπος	0.53 (51.00%)	0.51 (49.00%)	10		
	Σαρωνικός κόλπος	0.59 (20.00%)	2.34 (62.91%)	4	0.5 (17.09%)	13
Ιανουάριος 2001	Κορινθιακός κόλπος	0.40 (29.60%)	0.95 (70.40%)	10		
	Πατραϊκός κόλπος	0.81 (57.00%)	0.61 (43.00%)	10		
	β. Ιόνιο	0.63 (33.54%)	1.24 (66.46%)	13		
	ν. Ιόνιο	0.74 (42.80%)	0.99 (57.20%)	10		

Πίνακας 5.2. Οι παράμετροι των εφαρμοσμένων σφαιρικών μοντέλων στα (ημι-) διασπορογράμματα της ακουστικής διατομής του γαύρου (*Engraulis encrasicolus*). C_1 = το πλάτος της πρώτης χωρικής δομής (sill 1), a_1 =το εύρος της αυτοσυσχέτισης της πρώτης χωρικής δομής (range 1), C_2 = το πλάτος της δεύτερης χωρικής δομής (sill 2) στην περίπτωση που υπάρχουν συγχωνευμένες δομές (nested structures), a_2 = το εύρος της αυτοσυσχέτισης της δεύτερης χωρικής δομής (range 2) στην περίπτωση που υπάρχουν συγχωνευμένες δομές (nested structures). Σε παρένθεση παρατίθεται το επί της εκατό ποσοστό της διασποράς που ερμηνεύει το κάθε μοντέλο.

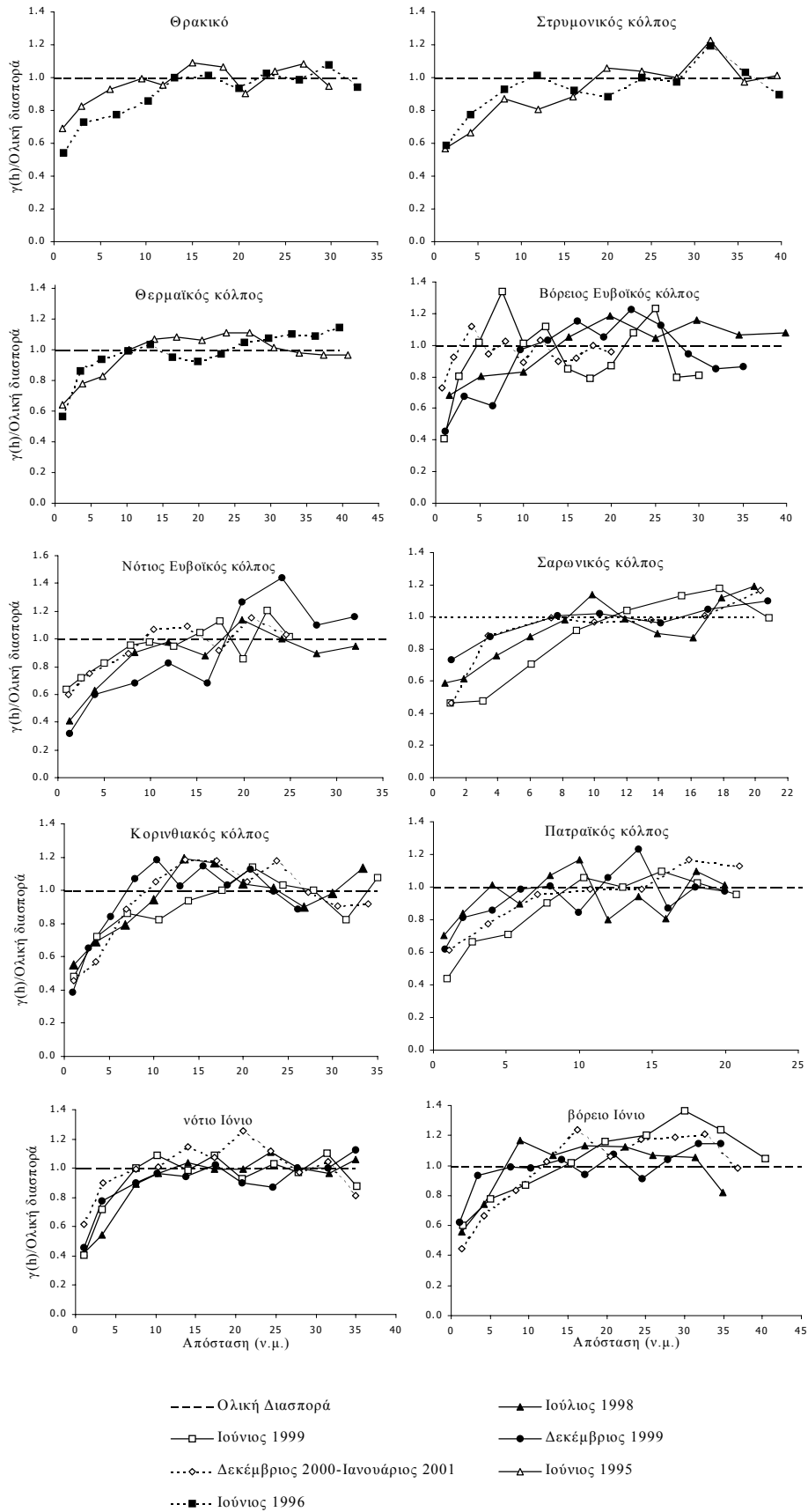
Περίοδος δειγματοληψίας	Περιοχή δειγματοληψίας	Μοντέλο pugget		Σφαιρικό μοντέλο 1		Σφαιρικό μοντέλο 2			
		c_0	(%)	c_1	(%)	a_1 (v.μ.)	c_2	(%)	a_2 (v.μ.)
Ιούνιος 1995	Θρακικό πέλαγος	1.20	(49.89%)	1.21	(50.10%)	7			
	Στρυμονικός κόλπος	1.46	(28.20%)	3.71	(71.80%)	13			
	Θερμαϊκός κόλπος	1.22	(61.50%)	0.76	(38.50%)	7			
Ιούνιος 1996	Θρακικό πέλαγος	1.13	(65.00%)	0.61	(34.90%)	19			
	Στρυμονικός κόλπος	0.78	(54.27%)	0.66	(45.72%)	14			
	Θερμαϊκός κόλπος	1.44	(60.70%)	0.93	(39.30%)	11			
Ιούλιος 1998	B. Ευβοϊκός κόλπος	3.17	(62.11%)	1.93	(37.87%)	8			
	N. Ευβοϊκός κόλπος	2.76	(52.08%)	2.54	(47.90%)	5			
	Σαρωνικός κόλπος	0.58	(62.40%)	0.35	(37.66%)	4			
	Κορινθιακός κόλπος	0.56	(35.39%)	1.02	(64.61%)	13			
	Πατραϊκός κόλπος	1.04	(40.71%)	1.38	(53.94%)	3	0.13	(5.09%)	10
	β. Ιόνιο	2.62	(64.19%)	0.93	(22.77%)	11	0.53	(13.04%)	16
	ν. Ιόνιο	0.66	(14.15%)	3.99	(85.85%)	5			
Ιούνιος 1999	B. Ευβοϊκός κόλπος	1.47	(49.92%)	1.47	(49.92%)	5			
	N. Ευβοϊκός κόλπος	1.12	(67.12%)	0.55	(32.84%)	9			
	Σαρωνικός κόλπος	1.05	(39.51%)	1.61	(60.48%)	10			
	Κορινθιακός κόλπος	0.34	(54.81%)	0.28	(45.19%)	7			
	Πατραϊκός κόλπος	0.64	(38.66%)	1.02	(61.33%)	9			
	β. Ιόνιο	0.65	(35.51%)	1.17	(64.49%)	12			
	ν. Ιόνιο	1.08	(44.78%)	1.33	(55.20%)	9			
Δεκέμβριος 1999	B. Ευβοϊκός κόλπος	1.76	(36.65%)	3.05	(63.33%)	6			
	N. Ευβοϊκός κόλπος	1.63	(37.44%)	2.72	(62.55%)	10			
	Σαρωνικός κόλπος	1.16	(40.18%)	1.73	(59.79%)	4			
	Κορινθιακός κόλπος	1.24	(55.72%)	0.99	(44.27%)	15			
	Πατραϊκός κόλπος	1.85	(43.50%)	2.40	(56.49%)	4			
	β. Ιόνιο	1.29	(56.05%)	1.01	(44.04%)	4			
	ν. Ιόνιο	1.15	(48.28%)	1.23	(51.72%)	13			
Δεκέμβριος 2000	B. Ευβοϊκός κόλπος	1.36	(83.99%)	0.26	(15.99%)	14			
	N. Ευβοϊκός κόλπος	0.77	(49.29%)	0.77	(49.29%)	15	0.02	(1.41%)	21
	Σαρωνικός κόλπος	0.62	(55.85%)	0.49	(44.12%)	4			
Ιανουάριος 2001	Κορινθιακός κόλπος	0.55	(56.17%)	0.43	(43.83%)	11			
	Πατραϊκός κόλπος	0.88	(54.02%)	0.75	(45.95%)	4			
	β. Ιόνιο	0.81	(27.30%)	2.16	(72.70%)	4			
	ν. Ιόνιο	0.56	(72.85%)	0.21	(27.15%)	4			

Πίνακας 5.3. Οι παράμετροι των εφαρμοσμένων σφαιρικών μοντέλων στα (ημι-) διασπορογράμματα της ακουστικής διατομής της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*). C_1 = το πλατό της πρώτης χωρικής δομής (sill 1), a_1 =το εύρος της αυτοσυσχέτισης της πρώτης χωρικής δομής (range 1), C_2 = το πλατό της δεύτερης χωρικής δομής (sill 2) στην περίπτωση που υπάρχουν συγχωνευμένες δομές (nested structures), a_2 = το εύρος της αυτοσυσχέτισης της δεύτερης χωρικής δομής (range 2) στην περίπτωση που υπάρχουν συγχωνευμένες δομές (nested structures). Σε παρένθεση παρατίθεται το επί της εκατό ποσοστό της διασποράς που ερμηνεύει το κάθε μοντέλο.

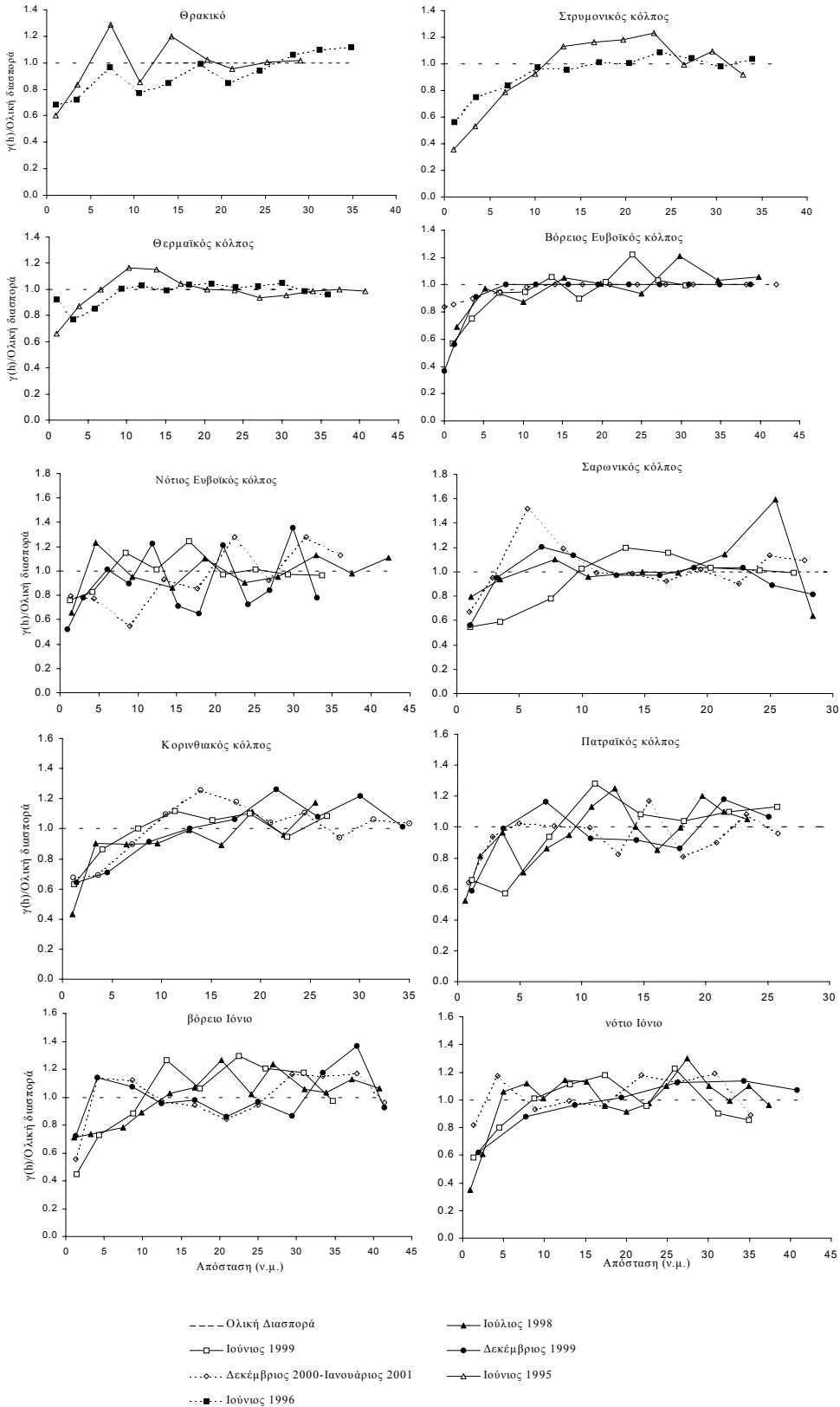
Περίοδος δειγματοληψίας	Περιοχή δειγματοληψίας	Μοντέλο pugget		Σφαιρικό μοντέλο 1		Σφαιρικό μοντέλο 2			
		c_0	(%)	c_1	a_1 (v.μ.)	c_2	(%)	a_2 (v.μ.)	
Ιούνιος 1995	Θρακικό πέλαγος	1.48	(60.07%)	0.98	(39.93%)	8			
	Στρυμονικός κόλπος	1.30	(53.69%)	1.12	(46.31%)	9			
	Θερμαϊκός κόλπος	1.44	(60.67%)	0.93	(39.31%)	11			
Ιούνιος 1996	Θρακικό πέλαγος	0.88	(40.98%)	1.27	(49.88%)	17			
	Στρυμονικός κόλπος	1.26	(64.83%)	0.68	(34.99%)	11			
	Θερμαϊκός κόλπος	0.99	(62.10%)	0.59	(36.67%)	5	0.02	(1.22%)	22
Ιούλιος 1998	Β. Ευβοϊκός κόλπος	2.54	(77.85%)	0.72	(22.15%)	4			
	Ν. Ευβοϊκός κόλπος	2.18	(37.44%)	3.65	(62.56%)	13			
	Σαρωνικός κόλπος	0.48	(36.25%)	0.84	(63.75%)	9			
	Κορινθιακός κόλπος	1.27	(55.05%)	1.04	(44.92%)	9			
	Πατραϊκός κόλπος	2.70	(74.34%)	0.94	(25.74%)	2			
	β. Ιόνιο	1.35	(73.59%)	0.48	(26.40%)	5			
	ν. Ιόνιο	1.64	(54.69%)	1.24	(41.28%)	6	0.12	(4.03%)	14
Ιούνιος 1999	Β. Ευβοϊκός κόλπος	1.62	(55.37%)	1.32	(45.12%)	7			
	Ν. Ευβοϊκός κόλπος	0.83	(53.84%)	0.71	(46.14%)	10			
	Σαρωνικός κόλπος	0.55	(22.84%)	1.86	(77.15%)	12			
	Κορινθιακός κόλπος	0.30	(37.82%)	0.49	(62.22%)	8			
	Πατραϊκός κόλπος	0.53	(39.61%)	0.81	(60.38%)	5			
	β. Ιόνιο	0.90	(46.28%)	1.04	(53.68%)	8			
	ν. Ιόνιο	0.66	(41.04%)	0.94	(58.96%)	11			
Δεκέμβριος 1999	Β. Ευβοϊκός κόλπος	1.90	(75.45%)	0.62	(24.65%)	4			
	Ν. Ευβοϊκός κόλπος	1.22	(33.34%)	2.44	(66.66%)	14			
	Σαρωνικός κόλπος	0.66	(48.54%)	0.70	(51.47%)	5			
	Κορινθιακός κόλπος	1.20	(52.90%)	1.06	(47.06%)	8			
	Πατραϊκός κόλπος	0.83	(47.42%)	0.92	(52.58%)	6			
	β. Ιόνιο	0.81	(27.30%)	2.16	(72.70%)	4			
	ν. Ιόνιο	0.97	(42.05%)	1.33	(57.95%)	15			
Δεκέμβριος 2000	Β. Ευβοϊκός κόλπος	1.63	(71.44%)	0.65	(28.55%)	3			
	Ν. Ευβοϊκός κόλπος	1.12	(51.82%)	1.03	(47.75%)	15	0.01	(0.43%)	21
	Σαρωνικός κόλπος	0.77	(36.00%)	1.37	(64.00%)	8			
Ιανουάριος 2001	Κορινθιακός κόλπος	0.64	(32.07%)	1.36	(67.91%)	11			
	Πατραϊκός κόλπος	1.11	(66.89%)	0.46	(27.78%)	4	0.09	(5.33%)	10
	β. Ιόνιο	0.29	(30.19%)	0.68	(70.79%)	13			
	ν. Ιόνιο	0.96	(48.85%)	1.01	(51.14%)	12			

Πίνακας 5.4. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κανονικοποιημένων διεξοδικών κατευθυντικών διασπορογραμμμάτων (standardized directional exhaustive variograms) όπως αυτά υπολογίστηκαν για το σύνολο των μικρών πελαγικών. θ = γωνία ανισοτροπίας του μέγιστου άξονα (σε μοίρες), λ = λόγος ανισοτροπίας, R =λόγος των εμβαδών (A_{60}/A_{100}).

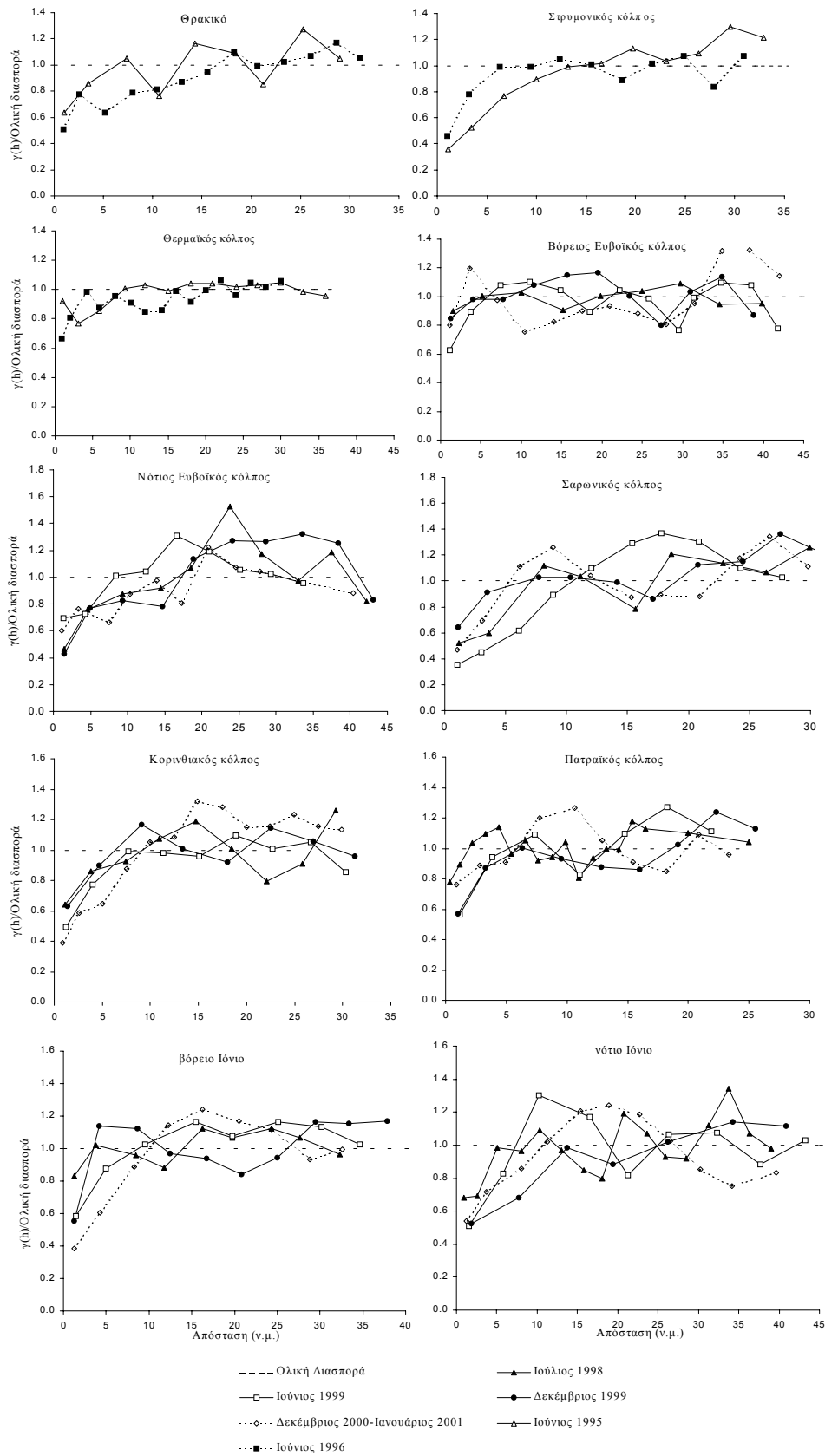
Περίοδος Δειγματοληψίας	Περιοχή Δειγματοληψίας	Μικρά πελαγικά			Γαύρος			Σαρδέλα		
		θ	λ	R	θ	λ	R	θ	λ	R
Ιούνιος 1995	Θρακικό πέλαγος	170	1.53	0.225	123	1.01	0.078	136	1.37	0.211
	Στρυμονικός κόλπος	101	1.13	0.076	148	1.50	0.085	103	1.87	0.062
	Θερμαϊκός κόλπος	31	1.43	0.087	146	1.17	0.035	77	2.30	0.024
Ιούνιος 1996	Θρακικό πέλαγος	56	1.11	0.182	101	1.10	0.115	36	1.05	0.201
	Στρυμονικός κόλπος	119	1.23	0.096	34	1.05	0.021	130	1.29	0.006
	Θερμαϊκός κόλπος	57	1.10	0.074	55	1.10	0.040	36	1.45	0.016
Ιούνιος 1998	Β. Ευβοϊκός κόλπος	39	1.31	0.088	29	1.37	0.057	146	1.14	0.030
	Ν. Ευβοϊκός κόλπος	146	1.20	0.085	12	1.16	0.053	169	1.23	0.077
	Σαρωνικός κόλπος	169	1.30	0.367	169	1.45	0.130	123	1.15	0.238
	Κορινθιακός κόλπος	167	1.50	0.122	80	1.33	0.058	123	1.54	0.020
	Πατραϊκός κόλπος	9	1.51	0.184	170	1.26	0.055	168	1.41	0.044
Ιούνιος 1999	β. Ιόνιο	15	1.30	0.175	102	1.51	0.044	6	1.33	0.071
	ν. Ιόνιο	86	1.03	0.179	11	1.08	0.131	11	1.40	0.068
	Β. Ευβοϊκός κόλπος	122	1.33	0.073	174	1.13	0.016	45	1.00	0.006
	Ν. Ευβοϊκός κόλπος	9	1.11	0.097	169	2.18	0.045	105	1.50	0.050
	Σαρωνικός κόλπος	61	1.04	0.353	62	1.38	0.187	106	1.05	0.201
	Κορινθιακός κόλπος	171	1.25	0.137	77	2.05	0.032	168	1.27	0.029
	Πατραϊκός κόλπος	171	1.46	0.194	10	1.68	0.103	12	1.41	0.053
Δεκέμβριος 1999	β. Ιόνιο	57	1.68	0.107	100	1.52	0.035	123	1.24	0.033
	ν. Ιόνιο	33	1.09	0.148	79	1.12	0.017	147	1.07	0.118
	Β. Ευβοϊκός κόλπος	30	1.06	0.084	123	1.14	0.082	83	1.25	0.018
	Ν. Ευβοϊκός κόλπος	99	1.28	0.128	13	1.50	0.082	42	1.23	0.103
	Σαρωνικός κόλπος	82	1.16	0.157	170	1.14	0.028	10	1.08	0.018
	Κορινθιακός κόλπος	118	1.37	0.137	123	1.18	0.021	142	1.38	0.026
	Πατραϊκός κόλπος	79	1.58	0.205	75	1.43	0.023	69	1.36	0.016
Δεκέμβριος 2000	β. Ιόνιο	78	1.06	0.095	149	1.11	0.111	172	1.15	0.147
	ν. Ιόνιο	121	1.24	0.212	80	1.19	0.084	10	1.06	0.092
	Β. Ευβοϊκός κόλπος	17	1.02	0.121	169	1.18	0.040	140	1.10	0.055
	Ν. Ευβοϊκός κόλπος	70	1.27	0.136	12	1.32	0.074	123	1.38	0.098
	Σαρωνικός κόλπος	156	1.19	0.141	171	1.12	0.031	98	1.21	0.074
Ιανουάριος 2001	Κορινθιακός κόλπος	85	1.11	0.083	78	1.06	0.037	55	1.32	0.076
	Πατραϊκός κόλπος	126	1.23	0.243	31	1.10	0.036	80	1.09	0.018
	β. Ιόνιο	103	1.23	0.081	126	1.44	0.106	149	1.43	0.160
	ν. Ιόνιο	101	1.19	0.132	78	1.11	0.070	102	1.45	0.115



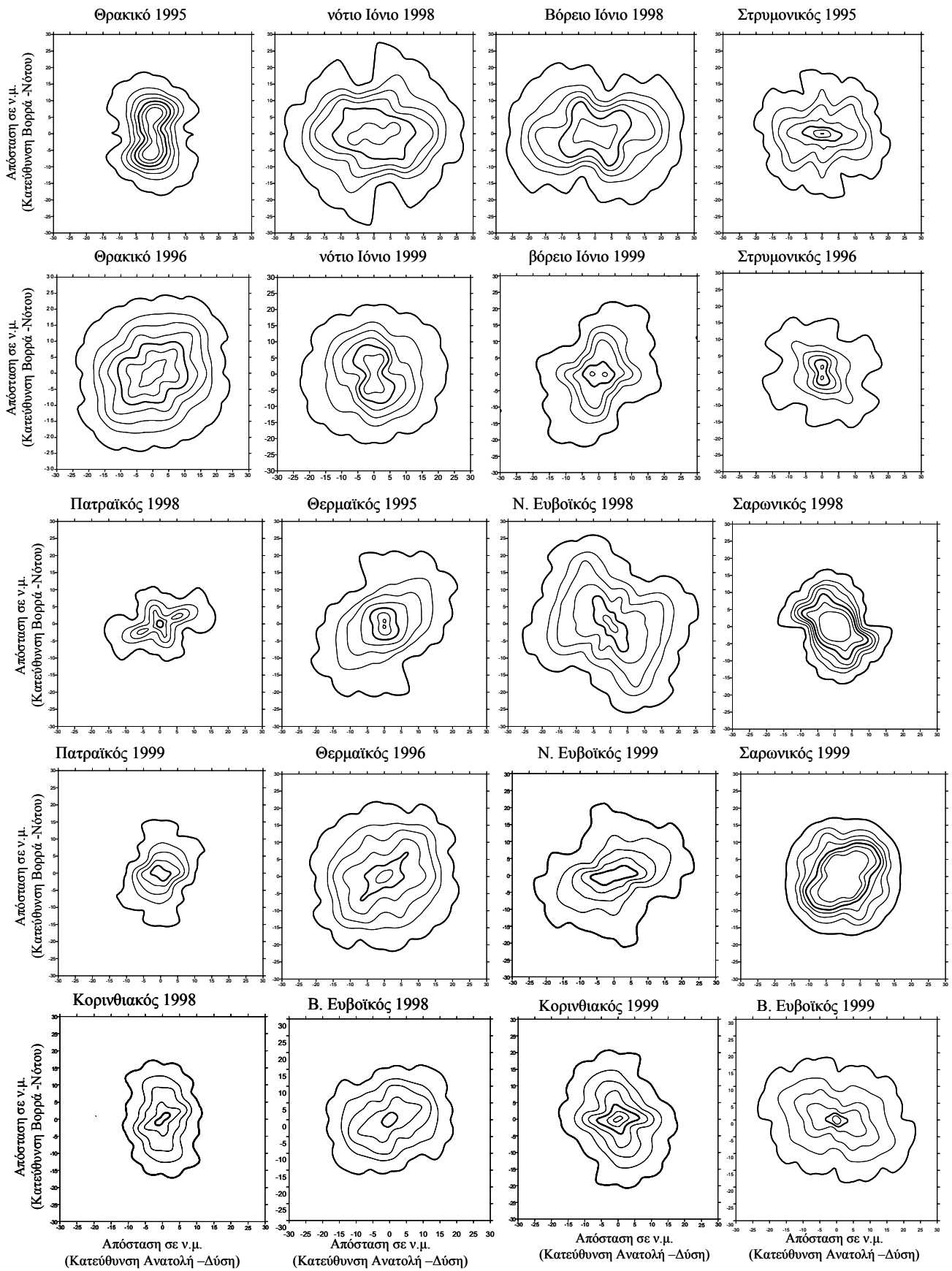
Εικόνα 5.4. Τα εμπειρικά κανονικοποιημένα $\gamma(h)/$ ολική διασπορά) ολοκατευθυντικά διασπορογράμματα του $\ln(\text{ολοκληρωμένη ακουστική διατομή}/\text{v.μ.})$ για το σύνολο των μικρών πελαγικών. Οι παράμετροι των προσαρμοσμένων σφαιρικών μοντέλων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1.



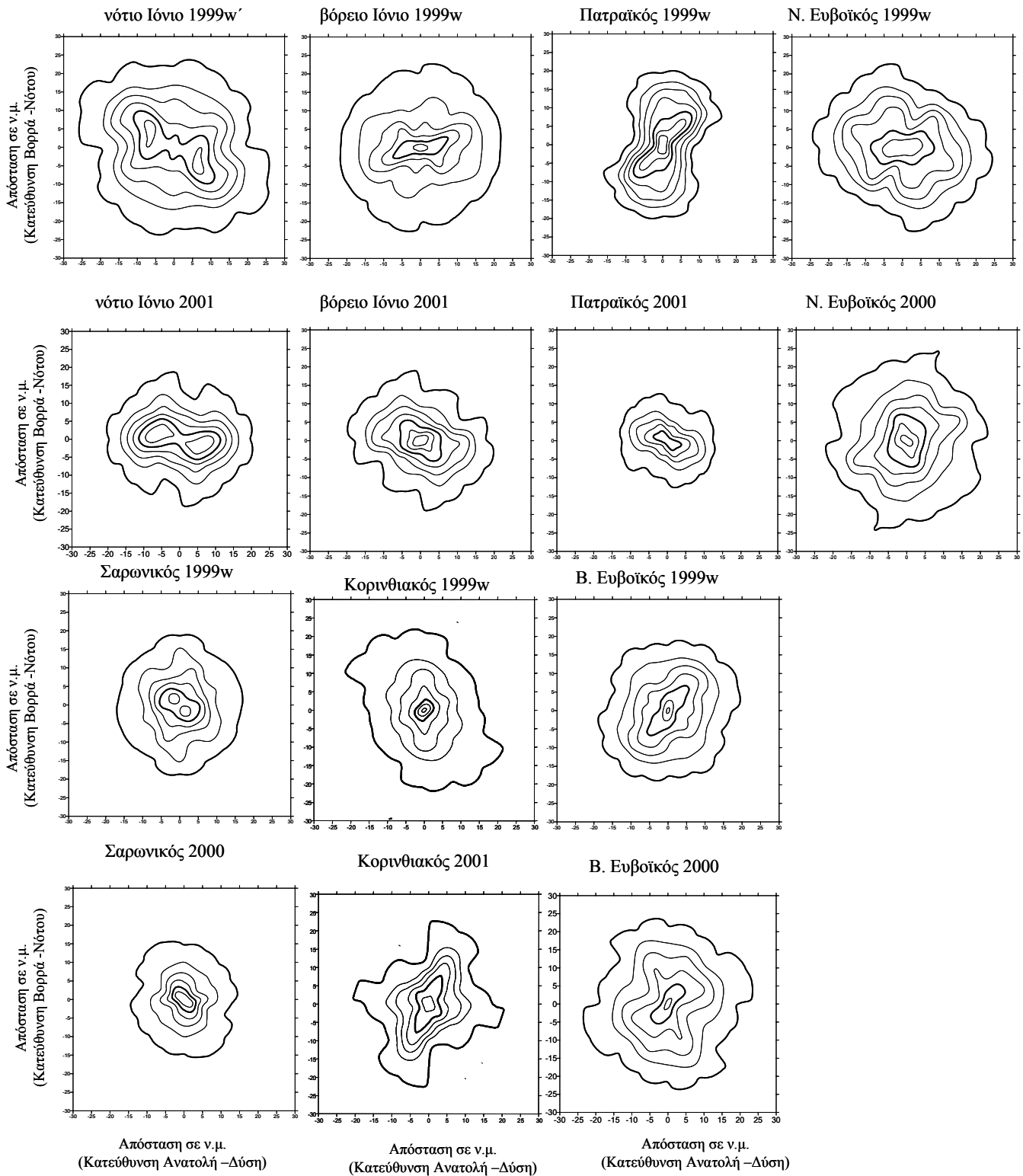
Εικόνα 5.5. Τα εμπειρικά κανονικοποιημένα $(\gamma(h)/\text{ολική διασπορά})$ ολοκατευθυντικά διασπορογράμματα του \ln (ολοκληρωμένη ακουστική διατομή/ν.μ.) για το γάιρο. Οι παράμετροι των προσαρμοσμένων σφαιρικών μοντέλων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2.



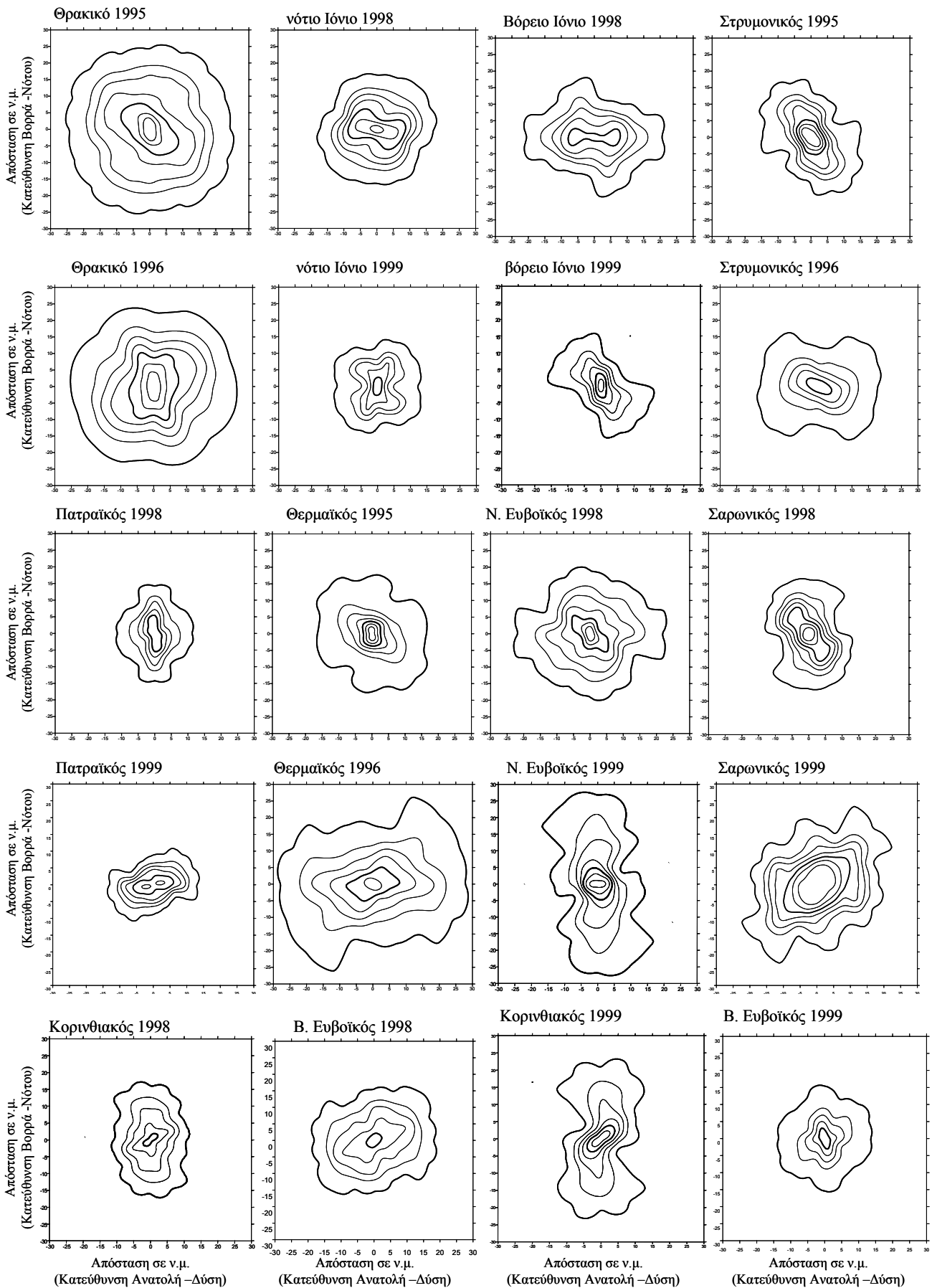
Εικόνα 5.6. Τα εμπειρικά κανονικοποιημένα ($\gamma(h)$ /ολική διασπορά) ολοκατευθυντικά διασπορογράμματα του \ln (ολοκληρωμένη ακουστική διατομή/ν.μ.) για την σαρδέλα. Οι παράμετροι των προσαρμοσμένων σφαιρικών μοντέλων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2.



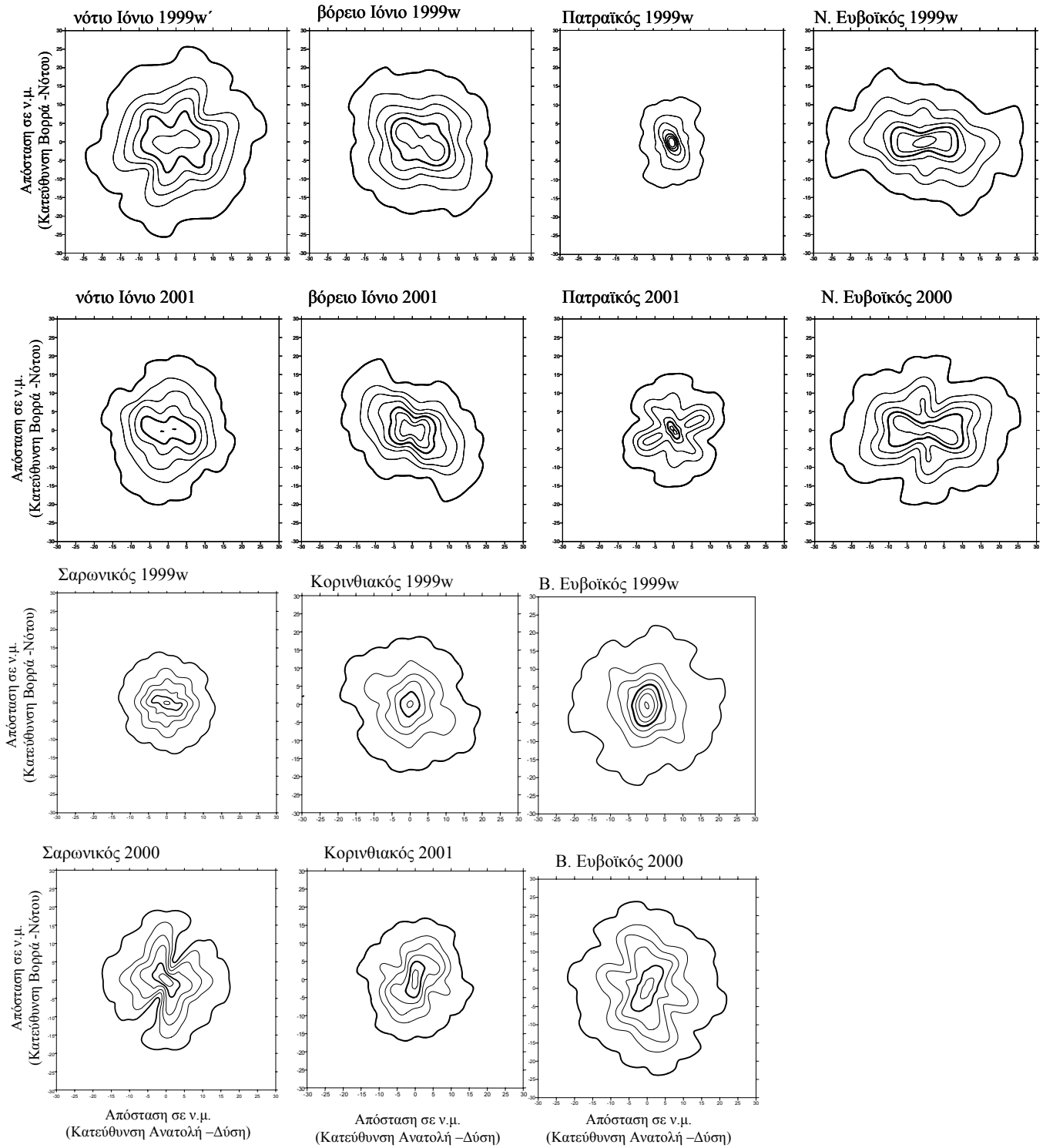
Εικόνα 5.7. Τα περιγραμμικά γραφήματα των διεξοδικών κατευθυντικών κανονικοποιημένων διασπορογραμμάτων (exhaustive directional variograms) για το σύνολο των μικρών πελαγικών Ιn (ολοκληρωμένη ακουστική διατομή /ν.μ.) σε κάθε υποπεριοχή δειγματοληψίας το καλοκαίρι. Τα έντονα περιγράμματα αντιστοιχούν στο A_{60} (εσωτερική γραμμή) και στο A_{100} (εξωτερική γραμμή).



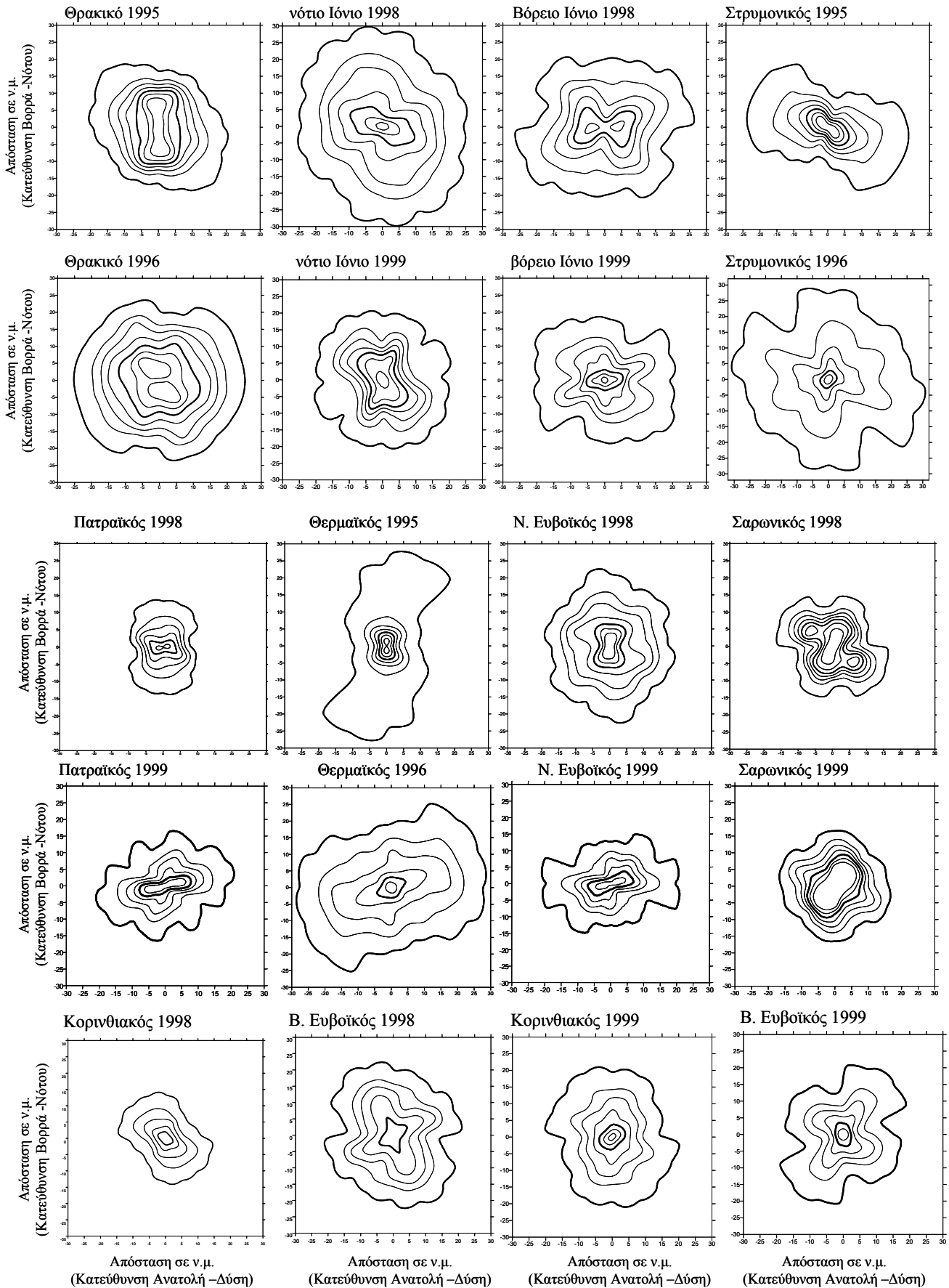
Εικόνα 5.8. Τα περιγραμμικά γραφήματα των διεξοδικών κατευθυντικών κανονικοποιημένων διασπορογραμμάτων (exhaustive directional variograms) για το σύνολο των μικρών πελαγικών Ιn (ολοκληρωμένη ακουστική διατομή /ν.μ.) σε κάθε υποπεριοχή δειγματοληψίας το χειμώνα. Τα έντονα περιγράμματα αντιστοιχούν στο A_{60} (εσωτερική γραμμή) και στο A_{100} (εξωτερική γραμμή).



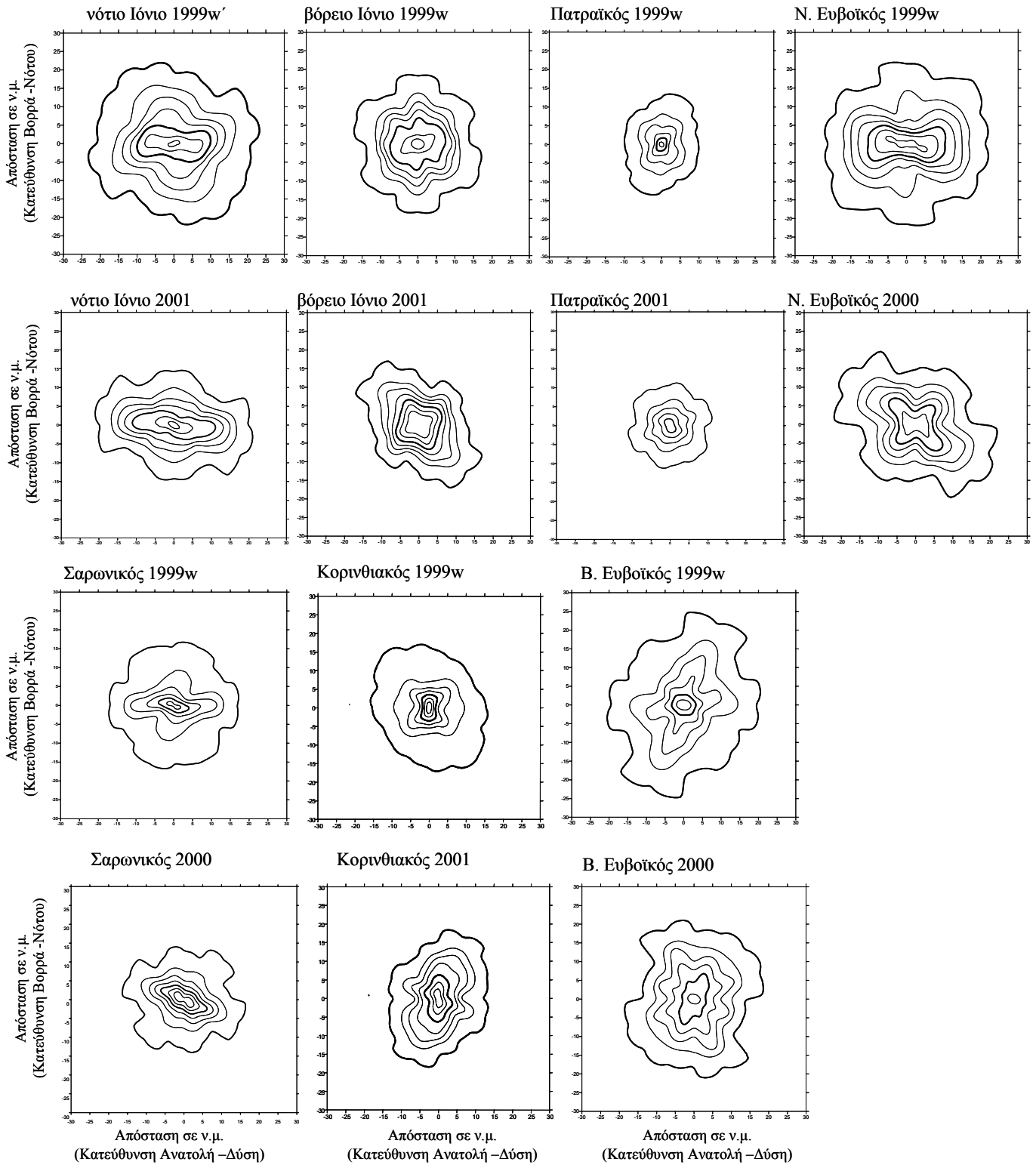
Εικόνα 5.9. Τα περιγραμμικά γραφήματα των διεξοδικών κατευθυντικών κανονικοποιημένων διασπορογραμμάτων (exhaustive directional variograms) για το γάυρο \ln (ολοκληρωμένη ακουστική διατομή /ν.μ.) σε κάθε υποπεριοχή δειγματοληψίας το καλοκαίρι. Τα έντονα περιγράμματα αντιστοιχούν στο A_{60} (εσωτερική γραμμή) και στο A_{100} (εξωτερική γραμμή).



Εικόνα 5.10. Τα περιγραμμικά γραφήματα των διεξοδικών κατευθυντικών κανονικοποιημένων διασπορογραμμάτων (exhaustive directional variograms) για το γάυρο \ln (ολοκληρωμένη ακουστική διατομή /ν.μ.) σε κάθε υποπεριοχή δειγματοληψίας το χειμώνα. Τα έντονα περιγράμματα αντιστοιχούν στο A_{60} (εσωτερική γραμμή) και στο A_{100} (εξωτερική γραμμή).



Εικόνα 5.11. Τα περιγραμμικά γραφήματα των διεξοδικών κατευθυντικών κανονικοποιημένων διασπορογραμμάτων (exhaustive directional variograms) για τη σαρδέλα *In* (ολοκληρωμένη ακουστική διατομή / ν.μ.) σε κάθε υποπεριοχή δειγματοληψίας το καλοκαίρι. Τα έντονα περιγράμματα αντιστοιχούν στο A_{60} (εσωτερική γραμμή) και στο A_{100} (εξωτερική γραμμή).



Εικόνα 5.12. Τα περιγραμμικά γραφήματα των διεξοδικών κατευθυντικών κανονικοποιημένων διασπορογραμμάτων (exhaustive directional variograms) για τη σαρδέλα ln (ολοκληρωμένη ακουστική διατομή /ν.μ.) σε κάθε υποπεριοχή δειγματοληψίας το χειμώνα. Τα έντονα περιγράμματα αντιστοιχούν στο A_{60} (εσωτερική γραμμή) και στο A_{100} (εξωτερική γραμμή).

5.5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η γεωστατιστική ανάλυση επέτρεψε τη μελέτη των χωρικών δομών των μικρών πελαγικών σε διαφορετικές περιοχές και διαφορετικές εποχές. Ειδικότερα, τα σχολεία των μικρών πελαγικών φάνηκε ότι οργανώνονται σε δομές (δηλ. συγκεντρώσεις μεγαλύτερης κλίμακας του ενός σχολείου, Reid 2000), οι οποίες μπορούσαν να αποδοθούν με κάποιο χωρικό δομικό πρότυπο σε ποσοστό που κυμαίνονταν ανάλογα με την περιοχή και την περίοδο δειγματοληψίας (από 32.70% ως 76.50% για το σύνολο των μικρών πελαγικών, από 22.15% ως 77.15% για τη σαρδέλα και από 15.99% ως 85.85% για το γαύρο).

Με βάση το εύρος αυτοσυσχέτισης (ενδεικτικό της μέγιστης διαμέτρου των δομών) τα μικρά πελαγικά ως σύνολο παρουσίαζαν μεσαίας ως μεγάλης κλίμακας (4-18 ν.μ.) χωρικές δομές και επιμέρους ο γαύρος και η σαρδέλα μικρής ως μεγάλης κλίμακας (2 – 22 ν.μ.) χωρικές δομές (Maravelias *et al.*, 1996). Το μέγεθος των σχηματιζόμενων χωρικών δομών διαφοροποιούνταν έντονα ανά υποπεριοχή, ωστόσο στις περισσότερες περιπτώσεις οι δομές ήταν μεσαίας κλίμακας (4-11 ν.μ.).

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής επειδή αναφέρονται σε υποπεριοχές οι οποίες διαφοροποιούνται ως προς τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά τους (κλειστότητα, έκταση περιοχής, βάθος βυθού) καθιστούν δύσκολη τη σύγκριση με τα χαρακτηριστικά των χωρικών δομών που έχουν υπολογιστεί για τα ίδια είδη σε άλλες περιοχές ή για διαφορετικά είδη μικρών πελαγικών. Εντούτοις, οι χωρικές δομές του γαύρου σε ανοιχτές περιοχές (π.χ. Θρακικό) παρουσίασαν παραπλήσιο μέγεθος (εύρος αυτοσυσχέτισης ≈ 19 ν.μ.) με αυτό που καταγράφηκε για το *Engraulis capensis* (εύρος αυτοσυσχέτισης ≈ 20 ν.μ.) σε ανοιχτή θαλάσσια περιοχή στη νότια Αφρική (Barange & Hampton 1997). Ανάλογα οι χωρικές δομές του *Sardina pilchardus* παρουσίασαν σε γενικές γραμμές παραπλήσιο μέγεθος με το *Sardinops sagax* (εύρος αυτοσυσχέτισης ≈ 10 ν.μ.) (Barange & Hampton 1997), με εξαίρεση τους πολύ κλειστούς κόλπους (Β. Ευβοϊκός και Πατραϊκός κόλπος) όπου οι δομές είχαν μικρότερο μέγεθος (2 ως 6 ν.μ.). Επιπλέον παραπλήσια μεγέθη αναφέρονται για τη σαρδέλα στην θάλασσα της Καταλονίας (εύρος αυτοσυσχέτισης ≈ 10 ν.μ.) και για τη σαρδέλα και το γαύρο (Fron & Misund 1999 και αναφορές) στον Βισκαϊκό κόλπο (εύρος αυτοσυσχέτισης ≈ 8 ν.μ.).

Περαιτέρω, τα διεξοδικά κατευθυντικά διασπορογράμματα αν και η χρήση τους δεν είναι συνήθης, ιδιαίτερα δε από τους αλιευτικούς επιστήμονες, ωστόσο παρείχαν μια ολοκληρωμένη εποπτική εικόνα της ανισοτροπίας των χωρικών δομών δηλ. αν διαφοροποιείται ο τρόπος που μεταβάλλονται οι χωρικές δομές στις διαφορετικές κατευθύνσεις (Rendu 1979b; Isaaks & Srivastava, 1989; Rossi *et al.*, 1992). Πρέπει να σημειωθεί ότι η παρούσα διατριβή αποτελεί μια από τις πρώτες προσπάθειες εφαρμογής των διεξοδικών διασπορογραμμάτων σε ακουστικά αλιευτικά δεδομένα. Ο υπολογισμός αυτού του είδους των διασπορογραμμάτων κρίθηκε απαραίτητος, δεδομένου ότι για να μελετηθεί επαρκώς το πρότυπο που χαρακτηρίζει τις χωρικές δομές σε περιβάλλοντα με υψηλό βαθμό ετερογένειας όπως η περιοχή μελέτης, δεν επαρκούν τα ολοκατευθυντικά διασπορογράμματα (Maravelias *et al.*, 1996; Petitgas & Lénévez 1996; Barange & Hampton 1997; Petitgas 1997; Lo *et al.*, 2001) ή τα κατευθυντικά διασπορογράμματα σε 4 διευθύνσεις, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν σε θαλάσσιες περιοχές με λιγότερο πολύπλοκη τοπογραφία σε σχέση με τις Ελληνικές θάλασσες (π.χ. Simanrd *et al.*, 1993).

Κατά την μελέτη της ανισοτροπίας (δηλ. το πώς μεταβάλλονται οι χωρικές δομές σε διαφορετικές διευθύνσεις) παρατηρήθηκαν έντονες διαφοροποιήσεις στο λόγο και στη γωνία ανισοτροπίας, ανεξάρτητα από την υποπεριοχή μελέτης και την εποχή. Επιπλέον η μελέτη των διεξοδικών κατευθυντικών διασπορογραμμάτων επέτρεψε με την εισαγωγή του λόγου R, να φανούν οι διαφοροποιήσεις στην εσωτερική οργάνωση των χωρικών δομών που σχηματίζουν τα υπό μελέτη είδη, διαφορές που δεν γίνονται αντιληπτές μόνο από την μελέτη των χαρακτηριστικών των ολοκατευθυντικών διασπορογραμμάτων (δηλ. το nugget, το πλατό και το εύρος αυτοσυσχέτισης). Για παράδειγμα, παρατηρήθηκε ότι χωρικές δομές παρόμοιου μεγέθους (με παρόμοιο εύρος αυτοσυσχέτισης) διαφοροποιούνταν ως προς την εσωτερική οργάνωσή τους (π.χ. οι δομές της σαρδέλας στον Κορινθιακό κόλπο και στο νότιο τμήμα του Ιονίου το 2001, Πιν. 5.3, 5.4 και Εικ. 5.12).

Γενικότερα, παρατηρήθηκαν μεγάλες αποκλίσεις ανά υποπεριοχή και ανά περίοδο δειγματοληψίας στο ποσοστό που τα σχολεία οργανώνονται σε μεγαλύτερης κλίμακας δομές, στο μέγεθος και στην εσωτερική οργάνωση των δομών αυτών. Οι μεγάλες αυτές αποκλίσεις στα χαρακτηριστικά των χωρικών δομών των συγκεντρώσεων του γαύρου και της σαρδέλας ανά υποπεριοχή συνδέονται τόσο με την βιολογία των δύο ειδών όσο και με την ετερογένεια του περιβάλλοντος των Ελληνικών Θαλασσών. Η κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού, η πυκνότητα, οι βιοτικοί και οι αβιοτικοί παράγοντες δύνανται να επηρεάσουν το δομικό πρότυπο κατανομής στο χώρο των ψαριών. Η τροφή δεν κατανέμεται ομοιόμορφα στην κολώνα του

νερού, μπορεί να συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένα βάθη και η κατανομή της να είναι κατακερματισμένη. Υδροδυναμικές διαδικασίες μπορούν να οδηγούν σε τοπικές συγκεντρώσεις ζωοπλαγκτού στην περιοχή και τελικά να καθορίζουν την κατά τόπους κατανομή του γαύρου ή της σαρδέλας. Για παράδειγμα περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας αλλά περιορισμένης έκτασης (π.χ. παρουσία ρευμάτων, εκβολές ποταμών, αντικυκλώνες) εντός μιας μεγάλης περιοχής μπορούν να συνιστούν κέντρα συγκέντρωσης πληθυσμού και να οδηγήσουν σε πυκνές και μικρού μεγέθους δομές, καθώς τα ψάρια σχηματίζουν αυξημένες πυκνότητες τοπικά. Η εικόνα μπορεί να γίνει ακόμα πιο πολύπλοκη στην περίπτωση που διαφοροποιείται το ενδιαίτημα του μικρού και μεγάλου μεγέθους ατόμων, που όμως συνυπάρχουν στον πληθυσμό του είδους σε μια περιοχή (Swartzman 1991, Maravelias 1997, Freon & Misund 1999). Επιπλέον, παράγοντες όπως η πολύπλοκη τοπογραφία των Ελληνικών Θαλασσών μπορεί να ενισχύουν περαιτέρω τις αποκλίσεις στα χαρακτηριστικά των δομών των μικρών πελαγικών στο χώρο. Με την τοπογραφία μπορεί να σχετίζονται οι διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά και την εσωτερική οργάνωση των χωρικών δομών ανάμεσα σε κλειστούς κόλπους όπως ο Β. Ευβοϊκός κόλπος και σε ανοιχτές περιοχές όπως το Θρακικό. Είναι επίσης γνωστό (Guillard & Lebourges 1998) ότι πληθυσμοί μικρών πελαγικών σε ρηγά νερά παρουσιάζουν είτε πλήρη απουσία δομής στο χώρο (100% φαινόμενο nugget) ή απώλεια της χωρικής δομής σε μεγάλο ποσοστό (υψηλό ποσοστό nugget).

Η γεωστατιστική προσέγγιση λαμβάνει υπόψη της την αυτοσυσχέτιση των δεδομένων στο χώρο και επιτρέπει την εξαγωγή πληροφορίας για το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά των συγκεντρώσεων (patches) των ψαριών. Η μελέτη των χωρικών δομών των μικρών πελαγικών στις Ελληνικές Θάλασσες συνιστά ένα πρώτο βήμα προς την κατανόηση των περιβαλλοντικών και των βιολογικών μηχανισμών που καθορίζουν την κατανομή τους και οδηγούν στον σχηματισμό των συγκεντρώσεών τους. Τέτοιου είδους πληροφορία είναι απαραίτητη στον μελλοντικό σχεδιασμό και την πυκνότητα της δειγματοληψίας σε αλιευτικές έρευνες ώστε να εξασφαλιστεί η μη μεροληπτική εκτίμηση της βιομάζας των ψαριών και περαιτέρω για την λήψη διαχειριστικών επιλογών, ειδικά σε περιβάλλοντα με τόσο πολύπλοκη τοπογραφία όπως οι Ελληνικές Θάλασσες.

Αποκτά έτσι ιδιαίτερο ενδιαφέρον, σε ένα δεύτερο βήμα η διερεύνηση της επίδρασης της τοπογραφίας στα χαρακτηριστικά (π.χ. στο μέγεθος, στην εσωτερική οργάνωση, στην ανισοτροπία) των χωρικών δομών των ψαριών. Ωστόσο, η ετερογένεια του περιβάλλοντος των Ελληνικών Θαλασσών εντείνεται περαιτέρω με την συμβολή άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως π.χ. η διαθεσιμότητα της τροφής, η κατανομή της θερμοκρασίας και της αλατότητας. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες (π.χ. το ζωοπλαγκτόν, η θερμοκρασία και η στρωμάτωση της κολώνας του νερού) που καθορίζουν το ενδιαίτημα του γαύρου και της σαρδέλας και το πώς διαφοροποιείται η επίδρασή τους ανά υποπεριοχή αποτελεί αντικείμενο του 7^{ου} και του 8^{ου} κεφαλαίου.

6. Οι Χωρικές Δομές των Μικρών Πελαγικών σε σχέση με την τοπογραφία της περιοχής μελέτης.

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μικρά πελαγικά σχηματίζουν σχολεία που απαρτίζονται από μόνο ένα είδος (μονοειδικά σχολεία) ή μικτά σχολεία από διαφορετικά είδη (Bakun & Cury 1999). Τα σχολεία αυτά οργανώνονται σε μεγαλύτερες δομές σχηματίζοντας ομάδες σχολείων, φαινόμενο το οποίο έχει περιγραφεί σε πολλά είδη (Freon & Misund 1999, Petitgas *et al.*, 2001 και αναφορές που παρατίθενται εκεί). Η κατανομή στο χώρο των μικρών πελαγικών έχει απασχολήσει συχνά στο παρελθόν τους αλιευτικούς επιστήμονες επειδή επηρεάζει τόσο την αλιεία των αποθεμάτων και τα αποτελέσματα των αλιευτικών ερευνών όσο και επειδή συνεισφέρει στην κατανόηση των θεμελιωδών οικολογικών διεργασιών που διέπουν τον πληθυσμό (Freon & Misund 1999). Επομένως δεν αρκεί η γνώση του εύρους της κατανομής του πληθυσμού αλλά είναι αναγκαία και η γνώση του πώς ο πληθυσμός κατανέμεται εντός αυτού του εύρους (Winters & Wheeler 1985).

Η αναγνώριση της σημασίας των παραπάνω συνεισέφερε στην ανάπτυξη μεθοδολογίας όπως η γεωστατιστική, που προσφέρει πληροφορίες για το δομικό πρότυπο που ακολουθούν οι οργανισμοί στο χώρο. Είναι γνωστό ότι η κατανομή των ψαριών στο χώρο είναι συναρτήση δύο παραγόντων : α) του τρόπου με τον οποίο τα ψάρια καταλαμβάνουν τον διαθέσιμο χώρο και β) της επίδρασης της γεωμετρίας του ενδιαιτήματος (Petitgas 1993a). Ωστόσο, σε ανοιχτές θάλασσες όπως η Βόρεια Θάλασσα (Petitgas 1993b, Maravelias *et al.*, 1996), η θαλάσσια περιοχή της Σενεγάλης (Petitgas & Lénévez 1996), η περιοχή της νότιας Benguella (Barange & Hampton 1997), ο Βισκαϊκός κόλπος (Petitgas 1997) και οι νότιες ακτές της Δυτικής Αυστραλίας (Fletcher & Summer 1999), η επίδραση της γεωμετρίας του ενδιαιτήματος αναμένεται να είναι μικρής σημασίας στις χωρικές δομές των ψαριών.

Αντίθετα στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο, θαλάσσιες δηλαδή περιοχές με έντονο μορφολογικό ανάγλυφο (Stergiou *et al.*, 1997a). Τα δεδομένα από τέτοιου είδους περιβάλλοντα (τα οποία είναι τυπικά για την Ανατολική Μεσόγειο) είναι πολύτιμα για την μελέτη της επίδρασης της τοπογραφίας στην κατανομή των ψαριών στο χώρο.

Αναλυτικότερα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από εννέα υποπεριοχές με διαφορετική τοπογραφία και δύο διαφορετικές εποχές (καλοκαίρι και χειμώνα) ώστε να γίνει εφικτή και η μελέτη της ύπαρξης εποχιακών μεταβολών στο πρότυπο κατανομής των ψαριών στο χώρο. Τα κύρια τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής όπως ο βαθμός κλειστότητας, η έκταση της υποπεριοχής, το μέσο βάθος βυθού και οι μεταβολές του βάθους βυθού χρησιμοποιήθηκαν ως προς την επίδρασή τους στις χωρικές δομές των ψαριών. Τα χαρακτηριστικά των χωρικών δομών των ψαριών που εξετάστηκαν προέρχονταν από τα αποτελέσματα της γεωστατιστικής ανάλυσης (κεφ. 5) και αφορούν στις μεταβλητές που εκτιμήθηκαν από τα ολοκατευθυντικά διασπορογράμματα καθώς και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διεξοδικών κατευθυντικών διασπορογραμμάτων που υπολογίστηκαν με λογισμικό πρόγραμμα ανάλυσης εικόνας.

6.2 ΎΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

6.2.1. Ακουστική δειγματοληψία.

Τα στοιχεία που αφορούν στην ακουστική δειγματοληψία έχουν ήδη περιγραφεί στην παράγραφο 3.2. του τρίτου κεφαλαίου.

Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της ακουστικής διατομής (σε mmd) που ολοκληρώθηκαν ανά ένα ναυτικό μίλι (Στοιχειώδης μονάδα δειγματοληψίας -EDSU) και προέρχονταν α) από το σύνολο του ήχου που προήλθε από μικρά πελαγικά είδη ψαριών, β) από τον ήχο που αποδόθηκε στο γαύρο και γ) από τον ήχο που αποδόθηκε στην σαρδέλα. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίστηκε τόσο μια περιγραφή των χωρικών δομών που παρουσιάζουν ως σύνολο τα μικρά πελαγικά είδη όσο και μια λεπτομερέστερη προσέγγιση που επικεντρώθηκε στις χωρικές δομές που σχηματίζουν τα δύο κυρίαρχα στην περιοχή μικρά πελαγικά, ο γαύρος και η σαρδέλα. Η ανάλυση των δεδομένων εφαρμόστηκε ξεχωριστά σε 9 υποπεριοχές (Εικ. 1.3) όπως αναφέρεται στην παράγραφο 5.3 του πέμπτου κεφαλαίου.

6.2.2. Στατιστική ανάλυση

Η επίδραση της γεωγραφίας της περιοχής μελέτης στο δομικό πρότυπο που παρουσιάζουν τα μικρά πελαγικά μελετήθηκε με ανάλυση απλής παλινδρόμησης και βαθμωτής πολλαπλής παλινδρόμησης (Zar 1980). Με τις μεθόδους αυτές εξετάστηκε η συσχέτιση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των υποπεριοχών μελέτης με τα χαρακτηριστικά των χωρικών δομών των μικρών πελαγικών.

Αναλυτικότερα, με βάση τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής προσέγγισης (κεφ. 3) και της γεωστατιστικής ανάλυσης (κεφ. 5) εφαρμόστηκε η ανάλυση της πολλαπλής παλινδρόμησης με οπισθο-απαλοιφή κατά βήματα (backward stepwise multiple regression- Zar 1980; Wonacott & Wonnacott 1981) και εξετάστηκε η επίδραση των ακόλουθων μεταβλητών στις χωρικές δομές του συνόλου των μικρών πελαγικών, του γαύρου και της σαρδέλας:

α) του δείκτη κλειστότητας (ΔΚ), ο οποίος είναι ενδεικτικός του βαθμού κλειστότητας μιας υδάτινης λεκάνης (DeLeiva Moreno *et al.*, 2000):

$$\Delta K = \frac{MA}{MO} \quad (\text{εξίσωση 6.1})$$

όπου MA είναι το μήκος της ακτογραμμής; MO το μήκος της γραμμής εκείνης που προσδιορίζει τα όρια της εκάστοτε περιοχής (Εικ. 1.3). Αν και η μέτρηση του μήκους της ακτογραμμής λόγω του βαθμού αναδίπλωσης εμπεριέχει ένα ποσοστό σφάλματος αυτό θεωρήθηκε αμελητέο, καθώς όλες οι μετρήσεις ελήφθησαν στην ίδια κλίμακα και ο βαθμός αναδίπλωσης της ακτογραμμής θεωρήθηκε σταθερός μεταξύ των θέσεων. Μεγάλες τιμές του ΔΚ δείχνουν ότι η συγκεκριμένη λεκάνη είναι κλειστή και επικοινωνεί με την ανοιχτή θάλασσα ή με μια άλλη παρακείμενη λεκάνη μέσω ενός στενού περάσματος.

β) το μέσο βάθος βυθού (B) σε μέτρα (m),

γ) ο συντελεστής μεταβλητότητας του βάθους βυθού (ΣΜΒ), ο οποίος είναι ενδεικτικός της ετερογένειας του βάθους βυθού,

δ) το εμβαδόν της επιφάνειας (A) της υποπεριοχής σε τετραγωνικά ναυτικά μίλια (ν.μ.²). Η εξέταση της επίδρασης του εμβαδού της επιφάνειας της υποπεριοχής κρίθηκε απαραίτητη καθώς ο βαθμός κλειστότητας μιας περιοχής δεν μπορεί να εξετάζεται αποκομμένα από την έκταση της περιοχής. Οι τιμές των παραπάνω τοπογραφικών χαρακτηριστικών παρουσιάζονται στον πίνακα 6.1

Πίνακας 6.1. Τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά των υποπεριοχών μελέτης. A= η έκταση της υποπεριοχής σε ν.μ.², B= το μέσο βάθος βυθού σε μ, ΣΜΒ= ο συντελεστής μεταβλητότητας του βάθους βυθού και ΔΚ= δείκτης κλειστότητας.

Υποπεριοχή	A (ν.μ. ²)	B (μ)	ΔΚ	ΣΜΒ
Βόρειο Αιγαίο				
Θρακικό	1260	92	0.39	0.84
Στρυμονικός κόλπος	1169	95	0.71	0.62
Θερμαϊκός κόλπος	1963	114	0.83	0.70
Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο				
Βόρειος Ευβοϊκός κόλπος	766	111	0.98	0.89
Νότιος Ευβοϊκός κόλπος	677	100	0.84	0.64
Ιόνιο				
Κορινθιακός κόλπος	781	391	0.97	0.71
Πατραϊκός κόλπος	337	74	0.80	0.32
βόρειο Ιόνιο	1571	251	0.67	1.33
νότιο Ιόνιο	777	412	0.49	0.91

και

ε) η επίδραση της πυκνότητας (Π) (kg/ν.μ.²) στην ειδική περίπτωση του γαύρου και της σαρδέλας, καθώς τα χαρακτηριστικά των σχηματιζόμενων δομών στο χώρο συνδέονται με την υπάρχουσα ποσότητα ψαριών εντός ενός χώρου, με δεδομένη κλειστότητα και έκταση. Υπολογίστηκαν για το σκοπό αυτό οι πυκνότητες

του γούρου και της σαρδέλας ($\text{kg/v.}\mu.^2$) σε κάθε υποπεριοχή δειγματοληψίας (ως συνολική βιομάζα/ έκταση υποπεριοχής, Πιν. 6.2).

Ως εξαρτημένες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες παράμετροι όπως υπολογίστηκαν από την εφαρμογή των γεωστατιστικών τεχνικών (ολοκατευθυντικά και διεξοδικά κατευθυντικά διασπορογράμματα, κεφ. 5). Αναλυτικότερα από τα ολοκατευθυντικά διασπορογράμματα χρησιμοποιήθηκαν:

Πίνακας 6.2. Οι πυκνότητες του γαύρου και της σαρδέλας ανά υποπεριοχή και περίοδο δειγματοληψίας. Π_Γ: Πυκνότητα γαύρου (kg/v.μ.²), Π_Σ: Πυκνότητα σαρδέλας (kg/v.μ.²).

<i>Περίοδος Δειγματοληψίας</i>	<i>Περιοχή Δειγματοληψίας</i>	Π _Γ	Π _Σ
<i>Ιούνιος 1995</i>	<i>Θρακικό πέλαγος</i>	6.64	5.02
	<i>Στρυμονικός κόλπος</i>	16.30	15.80
	<i>Θερμαϊκός κόλπος</i>	9.87	6.01
<i>Ιούνιος 1996</i>	<i>Θρακικό πέλαγος</i>	4.56	4.11
	<i>Στρυμονικός κόλπος</i>	6.91	7.15
	<i>Θερμαϊκός κόλπος</i>	7.61	4.12
<i>Ιούνιος 1998</i>	<i>Β. Ευβοϊκός κόλπος</i>	8.92	15.41
	<i>Ν. Ευβοϊκός κόλπος</i>	3.08	18.58
	<i>Σαρωνικός κόλπος</i>	0.79	1.08
	<i>Κορινθιακός κόλπος</i>	0.43	0.87
	<i>Πατραϊκός κόλπος</i>	2.91	5.51
	<i>β. Ιόνιο</i>	1.16	2.78
<i>Ιούνιος 1999</i>	<i>ν. Ιόνιο</i>	9.14	15.11
	<i>Β. Ευβοϊκός κόλπος</i>	8.48	21.35
	<i>Ν. Ευβοϊκός κόλπος</i>	4.85	4.78
	<i>Σαρωνικός κόλπος</i>	1.90	6.55
	<i>Κορινθιακός κόλπος</i>	0.91	0.91
	<i>Πατραϊκός κόλπος</i>	5.56	8.98
<i>Δεκέμβριος 1999</i>	<i>β. Ιόνιο</i>	1.02	0.84
	<i>ν. Ιόνιο</i>	7.62	11.57
	<i>Β. Ευβοϊκός κόλπος</i>	17.13	14.40
	<i>Ν. Ευβοϊκός κόλπος</i>	6.32	11.79
	<i>Σαρωνικός κόλπος</i>	3.63	5.57
	<i>Κορινθιακός κόλπος</i>	1.02	2.16
<i>Δεκέμβριος 2000</i>	<i>Πατραϊκός κόλπος</i>	11.88	13.61
	<i>β. Ιόνιο</i>	0.61	1.55
	<i>ν. Ιόνιο</i>	6.94	5.49
	<i>Β. Ευβοϊκός κόλπος</i>	12.92	14.36
	<i>Ν. Ευβοϊκός κόλπος</i>	7.19	8.05
	<i>Σαρωνικός κόλπος</i>	3.34	1.16
<i>Ιανουάριος 2001</i>	<i>Κορινθιακός κόλπος</i>	2.11	0.94
	<i>Πατραϊκός κόλπος</i>	6.65	5.53
	<i>β. Ιόνιο</i>	0.59	1.10
	<i>ν. Ιόνιο</i>	8.22	8.70

α) το εύρος αυτοσυσχέτισης (α_s)

β) το nugget (C_{op}) εκφρασμένο σε σχετική κλίμακα δηλαδή ως ποσοστό της ολικής διασποράς σε κάθε περίπτωση

$$C_{op} = \frac{C_0}{C_0 + C_s} \quad (\text{εξίσωση 6.2})$$

όπου

C_0 : είναι η τιμή του διασπορογράμματος που αποδίδεται στο nugget και

C_s : είναι η τιμή του διασπορογράμματος που αποδίδεται στην προσαρμοσμένη σφαιρική δομή.

και από τα διεξοδικά διασπορογράμματα χρησιμοποιήθηκαν ως εξαρτημένες μεταβλητές τα ακόλουθα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, (οι ορισμοί των οποίων παρατίθενται στην παράγραφο 5.3.2 του πέμπτου κεφαλαίου) :

γ) το εμβαδόν της επιφάνειας που περικλείεται από το περίγραμμα που αντιστοιχεί στο 100% της ολικής διασποράς (A_{100}),

δ) ο λόγος ανισοτροπίας (λ),

ε) η διεύθυνση ανισοτροπίας (ΔA), που αποδίδεται από την εφαπτομένη της γωνίας ανισοτροπίας (θ),

ζ) ο λόγος των εμβαδών (R).

Όπως ήδη αναφέρθηκε στο πέμπτο κεφάλαιο μικρές τιμές του δείκτη R δείχνουν ότι εντός μιας μικρής απόστασης αποδίδεται το 60% της ολικής διασποράς (ετερογενής δομή). Μεγάλες τιμές του λόγου R δεικνύουν ότι απαιτείται μεγαλύτερη απόσταση για να αποδοθεί το 60% της ολικής διασποράς και επομένως ο ήχος αλλάζει πιο σταδιακά με την απόσταση (ομοιογενής δομή).

Επιπλέον, εξετάστηκε η ύπαρξη σχέσης μεταξύ της πυκνότητας του γαύρου (Π_r) και της σαρδέλας (Π_s) με τις προαναφερθείσες παραμέτρους που αφορούν την τοπογραφία της περιοχής.

Πρέπει να σημειωθεί ότι επειδή γενικά οι τιμές που αντιστοιχούσαν στο Σαρωνικό κόλπο έδειξαν έντονη απόκλιση (outliers) από τις τιμές των υπόλοιπων υποπεριοχών εξαιρέθηκαν από την ανάλυση της πολλαπλής παλινδρόμησης. Το F-test χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της σημαντικότητας στα μοντέλα της πολλαπλής παλινδρόμησης (Wonacott & Wonacott 1981). Οι ανεξάρτητες μεταβλητές κρίθηκαν αποδεκτές στο μοντέλο σε επίπεδο σημαντικότητας 95%. Όταν περισσότερες από μία μεταβλητές εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο της πολλαπλής παλινδρόμησης υπολογίζονταν και τα μοντέλα της απλής παλινδρόμησης για κάθε επιμέρους μεταβλητή, για να εξεταστεί και η σχετική σημασία των ανεξάρτητων μεταβλητών που εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα Statgraphics v. 5 για Windows της Statistical Graphics Corporation.

6.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

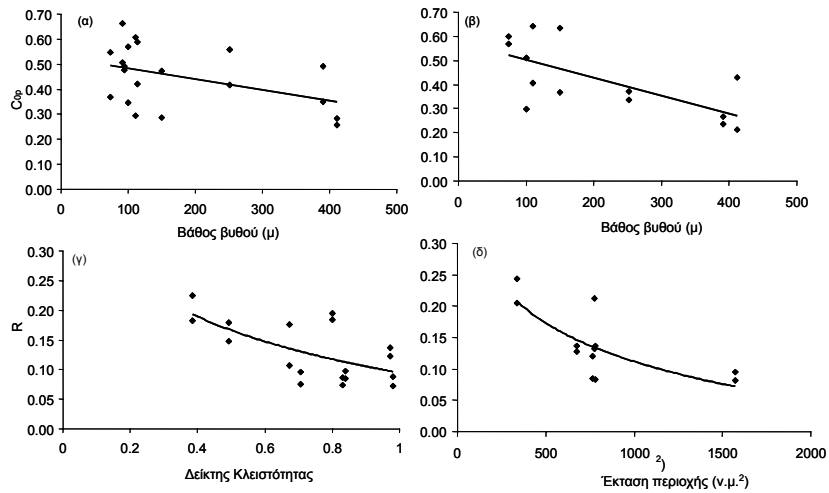
6.3.1 Το σύνολο των μικρών πελαγικών

Η ανάλυση της πολλαπλής παλινδρόμησης (Πιν. 6.3) έδειξε ότι από τις εξαρτημένες μεταβλητές που εξετάστηκαν (α_s , C_{op} , A_{100} , λ , ΔA και R), μόνο το C_{op} και το R παρουσίασαν στατιστικά σημαντική σχέση με ορισμένες (B , ΔK και A) από τις διαθέσιμες ανεξάρτητες μεταβλητές. Ειδικότερα, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διεξοδικών διαγραμμάτων διασποράς που σχετίζονται με την ανισοτροπία (λ και ΔA) δεν παρουσίασαν σημαντική συσχέτιση με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των υποπεριοχών που μελετήθηκαν. Στα μοντέλα εκείνα που η εξαρτημένη μεταβλητή ήταν το nugget (C_{op}), μόνο το μέσο βάθος βυθού (B) επιλέχθηκε (μείωση του nugget προς μεγαλύτερες τιμές μέσου βάθους βυθού -Εικ. 6.1.α και Εικ. 6.1.β). Στα μοντέλα με εξαρτημένη μεταβλητή τον λόγο των εμβαδών (R), επιλέχθηκαν ο δείκτης κλειστότητας (ΔK) και η έκταση της υποπεριοχής (A) (Πίνακας. 6.3) και στις δύο εποχές. Από τα μοντέλα των απλών παλινδρομήσεων του ΔK και της A φάνηκε ότι το R παρουσίαζε στατιστικά σημαντική συσχέτιση με το δείκτη κλειστότητας το καλοκαίρι και με την έκταση της υποπεριοχής το χειμώνα αντίστοιχα (Πιν. 6.3). Ο λογαριθμικός μετασχηματισμός του ΔK και της A βελτίωσαν τα μοντέλα ως προς

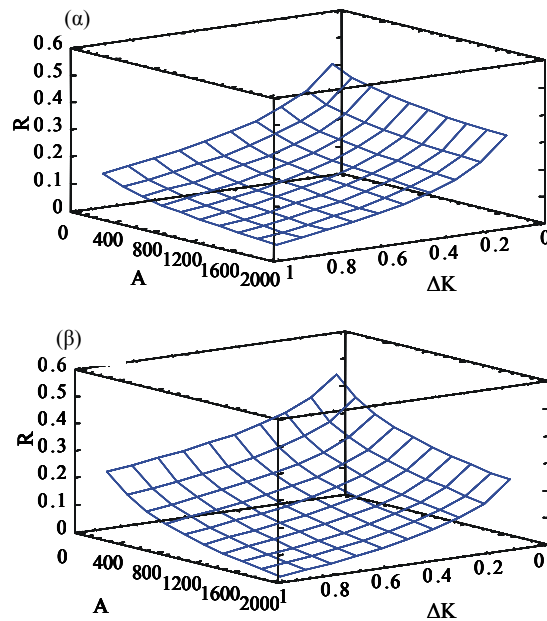
Πίνακας 6.3. Μοντέλα βαθμωτής ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης για το σύνολο των μικρών πελαγικών. Όταν περισσότερες από μία ανεξάρτητες μεταβλητές επιλέγονταν για το μοντέλο, υπολογίζονταν και η ανάλυση απλής παλινδρόμησης για κάθε μεταβλητή. C_{op} = το nugget; R = λόγος των εμβαδών; A = η έκταση της υπο-περιοχής σε (ν.μ.²); ΔK = ο δείκτης κλειστότητας; B = μέσο βάθος βυθού σε m; \ln =ο νεπέριος λογάριθμος; r^2 = ο σταθμισμένος συντελεστής καθορισμού; F = τιμή του F-test; p -value= η τιμή της στατιστικής πιθανότητας.

Περίοδος	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	r^2	F	p-value
Καλοκαίρι	$C_{op}=0.5396-0.0005B$	0.186	4.88	0.042
Χειμώνας	$C_{op}=0.5692-0.0007B$	0.469	10.70	0.008
Καλοκαίρι	$R=0.4053-0.1233\ln(\Delta K)-0.0465\ln(A)$	0.572	12.35	0.001
	Απλή παλινδρόμηση: $R=-0.1040\ln(\Delta K)+0.0943$	0.369	10.92	0.005
	R με $\ln(A)$ μη σημαντική σχέση	0.086	1.52	0.235
Χειμώνας	$R=0.7730-0.1034*\ln(\Delta K)-0.1001\ln(A)$	0.738	16.55	0.001
	Απλή παλινδρόμηση: R με $\ln(\Delta K)$ μη σημαντική σχέση	0.088	0.91	0.360
	$R=-0.0882*\ln(A)+0.7209$	0.532	13.50	0.004

α) το ποσοστό της ολικής διασποράς που ερμηνεύουν και β) τα χαρακτηριστικά των σφαλμάτων. Επιπλέον ο λογαριθμικός μετασχηματισμός έδειξε ότι οι τιμές του R τείνουν προς ένα ελάχιστο όταν ο ΔK και η A τείνουν προς ένα μέγιστο (Εικ. 6.1.γ και 6.1.δ). Τα μοντέλα πολλαπλής παλινδρόμησης προέβλεψαν μικρότερες τιμές του R σε μεγάλες και κλειστές λεκάνες. Οι τιμές του R γίνονται μεγαλύτερες καθώς μειώνεται (α) το μέγεθος της περιοχής και (β) ο δείκτης κλειστότητας (πιο ανοιχτές περιοχές). Η επίδραση του δείκτη κλειστότητας ήταν ισχυρότερη το καλοκαίρι (Εικ. 6.2.α) σε σχέση με το χειμώνα (Εικ. 6.2.β), αντίθετα με την επίδραση του μεγέθους της περιοχής (ισχυρότερη το χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι).



Εικόνα 6. 1. Σύνολο μικρών πελαγικών: Σχέση μεταξύ (α) C_{op} (nugget) και μέσου βάθους βυθού το καλοκαίρι; (β) C_{op} και μέσου βάθους βυθού το χειμώνα; (γ) R (λόγος του A_{60} προς A_{100} στα περιγραμμικά διαγράμματα) και δείκτη κλειστότητας το καλοκαίρι, και (δ) R και έκταση περιοχής (ν.μ.²) το χειμώνα



Εικόνα 6. 2. Σύνολο μικρών πελαγικών: Διαγραμματική παρουσίαση του μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης (α) το καλοκαίρι; (β) το χειμώνα. R = ο λόγος των εμβαδών A_{60} προς A_{100} ; A = η έκταση της περιοχής (σε ν.μ.²); ΔK = δείκτης κλειστότητας.

6.3.2. Ο γαύρος

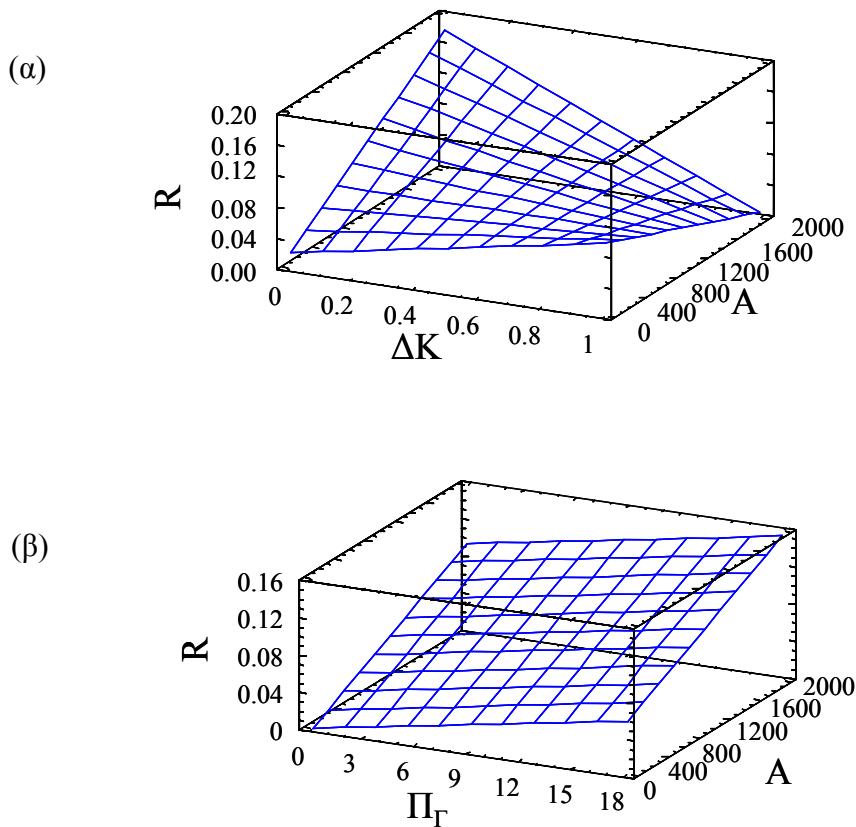
Η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης για το γαύρο (Πιν. 6.3) έδειξε ότι από τις εξαρτημένες μεταβλητές που εξετάστηκαν (α_s , C_{op} , A_{100} , λ , ΔA και R), μόνο ο λόγος R παρουσίασε στατιστικά σημαντική σχέση με ορισμένες (ΔK , A και Π_{Γ}) από τις διαθέσιμες ανεξάρτητες μεταβλητές. Ειδικότερα, οι παράμετροι των μη κατευθυντικών διαγραμμάτων διασποράς (α_s , C_{op}) καθώς και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διεξοδικών διαγραμμάτων διασποράς που σχετίζονται με την ανισοτροπία (λ και ΔA) δεν παρουσίασαν σημαντική σχέση με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των υποπεριοχών που μελετήθηκαν ή με την

πυκνότητα του γαύρου. Ειδικότερα, επιλέχθηκε η έκταση της υποπεριοχής (A), ο δείκτης κλειστότητας (ΔK) και η αλληλεπίδρασή τους για το καλοκαίρι και η έκταση της υποπεριοχής (A) και η πυκνότητα του γαύρου (Π_Γ) για το χειμώνα (Πιν. 6.4).

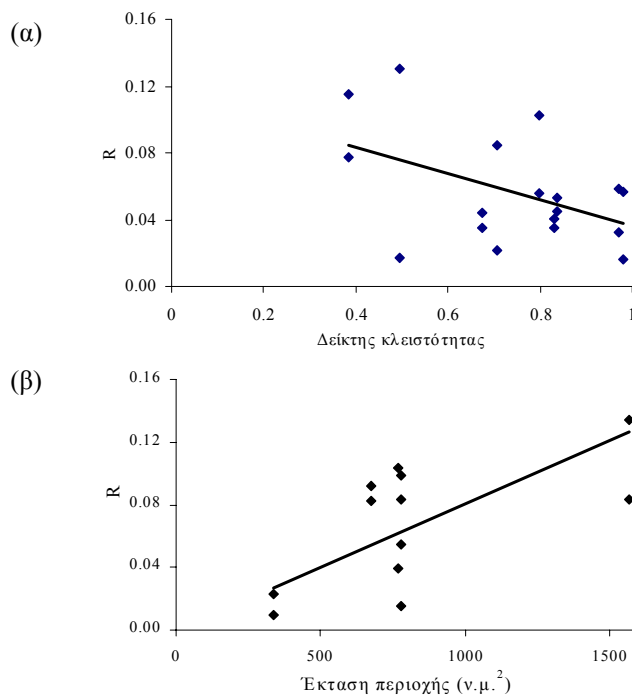
Πίνακας 6.4. Μοντέλα βαθμωτής ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης για το γαύρο. R= λόγος των εμβαδών; A= η έκταση της υποπεριοχής σε (ν.μ.²); ΔK= ο δείκτης κλειστότητας; Π_Γ= η πυκνότητα του γαύρου (kg/ν.μ.²), r²= ο σταθμισμένος συντελεστής καθορισμού; F= τιμή του F-test; p-value= η τιμή της στατιστικής πιθανότητας.

Περίοδος	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	r ²	F	p-value
Καλοκαίρι	R=0.00008(A)+0.07369(ΔK)-0.00012(A)(ΔK)	0.645	10.57	0.001
	Απλή παλινδρόμηση: R= 0.1154-0.0793(ΔK)	0.217	4.43	0.049
	R με A μη σημαντική σχέση	0.053	1.01	0.330
Χειμώνας	R= 0.0000489(A)+0.00317(Π _Γ)	0.821	27.92	0.000
	Απλή παλινδρόμηση: R= 0.00008(A)	0.372	6.50	0.028
	R με Π _Γ μη σημαντική σχέση	0.019	0.24	0.630

Το τελικό μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης για το γαύροτο καλοκαίρι, προέβλεψε μικρότερες τιμές του R (α) σε κλειστές και μεγάλης έκτασης περιοχές καθώς και (β) σε ανοιχτές και μικρής έκτασης περιοχές, όπως και στην περίπτωση του συνόλου των μικρών πελαγικών. Μεγάλες τιμές του R προβλέφθηκαν για ανοιχτές και μεγάλης έκτασης περιοχές (Εικ. 6.3.A). Αντίστοιχα, για το χειμώνα το τελικό μοντέλο προέβλεψε μικρότερες τιμές του R σε μικρής έκτασης περιοχές με μικρές πυκνότητες γαύρου και μεγαλύτερες τιμές R σε μεγάλης έκτασης περιοχές με μεγάλες πυκνότητες γαύρου. Για δεδομένο μέγεθος περιοχής παρατηρήθηκε μικρότερος λόγος R στις μικρότερες πυκνότητες γαύρου και για δεδομένη πυκνότητα γαύρου στις μικρότερης έκτασης περιοχές (Εικ. 6.3.B). Η επίδραση του δείκτη κλειστότητας ήταν σημαντική το καλοκαίρι (Εικ. 6.4.A) ενώ το χειμώνα ήταν σημαντική η επίδραση της έκτασης της περιοχής (Εικ. 6.4.B).



Εικόνα 6. 3. Γαύρος: Διαγραμματική παρουσίαση του μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης (α)το καλοκαίρι; (β) το χειμώνα. R= ο λόγος των εμβαδών A_{60} προς A_{100} ; A= η έκταση της περιοχής (σε $\nu.\mu.^2$); ΔK = δείκτης κλειστότητας, Π_{Γ} : η πυκνότητα του γαύρου ($kg/\nu.\mu.^2$)



Εικόνα 6. 4. Γαύρος: Σχέση μεταξύ (α) R (λόγος του A_{60} προς A_{100} στα περιγραμικά διαγράμματα) και δείκτη κλειστότητας το καλοκαίρι, και (β) R και έκτασης περιοχής ($\nu.\mu.^2$) το χειμώνα.

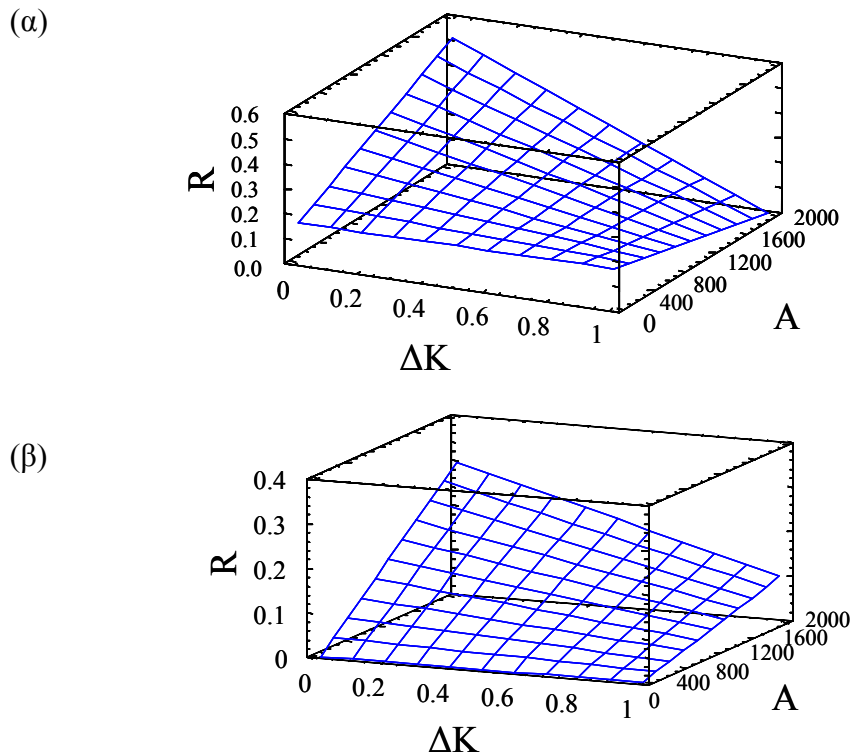
6.3.3. Η σαρδέλα

Η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης για τη σαρδέλα έδειξε ότι από τις εξαρτημένες μεταβλητές που εξετάστηκαν (α_s , C_{op} , A_{100} , λ , ΔA και R), μόνο το R παρουσίασε στατιστικά σημαντική σχέση με ορισμένες (ΔK και A) από τις διαθέσιμες ανεξάρτητες μεταβλητές. Στο τελικό μοντέλο για τη σαρδέλα ο λόγος (R) συσχετιζόταν με την έκταση της υποπεριοχής (A) και την αλληλεπίδραση της έκτασης της υποπεριοχής (A) με το δείκτη κλειστότητας (ΔK), τόσο το καλοκαίρι όσο και το χειμώνα (Πιν. 6.5). Από τα μοντέλα των απλών παλινδρομήσεων προέκυψε η στατιστικά σημαντική συσχέτιση μόνο με το δείκτη κλειστότητας (ΔK) το καλοκαίρι με την έκταση της υποπεριοχής (A) το χειμώνα (Πιν. 6.5).

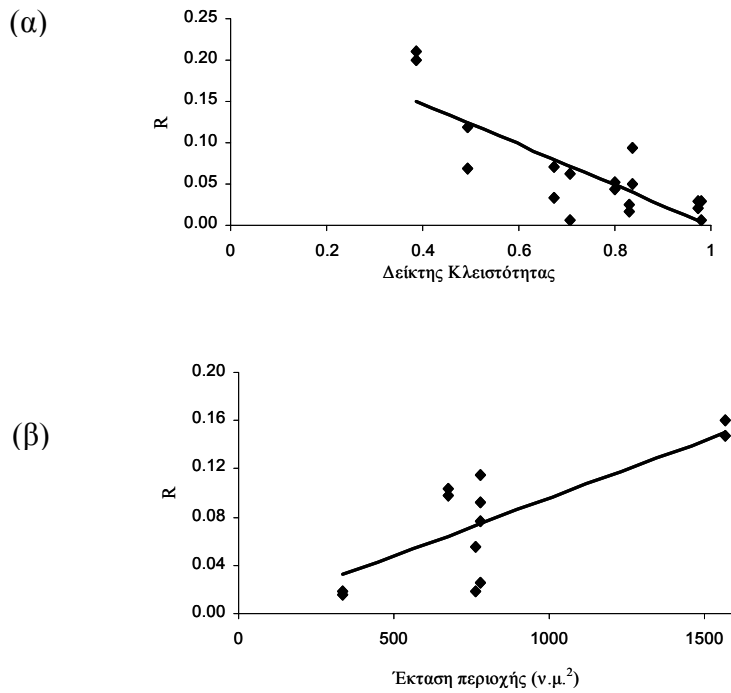
Πίνακας 6.5. Μοντέλα βαθμωτής ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης για τη σαρδέλα. Όταν περισσότερες από μία ανεξάρτητες μεταβλητές επιλέγονταν για το μοντέλο, υπολογίζονταν και η ανάλυση απλής παλινδρόμησης για κάθε μεταβλητή. R = λόγος των εμβαδών; A = η έκταση της υποπεριοχής σε (ν.μ.²); ΔK = ο δείκτης κλειστότητας; r^2 = ο σταθμισμένος συντελεστής καθορισμού; F = τιμή του F-test; p -value= η τιμή της στατιστικής πιθανότητας.

Περίοδος	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	r^2	F	p-value
Καλοκαίρι	$R=0.06739+0.00018(A)-0.000259(A)(\Delta K)$	0.736	24.68	0.0000
	Απλή παλινδρόμηση: $R=0.2456-0.2460(\Delta K)$	0.649	29.60	0.0001
	R με A μη σημαντική σχέση	0.480	0.09	0.773
Χειμώνας	$R=0.000198(A)-0.000142(A)(\Delta K)$	0.897	52.90	0.0000
	Απλή παλινδρόμηση: $R=0.0001(A)$	0.617	17.69	0.0018
	R με ΔK μη σημαντική σχέση	0.232	4.29	0.0652

Τα τελικά μοντέλα πολλαπλής παλινδρόμησης για τη σαρδέλα το καλοκαίρι, προέβλεψαν μικρότερες τιμές του R σε πιο κλειστές και μεγάλης έκτασης περιοχές και μεγαλύτερες τιμές του R σε ανοιχτές και μεγάλης έκτασης περιοχές (Εικ. 6.5.A.). Το χειμώνα προβλέφθηκαν μικρότερες τιμές του R σε πιο μικρές περιοχές και μεγαλύτερες τιμές του R σε ανοιχτές και μεγάλες περιοχές (Εικ. 6.5.B). Για μια δεδομένη τιμή κλειστότητας προβλέφθηκαν μικρότερες τιμές R σε μικρότερης έκτασης περιοχές και για μια δεδομένη τιμή έκτασης περιοχής προβλέφθηκαν μικρότερες τιμές R σε πιο κλειστές περιοχές. Επιπλέον, τα αποτελέσματα των απλών παλινδρομήσεων έδειξαν ότι η επίδραση του δείκτη κλειστότητας ήταν σημαντική το καλοκαίρι (Πιν. 6.5, Εικ. 6.6.A.), ενώ το χειμώνα ήταν σημαντική η επίδραση της έκτασης της περιοχής (Πιν. 6.5, Εικ. 6.6.B.).



Εικόνα 6. 5. Σαρδέλα: Διαγραμματική παρουσίαση του μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης (α)το καλοκαίρι και (β) το χειμώνα. R = ο λόγος των εμβαδών A_{60} προς A_{100} ; A = η έκταση της περιοχής (σε $\nu.\mu.^2$); ΔK = δείκτης κλειστότητας.



Εικόνα 6. 6. Σαρδέλα: Σχέση μεταξύ (α) R (λόγος του A_{60} προς A_{100} στα περιγραμμικά διαγράμματα) και δείκτη κλειστότητας το καλοκαίρι, και (β) R και έκτασης περιοχής ($\nu.\mu.^2$) το χειμώνα.

6.3.4 Η Πυκνότητα των ψαριών σε σχέση με την τοπογραφία.

Εποχιακή διαφοροποίηση παρατηρήθηκε στην σχέση της πυκνότητας των ψαριών με τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Ειδικότερα το χειμώνα παρατηρήθηκε συσχέτιση της πυκνότητας και των δύο ειδών με την έκταση της περιοχής, το βάθος βυθού και τον συντελεστή μεταβολής του βάθους βυθού (Πιν. 6.6) αντίθετα με το καλοκαίρι που δεν παρατηρήθηκε σχέση με κανένα από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν.

Πίνακας 6.6. Σχέση μεταξύ πυκνότητας ψαριών και των τοπογραφικών χαρακτηριστικών Π_a = πυκνότητα γαύρου σε $kg \cdot v. \mu.^2$, Π_Σ = πυκνότητα σαρδέλας σε $kg \cdot v. \mu.^2$; A= η έκταση της υποπεριοχής σε $v. \mu.^2$, B= το μέσο βάθος βυθού σε μ , ΣΜΒ= ο συντελεστής μεταβλητότητας του βάθους βυθού, r^2 = σταθμισμένος συντελεστής προσδιορισμού; F= τιμή του F-test; p-value= η τιμή της στατιστικής πιθανότητας.

Είδη	Εποχή	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	r^2	F	p-value
Γαύρος	Χειμώνας	$\Pi_1 = 9.832 - 0.033(A) - 0.023(B) + 36.379(\Sigma MB)$	0.849	21.76	0.000
	Καλοκαίρι	Μη στατιστικά σημαντική σχέση	0.142	0.77	0.529
Σαρδέλα	Χειμώνας	$\Pi_\Sigma = 11.557 - 0.028(A) - 0.026(B) + 30.998(\Sigma MB)$	0.793	15.07	0.001
	Καλοκαίρι	Μη στατιστικά σημαντική σχέση	0.224	1.35	0.295

Περαιτέρω το χειμώνα παρατηρήθηκε αύξηση της πυκνότητας του γαύρου και της σαρδέλας σε μικρής έκτασης περιοχές, σε μικρότερα βάθη βυθού και σε περιοχές με μεγαλύτερο συντελεστή μεταβλητότητας του βάθους βυθού.

6.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παρούσα διατριβή αποτελεί την πρώτη προσπάθεια σύνδεσης της τοπογραφίας με τα χαρακτηριστικά των χωρικών δομών (δηλ. σχηματισμούς ψαριών μεγαλύτερης κλίμακας του ενός σχολείου) των μικρών πελαγικών. Τοπογραφικά χαρακτηριστικά που προέκυψαν ως σημαντικά από τα αποτελέσματα της διερευνητικής προσέγγισης (κεφ. 3) όπως ο βαθμός κλειστότητας της περιοχής, το μέσο βάθος, η μεταβολή του μέσου βάθους και η έκταση της περιοχής αλλά και παράμετροι όπως η πυκνότητα των ψαριών, συσχετίστηκαν με τα χαρακτηριστικά των χωρικών δομών των ψαριών, όπως αυτά προέκυψαν από τη γεωστατιστική ανάλυση (κεφ. 5). Τα τελευταία αφορούσαν (α) το εύρος αυτοσυσχέτισης (ενδεικτικό του μεγέθους των δομών), (β) το nugget (μεγάλες τιμές του nugget δείχνουν ότι το πώς οργανώνονται οι συγκεντρώσεις των ψαριών αποδίδεται κατά μικρότερο ποσοστό με κάποιο δομικό πρότυπο στο χώρο), (γ) τον λόγο ανισοτροπίας και (δ) τη διεύθυνση ανισοτροπίας (Isaaks & Srivastava 1989; Ecker & Gelfand 1999). Επιπλέον, η παρούσα διατριβή εισηγείται τη χρήση του λόγου των εμβადών R στα διεξοδικά διασπορογράμματα. Ο λόγος αυτός είναι ενδεικτικός της εσωτερικής οργάνωσης των χωρικών δομών και εκφράζει τον ρυθμό αλλαγής της αυτοσυσχέτισης των δεδομένων δηλ. κατά πόσο η διασπορά των τιμών της ακουστικής διατομής μεταβάλλεται σταδιακά με την απόσταση ή παρατηρούνται απότομες αλλαγές.

Από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης κυρίως ο βαθμός κλειστότητας της περιοχής και η έκταση της περιοχής ήταν οι παράγοντες εκείνοι που επηρέασαν τις χωρικές δομές των ψαριών ανεξαρτήτως είδους, παρατηρήθηκαν ωστόσο διαφοροποιήσεις στην επίδρασή τους ανά εποχή.

Αναλυτικότερα, σε όλες τις περιπτώσεις το εύρος αυτοσυσχέτισης δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική συσχέτιση με κανένα από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν, ενώ το nugget παρουσίασε αρνητική συσχέτιση με το μέσο βάθος βυθού, μόνο στην περίπτωση της συνολικής θεώρησης των μικρών πελαγικών. Ειδικότερα, οι συγκεντρώσεις των μικρών πελαγικών ως σύνολο, παρουσίασαν απώλεια του δομικού προτύπου οργάνωσης σε περιοχές με μικρότερο μέσο βάθος βυθού και τις δύο εποχές. Οι Barange & Hampton (1997) προτείνουν ότι οι υψηλότερες τιμές του nugget μπορεί να οφείλονται στο μεγαλύτερο βαθμό ανομοιογένειας των συγκεντρώσεων του πληθυσμού και στην έλλειψη προτύπου στην κατανομή αυτών των συγκεντρώσεων και συσχετίζουν την αύξηση του nugget με την αύξηση της πυκνότητας. Παρόμοια οι Guillard & Lebourges, (1998) παρατήρησαν σε πληθυσμούς μικρών πελαγικών σε ρηγά νερά είτε πλήρη απουσία χωρικής δομής (100% φαινόμενο nugget) ή απώλεια της χωρικής δομής σε μεγάλο ποσοστό (υψηλό ποσοστό nugget).

Αν και η ανισοτροπία (δηλ. το αν διαφοροποιούνταν το μέγεθος της δομής ανάλογα με την διεύθυνση) ήταν εμφανής σε όλες τις περιπτώσεις δεν ήταν σταθερή όσον αφορά τη διεύθυνση ή το εύρος της ανά υποπεριοχή. Αντίθετα, ο λόγος των εμβადών R έδειξε σημαντική συσχέτιση με το δείκτη κλειστότητας (ΔΚ) και την έκταση της περιοχής (Α). Ο λόγος R εκφράζει τον ρυθμό μεταβολής της αυτοσυσχέτισης των τιμών της ακουστικής διατομής, δηλ. αν η διασπορά της ακουστικής διατομής μεταβάλλεται σταδιακά με την απόσταση (μεγάλες τιμές R), ή αν υπάρχουν απότομες αλλαγές στην διασπορά της ακουστικής διατομής (μικρές τιμές R). Απότομες αλλαγές στην διασπορά της ακουστικής διατομής (μικρές τιμές R) είναι ενδεικτικές της ύπαρξης ετερογένειας με σχηματισμό πυρήνων αυξημένης πυκνότητας στις χωρικές δομές των ψαριών. Περαιτέρω ο λόγος R είναι ενδεικτικός της εσωτερικής οργάνωσης των συγκεντρώσεων των ψαριών (π.χ. το πώς οργανώνονται τα σχολεία των ψαριών σε ομάδες ή οι ομάδες των σχολείων), το εύρος αυτοσυσχέτισης των ολοκατευθυντικών διασπορογραμμάτων είναι ενδεικτικό της μέγιστης διαμέτρου των χωρικών δομών (δηλ. των ομάδων των σχολείων) των ψαριών (Reid 2000) και οι παράμετροι που σχετίζονται με την ανισοτροπία (λ και θ) δείχνουν το πώς αλλάζει το μέγιστο μέγεθος των δομών με βάση την διεύθυνση (Isaaks & Srivastava 1987). Επομένως, η σχέση του R με την τοπογραφία της περιοχής αλλά όχι του εύρους αυτοσυσχέτισης και της ανισοτροπίας δείχνει ότι η γεωμετρία της περιοχής επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο οργανώνονται οι χωρικές δομές των ψαριών και όχι το μέγιστο μέγεθος τους.

Ανεξάρτητα από εποχή, τόσο για το σύνολο των μικρών πελαγικών, όσο και ειδικότερα για το γαύροκαι τη σαρδέλα προβλέφθηκαν πιο ετερογενείς χωρικές δομές ψαριών (μικρότερες τιμές R) σε πιο κλειστές περιοχές, για δεδομένη έκταση περιοχής. Είναι γνωστό ότι μέσα σε μια ομάδα σχολείων η κατανομή των ψαριών μπορεί να είναι πολύ ετερογενής με σχηματισμό πολλών πυρήνων ή κέντρων (Freon & Misund 1999, Εικ. 6.7.α). Η ύπαρξη ετερογένειας στην κατανομή των οργανισμών στο χώρο είναι σχεδόν καθολική τάση των υδρόβιων οργανισμών. Γενικά, η ετερογένεια μεγεθύνεται όταν η τοπογραφία της περιοχής αυξάνει την περιβαλλοντική ανομοιογένεια (Freon & Misund 1999). Οι κλειστές υποπεριοχές

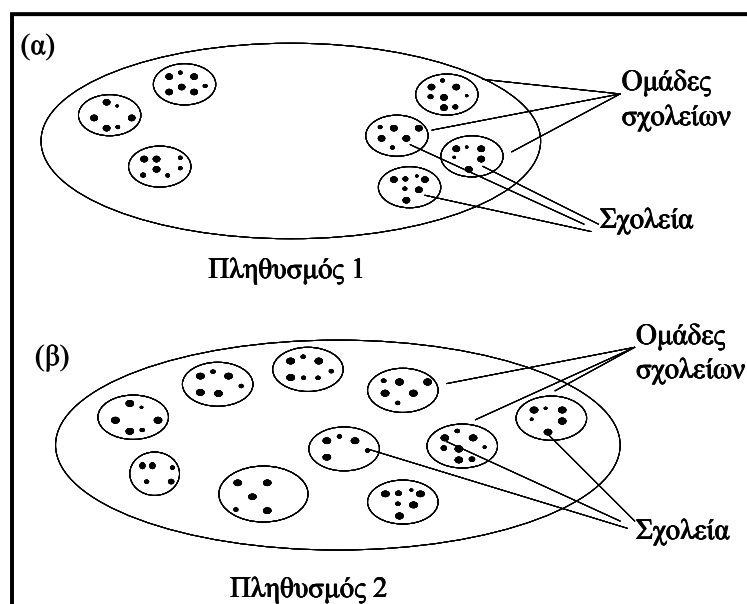
παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό ετερογένειας σε σχέση με την ανοιχτή θάλασσα εξαιτίας της επίδρασης της εκτεταμένης ακτογραμμής και της στεριάς. Η εκτεταμένη ακτογραμμή συνεργεί στον κατά τόπους εμπλουτισμό σε θρεπτικά και ενισχύει την ανομοιογενή ανάμιξη των νερών λόγω ανέμου και κατ' επέκταση την ανομοιογενή στρωμάτωση της κολώνας του νερού. Επιπλέον, σε κλειστές υπο-περιοχές η γεωμετρία της περιοχής επηρεάζει τον τρόπο που κατανέμονται τα ψάρια ιδιαίτερα κοντά στα όρια της περιοχής. Το τελευταίο μεγεθύνει την ετερογένεια των σχηματιζόμενων δομών (*sensu* Beverton & Holt 1957).

Αντίθετα εποχικότητα παρατηρήθηκε στην επίδραση της έκτασης της περιοχής στις χωρικές δομές του γαύρου και της σαρδέλας. Ειδικότερα, το χειμώνα για το γαύρο προβλέφθηκαν πιο ετερογενείς χωρικές δομές ψαριών (μικρότερες τιμές R) σε μικρότερης έκτασης περιοχές για δεδομένο βαθμό πυκνότητας. Ανάλογα για τη σαρδέλα προβλέφθηκαν πιο ετερογενείς χωρικές δομές σε μικρότερης έκτασης περιοχές για δεδομένο βαθμό κλειστότητας.

Η παραπάνω παρατήρηση μπορεί να αποδοθεί σε μεγάλο βαθμό στην αύξηση της πυκνότητας του γαύρου και της σαρδέλας στις μικρής έκτασης περιοχές και σε ρηχότερα νερά, το χειμώνα. Η εποχιακή αυτή διαφοροποίηση στην πυκνότητα των δύο ειδών σχετίζεται με τις κακές καιρικές συνθήκες που επικρατούν στις ανοιχτές και μεγάλες περιοχές και οι οποίες ωθούν τα ψάρια προς πιο προστατευμένες περιοχές, που είναι συνήθως κόλποι και ρηχότερες, πλησιέστερες προς τις ακτές περιοχές. Για τον λόγο η αύξηση της πυκνότητας των ψαριών είναι εντονότερη σε κόλπους που βρίσκονται σε άμεση επικοινωνία με ανοιχτές περιοχές (π.χ. ο Πατραϊκός κόλπος, ο Β. Ευβοϊκός κόλπος και ο Ν. Ευβοϊκός κόλπος- Πιν. 6.2).

Η πίεση λόγω αύξησης της πυκνότητας των ψαριών δεδομένης της ανομοιόμορφης κατανομής της τροφής και του περιορισμένου διαθέσιμου χώρου, οδηγεί στον σχηματισμό ασυνεχών πυρήνων συγκέντρωσης και σε ετερογένεια στις δομές του γαύρου και της σαρδέλας. Η εικόνα ίσως εντείνεται περαιτέρω στο γαύρο καθώς ο χειμώνας αποτελεί την περίοδο μετά τη στρατολόγηση για το γαύρο στις Ελληνικές Θάλασσες (Stergiou et al., 1997a, Somarakis 1999) και ο πληθυσμός του αποτελείται από μικρά και μεγάλο μεγέθους άτομα, τα οποία διαφοροποιούν τις προτιμήσεις τους ως προς το ενδιαίτημα τους σε μια περιοχή (Freon & Misund 1999, κεφ. 7 και 8 της παρούσας διατριβής). Το γεγονός το οποίο αυξάνει την ετερογένεια των χωρικών δομών του γαύρου σε μια συνολική θεώρηση του πληθυσμού του.

Ανάλογα, η πίεση λόγω αύξησης της πυκνότητας οδηγεί στον σχηματισμό πιο ετερογενών δομών στη σαρδέλα σε μικρές κυρίως και κλειστές περιοχές (Εικ. 6.7.α), όπου η τοπογραφία αυξάνει περαιτέρω την ετερογένεια του περιβάλλοντος. Επιπλέον, καθώς ο χειμώνας συνιστά την αναπαραγωγική περίοδο για τη σαρδέλα στις Ελληνικές Θάλασσες (Αnonymous 2001), η μείωση της πυκνότητας της στις ανοιχτές και μεγάλες περιοχές (π.χ. ν. Ιόνιο) οδηγεί στον σχηματισμό πιο ομοιογενών συγκεντρώσεων όμως σε άμεση



Εικόνα 6.7. Απλοποιημένο διάγραμμα όπου φαίνεται η “fractal” κατανομή των μικρών πελαγικών ειδών ψαριών (α) Ετερογενής κατανομή των ομάδων των σχολείων στον χώρο με σχηματισμό πυρήνων και (β) Ομοιογενής, πιο διάσπαρτη κατανομή των ομάδων των σχολείων στον χώρο (Επανασχεδιασμός από Freon & Misund 1999).

συνάφεια με τις υπάρχουσες, κατάλληλες για αναπαραγωγή περιοχές.

Αντίθετα, το καλοκαίρι παρατηρήθηκαν για το γαύρο και τη σαρδέλα πιο ετερογενείς χωρικές δομές (Εικ. 6.7) σε μεγαλύτερης έκτασης υποπεριοχές και πιο ομοιογενείς χωρικές δομές σε μικρότερης έκτασης περιοχές για ένα δεδομένο βαθμό κλειστότητας. Η παρατήρηση αυτή σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την έντονη αλιευτική πίεση των μικρών πελαγικών το καλοκαίρι.

Αναλυτικότερα, το χειμώνα η αλιεία των μικρών πελαγικών με κυκλικό δίχτυ (γρι-γρι) δεν επιτρέπεται από τα μέσα Δεκεμβρίου ως τα μέσα Μαρτίου, επομένως η αλιεία επηρεάζει τον τρόπο οργάνωσης των συγκεντρώσεων των ψαριών πρακτικά μόνο το καλοκαίρι. Είναι γνωστό, ότι τα σχολεία των ψαριών ενός συγκεκριμένου είδους είναι μικρότερα και περισσότερο διάσπαρτα σε περιοχές με υψηλό βαθμό αλιευτικής πίεσης (Reid 2000) σε σύγκριση με παρακείμενες λιγότερο αλιευμένες περιοχές. Περαιτέρω, στις μικρής έκτασης περιοχές η επίδραση της αλιείας είναι εντονότερη με αποτέλεσμα τον σχηματισμό πιο διάσπαρτων και περισσότερων ομοιογενών συγκεντρώσεων ψαριών, το καλοκαίρι.

Στις ανοιχτές και μεγαλύτερης έκτασης περιοχές προβλέφθηκαν πιο ετερογενείς χωρικές δομές και για τα δύο είδη. Στις μεγαλύτερης έκτασης περιοχές (π.χ. Θρακικό) άλλοι παράγοντες πλην της εκτεταμένης ακτογραμμής, μπορεί να αυξήσουν την ετερογένεια του περιβάλλοντος. Έτσι, τα κατάλληλα για τα ψάρια ενδιαίτηματα, που κυρίως αφορούν στην παραγωγικότητα, είναι συνήθως τοπικά περιορισμένα συστήματα (π.χ. μέτωπα ρευμάτων, εκβολές ποταμών, αντικυκλώνες), τα οποία μπορεί να είναι αρκετά εκτεταμένα ώστε να συντηρήσουν ένα μεγάλο ποσοστό βιομάζας ψαριών στενά συσχετισμένο με αυτά. Επομένως, επιτρέπεται η δημιουργία πυρήνων από ομάδες σχολείων, ανάλογα με τον βαθμό ετερογένειας του περιβάλλοντος.

Ωστόσο, τα αποτελέσματα για το σύνολο των μικρών πελαγικών διαφοροποιούνται από τα αποτελέσματα του χειμώνα για το γαύρο και τη σαρδέλα. Αντιμετωπίζοντας κάποιος τον πληθυσμό των μικρών πελαγικών ως σύνολο το χειμώνα, η εικόνα την οποία βλέπει αφορά έναν, πυκνό και ομοιογενή πληθυσμό ψαριών, και όχι μεμονωμένους πυρήνες πυκνότερων συγκεντρώσεων. Αντίθετα, όταν συνυπάρχοντες πληθυσμοί του γαύρου και της σαρδέλας αντιμετωπίζονται μεμονωμένα η εικόνα είναι διαφορετική λόγω της επίδρασης της πυκνότητας, της ετερογένειας στην διαθεσιμότητα της τροφής και της βιολογίας των ειδών. Επομένως, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το ότι η συνολική θεώρηση του οικοσυστήματος δεν είναι απλώς το άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών του.

Συνοψίζοντας, ο τρόπος οργάνωσης των ομάδων των σχολείων των μικρών πελαγικών αντανακλά την ετερογένεια του περιβάλλοντος και συνδέεται με πολλούς παράγοντες, ανάμεσα στους οποίους η επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής στις Ελληνικές θάλασσες κατέχει κυρίαρχο ρόλο. Η κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού, η πυκνότητα των ψαριών, η διαθεσιμότητα της τροφής, αβιοτικοί παράμετροι όπως η θερμοκρασία και η αλατότητα, η αλιευτική πίεση επηρεάζουν περαιτέρω το δομικό πρότυπο κατανομής των ψαριών στο χώρο. Η μεταβολή στο πρότυπο οργάνωσης των ψαριών στο χώρο δύναται να έχει επιπτώσεις τόσο στην αλιεία όσο και στις αλιευτικές έρευνες, καθώς η αποτελεσματικότητα της αλιείας (δηλ. η αύξηση της πιθανότητας σύλληψης) εξαρτάται από το πρότυπο κατανομής των συγκεντρώσεων στο χώρο (Freon *et al.*, 1996; Freon & Misund 1999). Επιπλέον είναι γνωστό ότι το αποτέλεσμα της εμπορικής αλιείας προκύπτει από την αλληλεπίδραση της ετερογένειας στην κατανομή των ψαριών στο χώρο και της ετερογενούς εφαρμογής της αλιευτικής προσπάθειας στο χώρο (Petitgas 1998). Η γνώση επομένως του πρότυπου οργάνωσης των ψαριών στο χώρο πέρα της πολύτιμης πληροφορίας για τον σχεδιασμό της δειγματοληψίας των αλιευτικών ερευνών και την εκτίμηση της βιομάζας των ψαριών, καθίσταται και διαχειριστικής σημασίας ιδιαίτερα σε περιοχές όπως οι Ελληνικές Θάλασσες που απαρτίζονται σε μεγάλο ποσοστό από μικρούς και κλειστούς κόλπους.

7. Μελέτη της κατανομής του γαύρου και της σαρδέλας σε σχέση με περιβαλλοντικούς παράγοντες I: Αθροιστικές Συναρτήσεις κατανομής

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιλογή του κατάλληλου ενδιαίτηματος συνδέεται με την κατανομή των οργανισμών στο χώρο και είναι συνήθως το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης διαφορετικών παραγόντων όπως της κληρονομικότητας, της θήρευσης και της διαθεσιμότητας της τροφής. Επιπλέον το εύρος των προτιμώμενων συνθηκών ενός οργανισμού μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την φυσιολογική κατάσταση του οργανισμού (π.χ. πείνα, στάδιο αναπαραγωγής), την ηλικία και την εποχή (Freon & Misund 1999).

Είναι γνωστό ότι οι παράγοντες (βιοτικοί και αβιοτικοί) που χαρακτηρίζουν το ενδιαίτημα ενός οργανισμού συνήθως συνδέονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο που καθίσταται δύσκολος ο εντοπισμός ενός μόνο παράγοντα-κλειδιού. Για παράδειγμα σε μια περιοχή ανοδικών ρευμάτων που αποτελεί σύνθετο ενδιαίτημα για τα πελαγικά είδη ψαριών είναι γνωστό ότι η ένταση του ανέμου ευθύνεται για την ανάβλυση ψυχρού, πλούσιου σε θρεπτικά νερού με συνέπεια την υψηλή παραγωγή φυτοπλαγκτού. Το γεγονός αυτό καθιστά δύσκολη την διάκριση ανάμεσα στην επίδραση της θερμοκρασίας και στην επίδραση της αφθονίας του φυτοπλαγκτού. Είναι εμφανές ότι στις περισσότερες περιπτώσεις δεν υπάρχει ένας μόνο παράγοντας κλειδί αλλά ένας συνδυασμός παραγόντων που αλληλεπιδρούν (Freon & Misund 1999).

Η θερμοκρασία, η παραγωγικότητα και η στρωμάτωση του ανώτερου στρώματος της κολώνας του νερού αποτελούν τους συνήθεις παράγοντες στις μελέτες που εξετάζουν την σχέση ιχθυαποθεμάτων και περιβάλλοντος. Ο συνδυασμός ακουστικών και ωκεανογραφικών ερευνών έχει δείξει ότι υψηλότερες συγκεντρώσεις των μικρών πελαγικών παρατηρείται σε μέτωπα ρευμάτων όπου υπάρχουν έντονες θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις και αφθονία τροφής (Freon & Misund 1999). Μεταβολές της θερμοκρασίας μπορεί να είναι ενδεικτικές της μεταβλητότητας στη διαθεσιμότητα της τροφής, παράγοντας που μπορεί να έχει εξίσου σημαντική επίδραση με τη θερμοκρασία στην βιολογική κατάσταση των ψαριών.

Καθώς οι συνθήκες στη θάλασσα μεταβάλλονται από χρονιά σε χρονιά, είναι μάλλον απίθανο η κατανομή των ψαριών να έχει πάντα την ίδια ποσοτική σχέση με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Οι σχέσεις είναι αναμενόμενο να είναι μη γραμμικές ή παραμετρικές, αν και τα γενικά χαρακτηριστικά των σχέσεων μπορεί να διατηρούνται. Συνεπώς, οι συνήθεις μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης (π.χ. ανάλυση γραμμικής ή πολλαπλής παλινδρόμησης) συχνά αποβαίνουν ανεπαρκείς στην ανίχνευση και στην ποσοτικοποίηση της περιβαλλοντικής επίδρασης.

Η ανάλυση των αθροιστικών συναρτήσεων της δειγματοληπτικής κατανομής (cumulative distribution functions- CDFs) (Perry & Smith 1994, Swain & Kramer 1994) συγκρίνει την κατανομή συχνοτήτων μιας περιβαλλοντικής παραμέτρου (π.χ. θερμοκρασία, αλατότητα) με την κατανομή συχνοτήτων της ποσότητας των ψαριών ενός είδους σταθμισμένης ως προς την περιβαλλοντική παράμετρο. Καθορίζεται έτσι η ένταση της συσχέτισης ανάμεσα στην ποσότητα των ψαριών και στην περιβαλλοντική παράμετρο. Η χρήση της CDFs παρέχει μια αντικειμενική μέθοδο εκτίμησης του ποσοστού του πληθυσμού που υπάρχει σε κάθε εύρος τιμών μιας περιβαλλοντικής παραμέτρου (εντός των μετρούμενων τιμών της περιβαλλοντικής παραμέτρου) ή αντίστροφα τις συνθήκες στις οποίες απαντά το 50%, 75%, 95% κλπ ποσοστό του πληθυσμού (Perry & Smith 1994). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να διαπιστωθεί αν τα ψάρια τείνουν να κατανέμονται τυχαία στις διάφορες τιμές π.χ. της θερμοκρασίας ή αν τείνουν να συγκεντρώνονται στις μεγαλύτερες ή στις μικρότερες τιμές. Η μέθοδος είναι μη παραμετρική δηλαδή δεν προϋποθέτει συγκεκριμένη στατιστική κατανομή για τα ψάρια ή για την περιβαλλοντική παράμετρο. Επιπλέον επιτρέπει ποσοτικές συγκρίσεις ανάμεσα στις

παρατηρούμενες περιβαλλοντικές συνθήκες ώστε να διαπιστωθεί η τυχαιότητα ή μη στην κατανομή ενός είδους σε σχέση με μια συγκεκριμένη περιβαλλοντική παράμετρο. Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως σε αλιευτικά δεδομένα που αφορούν σε αλιευτική παραγωγή (Perry & Smith 1994; Swain & Kramer 1994; Labropoulou & Machias 1998; Machias *et al.*, 1998; Somarakis & Machias 2002), ωστόσο μπορεί να εφαρμοστεί και σε ακουστικά δεδομένα όταν αυτά συνδυάζονται με ταυτόχρονη μέτρηση υδρολογικών ή και βιολογικών παραμέτρων (π.χ. δεδομένα χλωροφύλλης –α και ζωοπλαγκτού) (Perry & Smith 1994; Paramo & Roa 2002).

Παλαιότερες μελέτες στην Αδριατική αναφέρουν ότι οι μετακινήσεις της σαρδέλας μπορεί να σχετίζονται με την θερμοκρασία (Zupanovic 1965, Scrivanic & Zavodnik 1973) και την τροφή (Scrivanic & Zavodnik 1973). Στον Βισκαϊκό κόλπο συνδέουν την κατανομή του *Engraulis encrasicolus* με εκβολές ποταμών και ρεύματα (Motos *et al.*, 1996, Koutsikopoulos & Le Cann 1996), και του *Sardina pilchardus pilchardus* με το βάθος του βυθού (Scalabrin & Masse 1993). Στην Ανατολική Μεσόγειο και ειδικότερα στις Ελληνικές Θάλασσες οι αντίστοιχες μελέτες που συσχετίζουν την κατανομή του γαύρου και της σαρδέλας με περιβαλλοντικές παραμέτρους στην εν λόγω περιοχή είναι ελάχιστες (Giannoulaki *et al.*, in press). Οι παλαιότερες μελέτες στην περιοχή επικεντρώθηκαν στην κατανομή και στην αφθονία του ιχθυοπλαγκτού (Daoulas & Economou 1986; Σωμαράκης 1999; Somarakis *et al.*, 2000), στη συσχέτισή του με ωκεανογραφικές παραμέτρους (Somarakis *et al.*, 2002a), στην εκτίμηση του ιχθυοαποθέματος με ανεξάρτητες της αλιείας μεθόδους (Τσιμενίδης και συνεργάτες 1996; Machias & Somarakis 1997; Machias *et al.*, 2001; Giannoulaki *et al.*, 2001), και στην ανάλυση δεδομένων από εκφορτώσεις (Stergiou *et al.*, 1997a και εκεί αναφορές). Η παρούσα διατριβή στοχεύει να διερευνήσει την κατανομή του γαύρου και της σαρδέλας σε σχέση με περιβαλλοντικές παραμέτρους, συνδυάζοντας δεδομένα από ταυτόχρονες υδροακουστικές και υδρογραφικές έρευνες.

7.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

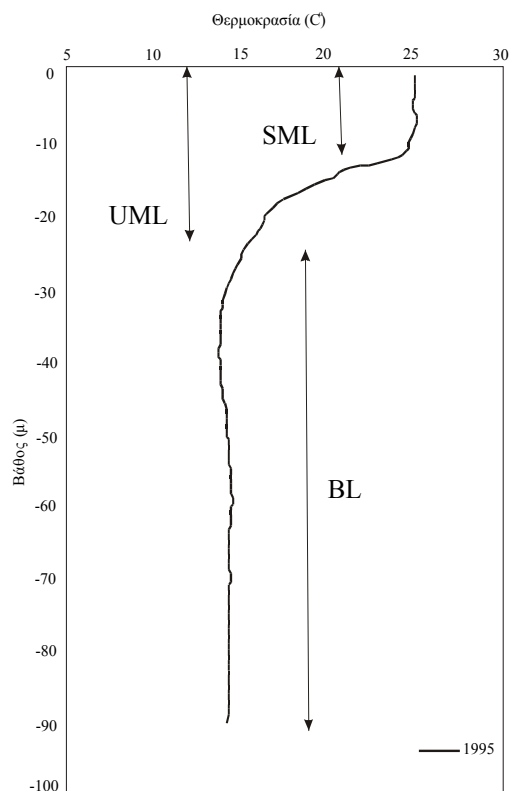
Η δειγματοληψία των περιβαλλοντικών παραμέτρων περιγράφεται στην παράγραφο 2.2 του κεφαλαίου 2. Η ακουστική δειγματοληψία περιγράφεται με λεπτομέρειες στην παράγραφο 3.2 του κεφαλαίου 3.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής προκειμένου να μελετηθεί η συσχέτιση των ψαριών με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους, μετρήθηκε το βάθος βυθού και η μέση τιμή της θερμοκρασίας και η μέση της αλατότητας των ακόλουθων στρωμάτων της κολώνας του νερού: (α) του επιφανειακού στρώματος ανάμιξης (surface mixed layer-SML), (β) του ανώτερου στρώματος ανάμιξης (upper mixed layer –UML) και (γ) του στρώματος του βυθού (bottom layer-BL) (Laprise & Perin 1995). Επιπλέον υπολογίστηκαν (δ) η μέση θερμοκρασιακή στρωμάτωση ($^{\circ}\text{C m}^{-1}$) και (ε) η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α ($\mu\text{g/l}$) στο σύνολο της κολώνας του νερού και (η) ο όγκος του ζωοπλαγκτού (ml/m^2). Το SML ορίζεται ως το ομογενές στρώμα, το άμεσα υποκείμενο της επιφάνειας της θάλασσας στο οποίο η θερμοκρασία είναι έως 1°C μικρότερη της επιφανειακής (Laprise & Perin 1995). Το UML ορίζεται ως το στρώμα της κολώνας του νερού από την επιφάνεια ως το βάθος όπου η θερμοκρασία ήταν ως 1°C υψηλότερη από την θερμοκρασία στον πυθμένα και το BL ήταν το στρώμα της κολώνας του νερού που εκτείνεται από το τέλος του UML ως τον βυθό ή ως τα 200m, όπου ο βυθός ήταν βαθύτερα των 200m (Εικ. 7.1). Η κατάτμηση της κολώνας του νερού σε SML, UML και BL περιγράφει ικανοποιητικά τη στρωμάτωση στη θάλασσα κατά τη θερινή περίοδο δειγματοληψίας. Το SML είναι το υπερκείμενο του θερμοκλινούς στρώμα της κολώνας του νερού, το UML είναι το στρώμα εκείνο της κολώνας του νερού που περιλαμβάνει το θερμοκλινές και το BL είναι το υποκείμενο του θερμοκλινούς στρώμα που φτάνει ως τον πυθμένα. Ειδικά για την χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας, επειδή δεν παρατηρήθηκε στρωμάτωση στην πλειονότητα των σταθμών

θεωρήθηκε ορθότερος ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας και της μέσης αλατότητας για το σύνολο της κολώνας του νερού.

Η μέθοδος παρεμβολής της αντίστροφης απόστασης (inverse distance) εφαρμόστηκε για να προβλεφθούν όλες οι παραπάνω μεταβλητές συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους και του γεωγραφικού μήκους σε όλη την έκταση της περιοχής δειγματοληψίας. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο της τοπικής παλινδρόμησης (local regression model ή *Loess*) (Cleveland 1979) για να ληφθούν οι τιμές των παραπάνω μεταβλητών συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους και του γεωγραφικού μήκους στις θέσεις που καταγράφηκε γαύρος και σαρδέλα (πολλαπλό R τετράγωνο >0.94). Το

μοντέλο της τοπικής παλινδρόμησης αποτελεί μια μέθοδο εκτίμησης της επιφάνειας παλινδρόμησης, εφαρμόζοντας μια συνάρτηση των ανεξάρτητων μεταβλητών (δηλ. του γεωγραφικού πλάτους και του γεωγραφικού μήκους) τοπικά και με τρόπο ανάλογο αυτού του κινούμενου μέσου όρου στην ανάλυση χρονοσειρών (Cleveland & Devlin 1988). Η επιφάνεια παλινδρόμησης εφαρμόζεται με την μέθοδο των σταθμισμένων ελαχίστων τετραγώνων (weighted least squares) η οποία εξασφαλίζει ότι τα «γειτονικά» σημεία είναι περισσότερο επιδραστικά. Ο αριθμός των «γειτονικών» σημείων (δηλ. το μέγεθος της γειτνίασης), που εκφράζεται συνήθως ως ποσοστό (span) των σημείων, είναι ο παράγοντας εξομάλυνσης (δηλ. ο αριθμός των παρατηρήσεων στο παράθυρο εξομάλυνσης). Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε γειτνίαση στο επίπεδο του 10% (span=0.1). Τα μοντέλα τοπικής παλινδρόμησης παρέχουν μεγάλη ευελιξία καθώς για κάθε σημείο που προβλέπεται εφαρμόζεται μια πολυωνυμική επιφάνεια που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μόνο τα γειτονικά σημεία (Venables & Ripley 1994).



Εικόνα 7.1. Η κάθετη κατατομή της θερμοκρασίας στο σταθμό 68 στο Β. Αιγαίο, Ιούνιος 1995. SML: Επιφανειακό Στρώμα Ανάμιξης, UML: Ανώτερο Στρώμα Ανάμιξης και BL: Στρώμα Βυθού.

7.2.1 Επιλογή Ενδιαιτήματος

Η βιομάζα του γαύρου και της σαρδέλας δεν κατανέμεται τυχαία σε σχέση με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους. Το ερώτημα που προκύπτει είναι αν υπάρχει τάση συγκέντρωσης των ψαριών σε συγκεκριμένες τιμές των παραμέτρων, καθώς και ποιες είναι αυτές οι τιμές. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε η ανάλυση των αθροιστικών συναρτήσεων της δειγματοληπτικής

κατανομής (cumulative distribution functions- CDFs) (Perry & Smith 1994). Η ανάλυση εφαρμόστηκε στις τρεις κύριες ενότητες περιοχών: στο Βόρειο Αιγαίο, στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και στο Ιόνιο, περιοχές που διαφοροποιούνται έντονα ως προς τα γεωγραφικά και τα υδρολογικά τους χαρακτηριστικά. Τα δεδομένα του κάθε ταξιδιού στρωματοποιήθηκαν στις επιμέρους υποπεριοχές (Β. Αιγαίο: Θρακικό, Στρυμονικός κόλπος και Θερμαϊκός κόλπος, Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο: Β. Ευβοϊκό κόλπος, Ν. Ευβοϊκό κόλπος και Σαρωνικό κόλπος, Ιόνιο: Κορινθιακός κόλπος, Πατραϊκός κόλπος, βόρειο τμήμα Ιονίου, νότιο τμήμα Ιονίου) και σε κάθε στρώμα (stratum) υπολογίστηκε η έκταση την οποία καλύπτει. Η ανάλυση εφαρμόστηκε στη θερινή και στην χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας.

Κατά την ανάλυση των CDFs εξετάστηκαν οι σχέσεις ανάμεσα στην βιομάζα του κάθε είδους (kg/v.μ.) και σε κάθε μία από τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 7.2. καθώς και το βάθος του βυθού. Η CDF (ως % ποσοστό) $f(t)$ για κάθε παράμετρο υπολογίστηκε με την ακόλουθη συνάρτηση:

$$f(t) = 100 \frac{\sum_{h=1}^L \sum_{i=1}^{n_h} \frac{A_h}{n_h} I}{\sum_{h=1}^L \sum_{i=1}^{n_h} \frac{A_h}{n_h}} \quad \text{όπου } I = \begin{cases} 1, & x_{hi} \leq t \\ 0 & x_{hi} > t \end{cases} \quad (\text{εξίσωση 7.1})$$

όπου t είναι το επίπεδο της παραμέτρου; A_h είναι η έκταση του στρώματος h ; n_h είναι ο αριθμός των ΣΜΔ (ΣΜΔ:1 v.μ.) στο στρώμα h ; x_{hi} είναι η τιμή της παραμέτρου για κάθε ΣΜΔ- i στο στρώμα h ; L είναι ο αριθμός των στρωμάτων. Η CDF $g(t)$ για την βιομάζα του γαύρου και της σαρδέλας, υπολογίστηκε ανάλογα:

$$g(t) = 100 \frac{\sum_{h=1}^L \sum_{i=1}^{n_h} \frac{A_h}{n_h} y_{hi} I}{\sum_{h=1}^L \sum_{i=1}^{n_h} \frac{A_h}{n_h} y_{hi}} \quad \text{όπου } I = \begin{cases} 1, & x_{hi} \leq t \\ 0 & x_{hi} > t \end{cases} \quad (\text{εξίσωση 7.2})$$

και y_{hi} είναι η βιομάζα (kg/v.μ.) του γαύρου ή της σαρδέλας στην ΣΜΔ i στο στρώμα h (Swain & Krammer 1995).

Για να εξεταστεί η μεταβολή στην επιλογή των παραμέτρων από το γαύρο ή τη σαρδέλα, συγκρίναμε την CDF της εκάστοτε παραμέτρου $f(t)$ με την CDF της βιομάζας (kg/v.μ.) του γαύρου ή της σαρδέλας $g(t)$. Ειδικότερα, υπολογίστηκε ο δείκτης

$$S = \sum_{t=t_{\min}}^{t_{\max}} [f(t) - g(t)] \quad (\text{εξίσωση 7.3})$$

για κάθε παράμετρο. Το S συγκρίνει την μέση «διαθέσιμη» τιμή της παραμέτρου με την μέση τιμή της παραμέτρου που επιλέγεται από το γαύρο ή τη σαρδέλα. Θετικές τιμές του S είναι ενδεικτικές ότι ο γαύρος ή η σαρδέλα επέλεξαν μεγάλες τιμές της παραμέτρου εντός του διαθέσιμου εύρους τιμών και στην περίπτωση αυτή στο αντίστοιχο διάγραμμα η CDF $g(t)$ του γαύρου ή της σαρδέλας θα βρίσκεται δεξιά της CDF $f(t)$ της παραμέτρου. Χρησιμοποιήθηκε ένα στατιστικό τεστ τύπου Kolmogorov-Smirnov για να εξετάσουμε την σημαντικότητα της επιλογής της μεταβλητής. Το στατιστικό τεστ D ορίστηκε ως

$$D = \max |f(t) - g(t)|$$

δηλαδή η μέγιστη απόλυτη κάθετη απόσταση μεταξύ των δύο (εξίσωση 7.4) συναρτήσεων. Το D υπολογίστηκε αρχικά για τις παρατηρούμενες τιμές.

Στη συνέχεια οι τιμές ανακατεύτηκαν τυχαία και υπολογίστηκε εκ νέου το D (προσέγγιση Monte Carlo). Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε 5000 φορές για κάθε έλεγχο. Καθορίστηκε τέλος η ποσότητα N, δηλ. πόσες φορές το D ήταν ίσο ή μεγαλύτερο από αυτό των παρατηρούμενων τομών και υπολογίστηκε η πιθανότητα $p=N/5000$ (Perry & Smith 1994, Swain & Krammer 1995). Αν $p<0.05$ απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση (ότι ο γαύρος ή η σαρδέλα κατανέμονται τυχαία σε σχέση με την παράμετρο) και εξετάζουμε το S για να δούμε αν ο γαύρος ή η σαρδέλα τείνουν να συγκεντρώνονται σε μεγαλύτερες ή μικρότερες τιμές της παραμέτρου. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό πρόγραμμα “Habitat” που αναπτύχθηκε στο ΙΘΑΒΙΚ για το σκοπό αυτό.

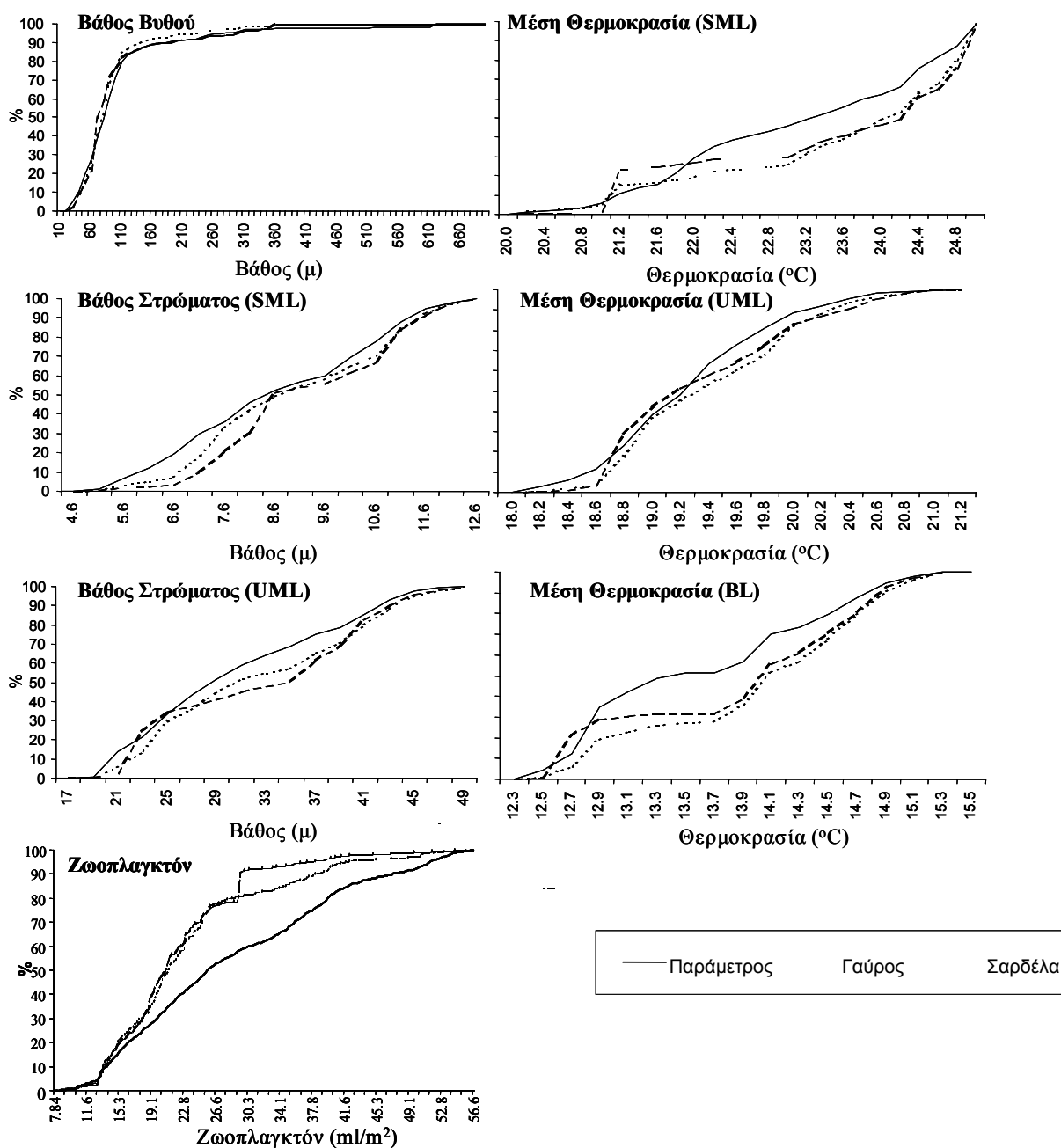
7.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.3.1. Βόρειο Αιγαίο

Η ανάλυση των CDFs έδειξε θετική σημαντική συσχέτιση του γαύρου με το βάθος του SML, το βάθος του UML, την θερμοκρασία του BL και αρνητική με τον όγκο του ζωοπλαγκτού (Πιν. 7.1, Εικ. 7.2). Τα αποτελέσματα αυτά είναι ενδεικτικά της ύπαρξης μεγαλύτερης πιθανότητας να απαντά ο γαύρος σε περιοχές με πιο εκτεταμένα επιφανειακά και ανώτερα στρώματα ανάμιξης και μειωμένη παραγωγικότητα. Η συσχέτιση του γαύρου με θερμότερα νερά κάτω από το θερμοκλινές (BL) ήταν οριακά σημαντική ($p=0.049$, Πιν. 7.1). Η σαρδέλα έδειξε ισχυρή συσχέτιση ($p \ll 0.01$) με το βάθος του SML, το βάθος του UML, τη θερμοκρασία του SML, τη θερμοκρασία του UML, τη θερμοκρασία του BL και τον όγκο του ζωοπλαγκτού (Πιν. 7.1, Εικ. 7.2), επομένως αντίθετα με το γαύρο η σαρδέλα έδειξε εμφανή συσχέτιση με θερμότερα νερά και αρνητική συσχέτιση με το βάθος βυθού και τον όγκο του ζωοπλαγκτού (Πιν. 7.1, Εικ. 7.2) δείχνοντας έτσι επιλογή για περιοχές με μικρότερα βάθη και μειωμένη παραγωγικότητα. Η αλατότητα και η θερμοκρασιακή στρωμάτωση δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές επιδράσεις (Πιν. 7.1).

Πίνακας 7.1. Β. Αιγαίο: Δείκτες επιλογής των παραμέτρων από τα είδη. B: βάθος (m), D_s : βάθος του SML (m), D_u : βάθος του UML (m), T_s : η μέση τιμή θερμοκρασίας στο SML ($^{\circ}\text{C}$), T_u : η μέση τιμή θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), T_{bl} : η μέση τιμή θερμοκρασίας στο BL ($^{\circ}\text{C}$), S_s : η μέση τιμή αλατότητας στο SML (psu), S_u : η μέση τιμή αλατότητας στο UML (psu), S_{bl} : η μέση τιμή αλατότητας στο BL (psu), T_{str} : η θερμοκρασιακή στρωμάτωση στο UML ($^{\circ}\text{Cm}^{-1}$), Z: ο όγκος του ζωοπλαγκτού ($\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$), S: δείκτης επιλογής παραμέτρου, D: στατιστικό τεστ; p-value: πιθανότητα στατιστικής σημαντικότητας της επιλογής της παραμέτρου βάσει του τεστ τυχαιότητας, SML: επιφανειακό στρώμα ανάμιξης, UML: ανώτερο στρώμα ανάμιξης, BL: στρώμα βυθού.

Παράμετροι	Γαύρος			Σαρδέλα		
	S	D	p-value	S	D	p-value
B	-68.63	11.26	0.629	-123.33	8.75	0.018
D_s	117.23	20.06	0.016	69.52	12.10	0.004
D_u	103.48	18.78	0.035	93.88	11.58	0.006
T_s	169.63	16.82	0.121	211.47	20.13	0.000
T_u	43.91	8.92	0.853	74.23	12.87	0.000
T_{bl}	131.81	19.62	0.049	193.93	23.87	0.000
S_s	-2.75	6.70	0.992	-20.37	7.90	0.058
S_u	6.91	16.84	0.117	6.44	4.75	0.445
S_{bl}	-11.33	13.21	0.463	15.73	8.13	0.053
T_{str}	-77.65	11.43	0.605	-54.24	6.41	0.170
Z	-2546.52	32.82	0.000	-2080.85	25.47	0.000



Εικόνα 7. 2. Βόρειο Αιγαίο: Οι αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής των περιβαλλοντικών παραμέτρων και της βιομάζας του γαύρου/ σαρδέλας σε σχέση με τις διαθέσιμες τιμές των παραμέτρων. SML: επιφανειακό στρώμα ανάμιξης, UML:άνωτερο στρώμα ανάμιξης, BL:στρώμα βυθού.

7.3.2. Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και Ιόνιο (Καλοκαίρι).

Η ανάλυση των CDFs στην περιοχή του Κεντρικού Αιγαίου έδειξε ισχυρή ($p \ll 0.01$) αρνητική συσχέτιση του γαύρου με το βάθος του βυθού, το βάθος του SML και του UML, την μέση θερμοκρασία στα SML, UML και BL και την μέση αλατότητα στα SML, UML και BL και την θερμοκρασιακή στρωμάτωση. Αντίθετα, έδειξε θετική συσχέτιση με το ζωοπλαγκτόν και την χλωροφύλλη-α (Πιν. 7.2, Εικ. 7.3). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι εντός των ορίων των διαθέσιμων τιμών των περιβαλλοντικών παραμέτρων υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να απαντά ο γαύρος σε περιοχές με μικρότερα βάθη, λιγότερο εκτεταμένα επιφανειακά και ανώτερα στρώματα ανάμιξης, σε χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας καθώς και σε υψηλότερες τιμές χλωροφύλλης-α και ζωοπλαγκτού. Στην περιοχή του Ιονίου ο γαύρος παρουσίασε θετική συσχέτιση με την μέση θερμοκρασία των SML, UML, BL, την συγκέντρωση της χλωροφύλλης και την θερμοκρασιακή στρωμάτωση. Αρνητική συσχέτιση παρουσίασε με την μέση αλατότητα των SML, UML, BL ($p \ll 0.01$) και το ζωοπλαγκτόν (Πιν. 7.3, Εικ. 7.4), δηλ. εντός των ορίων των διαθέσιμων τιμών των παραπάνω περιβαλλοντικών παραμέτρων υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να απαντά ο γαύρος σε υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας, χαμηλότερες τιμές αλατότητας, υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης και μικρότερες τιμές ζωοπλαγκτού.

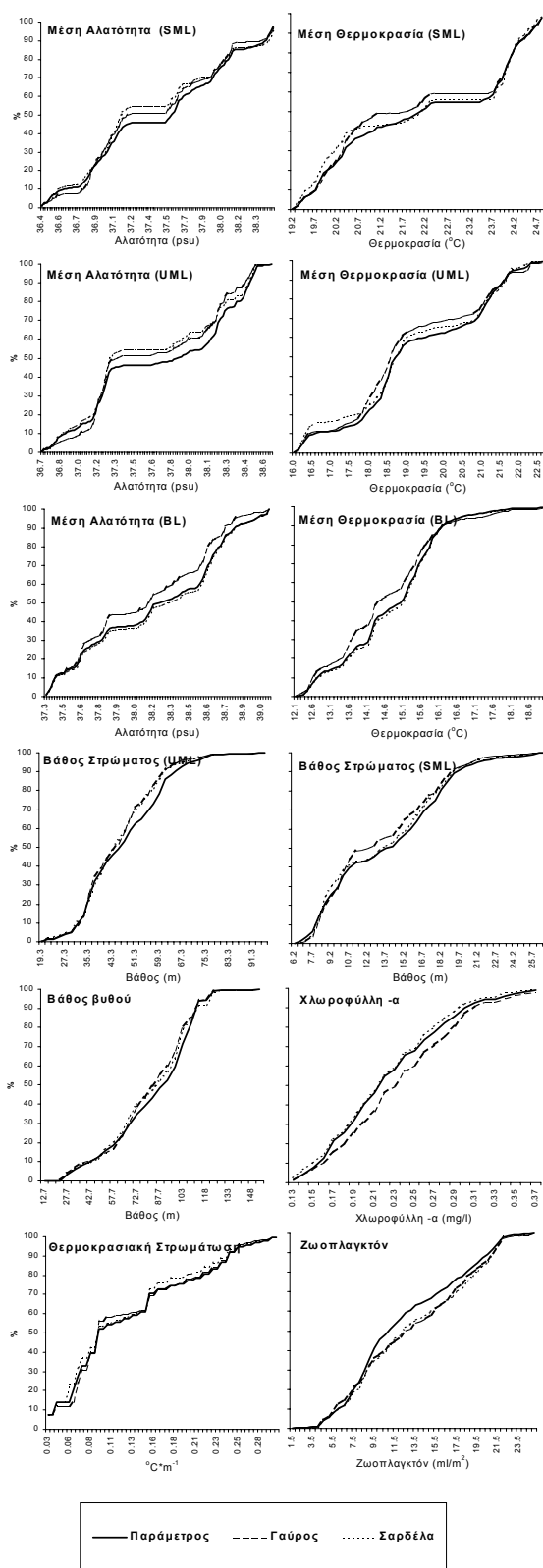
Ανάλογα, η σαρδέλα στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου κατά τη θερινή περίοδο δειγματοληψίας έδειξε ισχυρή αρνητική συσχέτιση ($p \ll 0.01$) με το βάθος του βυθού, το βάθος του SML και του UML, την μέση θερμοκρασία των SML, UML και BL και την μέση αλατότητα των SML, UML και BL (Πιν. 7.2, Εικ. 7.3). Αντίθετα έδειξε θετική συσχέτιση με το ζωοπλαγκτόν και την θερμοκρασιακή στρωμάτωση (Πιν. 7.2, Εικ. 7.3). Δηλαδή εντός των ορίων των διαθέσιμων τιμών των περιβαλλοντικών παραμέτρων υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να απαντά η σαρδέλα σε περιοχές με μικρότερα βάθη, λιγότερο εκτεταμένα επιφανειακά και ανώτερα στρώματα ανάμιξης, σε χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας καθώς και σε υψηλότερες τιμές ζωοπλαγκτού. Στην περιοχή του Ιονίου η σαρδέλα έδειξε θετική συσχέτιση με το βάθος του UML, αρνητική συσχέτιση με το βάθος, την μέση αλατότητα των SML, UML, BL ($p \ll 0.01$), και το ζωοπλαγκτόν (Πιν. 7.3, Εικ. 7.4), δηλ. σε σχέση με τις διαθέσιμες τιμές των παραπάνω περιβαλλοντικών παραμέτρων υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να απαντά η σαρδέλα σε περιοχές με μικρότερα βάθη, πιο εκτεταμένα UML, μικρότερες τιμές αλατότητας και μικρότερες τιμές ζωοπλαγκτού.

Πίνακας 7.2. Κεντρικό Αιγαίο (Καλοκαίρι): Δείκτες επιλογής των παραμέτρων από τα είδη. B: βάθος (m), D_s : βάθος του SML (m), D_u : βάθος του UML (m), T_s : η μέση τιμή θερμοκρασίας στο SML ($^{\circ}\text{C}$), T_u : η μέση τιμή θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), T_{bl} : η μέση τιμή θερμοκρασίας στο BL ($^{\circ}\text{C}$), S_s : η μέση τιμή αλατότητας στο SML (psu), S_u : η μέση τιμή αλατότητας στο UML (psu), S_{bl} : η μέση τιμή αλατότητας στο BL (psu), T_{str} : η θερμοκρασιακή στρωμάτωση στο UML ($^{\circ}\text{Cm}^{-1}$), C: η μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης-α ($\mu\text{g/l}$), Z: ο όγκος του ζωοπλαγκτού ($\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$), S: δείκτης επιλογής παραμέτρου, D: στατιστικό τεστ; p-value: πιθανότητα στατιστικής σημαντικότητας της επιλογής της παραμέτρου βάσει του τεστ τυχαιότητας, SML: επιφανειακό στρώμα ανάμιξης, UML: ανώτερο στρώμα ανάμιξης, BL: στρώμα βυθού.

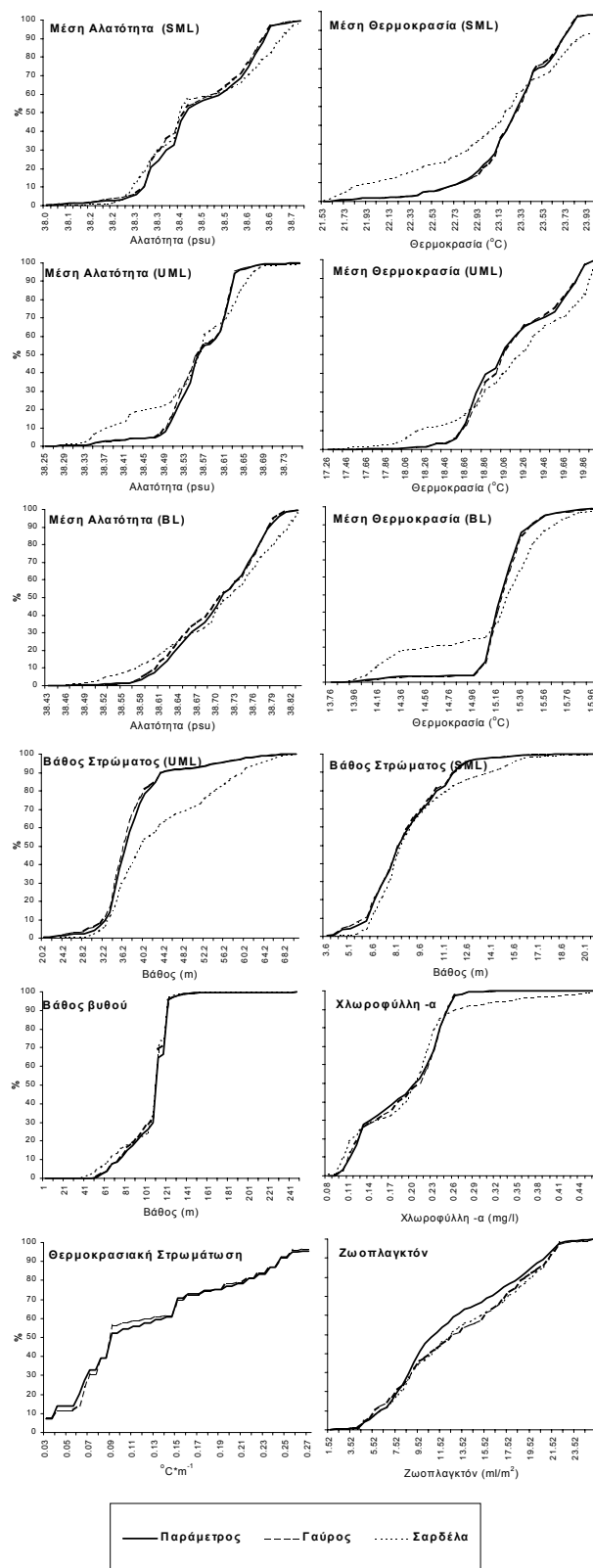
Παράμετροι	Γαύρος			Σαρδέλα		
	S	D	p-value	S	D	p-value
B	-53.114	9.039	0.000	-43.833	7.979	0.000
D_s	-105.831	7.709	0.000	-57.665	4.575	0.015
D_u	-97.328	9.507	0.000	-99.071	9.569	0.000
T_s	-167.443	7.249	0.000	-112.159	7.453	0.000
T_u	-122.816	9.535	0.000	-62.383	5.912	0.000
T_{bl}	-181.958	8.946	0.000	-199.965	7.020	0.000
S_s	-228.948	5.399	0.000	-423.395	9.574	0.000
S_u	-215.266	7.844	0.000	-236.565	11.357	0.000
S_{bl}	-454.424	10.615	0.000	-614.266	11.458	0.000
T_{str}	-35.060	6.2452	0.000	97.297	6.532	0.000
C	108.676	9.516	0.000	-38.750	2.963	0.196
Z	151.781	9.618	0.000	176.604	9.219	0.000

Πίνακας 7.3. Ιόνιο (Καλοκαίρι): όπως παραπάνω

Παράμετροι	Γαύρος			Σαρδέλα		
	S	D	p-value	S	D	p-value
B	-23.685	2.409	0.147	-3.937	4.623	0.039
D_s	-18.503	2.274	0.202	-28.165	2.397	0.284
D_u	-58.737	2.566	0.245	42.148	6.698	0.000
T_s	1.949	3.046	0.025	22.990	1.683	0.717
T_u	7.773	4.676	0.007	-51.684	5.061	0.053
T_{bl}	8.516	3.227	0.013	-21.108	2.382	0.199
S_s	-55.713	5.894	0.000	-91.974	6.441	0.000
S_u	-39.292	6.290	0.000	-110.657	6.137	0.000
S_{bl}	-36.359	5.517	0.000	-71.403	3.641	0.000
T_{str}	19.668	6.711	0.000	-83.777	3.380	0.052
C	14.911	5.019	0.000	-15.022	2.659	0.311
Z	-78.206	3.433	0.018	-1965.821	6.736	0.000



Εικόνα 7.3. Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο (Καλοκαίρι): Οι αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής των περιβαλλοντικών παραμέτρων και της βιομάζας του γαύρου/σαρδέλας σε σχέση με τις διαθέσιμες τιμές των παραμέτρων. SML: επιφανειακό στρώμα ανάμιξης, UML: ανώτερο στρώμα ανάμιξης, BL: στρώμα βυθού.



Εικόνα 7. 4. Ιόνιο (Καλοκαίρι): Οι αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής των περιβαλλοντικών παραμέτρων και της βιομάζας του γαύρου/ σαρδέλας σε σχέση με τις διαθέσιμες τιμές των παραμέτρων. SML: επιφανειακό στρώμα ανάμιξης, UML:άνωτερο στρώμα ανάμιξης, BL:στρώμα βυθού.

7.3.3. Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και Ιόνιο (Χειμώνας).

Η κολώνα του νερού στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και στο Ιόνιο κατά την χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας παρουσίαζε σε μεγάλο βαθμό (>74%) έλλειψη στρωμάτωσης και στις δύο χρονιές δειγματοληψίας, για το λόγο αυτό θεωρήθηκε ότι οι μέσες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας αποδίδουν ικανοποιητικά την εικόνα της κολώνας του νερού.

Η ανάλυση των CDFs στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου για το γαύρο έδειξε ισχυρή ($p << 0.01$) θετική συσχέτιση με το βάθος του βυθού, την μέση θερμοκρασία και την μέση αλατότητα και αρνητική συσχέτιση με το ζωοπλαγκτόν και την χλωροφύλλη-α (Πιν. 7.4, Εικ. 7.5). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι εντός των ορίων των διαθέσιμων τιμών των περιβαλλοντικών παραμέτρων υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να απαντά ο γαύρος σε περιοχές με μεγαλύτερα βάθη, υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας, και χαμηλότερες τιμές χλωροφύλλης-α και ζωοπλαγκτού. Όμοια η ανάλυση των CDFs για τη σαρδέλα έδειξε ισχυρή ($p << 0.01$) αρνητική συσχέτιση με το βάθος, την μέση θερμοκρασία και την μέση αλατότητα. Αντίθετα, έδειξε ισχυρή ($p << 0.01$) θετική συσχέτιση με το ζωοπλαγκτόν και την χλωροφύλλη-α (Πιν. 7.4, Εικ. 7.5). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι εντός των ορίων των διαθέσιμων τιμών των περιβαλλοντικών παραμέτρων υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να απαντά η σαρδέλα σε περιοχές με μικρότερα βάθη, χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας καθώς και σε υψηλότερες τιμές χλωροφύλλης-α και ζωοπλαγκτού.

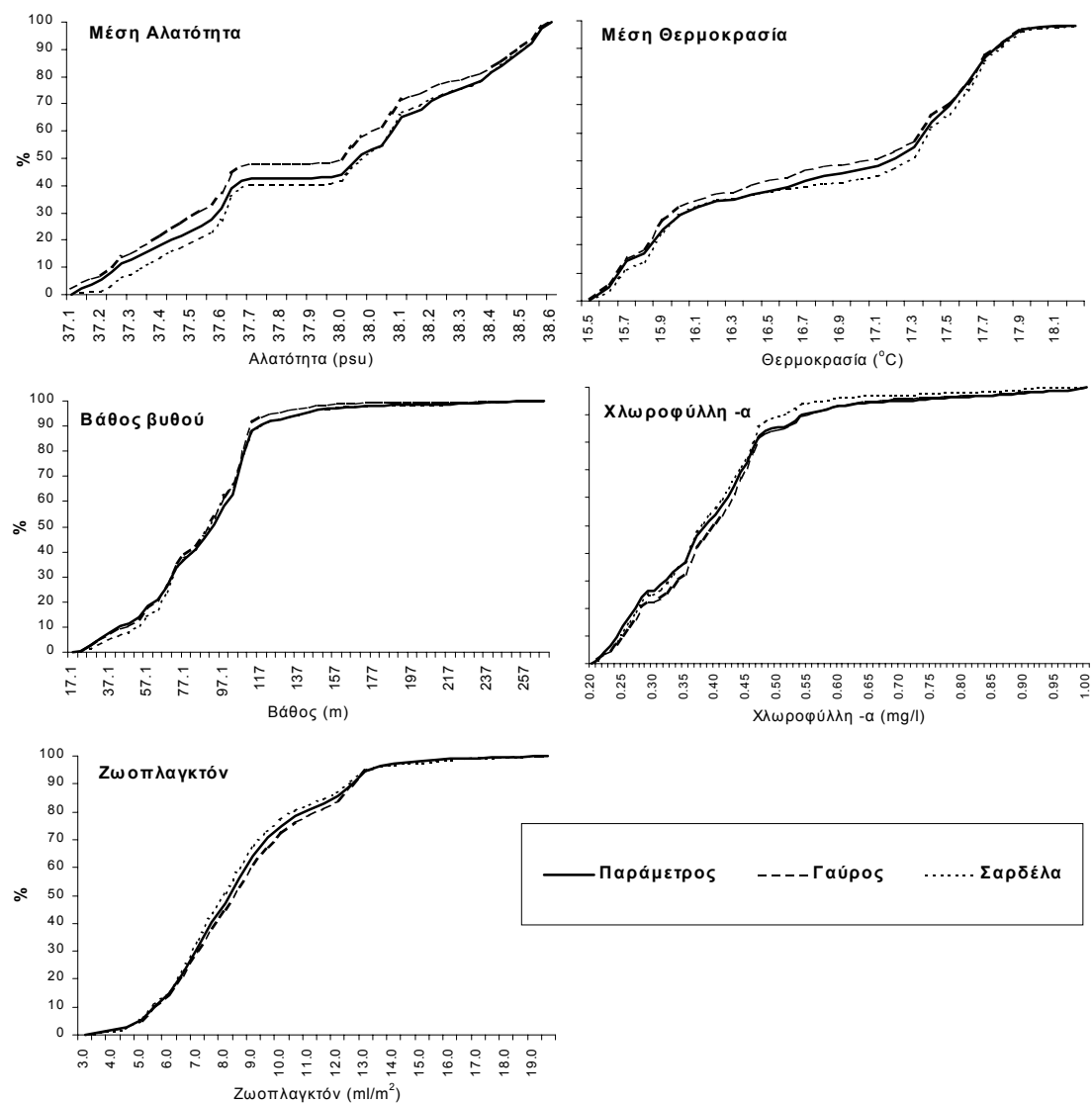
Αντίστοιχα, στην περιοχή του Ιονίου τόσο ο γαύρος όσο η σαρδέλα, έδειξαν ισχυρή ($p << 0.01$) αρνητική συσχέτιση με το βάθος του βυθού, την μέση θερμοκρασία, την μέση αλατότητα και θετική συσχέτιση με τη χλωροφύλλη (Πιν. 7.5, Εικ. 7.6). Επιπλέον ο γαύρος έδειξε ισχυρή αρνητική συσχέτιση ($p << 0.01$) με το ζωοπλαγκτόν. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι εντός των ορίων των διαθέσιμων τιμών των περιβαλλοντικών παραμέτρων στην περιοχή του Ιονίου υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να απαντά ο γαύρος και η σαρδέλα σε περιοχές με μικρότερα βάθη, με χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας, χαμηλότερες τιμές ζωοπλαγκτού και υψηλότερες τιμές χλωροφύλλης.

Πίνακας 7.4. Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο (Χειμώνας): Δείκτες επιλογής των παραμέτρων από τα είδη. B: βάθος (m), T_m : η μέση τιμή θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$), S_m : η μέση τιμή αλατότητας (psu), C: η μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης-α ($\mu\text{g/l}$), Z: ο όγκος του ζωοπλαγκτού ($\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$), S: δείκτης επιλογής παραμέτρου, D: στατιστικό τεστ; p-value: πιθανότητα στατιστικής σημαντικότητας της επιλογής της παραμέτρου βάσει του τεστ τυχαιότητας.

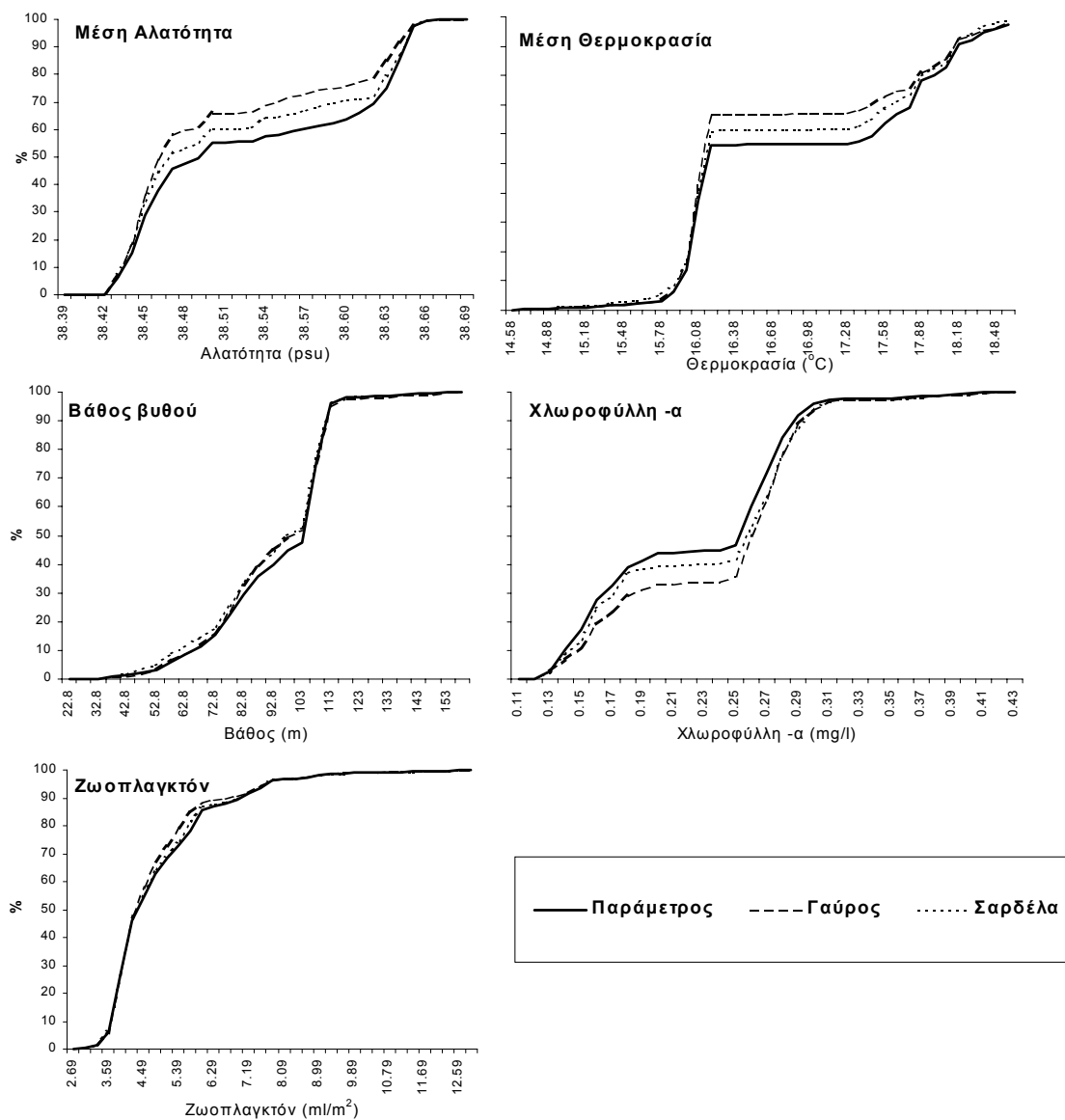
Παράμετροι	Γαύρος			Σαρδέλα		
	S	D	p-value	S	D	p-value
B	9.657	3.715	0.000	-59.156	4.170	0.003
T_m	45.274	3.816	0.000	-53.421	3.874	0.000
S_m	84.952	6.963	0.000	-203.917	5.287	0.000
C	-126.257	5.313	0.000	72.118	4.734	0.000
Z	-27.467	3.324	0.000	29.905	3.578	0.001

Πίνακας 7.5. Ιόνιο (Χειμώνας): όπως παραπάνω

Παράμετροι	Γαύρος			Σαρδέλα		
	S	D	p-value	S	D	p-value
B	-18.240	4.782	0.033	-46.750	5.230	0.003
T_m	-198.089	10.805	0.000	-100.409	5.053	0.001
S_m	-224.457	13.081	0.000	-109.073	7.449	0.000
C	146.233	10.876	0.000	70.768	7.776	0.000
Z	-36.568	6.548	0.000	-8.620	2.862	0.087



Εικόνα 7. 5. Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο (Χειμώνας): Οι αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής των περιβαλλοντικών παραμέτρων και της βιομάζας του γαύρου/ σαρδέλας σε σχέση με τις διαθέσιμες τιμές των παραμέτρων.



Εικόνα 7. 6. Ιόνιο (Χειμώνας): Οι αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής των περιβαλλοντικών παραμέτρων και της βιομάζας του γαύρου/ σαρδέλας σε σχέση με τις διαθέσιμες τιμές των παραμέτρων.

7.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η ανάλυση των CDFs έδειξε μια γενικότερη τάση προτίμησης του γαύρου και της σαρδέλας σε περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας (δηλ. αυξημένες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης ή ζωοπλαγκτού). Ειδικότερα, στην περιοχή του Β. Αιγαίου ο γαύρος σχετιζόταν με πιο εκτεταμένα SML και UML (Πιν. 7.1). Πιο εκτεταμένα (βαθύτερα) επιφανειακά και ανώτερα στρώματα ανάμιξης (SML & UML) χαρακτηρίζουν τις περιοχές των αντικυκλώνων λόγω της τάσης των ισοπυκνών να κινούνται καθοδικά σε αντίθεση με τους κυκλώνες (αναβλύσεις νερών) περιοχές όπου οι ισοπυκνείς κινούνται ανοδικά (Pond & Pickard 1983). Στο Β. Αιγαίο είναι γνωστή η παρουσία δύο αντικυκλωνικών συστημάτων ένα στο πλατό της Σαμοθράκης (την έλικα της Σαμοθράκης) και ένα και στον Στρυμονικό κόλπο (Somarakis *et al.*, 2002a). Οι αντικυκλώνες αυτοί αποτελούν σχεδόν μόνιμο χαρακτηριστικό της περιοχής στις αρχές του καλοκαιριού και συνδυάζονται με την παρουσία ενός κυκλωνικού συστήματος που βρίσκεται νότια της Θάσου. Η κυκλοφορία στην περιοχή καθορίζεται από την παρουσία του ρεύματος Λήμνου-Ίμβρου, το οποίο μεταφέρει το νερό της Μαύρης Θάλασσας στο πλατό της Σαμοθράκης (Somarakis *et al.*, 2002a). Οι περιοχές των αντικυκλώνων είναι περιοχές συγκράτησης πλαγκτού και χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις μεσοζωοπλαγκτού (Σωμαράκης 1999), δηλ. υψηλή διαθεσιμότητα τροφής για τα μικρά πελαγικά ψάρια, γεγονός που συμφωνεί με την προτίμηση του γαύρου προς υψηλότερες συγκεντρώσεις ζωοπλαγκτού. Τέτοιου είδους δομές στη φύση είναι γνωστό ότι συμπαρασύρουν αβγά και νύμφες ψαριών και εμποδίζουν τη διασπορά τους (Heath 1992). Οι αρχές του καλοκαιριού συνιστούν περίοδο αναπαραγωγής για το γαύρο στις Ελληνικές Θάλασσες (Σωμαράκης 1999), επομένως η επιλογή των ευνοϊκών για τη θρέψη περιοχών των αντικυκλωνικών συστημάτων από τα αναπαραγωγικά ενεργά ενήλικα θα ήταν επίσης ευνοϊκή και για το αποκόνημα τους (αβγά και νύμφες), καθώς συγκρατούνται εκεί και μειώνεται η διασπορά τους μακριά από τις ακτές.

Όμοια οι ρηχές και παραγωγικές περιοχές που προτιμούνται από το γαύρο, στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου συνιστούν το κατάλληλο ενδιαίτημα για τα νεοεκκολαφθέντα άτομα. Με την τάση επιλογής περιοχών αυξημένης παραγωγικότητας φαίνεται να σχετίζεται η επιλογή πιο αναμεμιγμένων νερών και μικρότερων τιμών θερμοκρασίας και αλατότητας που χαρακτηρίζουν τις περιοχές απορροών γλυκών νερών. Συσχέτιση της κατανομής του γαύρου με απορροές ποταμών αναφέρεται στον Βισκαϊκό κόλπο (Motos *et al.*, 1996, Koutsikopoulos & Le Cann 1996). Στην περιοχή του Ιονίου η γενικότερη τάση του γαύρου να επιλέγει περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας παραμένει (υψηλή συγκέντρωση χλωροφύλλης). Με τη τάση αυτή σχετίζεται και η προτίμησή του σε υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας και χαμηλότερες τιμές αλατότητας, χαρακτηριστικά που αφορούν περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας στην περιοχή του Ιονίου (π.χ. την περιοχή μεταξύ Λευκάδας και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και την περιοχή κοντά στις εκβολές του Αχελώου ποταμού).

Κατά την χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο ο γαύρος έδειξε αυξημένη πιθανότητα παρουσίας σε περιοχές με μεγαλύτερα βάθη, υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας και μικρότερες τιμές παραγωγικότητας. Αντίθετα, στην περιοχή του Ιονίου ο γαύρος παρουσίασε αυξημένη πιθανότητα παρουσίας σε περιοχές με μικρότερα βάθη, χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας και αυξημένη παραγωγικότητα. Το χειμώνα ο πληθυσμός του γαύρου αποτελείται από μικρά και μεγάλα άτομα, με διαφορετικά ποσοστά ανά περιοχή. Στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο απαντούν μικρά και μεγάλα άτομα, με τα μεγαλύτερα άτομα όμως σε υψηλά ποσοστά (Εικ. 3.13) σε αντίθεση με το Ιόνιο, όπου απαντούν σε υψηλότερα ποσοστά τα μικρότερα άτομα του γαύρου (Εικ. 3.13). Η διαφοροποίηση αυτή στην σύσταση του πληθυσμού φαίνεται ότι σχετίζεται με την διαφορετική επιλογή του ενδιαίτηματος στις δύο περιοχές. Η κατανομή των ενηλίκων ατόμων του γαύρου σε μεγαλύτερα βάθη, μακριά από τις ακτές, αναφέρεται επίσης για το *Engraulis encrasicolus* στην βορειοδυτική Μεσόγειο (Abad *et al.*, 1998) και για το *Engraulis capensis* στη Νότια Αφρική (Barange & Hampton 1997).

Αντίθετα, τα παράκτια νερά αποτελούν το κατάλληλο ενδιαίτημα για τα μικρότερα ψάρια που κυριαρχούν στον πληθυσμό του γαύρου στην περιοχή του Ιονίου.

Αντίθετα με το γαύρο, η σαρδέλα εντός του εύρους των διαθέσιμων θερμοκρασιών στην περιοχή του Β. Αιγαίου παρουσίασε προτίμηση προς θερμότερα νερά. Η σαρδέλα αναπαράγεται το χειμώνα και το καλοκαίρι αποτελεί για αυτή περίοδο ταχείας αύξησης του σωματικού της βάρους και εναπόθεσης λίπους (Anonymous 2001). Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι γνωστό ότι επιταχύνει την ανάπτυξη, εντός του φυσιολογικού θερμικού εύρους του είδους στο ενδιαίτημα του (Ursin 1979) και επομένως η επιλογή θερμότερων νερών από τη σαρδέλα πιθανόν να ερμηνεύεται ως επιλογή σωματικής βελτιστοποίησης.

Στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου το καλοκαίρι, η σαρδέλα παρουσίασε προτίμηση προς παράκτιες περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας, τάση με την οποία σχετίζεται και η επιλογή καλύτερα αναμεμιγμένων νερών και μικρότερων τιμών θερμοκρασίας και αλατότητας. Αντίθετα, στην περιοχή του Ιονίου η σαρδέλα δεν παρουσίασε προτίμηση προς τις πιο παραγωγικές περιοχές. Κατά την θερινή περίοδο δειγματοληψίας στον πληθυσμό της σαρδέλας συνυπάρχουν μικρά και μεγάλα άτομα σε διαφορετικές αναλογίες ανά περιοχή. Η διαφοροποίηση αυτή στην κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού φαίνεται να αντανακλάται στις διαφορετικές τάσεις που παρατηρούνται στις επιμέρους περιοχές. Στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο παρατηρήθηκαν μεγαλύτερα ποσοστά μικρότερων ατόμων, σε αντίθεση με το Ιόνιο που γενικά κυριαρχούσαν τα μεγαλύτερα άτομα (κεφ. 3, Εικ. 3.15). Τα μικρότερα άτομα της σαρδέλας έχουν αυξημένες ενεργειακές ανάγκες και επομένως είναι πιθανό να διαφοροποιούν το ενδιαίτημα τους σε σχέση με τα ενήλικα.

Όπως ήδη αναφέρθηκε ο χειμώνας αποτελεί περίοδο αναπαραγωγής για τη σαρδέλα (Anonymous 2001), έτσι η γενικότερη επιλογή της σαρδέλας κατά την χειμερινή περίοδο περιοχών υψηλής παραγωγικότητας θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως επιλογή ευνοϊκή για την επιβίωσή των νυμφών και των νεαρών ατόμων. Η επιλογή περιοχών με χαμηλές τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας σχετίζεται με την παραπάνω γενικότερη τάση, καθώς ανταποκρίνεται στα χαρακτηριστικά περιοχών απορροών γλυκών νερών, που συνιστούν γνωστά οικοσυστήματα υψηλής παραγωγικότητας. Σημαντική ήταν επίσης η συσχέτιση της σαρδέλας για ρηχότερα νερά, που παρατηρήθηκε ανεξαρτήτως περιοχής και εποχής. Στενή συσχέτιση για ρηχότερα νερά έχει επίσης αναφερθεί για το *Sardinops sagax* στη Νότια Αφρική (Barange & Hampton 1997) και για την *Sardina pilchardus pilchardus* στον Βискаϊκό κόλπο (Scalabrin & Masse 1993).

Η ανάλυση των CDFs αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια συσχέτισης της κατανομής του γαύρου και της σαρδέλας με τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά στις Ελληνικές Θάλασσες. Υπογραμμίζει κυρίως την σημασία της διαθεσιμότητας της τροφής, παράγοντας ο οποίος ελέγχει την αύξηση και την αναπαραγωγή (Freon & Misund 1999). Ωστόσο, η ανάλυση των CDFs δεν επιτρέπει την γνώση (α) του ποια ή ποιες από όλες τις περιβαλλοντικές παραμέτρους είναι η πιο σημαντική και (β) του τρόπου μεταβολής της βιομάζας των ψαριών σε σχέση με την περιβαλλοντική παράμετρο. Επιπλέον, δεδομένης της ετερογένειας των Ελληνικών Θαλασσών σημαντική πληροφορία θα πρόσφεραν οι τυχόν διαφοροποιήσεις της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα των ψαριών ανά υποπεριοχή. Στην εκμείευση αυτού του είδους της πληροφορίας στοχεύει η ανάλυση με τα γενικευμένα προσθετικά μοντέλα που ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

8. Μελέτη της κατανομής του γαύρου και της σαρδέλας σε σχέση με περιβαλλοντικούς παράγοντες II: Γενικευμένα προσθετικά μοντέλα

8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σχέση της κατανομής των ειδών με το περιβάλλον, έχει αποτελέσει κεντρικό αντικείμενο μελέτης στην οικολογία. Ολοένα και περισσότερες μελέτες δείχνουν ότι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες παίζουν κυρίαρχο ρόλο στις διαδικασίες εκείνες που μεταβάλλουν την αφθονία και την κατανομή των μικρών πελαγικών σε όλο τον κόσμο. Επομένως, για την ορθή διαχείριση αυτών των ιχθυοποθεμάτων είναι απαραίτητη η σύνδεση της περιβαλλοντικής πληροφορίας με την βιολογική και την αλιευτική πληροφορία (Freon & Misund 1999). Στην παρούσα διατριβή στο κεφάλαιο 7, έγινε μια πρώτη προσπάθεια σκιαγράφησης της σχέσης του γαύρου και της σαρδέλας με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες (βιοτικούς και αβιοτικούς) που χαρακτηρίζουν το ενδιαίτημά τους.

Αναλυτικότερα, η ανάλυση των CDFs στο κεφάλαιο 7 μας έδωσε πολύτιμη πληροφορία όσον αφορά τη σχέση του γαύρου και της σαρδέλας σε σχέση με μια σειρά από περιβαλλοντικούς παράγοντες (αβιοτικούς και βιοτικούς) στις τρεις ευρύτερες περιοχές μελέτης (Β. Αιγαίο, Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και Ιόνιο), ωστόσο μόνο υποθέσεις μπορούν να γίνουν όσον αφορά τη σχετική σημασία των περιβαλλοντικών παραμέτρων που εξετάστηκαν. Επιπλέον, η ανάλυση των CDFs δεν παρέχει πληροφορίες σχετικά με την μορφή της σχέσης ανάμεσα στην βιομάζα των ψαριών και στις περιβαλλοντικές παραμέτρους, ενώ δεδομένης της ετερογένειας των Ελληνικών Θαλασσών ενδιαφέρον θα παρουσίαζαν τυχόν διαφοροποιήσεις στις περιβαλλοντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την κατανομή των υπό μελέτη ειδών ανά υποπεριοχή. Απάντηση σε τέτοιου είδους ερωτήματα μπορεί να δώσει η εφαρμογή των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων (Generalized Additive Models - GAMs).

Τα Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα (GAMs) είναι μια τεχνική μη παραμετρικής παλινδρόμησης (Hastie & Tibshirani 1986, Hastie & Tibshirani 1990) που πλεονεκτούν έναντι των συμβατικών τεχνικών παλινδρόμησης επειδή δεν περιορίζονται σε συγκεκριμένου τύπου συνάρτηση (π.χ. γραμμικότητα) και είναι πιο ελαστικά σε προϋποθέσεις που αφορούν την στατιστική κατανομή των δεδομένων (π.χ. τα σφάλματα δεν είναι απαραίτητο να ακολουθούν την κανονική κατανομή). Στα GAMs οι ανεξάρτητες μεταβλητές θεωρείται ότι επηρεάζουν την εξαρτημένη μεταβλητή, (π.χ. την βιομάζα των ψαριών) μέσω προσθετικών και απροσδιόριστων (μη γραμμικών και μη παραμετρικών) εξομαλυσμένων συναρτήσεων. Τα GAMs, όπως τα περισσότερα στατιστικά μοντέλα προϋποθέτουν την ανεξαρτησία των δειγμάτων. Στην παρούσα διατριβή είναι γνωστή η ύπαρξη αυτοσυσχέτισης στα ακουστικά δεδομένα, το εύρος της οποίας σε μερικές περιοχές φτάνει σε αποστάσεις έως και τα 15 ν.μ. Η ολοκλήρωση των δεδομένων με βάση το εύρος αυτοσυσχέτισης (5 ν.μ. έως 15 ν.μ) θα περιόριζε το πρόβλημα της αυτοσυσχέτισης των δεδομένων, ταυτόχρονα όμως θα μείωνε σε μεγάλο βαθμό τον αριθμό των δεδομένων και σημαντική πληροφορία όσον αφορά τη σχέση του γαύρου/ της σαρδέλας και του περιβάλλοντος, θα χανόταν. Για τον παραπάνω λόγο και σε ανάλογες μελέτες στη ρέγγα του Ατλαντικού προτιμήθηκε η χρησιμοποίηση του συνόλου των δεδομένων (Maravelias 1997a; Maravelias 1997β; Maravelias & Reid 1997; Maravelias 1999; Maravelias *et al.* 2000; Maravelias 2001).

Τα Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα (GAMs) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εξηγηματικά μοντέλα (explanatory models) αλλά και ως μοντέλα πρόβλεψης (predictive models-Guisan *et al.* 2002). Τα εξηγηματικά μοντέλα προσπαθούν να εντυφώσουν στις οικολογικές διεργασίες που οδηγούν στα πρότυπα κατανομής των ειδών και όχι να θέσουν μια στατιστική σχέση που θα συνδέει την βιομάζα ή την αφθονία του είδους με μια σειρά παραμέτρων προβλέποντας τελικά την πιθανότητα παρουσίας του είδους σε θέσεις δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία (μοντέλα πρόβλεψης). Με το σκεπτικό των εξηγηματικών μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν τα Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα στην παρούσα διατριβή.

8.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η δειγματοληψία των περιβαλλοντικών παραμέτρων περιγράφεται στην παράγραφο 2.2 του κεφαλαίου 2. Η ακουστική δειγματοληψία περιγράφεται με λεπτομέρειες στην παράγραφο 3.2 του κεφαλαίου 3.

8.2.1. Γενικευμένα προσθετικά μοντέλα (Generalized Additive Models).

Στην παρούσα διατριβή τα Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα (Generalized Additive Models-GAMs) χρησιμοποιήθηκαν για να μοντελοποιηθούν την βιομάζα του γαύρου/ της σαρδέλας συναρτήσει περιβαλλοντικών παραμέτρων με κύριο στόχο την κατανόηση των μηχανισμών που ρυθμίζουν την κατανομή του γαύρου και της σαρδέλας. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες περιβαλλοντικές παράμετροι που υπολογίστηκαν για την ανάλυση των αθροιστικών συναρτήσεων της δειγματοληπτικής κατανομής (cumulative distribution functions- CDFs) και οι οποίες αναφέρονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 7 (δηλ. η μέση θερμοκρασία και η μέση αλατότητα στο SML, UML, BL, το βάθος, το βάθος του SML, το βάθος του UML, ο όγκος του ζωοπλαγκτού (ml/m^2), η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης $-a$ ($\mu\text{g/l}$) και η μέση θερμοκρασιακή στρωμάτωση ($^{\circ}\text{C m}^{-1}$). Τα GAMs εφαρμόστηκαν ξεχωριστά σε κάθε υποπεριοχή: (α) στο Θρακικό, (β) στο Στρυμονικό κόλπο, (γ) στο Θερμαϊκό κόλπο, (δ) στο Β. Ευβοϊκό κόλπο, (ε) στο Ν. Ευβοϊκό κόλπο, (ζ) στο Σαρωνικό κόλπο, (η) στον Κορινθιακό κόλπο, (θ) στον Πατραϊκό κόλπο, (ι) στο βόρειο τμήμα Ιονίου και (κ) στο νότιο τμήμα του Ιονίου, για κάθε περίοδο δειγματοληψίας και για κάθε εποχή δειγματοληψίας. Πραγματοποιήθηκε διερευνητική προσέγγιση με διαγράμματα σημείων Trellis (S-plus 2000), η οποία έδειξε ότι η χρήση των GAMs σε μεγαλύτερες ενότητες υποπεριοχών (π.χ. Β. Αιγαίο, Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και Ιόνιο) δεν επέτρεπε τον εντοπισμό ενός αξιόπιστου προτύπου στην κατανομή των ψαριών σε σχέση με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Η θεωρία των GAMs περιγράφεται εκτενώς στους (Hastie & Tibshirani 1986, Hastie & Tibshirani 1990, Swartzman *et al.*, 1992). Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε είναι:

$$y = a + \sum_{j=1}^p f_j(X_j) + \varepsilon \quad (\text{εξίσωση 8.1})$$

Όπου:

a: η τιμή της σταθεράς,

p: ο αριθμός των περιβαλλοντικών παραμέτρων

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

y: η τιμή του \ln (της βιομάζας) του γαύρου/ της σαρδέλας (σε kg/v.μ.) στη ΣΜΔ i ,

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

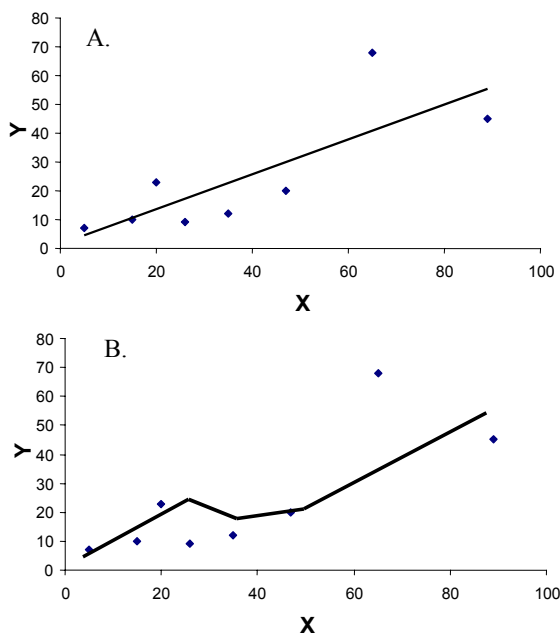
ε : το σφάλμα

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

Ένα από τα πλεονεκτήματα των GAMs είναι ότι επιτρέπουν τον υπολογισμό ευέλικτων μη γραμμικών σχέσεων των εξαρτημένων μεταβλητών (π.χ. βιομάζα ψαριών) με τις ανεξάρτητες μεταβλητές (π.χ. των περιβαλλοντικών παραμέτρων). Σε κάθε μοντέλο GAM ο $\ln(\text{βιομάζας του γαύρου} / \text{της σαρδέλας})$ μοντελοποιήθηκε ως το προσθετικό άθροισμα απροσδιόριστων μη παραμετρικών εξομαλυσμένων συναρτήσεων των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Στην εικόνα 8.1 παρουσιάζεται η εφαρμογή ενός γραμμικού μοντέλου (Εικ. 8.1.A.) και ενός γενικευμένου προσθετικού μοντέλου με μια παράμετρο (Εικ. 8.1.B.), στην ίδια ομάδα δεδομένων. Ουσιαστικά, στα GAMs δεν ελέγχεται η εφαρμογή ενός συγκεκριμένου παραμετρικού μοντέλου στα δεδομένα, αλλά τα ίδια τα δεδομένα είναι αυτά που προσδιορίζουν την σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη και στην ανεξάρτητη μεταβλητή (Guisan *et al.* 2002), [π.χ. ανάμεσα στο $\ln(\text{της βιομάζας των ψαριών})$ και στις περιβαλλοντικές παραμέτρους]. Τα διαγράμματα τα οποία ελήφθησαν από τα GAMs παρουσιάζουν την επίδραση στην βιομάζα του γαύρου ή της σαρδέλας μιας περιβαλλοντικής παραμέτρου π.χ. της θερμοκρασίας, θεωρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους που εισέρχονται στο μοντέλο αμετάβλητες.

Οι περιβαλλοντικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής είναι αυτές που εισήχθησαν στην ανάλυση των CDFs και

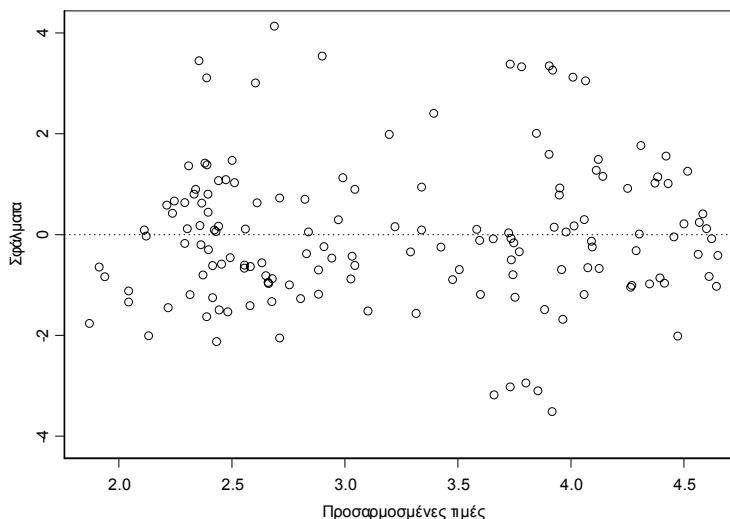
αναφέρθηκαν αναλυτικά στην παράγραφο 7.2. Ωστόσο, λόγω της συσχέτισης που παρατηρήθηκε ανάμεσα στα χαρακτηριστικά του SML, του UML και του BL, τελικά επιλέχθηκαν μόνο τα χαρακτηριστικά του UML [δηλ. η μέση θερμοκρασία (T_u σε $^{\circ}\text{C}$), η μέση αλατότητα (S_u σε psu) και το βάθος του UML (D_u σε m)] μαζί με τον όγκο του ζωοπλαγκτού ανά μονάδα δειγματοληπτικής επιφάνειας (Z σε ml/m^2) και την μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α (C σε $\mu\text{g/l}$) ως ανεξάρτητες συνιστώσες για εισαγωγή στο μοντέλο. Όπως και στην ανάλυση των CDFs, όσον αφορά τη χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας λόγω της έλλειψης στρωμάτωσης, υπολογίστηκαν και εισήχθησαν ως συνιστώσες στο μοντέλο η μέση τιμή θερμοκρασίας (T_m σε $^{\circ}\text{C}$), η μέση τιμή αλατότητας (S_m σε psu), ο όγκος του ζωοπλαγκτού (Z σε ml/m^2) και η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α (C σε $\mu\text{g/l}$). Η εισαγωγή συσχετισμένων περιβαλλοντικών παραμέτρων στο μοντέλο δύναται να εμφανίσει ως μη σημαντικές και τις δύο παραμέτρους, παρά το γεγονός ότι η κάθε παράμετρος από μόνη της μπορεί να ερμηνεύει ένα σημαντικό μέρος της ολικής διασποράς των τιμών της βιομάζας των ψαριών (Hastie & Tibshirani 1990). Τελικά επιλέχθηκαν με βάση το διαγνωστικό διάγραμμα των σφαλμάτων (Borchers *et al.* 1997; Hastie & Tibshirani 1990; Swartzman *et al.* 1992-Εικ. 8.2): (α) η κανονική κατανομή ως πιο αντιπροσωπευτική της κατανομής των σφαλμάτων και (β) η ταυτότητα ως συνδετική συνάρτηση. Τα σφάλματα κατά προσέγγιση ακολουθούν την κανονική κατανομή όταν το μοντέλο είναι ορθό και επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτίμηση του μοντέλου (Hastie & Tibshirani 1990; Venable & Ripley 1994). Ο cubic spline εξομαλυντής s (Hamming 1973)



Εικόνα 8.1. Η προσαρμογή A. ενός γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης και B. γενικευμένου προσθετικού μοντέλου με μια μεταβλητή, στην ίδια ομάδα δεδομένων.

χρησιμοποιήθηκε για την εισαγωγή των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Ο βαθμός εξομάλυνσης της εκάστοτε περιβαλλοντικής παραμέτρου καθορίστηκε από τους βαθμούς ελευθερίας (df) του cubic spline εξομαλυντή στο μοντέλο. Όσο λιγότεροι είναι οι βαθμοί ελευθερίας τόσο λιγότερο ευέλικτη είναι η σχέση (Hastie & Tibshirani 1990).

Για τον προσδιορισμό των σημαντικών περιβαλλοντικών παραμέτρων που εισήλθαν στο τελικό μοντέλο, χρησιμοποιήθηκε η οπισθο-απαλοιφή κατά βήματα (backward stepwise elimination) με κριτήριο την ελαχιστοποίηση της



Εικόνα 8.2. Διαγνωστικό διάγραμμα κατανομής των σφαλμάτων που αφορά το μοντέλο για το γαύρο στον Β. Ευβοϊκό κόλπο τον Ιούνιο του 1999.

απόκλισης (deviance). Η οπισθο-απαλοιφή κατά βήματα πραγματοποιεί κύκλους στις παραμέτρους βελτιώνοντας την προσαρμογή του μοντέλου σε κάθε επανάληψη ώσπου η απόκλιση να ελαχιστοποιείται, δηλ. να μη παρουσιάζει περαιτέρω μείωση ή τουλάχιστον να μη παρουσιάζει περαιτέρω στατιστικά σημαντική μείωση για ένα μέγιστο αριθμό επαναλήψεων (Hastie & Tibshirani 1990). Η απόκλιση (deviance), είναι αντίστοιχη του αθροίσματος των τετραγώνων των σφαλμάτων ενός παραμετρικού μοντέλου (π.χ. της πολλαπλής παλινδρόμησης) και επιτρέπει τη σύγκριση μοντέλων με διαφορετικές παραμέτρους μέσω του υπολογισμού του συντελεστή D^2 (Hastie & Tibshirani 1990). Ο συντελεστής D^2 είναι αντίστοιχος του συντελεστή προσδιορισμού R^2 στα μοντέλα ελάχιστων τετραγώνων (π.χ. της πολλαπλής παλινδρόμησης), εκφράζει το ποσοστό της απόκλισης που ερμηνεύεται από το μοντέλο και

υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο :

$$D^2 = \frac{\text{Μηδενική απόκλιση των σφαλμάτων}}{\text{Μηδενική απόκλιση}} \quad (\text{εξίσωση 8.2})$$

όπου η **μηδενική απόκλιση** είναι η απόκλιση του μοντέλου που περιλαμβάνει μόνο τη σταθερά και η **απόκλιση των σφαλμάτων** είναι η απόκλιση που παραμένει ανερμήνευτη από το μοντέλο μετά την εισαγωγή όλων των τελικών παραμέτρων σε αυτό. Στο άριστο μοντέλο η απόκλιση των σφαλμάτων είναι μηδέν και το D^2 λαμβάνει την τιμή 1. Ωστόσο, πλησιέστερος στην πραγματικότητα είναι ο σταθμισμένος συντελεστής D^2 (Weisberg 1980) που υπολογίστηκε με βάση τη σχέση:

$$\text{σταθμισμένος } D^2 = 1 - \left[\frac{(n-1)}{(n-p) * (1-D2)} \right] \quad (\text{εξίσωση 8.3})$$

όπου \mathbf{n} : ο αριθμός των παρατηρήσεων και \mathbf{p} : ο αριθμός των περιβαλλοντικών παραμέτρων που εισέρχονται στο μοντέλο. Ο σταθμισμένος συντελεστής D^2 αποτελεί ένα πολύ καλό μέτρο της σύγκρισης μοντέλων με διαφορετικούς συνδυασμούς παραμέτρων (Guisan & Zimmermann 2000).

Επιπλέον, ο βαθμός εξομάλυνσης της εκάστοτε περιβαλλοντικής παραμέτρου στο μοντέλο καθορίστηκε από τους βαθμούς ελευθερίας (df) του cubic spline εξομαλυντή. Όσο λιγότεροι είναι οι βαθμοί ελευθερίας τόσο λιγότερο ευέλικτη είναι η σχέση (Hastie & Tibshirani 1990). Η σημαντικότητα της κάθε παραμέτρου στο μοντέλο ελέγχθηκε με τα κατά προσέγγιση χ^2 -τεστ, τους κατά προσέγγιση βαθμούς ελευθερίας και το αντίστοιχο σημείο της χ^2 -κατανομής (Hastie & Tibshirani 1990; Swartzman *et al.* 1992). Οι παράμετροι που ήταν μη σημαντικοί σε $p=0.05$ επίπεδο σημαντικότητας αφαιρέθηκαν από το τελικό μοντέλο (Stratoudakis *et al.* 1998). Το στατιστικό πρόγραμμα R v.1.6.1 του 2002 της R Development Core Team χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των GAMs.

8.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στην βιομάζα του γαύρου / της σαρδέλας μοντελοποιήθηκε με βάση τα GAMs. Στα διαγράμματα των GAMs παρουσιάζεται η επίδραση της κάθε περιβαλλοντικής παραμέτρου ως η καλύτερα εξομαλυσμένη καμπύλη θεωρώντας ότι οι υπόλοιπες περιβαλλοντικές παράμετροι που εισέρχονται στο μοντέλο παραμένουν αμετάβλητες. Τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης παρουσιάζονται με διακεκομμένες γραμμές στα αντίστοιχα διαγράμματα. Ο χ -άξονας του διαγράμματος της επίδρασης της κάθε παραμέτρου περιλαμβάνει το «χαλί» (rug) το οποίο μέσω μιας ακολουθίας κάθετων στηλών, είναι ενδεικτικό της πυκνότητας των σημείων της κάθε παραμέτρου που περιλαμβάνεται στο μοντέλο.

Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν σε κάθε μοντέλο, οι βαθμοί ελευθερίας της κάθε παραμέτρου, η τιμή σημαντικότητας της κάθε παραμέτρου καθώς και το ποσοστό της απόκλισης που ερμηνεύει το τελικό μοντέλο σε κάθε υποπεριοχή και για κάθε περίοδο δειγματοληψίας, παρουσιάζονται στον πίνακα 8.1 για τη σαρδέλα και στον πίνακα 8.2 για το γαύρο. Οι αντίστοιχες τιμές για τα τελικά μοντέλα σε κάθε υποπεριοχή και για κάθε εποχή δειγματοληψίας (καλοκαίρι και χειμώνα) παρουσιάζονται στον πίνακα 8.3 για τη σαρδέλα και στον πίνακα 8.4 για το γαύρο. Τα ποσοστά της συνολικής απόκλισης που ερμηνεύει το κάθε μοντέλο διαφοροποιούνται ανά υποπεριοχή και ανά περίοδο δειγματοληψίας.

Γενικά, στα διαγράμματα των GAMs για τη σαρδέλα (θερινή περίοδο δειγματοληψίας : Εικ. 8.3, 8.4, 8.5, 8.6 και χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας: Εικ. 8.7, 8.8, 8.9) και το γαύρο (θερινή περίοδο δειγματοληψίας : Εικ. 8.10, 8.11, 8.12, 8.13 χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας: Εικ. 8.14, 8.15, 8.16), παρατηρήθηκε μια γενική τάση αυξημένης κατά μέσο όρο βιομάζας των ψαριών σε περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας (δηλ. σε υψηλότερες τιμές χλωροφύλλης C ή ζωοπλαγκτού Z, ανάλογα με την υποπεριοχή) ανεξάρτητα από περίοδο ή εποχή δειγματοληψίας. Περαιτέρω, δεν παρατηρήθηκε κάποια κοινή τάση όσον αφορά την επίδραση της θερμοκρασίας, της αλατότητας ή της έκτασης του θερμοκλινούς στη σαρδέλα ή στο γαύρο ανεξάρτητα από περίοδο ή εποχή δειγματοληψίας.

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι τα πολύ μικρά ποσοστά της απόκλισης που ερμηνεύουν τα μοντέλα στο νότιο τμήμα του Ιονίου οφείλονται στις πολύ μικρές συγκεντρώσεις των ψαριών (γαύρου και σαρδέλας) στην περιοχή γεγονός που αυξάνει την διασπορά των δεδομένων και την τυχαιότητα στην κατανομή.

Πίνακας 8.1. Τα χαρακτηριστικά των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων για τη σαρδέλα ανά περιοχή και ανά περίοδο δειγματοληψίας. Z: όγκος του ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_U : το βάθος του UML (άνωτερου στρώματος ανάμιξης), T_U : η μέση τιμή της θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), S_U : η μέση τιμή της αλατότητας στο UML (psu), C: η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης ($\mu\text{g}/\text{lt}$), T_m : η μέση τιμή της θερμοκρασίας στη κολώνα του νερού ($^{\circ}\text{C}$), S_m : η μέση τιμή της αλατότητας στη κολώνα του νερού (psu), Df: βαθμοί ελευθερίας, χ^2 : η τιμή του χ^2 ελέγχου, p: πιθανότητα στατιστικής σημαντικότητας, D^2 : το ποσοστό της απόκλισης (deviance) που ερμηνεύεται από το μοντέλο, ns: μη στατιστικά σημαντικό.

Περιοχή δειγματοληψίας	Παράμετροι	Df	χ^2	p	D^2
<i>Καλοκαίρι</i>					
Θρακικό πέλαγος 1995	Z	3	35.22	0.0000	
	D_U	3	18.11	0.0004	0.64
	T_U	3	11.46	0.0095	
Στρυμονικός κόλπος 1995	Z	3	43.57	0.0000	
	D_U	3	54.21	0.0000	0.54
	T_U	3	30.81	0.0000	
Θερμαϊκός κόλπος 1995	Z	3	18.81	0.0003	0.34
	T_U	3	81.80	0.0000	
Θρακικό πέλαγος 1996	Z	1	5.07	0.0243	
	D_U	4	26.18	0.0000	0.35
	T_U	2	25.91	0.0000	
Στρυμονικός κόλπος 1996	Z	5	22.97	0.0003	
	S_U	2	6.17	0.0457	0.19
	T_U	3	6.55	0.0377	
Θερμαϊκός κόλπος 1996	T_U	3	12.84	0.0050	
	D_U	3	52.64	0.0000	0.23
	Z	3	49.48	0.0000	
	T_U	3	49.48	0.0000	
B. Ευβοϊκός κόλπος 1998	Z	4	19.36	0.0007	0.23
	T_U	3	8.35	0.0392	
N. Ευβοϊκός κόλπος 1998	C	3	18.50	0.0003	
	D_U	4	58.72	0.0000	0.57
	T_U	3	9.86	0.0198	
Σαρωνικός κόλπος 1998	Z	3	31.80	0.0000	0.79
	T_U	3	69.63	0.0000	
Κορινθιακός κόλπος 1998	-	-	-	-	-
Πατραϊκός κόλπος 1998	-	-	-	-	-
β. Ιόνιο 1998	D_U	3	31.67	0.0000	
	T_U	3	15.85	0.0012	0.31
v. Ιόνιο 1998	C	3	18.81	0.0003	
	D_U	3	21.47	0.0001	0.34
	T_U	4	51.45	0.0000	
B. Ευβοϊκός κόλπος 1999	D_U	3	39.11	0.0000	
	Z	4	34.55	0.0000	0.39
	T_U	3	34.55	0.0000	
N. Ευβοϊκός κόλπος 1999	-	-	-	-	-
Σαρωνικός κόλπος 1999	Z	3	122.57	0.0000	0.70
	T_U	3	99.32	0.0000	
Κορινθιακός κόλπος 1999	Z	2	25.81	0.0000	0.22
	T_U	2	6.63	0.0364	
Πατραϊκός κόλπος 1999	Z	3	21.41	0.0001	0.51
	T_U	3	10.99	0.0118	
β. Ιόνιο 1999	Z	3	21.12	0.0001	0.28
	T_U	3	11.69	0.0085	
v. Ιόνιο 1999	T_U	3	11.02	0.0116	0.09

Πίνακας 8.1. Τα χαρακτηριστικά των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων για τη σαρδέλα ανά περιοχή και ανά περίοδο δειγματοληψίας. Z: όγκος του ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_U : το βάθος του UML (ανώτερου στρώματος ανάμιξης), T_U : η μέση τιμή της θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), S_U : η μέση τιμή της αλατότητας στο UML (psu), C: η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης ($\mu\text{g/l}$), T_m : η μέση τιμή της θερμοκρασίας στη κολώνα του νερού ($^{\circ}\text{C}$), S_m : η μέση τιμή της αλατότητας στη κολώνα του νερού (psu), Df: βαθμοί ελευθερίας, χ^2 : η τιμή του χ^2 ελέγχου, p: πιθανότητα στατιστικής σημαντικότητας, D^2 : το ποσοστό της απόκλισης (deviance) που ερμηνεύεται από το μοντέλο, ns: μη στατιστικά σημαντικό.

Περιοχή δειγματοληψίας	Παράμετροι	Df	χ^2	p	D^2
<i>Χειμώνας</i>					
B. Ευβοϊκός κόλπος 1999	T_m	3	10.94	0.0121	0.25
	Z	3	41.97	0.0000	
N. Ευβοϊκός κόλπος 1999	C	4	31.68	0.0000	
	T_m	2	6.70	0.0351	0.53
Σαρωνικός κόλπος 1999	Z	3	22.65	0.0000	
	C	3	14.67	0.0021	0.12
Κορινθιακός κόλπος 1999	Z	3	51.85	0.0000	
	T_m	3	96.12	0.0000	0.62
	S_m	3	57.46	0.0000	
Πατραϊκός κόλπος 1999	C	4	22.81	0.0001	
	Z	2	6.22	0.0446	
	T_m	3	8.98	0.0295	0.28
β. Ιόνιο 1999	S_m	2	6.66	0.0358	
	C	4	49.87	0.0000	0.28
v. Ιόνιο 1999	T_m	3	12.30	0.0064	
	T_m	3	12.73	0.0127	0.50
	C	4	13.41	0.0038	
	T_m	3	10.94	0.0121	0.25
B. Ευβοϊκός κόλπος 2000	Z	3	41.97	0.0000	
	T_m	3	13.43	0.0038	0.44
N. Ευβοϊκός κόλπος 2000	C	4	41.90	0.0000	
	T_m	3	15.04	0.0018	0.29
Σαρωνικός κόλπος 2000	C	4	23.95	0.0001	
	T_m	2	9.95	0.0069	0.11
Κορινθιακός κόλπος 2001	Z	4	13.47	0.0092	
	T_m	4	13.42	0.0094	0.40
Πατραϊκός κόλπος 2001	Z	3	10.73	0.0133	
	C	2	7.26	0.0265	0.15
β Ιόνιο 2001	T_m	3	15.98	0.0011	
	C	4	12.72	0.0127	0.36
v. Ιόνιο 2001	T_m	4	9.63	0.0471	

Πίνακας 8.2. Τα χαρακτηριστικά των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων για το γαύρο ανά περιοχή και ανά περίοδο δειγματοληψίας. Z: όγκος του ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_U : το βάθος του UML (ανώτερου στρώματος ανάμιξης), T_U : η μέση τιμή της θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), S_U : η μέση τιμή της αλατότητας στο UML (psu), C: η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης ($\mu\text{g/l}$), T_m : η μέση τιμή της θερμοκρασίας στη κολώνα του νερού ($^{\circ}\text{C}$), S_m : η μέση τιμή της αλατότητας στη κολώνα του νερού (psu), Df: βαθμοί ελευθερίας, χ^2 : η τιμή του χ^2 ελέγχου, p: πιθανότητα στατιστικής σημαντικότητας, D^2 : το ποσοστό της απόκλισης (deviance) που ερμηνεύεται από το μοντέλο, ns: μη στατιστικά σημαντικό.

Περιοχή δειγματοληψίας	Παράμετροι	Df	χ^2	p	D^2
<i>Καλοκαίρι</i>					
Θρακικό πέλαγος 1995	Z	3	30.88	0.0000	
	D_U	3	35.36	0.0000	0.55
	T_U	3	15.24	0.0016	
Στρυμονικός κόλπος 1995	Z	4	10.43	0.0338	0.47
	D_U	3	87.52	0.0000	
Θερμαϊκός κόλπος 1995	Z	3	54.46	0.0000	0.27
	D_U	3	58.25	0.0000	
Θρακικό πέλαγος 1996	Z	2	10.95	0.0042	0.22
	T_U	3	16.86	0.0008	
Στρυμονικός κόλπος 1996	Z	3	11.37	0.0099	
	D_U	3	8.66	0.0341	0.17
	T_U	3	15.00	0.0018	
Θερμαϊκός κόλπος 1996	D_U	2	37.92	0.0000	
	Z	4	12.85	0.0121	0.24
	T_U	3	40.69	0.0000	
B. Ευβοϊκός κόλπος 1998	D_U	3	17.40	0.0006	
	Z	2	15.08	0.0005	0.29
	T_U	3	9.47	0.0236	
N. Ευβοϊκός κόλπος 1998	D_U	3	34.24	0.0000	
	Z	3	14.90	0.0019	0.69
	T_U	3	18.84	0.0003	
Σαρωνικός κόλπος 1998	C	2	18.03	0.0001	0.51
	D_U	3	15.30	0.0016	
Κορινθιακός κόλπος 1998	C	3	31.81	0.0000	0.43
	D_U	3	40.29	0.0000	
Πατραϊκός κόλπος 1998	C	3	8.13	0.0434	0.46
	D_U	3	11.22	0.0106	
	T_U	3	8.71	0.0335	
β. Ιόνιο 1998	T_U	4	49.95	0.0000	0.33
v. Ιόνιο 1998	Z	3	13.02	0.0046	0.21
	T_U	4	11.05	0.0260	
B. Ευβοϊκός κόλπος 1999	C	3	34.39	0.0000	0.24
	T_U	3	10.09	0.0178	
N. Ευβοϊκός κόλπος 1999	C	4	18.21	0.0011	0.46
	D_U	3	8.51	0.0366	
Σαρωνικός κόλπος 1999	Z	3	84.42	0.0000	0.63
	T_U	3	77.80	0.0000	
Κορινθιακός κόλπος 1999	D_U	3	10.69	0.0136	0.34
	Z	3	52.79	0.0000	
Πατραϊκός κόλπος 1999	D_U	2	6.40	0.0407	
	Z	4	13.86	0.0078	0.40
	T_U	2	19.69	0.0001	
β. Ιόνιο 1999	C	3	24.84	0.0000	
	D_U	3	8.99	0.0295	0.46
	T_U	3	28.31	0.0000	
v. Ιόνιο 1999	Z	3	10.61	0.0140	0.16

Πίνακας 8.2. Τα χαρακτηριστικά των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων για το γαύρο ανά περιοχή και ανά περίοδο δειγματοληψίας. Z: όγκος του ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_U : το βάθος του UML (ανώτερου στρώματος ανάμιξης), T_U : η μέση τιμή της θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), S_U : η μέση τιμή της αλατότητας στο UML (psu), C: η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης ($\mu\text{g}/\text{lt}$), T_m : η μέση τιμή της θερμοκρασίας στη κολώνα του νερού ($^{\circ}\text{C}$), S_m : η μέση τιμή της αλατότητας στη κολώνα του νερού (psu), Df: βαθμοί ελευθερίας, χ^2 : η τιμή του χ^2 ελέγχου, p: πιθανότητα στατιστικής σημαντικότητας, D^2 : το ποσοστό της απόκλισης (deviance) που ερμηνεύεται από το μοντέλο, ns: μη στατιστικά σημαντικό.

Περιοχή δειγματοληψίας	Παράμετροι	Df	χ^2	p	D^2
	T_U	3	8.99	0.0294	
<i>Χειμώνας</i>					
B. Ευβοϊκός κόλπος 1999	C	3	8.65	0.0343	0.46
	T_m	3	91.91	0.0000	
N. Ευβοϊκός κόλπος 1999	C	2	17.18	0.0002	0.42
	T_m	4	9.79	0.0442	
	Z	3	18.76	0.0003	
Σαρωνικός κόλπος 1999	Z	2	13.29	0.0208	0.14
	T_m	5	6.26	0.0438	
Κορινθιακός κόλπος 1999	C	4	19.41	0.0007	0.34
	T_m	4	22.77	0.0001	
	Z	4	10.05	0.0396	
Πατραϊκός κόλπος 1999	C	3	8.10	0.0441	
	T_m	3	10.60	0.0141	0.33
	Z	4	21.43	0.0003	
β. Ιόνιο 1999	C	5	33.02	0.0000	
	T_m	4	16.27	0.0027	0.35
	Z	3	24.93	0.0000	
ν. Ιόνιο 1999	T_m	3	15.09	0.0001	0.61
	S_m	2	22.34	0.0001	
B. Ευβοϊκός κόλπος 2000	S_m	3	201.11	0.0000	0.67
	Z	4	21.22	0.0003	
N. Ευβοϊκός κόλπος 2000	C	4	10.88	0.0279	0.45
	T_m	4	12.20	0.0160	
	S_m	3	19.82	0.0002	
Σαρωνικός κόλπος 2000	C	6	13.70	0.0331	0.28
	Z	4	19.25	0.0007	
Κορινθιακός κόλπος 2001	C	4	31.82	0.0000	
	T_m	3	12.06	0.0072	0.38
	Z	3	10.07	0.0179	
Πατραϊκός κόλπος 2001	C	4	25.93	0.0000	
	T_m	3	27.75	0.0000	0.74
	Z	4	11.03	0.0262	
	S_m	3	49.82	0.0000	
β Ιόνιο 2001	S_m	3	23.56	0.0000	0.18
ν. Ιόνιο 2001	C	5	12.47	0.0289	
	T_m	3	12.79	0.0051	0.38
	S_m	3	22.13	0.0005	

Πίνακας 8.3. Τα χαρακτηριστικά των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων για τη σαρδέλα ανά περιοχή και ανά εποχή δειγματοληψίας. Z: όγκος του ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_U : το βάθος του UML (άνωτερου στρώματος ανάμιξης), T_U : η μέση τιμή της θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), S_U : η μέση τιμή της αλατότητας στο UML (psu), C: η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης ($\mu\text{g}/\text{lt}$), T_m : η μέση τιμή της θερμοκρασίας στη κολώνα του νερού ($^{\circ}\text{C}$), S_m : η μέση τιμή της αλατότητας στη κολώνα του νερού (psu), Df: βαθμοί ελευθερίας, χ^2 : η τιμή του χ^2 ελέγχου, p: πιθανότητα στατιστικής σημαντικότητας, D^2 : το ποσοστό της απόκλισης (deviance) που ερμηνεύεται από το μοντέλο.

Περιοχή δειγματοληψίας	Παράμετροι	Df	χ^2	p	D^2
<i>Καλοκαίρι</i>					
Θρακικό πέλαγος	Z	3	11.13	0.0110	0.34
	D_U	3	41.27	0.0000	
	T_m	3	22.22	0.0001	
Στρυμονικός κόλπος	Z	3	51.33	0.0000	0.35
	D_U	3	75.90	0.0000	
	T_m	3	24.84	0.0000	
Θερμαϊκός κόλπος	Z	4	34.56	0.0000	0.23
	D_U	3	28.42	0.0000	
	T_m	3	60.53	0.0000	
B. Ευβοϊκός κόλπος	C	4	27.28	0.0000	0.16
	T_m	3	20.02	0.0002	
N. Ευβοϊκός κόλπος	Z	4	15.23	0.0042	0.13
	T_m	3	8.30	0.0403	
Σαρωνικός κόλπος	Z	3	147.91	0.0000	0.55
	T_m	3	96.88	0.0000	
Κορινθιακός κόλπος	Z	3	10.95	0.0120	0.09
	T_m	2	7.52	0.0232	
Πατραϊκός κόλπος	Z	3	21.04	0.0001	0.41
	T_m	3	11.27	0.0104	
β. Ιόνιο	D_U	3	32.86	0.0000	0.31
	Z	4	11.90	0.0181	
	T_m	3	14.75	0.0020	
ν. Ιόνιο	-	-	-	-	-
<i>Χειμώνας</i>					
B. Ευβοϊκός κόλπος	Z	2	34.13	0.0000	0.20
	T_m	4	17.05	0.0019	
N. Ευβοϊκός κόλπος	C	4	46.46	0.0000	0.45
	T_m	4	14.97	0.0048	
	S_m	3	16.13	0.0011	
Σαρωνικός κόλπος	Z	3	12.97	0.0114	0.17
	T_m	4	34.49	0.0000	
Κορινθιακός κόλπος	Z	3	10.35	0.0158	0.11
	T_m	3	10.70	0.0134	
	C	4	9.87	0.0428	
Πατραϊκός κόλπος	Z	3	10.00	0.0186	0.26
	T_m	4	14.08	0.0071	
β. Ιόνιο	Z	2	8.08	0.0176	0.19
	T_m	3	14.24	0.0026	
	C	4	46.09	0.0000	
ν. Ιόνιο	C	4	10.36	0.0348	0.28
	T_m	4	20.46	0.0004	

Πίνακας 8.4. Τα χαρακτηριστικά των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων για το γαύρο ανά περιοχή και ανά εποχή δειγματοληψίας. Z: όγκος του ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_U : το βάθος του UML (ανώτερου στρώματος ανάμιξης), T_U : η μέση τιμή της θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), S_U : η μέση τιμή της αλατότητας στο UML (psu), C: η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης ($\mu\text{g}/\text{lt}$), T_m : η μέση τιμή της θερμοκρασίας στη κολώνα του νερού ($^{\circ}\text{C}$), S_m : η μέση τιμή της αλατότητας στη κολώνα του νερού (psu), Df: βαθμοί ελευθερίας, χ^2 : η τιμή του χ^2 ελέγχου, p: πιθανότητα στατιστικής σημαντικότητας, D^2 : το ποσοστό της απόκλισης (deviance) που ερμηνεύεται από το μοντέλο.

Περιοχή δειγματοληψίας	Παράμετροι	Df	χ^2	p	D^2
<i>Καλοκαίρι</i>					
Θρακικό πέλαγος	Z	3	15.42	0.0015	
	D_U	3	21.02	0.0001	0.26
	T_U	3	20.88	0.0001	
Στρυμονικός κόλπος	Z	3	17.32	0.0006	
	D_U	3	24.62	0.0000	0.28
	T_U	3	8.36	0.0391	
Θερμαϊκός κόλπος	Z	3	50.88	0.0000	0.20
	T_U	3	82.20	0.0000	
B. Ευβοϊκός κόλπος	C	2	6.76	0.0341	0.17
	T_U	3	49.75	0.0000	
N. Ευβοϊκός κόλπος	D_U	3	29.48	0.0000	
	Z	3	47.83	0.0000	0.55
	T_U	3	43.11	0.0000	
	C	3	74.16	0.0000	0.48
Σαρωνικός κόλπος	D_U	2	42.51	0.0000	
	D_U	3	23.74	0.0000	
Κορινθιακός κόλπος	Z	3	20.95	0.0001	0.30
	T_U	3	21.80	0.0001	
	D_U	3	10.19	0.0170	0.23
Πατραϊκός κόλπος	Z	3	13.35	0.0039	
	Z	3	14.98	0.0018	0.21
β. Ιόνιο	T_U	3	34.34	0.0000	
	Z	3	10.12	0.0176	0.12
ν. Ιόνιο	D_U	3	7.93	0.0475	
	T_U	3	12.87	0.0049	
<i>Χειμώνας</i>					
B. Ευβοϊκός κόλπος	S_m	3	108.24	0.0000	0.43
	T_m	3	117.75	0.0000	
N. Ευβοϊκός κόλπος	C	2	20.38	0.0000	0.31
	S_m	4	11.93	0.0179	
	T_m	2	6.07	0.0482	
	T_m	4	17.31	0.0017	0.08
Σαρωνικός κόλπος	T_m	4	42.61	0.0000	0.28
Κορινθιακός κόλπος	C	3	14.32	0.0063	
	C	4	19.81	0.0005	0.19
Πατραϊκός κόλπος	S_m	2	6.37	0.0414	
	C	1	21.55	0.0000	0.20
β. Ιόνιο	T_m	3	13.97	0.0030	
	T_m	2	14.92	0.0006	0.14

8.3.1. Η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη σαρδέλα.

8.3.1.1 Καλοκαίρι.

Η παραγωγικότητα (Z σε ml/m^2 ή C σε $\mu\text{g}/\text{lt}$) κυρίως, η T_u (σε $^{\circ}\text{C}$) και το D_u (δηλ. το εύρος του UML σε μ) ήταν οι παράμετροι που εισέρχονταν στα τελικά GAMs μοντέλα (Εικ. 8.3, 8.4, 8.5). Όσον αφορά την επίδραση των αβιοτικών παραμέτρων δεν παρατηρήθηκε κάποια κοινή τάση στην επίδραση τους. Για παράδειγμα υψηλότερη κατά μέσο όρο βιομάζα της σαρδέλας παρατηρήθηκε στις χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές της T_u στο Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 1996 (Εικ. 8.3.Ε), στο Θερμαϊκό κόλπο (Εικ. 8.3.Γ, 8.3.Ζ), στο Β. Ευβοϊκό κόλπο (Εικ. 8.4.Α, 8.5.Α) και στο βόρειο τμήμα του Ιονίου (Εικ. 8.4.Ζ, 8.5.Ζ). Αντίθετα, υψηλότερη κατά μέσο όρο βιομάζα σαρδέλας σε υψηλότερες τιμές της T_u παρατηρήθηκε στο Θρακικό τον (Εικ. 8.3.Α.) και στο Στρυμονικό κόλπο (Εικ. 8.3.Β) Ιούνιο του 1995, στο Σαρωνικό κόλπο (Εικ. 8.4.Γ, 8.5.Γ) και στον Πατραϊκό κόλπο (Εικ. 8.4.Ε, 8.5.Ε).

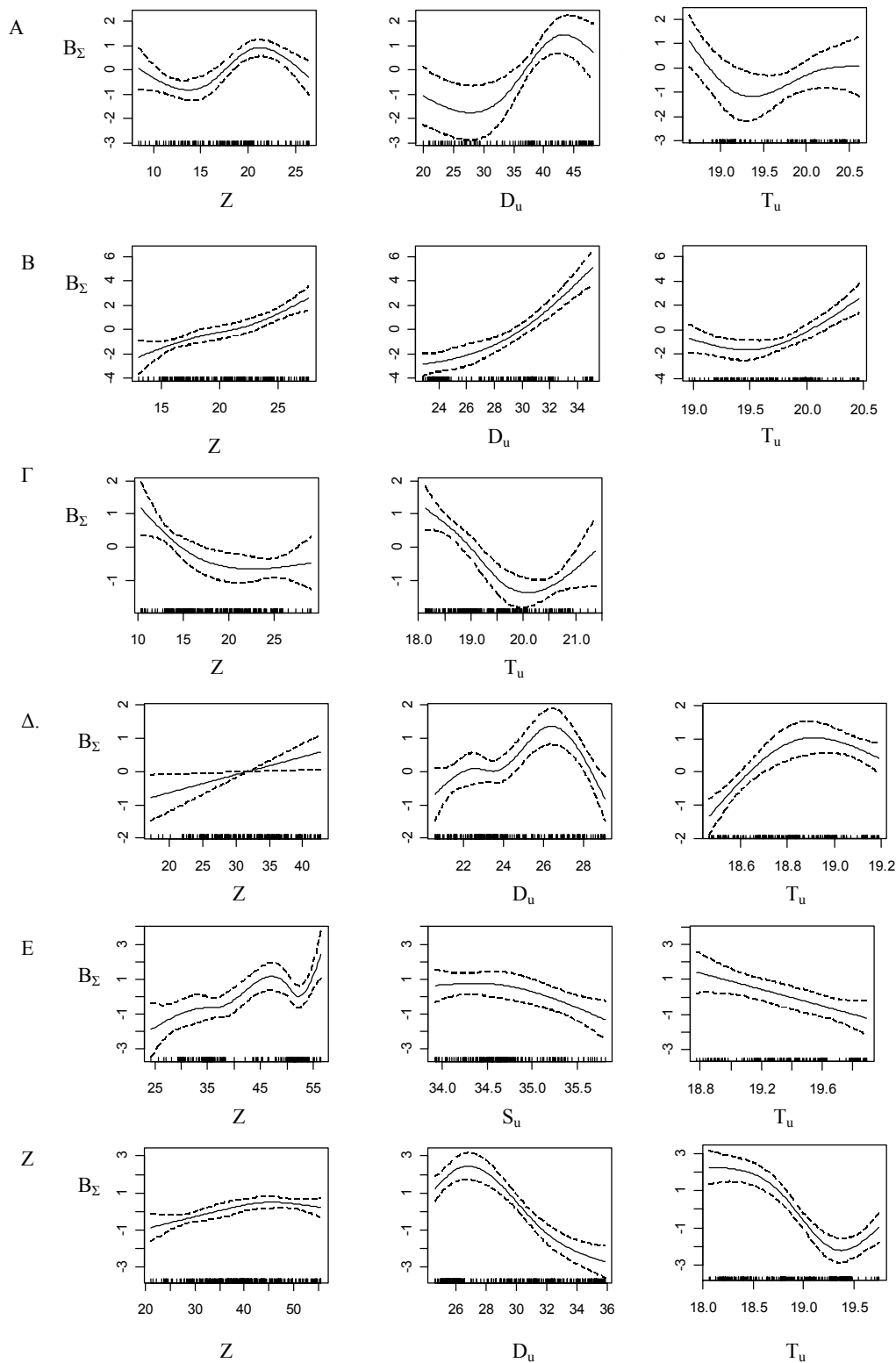
Στα πιο εκτεταμένα θερμοκλινη παρατηρήθηκαν υψηλότερες τιμές βιομάζας σαρδέλας στο Θρακικό (D_u 35 ως 45 μ , Εικ. 8.3.Α, 8.3.Δ) και στο Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 1995 ($D_u > 30$ μ , Εικ. 8.3.Β). Αντίθετα, παρατηρήθηκε αυξημένη βιομάζα της σαρδέλας στα μικρότερης έκτασης για την περιοχή θερμοκλινη, στο Θερμαϊκό κόλπο ($D_u < 30$ μ , Εικ. 8.3.Ζ), στο Β. Ευβοϊκό κόλπο τον Ιούνιο του 1999 ($D_u < 30$ μ Εικ. 8.5.Α), στο Ν. Ευβοϊκό κόλπο τον Ιούνιο του 1999 ($D_u < 40$ μ Εικ. 8.5.Β), και στο βόρειο τμήμα του Ιονίου τον Ιούλιο του 1998 ($D_u < 35$ μ , Εικ. 8.4.Ζ). Διακρίνεται έτσι μια τάση προτίμησης της σαρδέλας σε βάθη θερμοκλινούς από 20 ως 40 μ ανάλογα με την υποπεριοχή.

Κατά την συνολική θεώρηση της θερινής περιόδου δειγματοληψίας (Εικ. 8.6), το D_u εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο μόνο στην περιοχή του Β. Αιγαίου. Ωστόσο, τα μοντέλα που εκτιμήθηκαν ερμήνευαν μικρότερο ποσοστό της συνολικής απόκλισης (D^2) σε σχέση με τα αντίστοιχα, στις επιμέρους περιόδους δειγματοληψίας (Πιν. 8.1, 8.3).

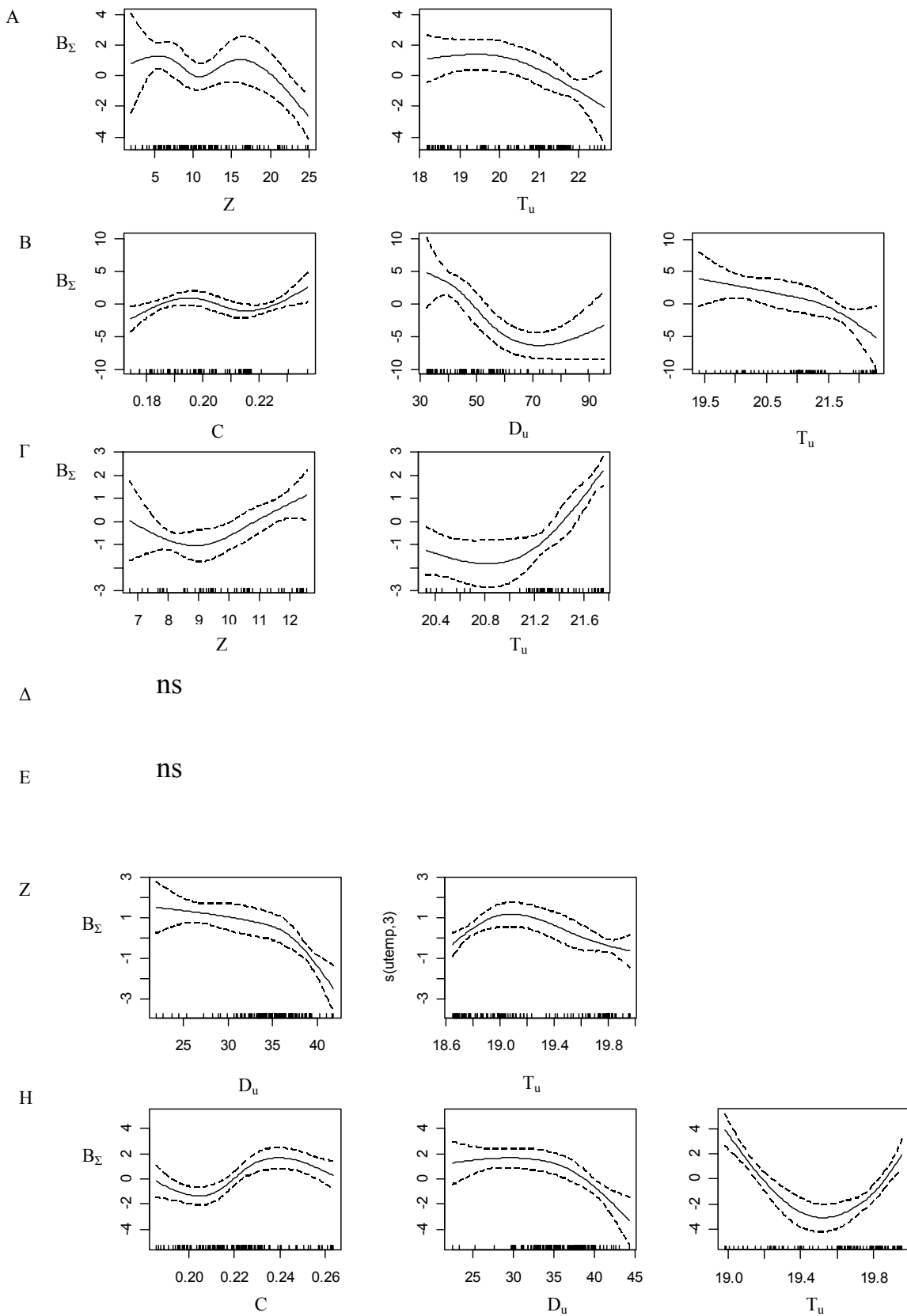
8.3.1.2 Χειμώνας.

Η παραγωγικότητα (Z σε ml/m^2 ή C σε $\mu\text{g}/\text{lt}$) κυρίως, η T_m (σε $^{\circ}\text{C}$) και η S_m (σε psu) ήταν οι παράμετροι που ανάλογα με την υποπεριοχή εισέρχονταν στα τελικά μοντέλα κατά τη χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας. Όμοια με την θερινή περίοδο δειγματοληψίας παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις ως προς την επίδραση της T_m και της S_u στη βιομάζα της σαρδέλας ανά υποπεριοχή και ανά περίοδο δειγματοληψίας (Εικ. 8.7, 8.8). Για παράδειγμα αυξημένες τιμές βιομάζας σαρδέλας στις υψηλότερες διαθέσιμες θερμοκρασίες ανά υποπεριοχή παρατηρήθηκαν στο Β. Ευβοϊκό κόλπο (Εικ. 8.7.Α, 8.8.Α), στο Σαρωνικό κόλπο το Δεκέμβριο του 2000 (Εικ. 8.8.Γ) και στον Πατραϊκό κόλπο το Δεκέμβριο του 1999 (Εικ. 8.7.Ε). Αντίθετα, αυξημένες τιμές βιομάζας σαρδέλας στις χαμηλότερες διαθέσιμες θερμοκρασίες ανά υποπεριοχή παρατηρήθηκαν στο Ν. Ευβοϊκό κόλπο το Δεκέμβριο του 1999 (Εικ. 8.8.Β) και στο βόρειο τμήμα του Ιονίου τον Ιανουάριο του 2001 (Εικ. 8.8.Ζ). Όσον αφορά την επίδραση της αλατότητας, υψηλότερη κατά μέσο όρο βιομάζα σαρδέλας παρατηρήθηκε σε χαμηλότερες τιμές της S_m στον Β. Ευβοϊκό κόλπο το Δεκέμβριο του 1999 (Εικ. 8.7.Α) και στον Πατραϊκό κόλπο το Δεκέμβριο του 1999 (Εικ. 8.7.Ε). Θετική επίδραση των υψηλότερων τιμών της S_m στη βιομάζα της σαρδέλας παρατηρήθηκε στον Κορινθιακό κόλπο το Δεκέμβριο του 1999 (Εικ. 8.7.Δ).

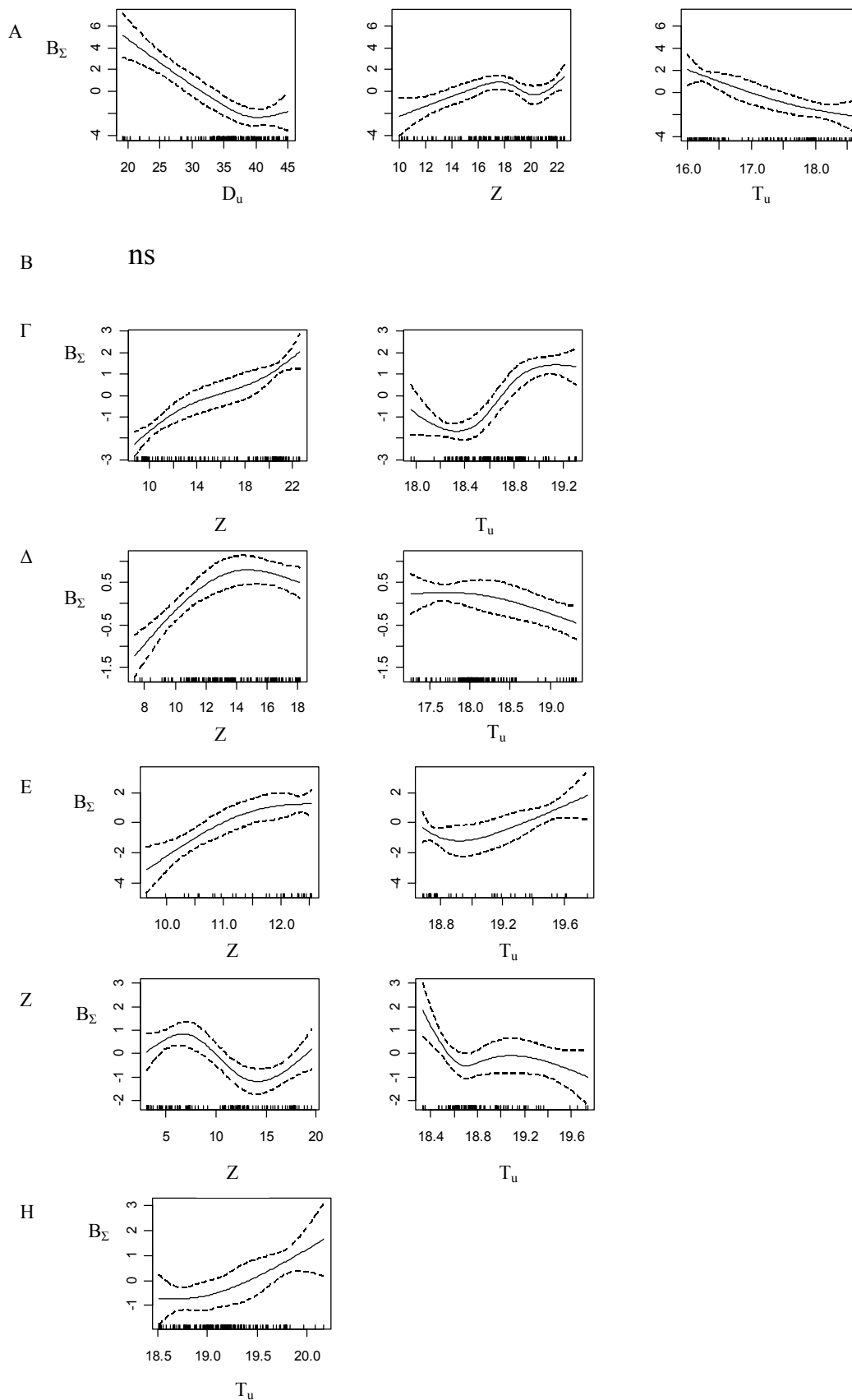
Στα μοντέλα που εκτιμήθηκαν για το σύνολο της χειμερινής περιόδου ανά υποπεριοχή η T_m κυρίως και η S_m ήταν οι παράμετροι που μαζί με την παραγωγικότητα (Z ή C) εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο. Δεν παρατηρήθηκε κοινή τάση στην επίδρασή της T_m , ενώ η S_m εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο μόνο στο Β. Ευβοϊκό κόλπο. Τα μοντέλα που εκτιμήθηκαν για το σύνολο της χειμερινής περιόδου, ερμήνευαν μικρότερο ποσοστό της συνολικής απόκλισης (D^2) σε σχέση με τα αντίστοιχα, στις επιμέρους περιόδους δειγματοληψίας (Πιν. 8.1, 8.3).



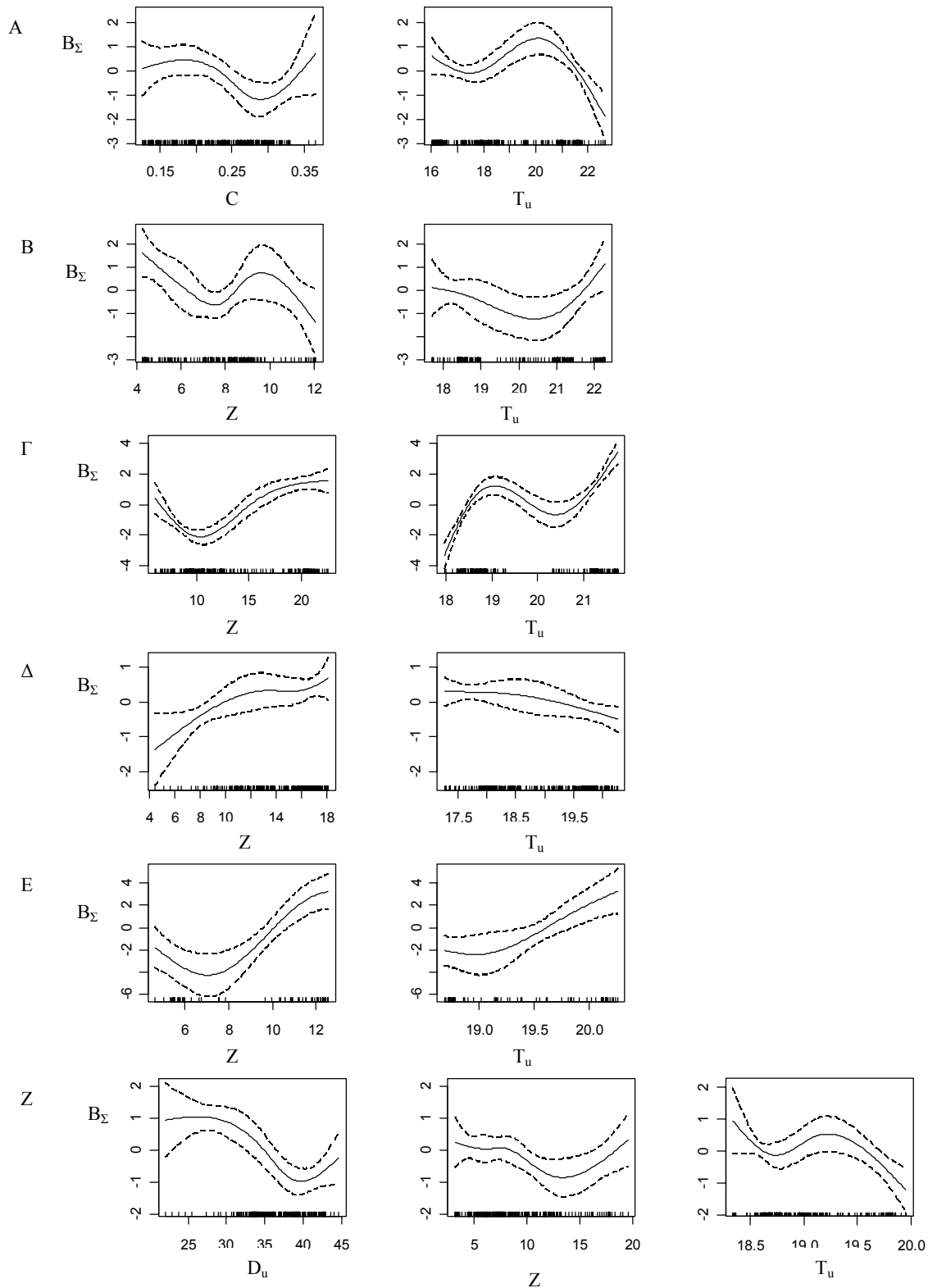
Εικόνα 8.3. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα της σαρδέλας, στις διάφορες υποπεριοχές τον Ιούνιο του 1995 και τον Ιούνιο του 1996. B_Σ : Επίδραση σε \ln (βιομάζας της σαρδέλας), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_u : Βάθος UML (μ), T_u : Μέση τιμή θερμοκρασίας στο UML ($^\circ\text{C}$), S_u : Μέση τιμή αλατότητας στο UML (psu), UML: Ανώτερο Στρώμα Ανάμιξης. (A) Θρακικό το 1995, (B) Στρυμονικός κόλπος το 1995, (Γ) Θερμαϊκός κόλπος το 1995, (Δ) Θρακικό το 1996, (E) Στρυμονικός κόλπος το 1996, (Z) Θερμαϊκός κόλπος το 1996. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



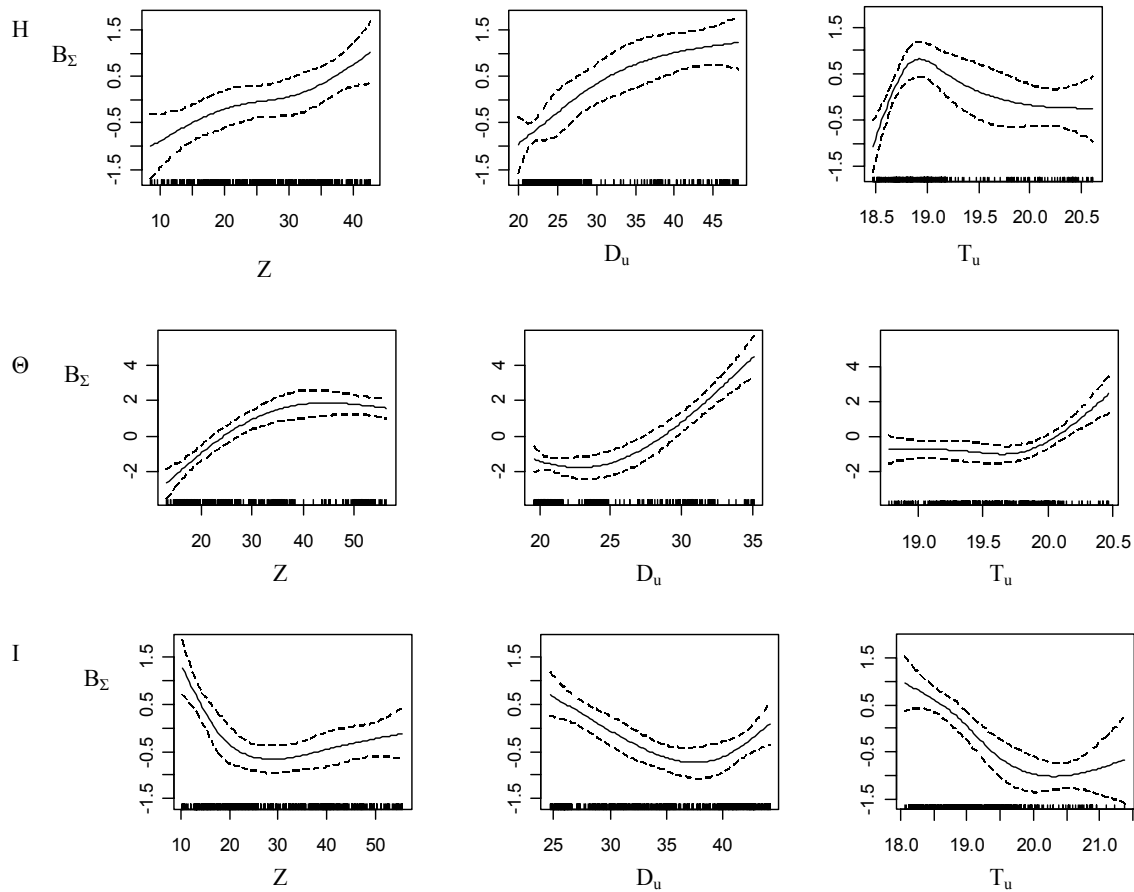
Εικόνα 8.4. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα της σαρδέλας, σε διάφορες υποπεριοχές τον Ιούλιο του 1998. B_{Σ} : Επίδραση σε \ln (βιομάζας της σαρδέλας), C: Μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης-α ($\mu\text{g}/\text{lt}$), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_u : Βάθος UML (μ), T_u : Μέση τιμή θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), S_u : Μέση τιμή αλατότητας στο UML (psu), UML: Ανώτερο Στρώμα Ανάμιξης, ns: μη στατιστικά σημαντικό μοντέλο. (A) Β. Ευβοϊκό κόλπος, (B) Ν. Ευβοϊκός κόλπος, (Γ) Σαρωνικός κόλπος, (Δ) Κορινθιακός κόλπος, (E) Πατραϊκός κόλπος, (Z) βόρειο Ιόνιο, (H) νότιο Ιόνιο. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



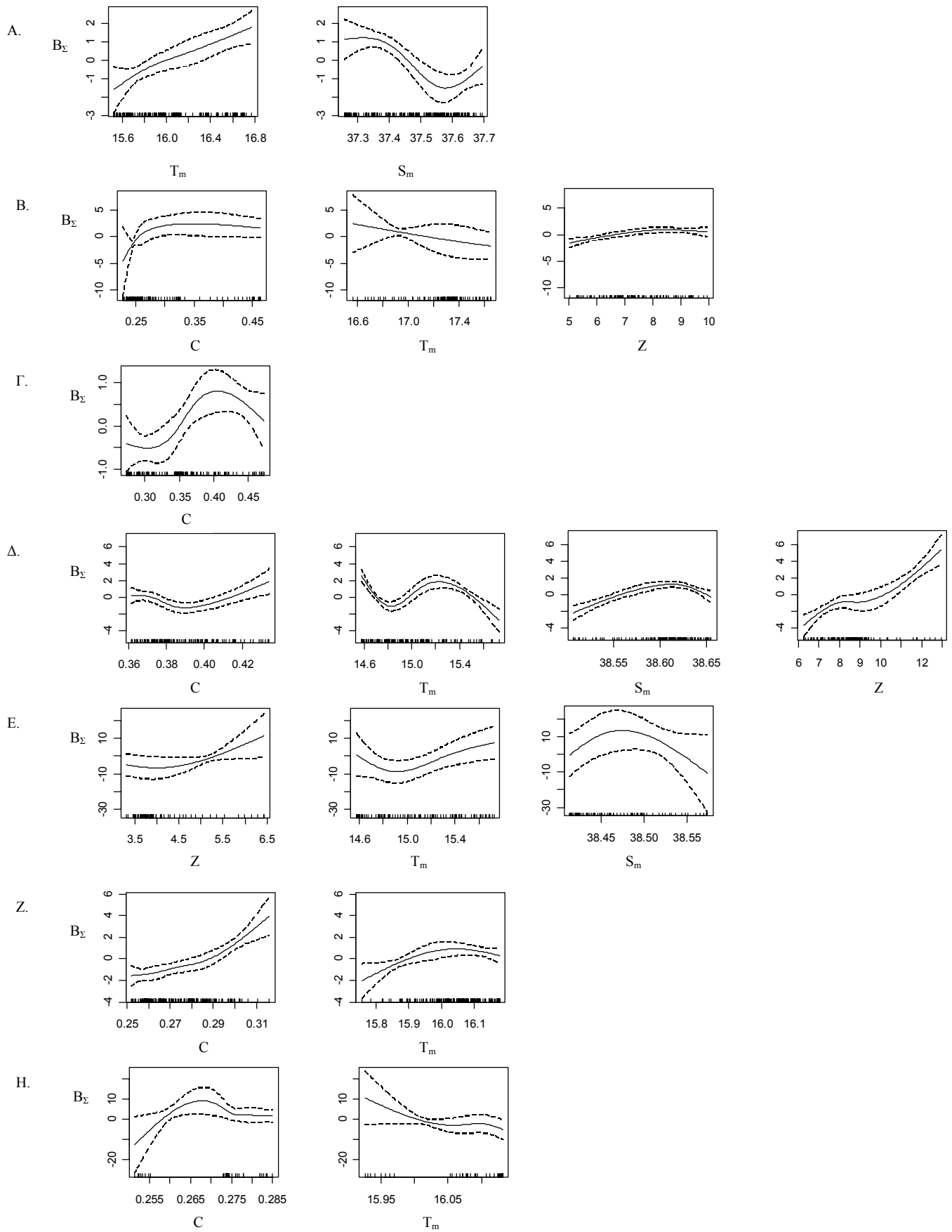
Εικόνα 8.5. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα της σαρδέλας, στις διάφορες υποπεριοχές τον Ιούνιο του 1999. B_{Σ} : Επίδραση σε ln (βιομάζας της σαρδέλας), C: Μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης-a ($\mu\text{g}/\text{lt}$), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_u : Βάθος UML (μ), T_u : Μέση τιμή θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), S_u : Μέση τιμή αλατότητας στο UML (psu), UML: Ανώτερο Στρώμα Ανάμιξης, ns: μη στατιστικά σημαντικό μοντέλο. (A) Β. Ευβοϊκό κόλπος, (B) Ν. Ευβοϊκός κόλπος, (Γ) Σαρωνικός κόλπος, (Δ) Κορινθιακός κόλπος, (E) Πατραϊκός κόλπος, (Z) βόρειο Ιόνιο, (H) νότιο Ιόνιο. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



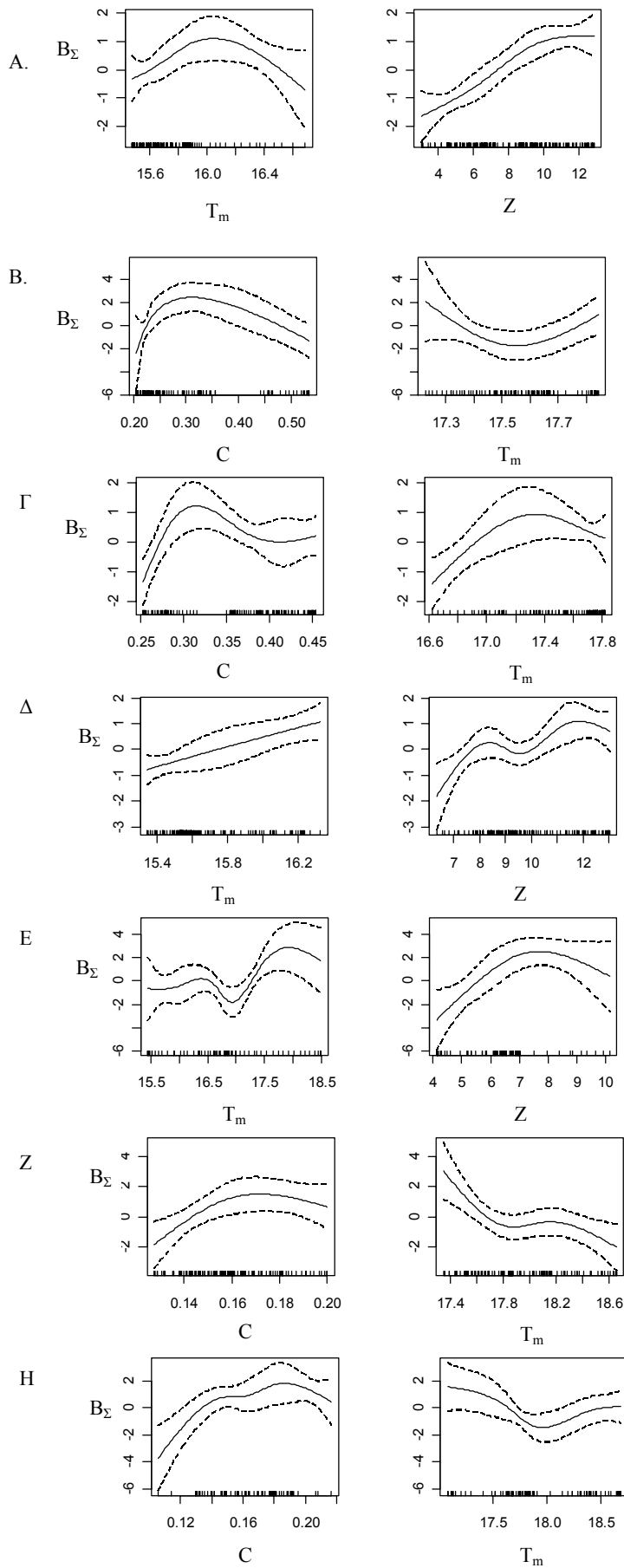
Εικόνα 8.6. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα της σαρδέλας, στις διάφορες υποπεριοχές το καλοκαίρι. B_{Σ} : Επίδραση σε \ln (βιομάζας της σαρδέλας), C: Μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης-α ($\mu\text{g}/\text{lt}$), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_u : Βάθος UML (μ), T_u : Μέση τιμή θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), S_u : Μέση τιμή αλατότητας στο UML (psu), UML: Ανώτερο Στρώμα Ανάμιξης. (A) Β. Ευβοϊκό κόλπος, (B) Ν. Ευβοϊκός κόλπος, (Γ) Σαρωνικός κόλπος, (Δ) Κορινθιακός κόλπος, (Ε) Πατραϊκός κόλπος, (Ζ) βόρειο Ιόνιο, (H) νότιο Ιόνιο. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



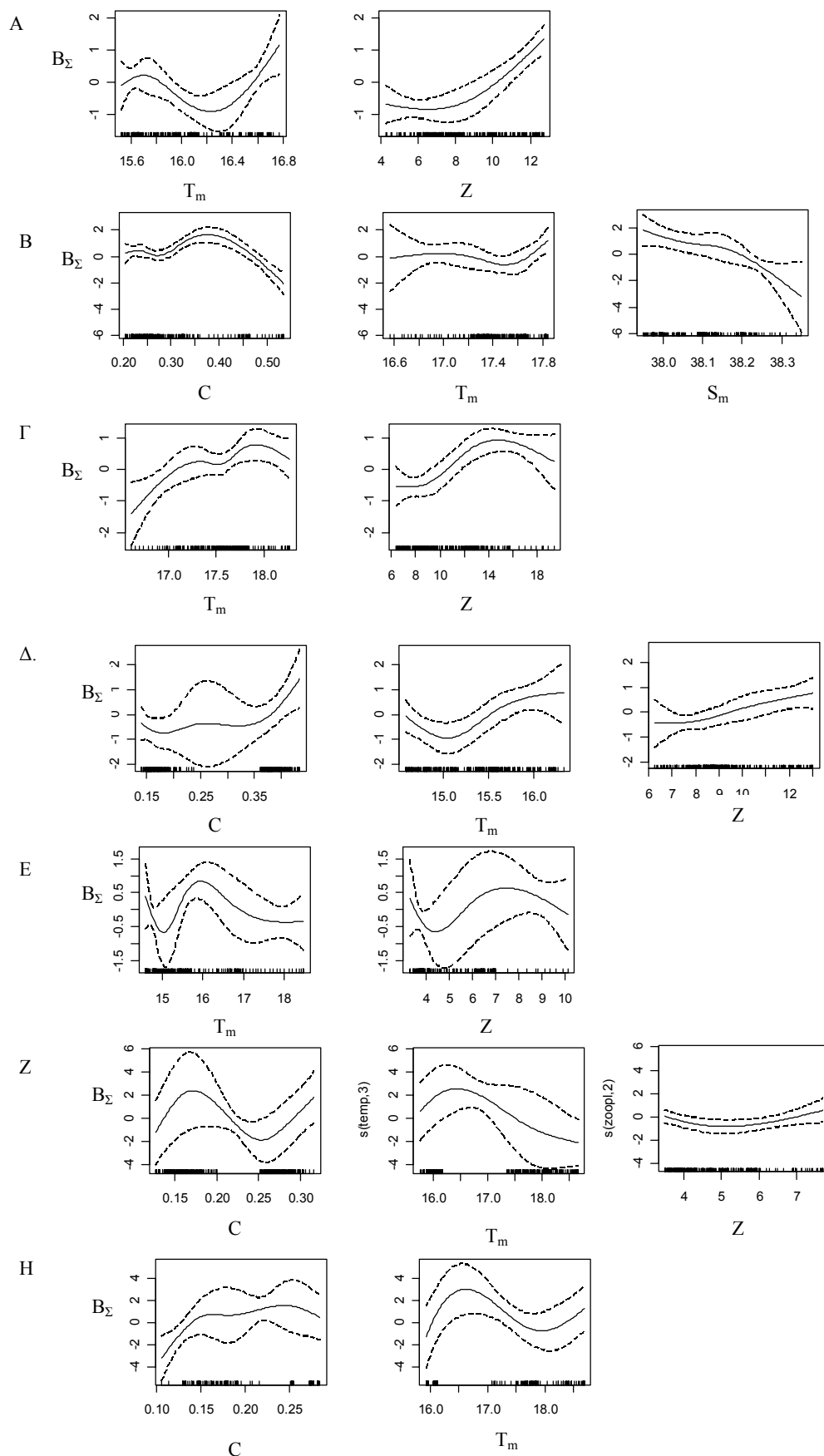
Εικόνα 8.6 (συνέχεια). Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα της σαρδέλας, στις διάφορες υποπεριοχές το καλοκαίρι. B_Σ : Επίδραση σε \ln (βιομάζας της σαρδέλας), Z: Όγκος ζωπλαγκτού (ml/m^2), D_u : Βάθος UML (μ), T_u : Μέση τιμή θερμοκρασίας στο UML ($^\circ\text{C}$), S_u : Μέση τιμή αλατότητας στο UML (psu), UML: Ανώτερο Στρώμα Ανάμιξης. (H) Θρακικό, (Θ) Στρυμονικός κόλπος, (I) Θερμαϊκός κόλπος. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



Εικόνα 8.7. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα της σαρδέλας, στις διάφορες υποπεριοχές το Δεκέμβριο του 1999. B_{Σ} : Επίδραση στο ln (βιομάζας της σαρδέλας), C: Μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης-α ($\mu\text{g/l}$), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), T_m : Μέση τιμή θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$), S_m : Μέση τιμή αλατότητας (psu). (A) Β. Ευβοϊκό κόλπος, (B) Ν. Ευβοϊκό κόλπος, (Γ) Σαρωνικός κόλπος, (Δ) Κορινθιακός κόλπος, (E) Πατραϊκός κόλπος, (Z) βόρειο Ιόνιο, (H) νότιο Ιόνιο. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



Εικόνα 8.8. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα της σαρδέλας, στις διάφορες υποπεριοχές το Δεκέμβριο του 2000-Ιανουάριο 2001. B_{Σ} : Επίδραση σε \ln (βιομάζας της σαρδέλας), C: Μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης-α ($\mu\text{g}/\text{lt}$), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), T_m : Μέση τιμή θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$), S_m : Μέση τιμή αλατότητας (psu). (A) Β. Ευβοϊκό κόλπος, (B) Ν. Ευβοϊκό κόλπος, (Γ) Σαρωνικός κόλπος, (Δ) Κορινθιακός κόλπος, (E) Πατραϊκός κόλπος, (Z) βόρειο Ιόνιο, (H) νότιο Ιόνιο. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



Εικόνα 8.9. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα της σαρδέλας, στις διάφορες υποπεριοχές το χειμώνα. B_{Σ} : Επίδραση σε ln (βιομάζας της σαρδέλας), C: Μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης-α ($\mu\text{g}/\text{lt}$), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), T_m : Μέση τιμή θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$), S_m : Μέση τιμή αλατότητας (psu). (A) Β. Ευβοϊκό κόλπος, (B) Ν. Ευβοϊκός κόλπος, (Γ) Σαρωνικός κόλπος, (Δ) Κορινθιακός κόλπος, (E) Πατραϊκός κόλπος, (Z) βόρειο Ιόνιο, (H) νότιο Ιόνιο. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.

8.3.2. Η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στο γαύρο.

8.3.2.1 Καλοκαίρι.

Η παραγωγικότητα (Z σε ml/m^2 ή C σε $\mu\text{g/l}$) κυρίως, το D_u (δηλ. η έκταση του UML σε μ) και η T_u (σε $^{\circ}\text{C}$) ήταν οι παράμετροι που εισέρχονταν στα τελικά μοντέλα. Ωστόσο δεν παρατηρήθηκε διαφοροποίηση ως προς την επίδραση των αβιοτικών παραμέτρων στη βιομάζα του γαύρου ανά υποπεριοχή. Για παράδειγμα, αυξημένη κατά μέσο όρο βιομάζα του γαύρου σε πιο εκτεταμένα θερμοκλινή ($> D_u$) παρατηρήθηκε στο Θρακικό και στο Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 1995 ($D_u > 30 \mu$, Εικ. 8.10.A, 8.10.B, 8.10.Γ), στο Β. Ευβοϊκό κόλπο τον Ιούλιο του 1998 ($D_u > 45 \mu$ Εικ. 8.11.A), στον Κορινθιακό κόλπο ($D_u > 60 \mu$, Εικ. 8.11.Δ, 8.12.Δ) και στο βόρειο τμήμα του Ιονίου τον Ιούνιο του 1999 ($D_u > 37 \mu$, Εικ. 8.13.Z). Αντίθετα, αυξημένη κατά μέσο όρο βιομάζα του γαύρου σε μικρότερα D_u παρατηρήθηκε στο Στρυμονικό ($D_u < 20 \mu$ Εικ. 8.10.E) και στο Θερμαϊκό κόλπο τον Ιούνιο του 1996 ($D_u < 30 \mu$ Εικ. 8.10.Z), στο Ν. Ευβοϊκό κόλπο ($D_u < 35 \mu$, Εικ. 8.11.B, 8.12.B) και στον Πατραϊκό κόλπο ($D_u < 40 \mu$, Εικ. 8.11.E, 8.12.E).

Υψηλές τιμές της T_u είχαν θετική επίδραση (αύξηση) στη βιομάζα του γαύρου στο Θρακικό (Εικ. 8.10.A., 8.10.Δ), στο Β. Ευβοϊκό κόλπο τον Ιούλιο του 1998 (Εικ. 8.11.A) και στο Σαρωνικό κόλπο τον Ιούνιο του 1999 (Εικ. 8.12.Γ). Προτίμηση στις χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές T_u παρατηρήθηκε στο Στρυμονικό κόλπο και στο Θερμαϊκό κόλπο τον Ιούνιο του 1996 (Εικ. 8.10.E), στο Β. Ευβοϊκό κόλπο τον Ιούνιο του 1999 (Εικ. 8.12.A), στον Πατραϊκό κόλπο τον Ιούλιο του 1998 (Εικ. 8.11.E) και στο βόρειο τμήμα του Ιονίου τον Ιούλιο του 1998 (Εικ. 8.11.H). Στον Πατραϊκό κόλπο τον Ιούνιο του 1999 (Εικ. 8.12.E) και στο βόρειο τμήμα του Ιονίου τον Ιούνιο του 1999 (Εικ. 8.12.Z) παρατηρήθηκε προτίμηση τόσο σε υψηλές όσο και σε χαμηλές τιμές T_u .

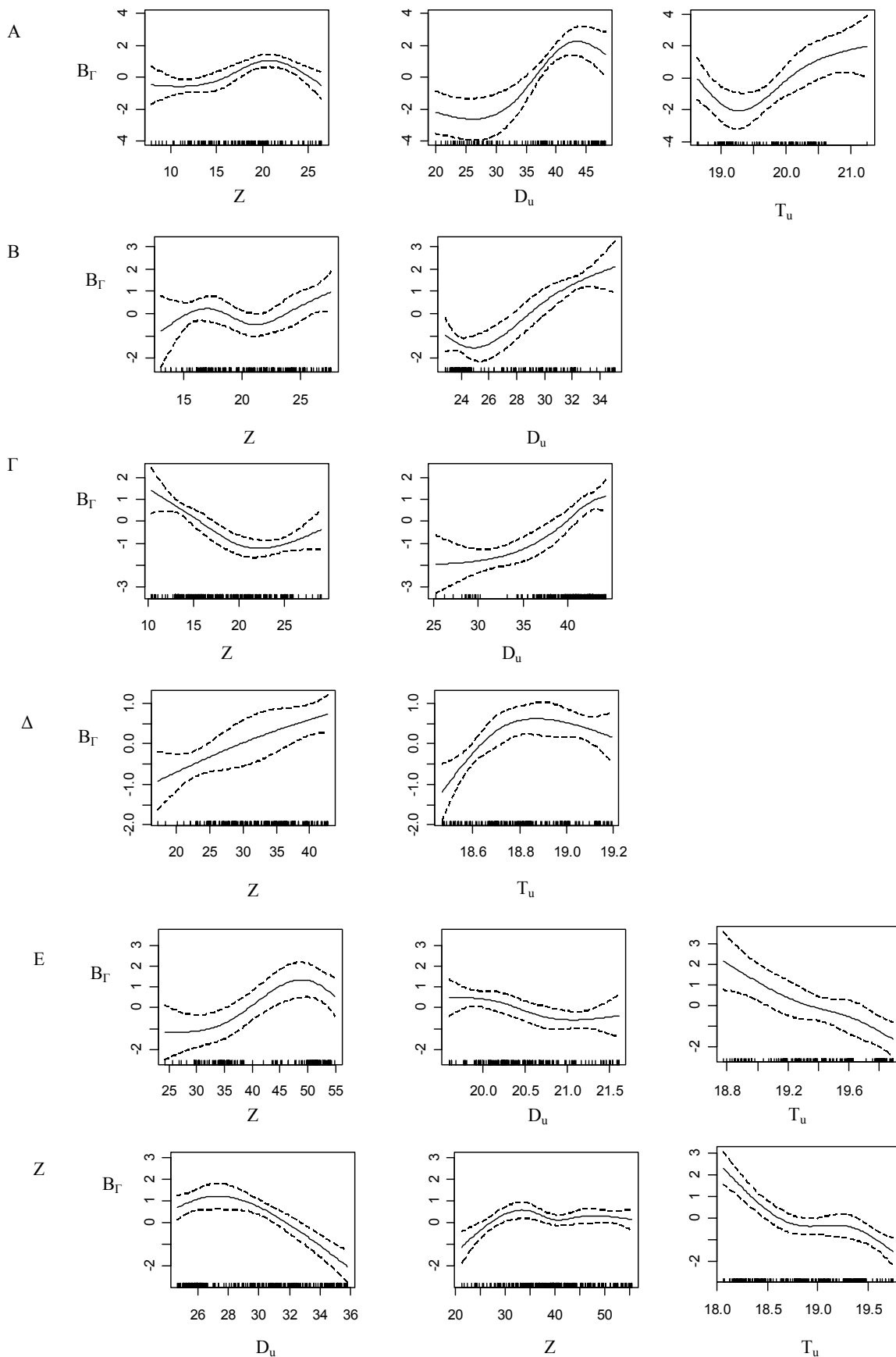
Κατά την συνολική θεώρηση της θερινής περιόδου δειγματοληψίας στα διαγράμματα των GAMs (Εικ. 8.13) διαπιστώθηκε η γενική τάση αύξησης της βιομάζας του γαύρου σε περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας και μια τάση αύξησης της βιομάζας στις μικρότερες διαθέσιμες τιμές T_u (Εικ. 8.13), με εξαίρεση το νότιο τμήμα του Ιονίου (Εικ. 8.13.H). Επιπλέον, παρατηρήθηκε μια τάση αύξησης της βιομάζας του γαύρου κυρίως σε θερμοκλινή ενδιάμεσης έκτασης (D_u μεταξύ $30-50 \mu$), με εξαίρεση τον Κορινθιακό κόλπο ($D_u > 60 \mu$, Εικ. 8.13.Δ). Τα μοντέλα που εκτιμήθηκαν για το σύνολο της θερινής περιόδου ανά υποπεριοχή, ερμήνευαν μικρότερο ποσοστό της συνολικής απόκλισης (D^2) σε σχέση με τα αντίστοιχα, στις επιμέρους περιόδους δειγματοληψίας (Πιν. 8.2, 8.4).

8.3.2.2 Χειμώνας.

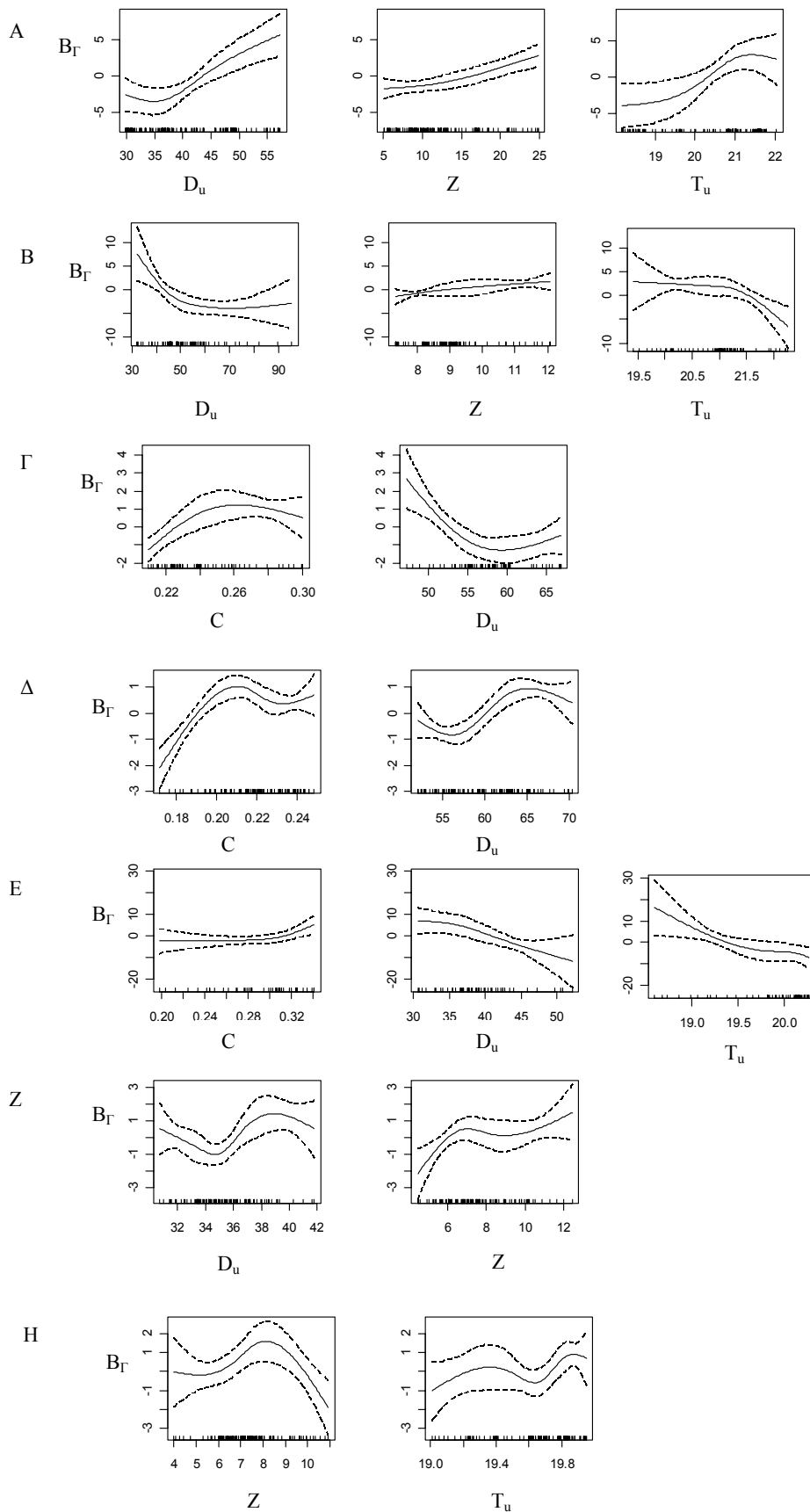
Στα διαγράμματα των GAMs κατά τη χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας η παραγωγικότητα (Z σε ml/m^2 ή C σε $\mu\text{g/l}$) κυρίως, η T_m (σε $^{\circ}\text{C}$) και η S_m (σε psu) ήταν οι παράμετροι που ανάλογα με την υποπεριοχή εισέρχονταν στα τελικά μοντέλα. Παρατηρήθηκε μια γενική τάση αύξησης κατά μέσο όρο της βιομάζας του γαύρου σε υψηλότερες τιμές S_m , με εξαίρεση το βόρειο τμήμα του Ιονίου τον Ιανουάριο του 2001 (Εικ. 8.15.Z) και το νότιο τμήμα του Ιονίου το Δεκέμβριο του 1999 (Εικ. 8.14.H). Όσον αφορά την επίδραση της T_m στη βιομάζα του γαύρου διαφοροποιήσεις παρατηρήθηκαν ανά υποπεριοχή και ανά περίοδο δειγματοληψίας στην ίδια υποπεριοχή. Για παράδειγμα αυξημένες τιμές βιομάζας γαύρου στις χαμηλότερες διαθέσιμες θερμοκρασίες ανά υποπεριοχή παρατηρήθηκαν στο Β. Ευβοϊκό κόλπο το Δεκέμβριο του 1999 (Εικ. 8.13.A), στο Σαρωνικό κόλπο το Δεκέμβριο του 1999 (Εικ. 8.14.Γ) και στον Πατραϊκό κόλπο τον Ιανουάριο του 2001 (Εικ. 8.15.E). Αντίθετα, αυξημένες τιμές βιομάζας γαύρου στις υψηλότερες διαθέσιμες θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν στον Κορινθιακό κόλπο (Εικ. 8.14.Δ, 8.15.Δ) και στο βόρειο τμήμα του Ιονίου το Δεκέμβριο του 1999 (Εικ. 8.14.Z).

Όμοια κατά τη συνολική θεώρηση της χειμερινής περιόδου η T_m και η S_m εισέρχονταν στο τελικό μοντέλο, παρατηρήθηκε μια τάση αυξημένης κατά μέσο όρο βιομάζας γαύρου στις

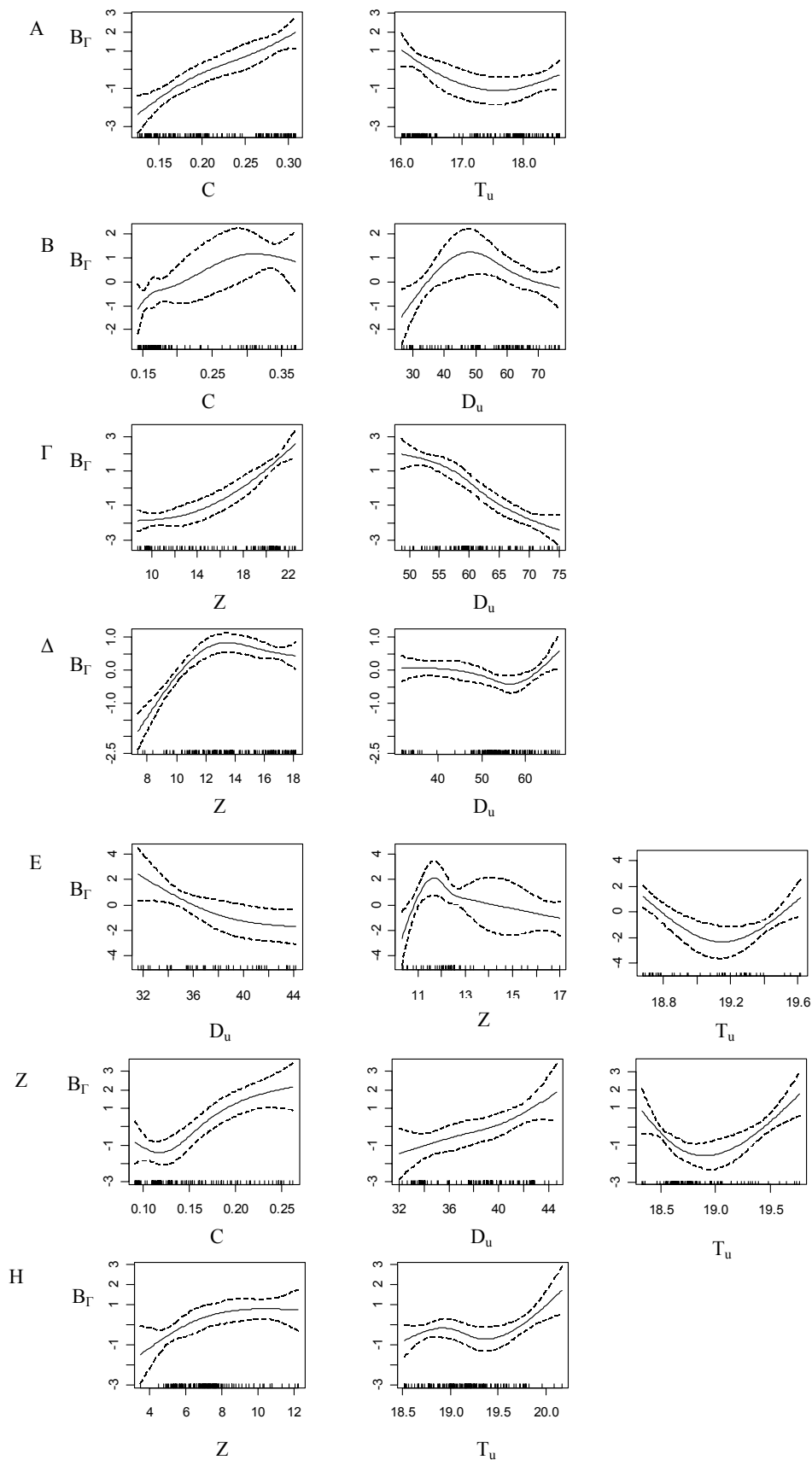
υψηλότερες τιμές T_m και S_m , με εξαίρεση την επίδραση της T_m στο Β. Ευβοϊκό κόλπο (Εικ. 8.16.Α) και στο νότιο τμήμα του Ιονίου (Εικ. 8.16.Η).



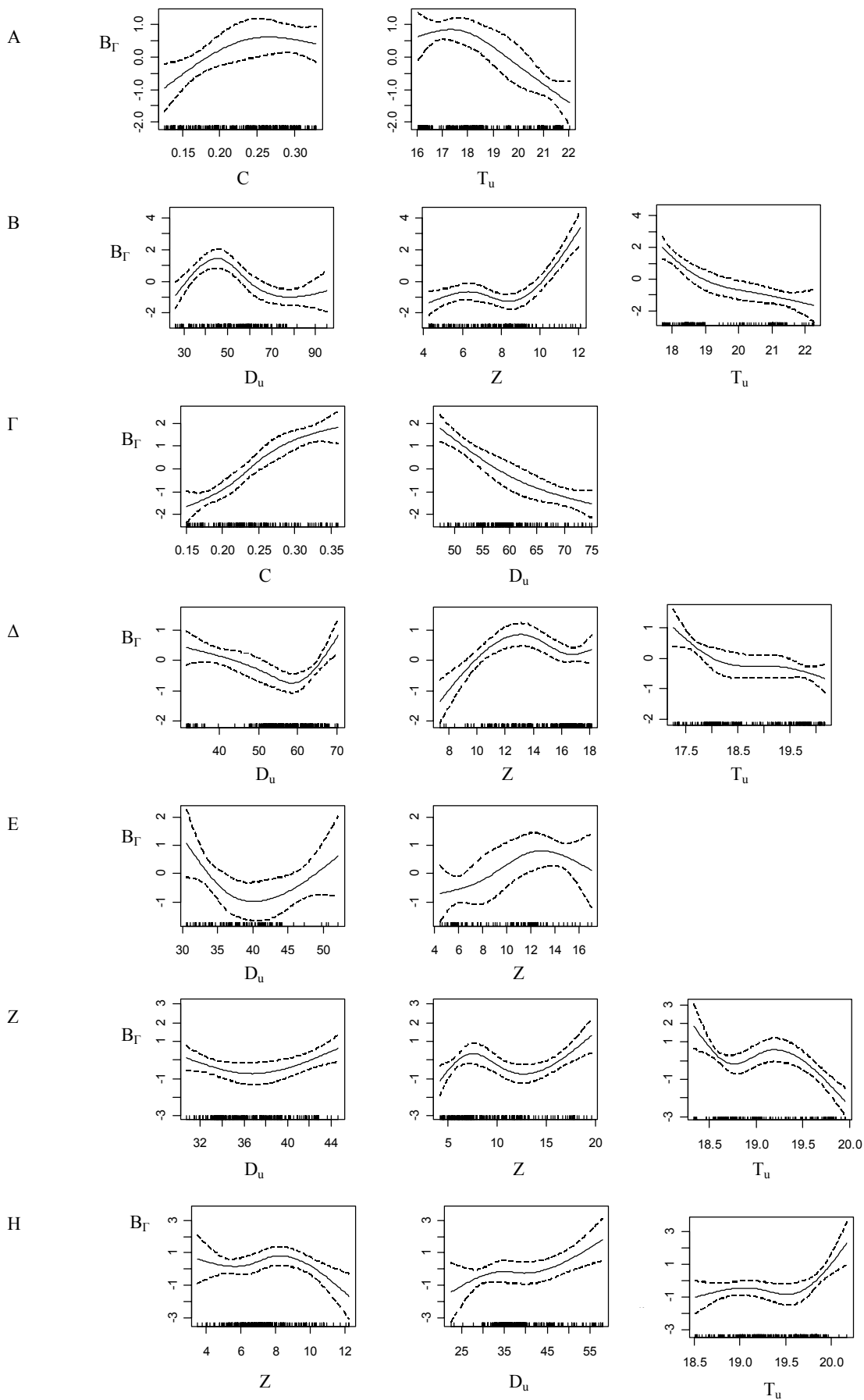
Εικόνα 8.10. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα του γαύρου, στις διάφορες υποπεριοχές τον Ιούνιο του 1995 και τον Ιούνιο του 1996. B_Σ : Επίδραση σε ln (βιομάζας του γαύρου), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_u : Βάθος UML (μ), T_u : Μέση τιμή θερμοκρασίας στο UML ($^\circ\text{C}$), S_u : Μέση τιμή αλατινότητας στο UML (psu), UML: Ανώτερο Στρώμα Ανάμιξης. (Α) Θρακικό το 1995, (Β) Στρυμονικός κόλπος το 1995, (Γ) Θερμαϊκός κόλπος το 1995, (Δ) Θρακικό το 1996, (Ε) Στρυμονικός κόλπος το 1996, (Ζ) Θερμαϊκός κόλπος το 1996. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



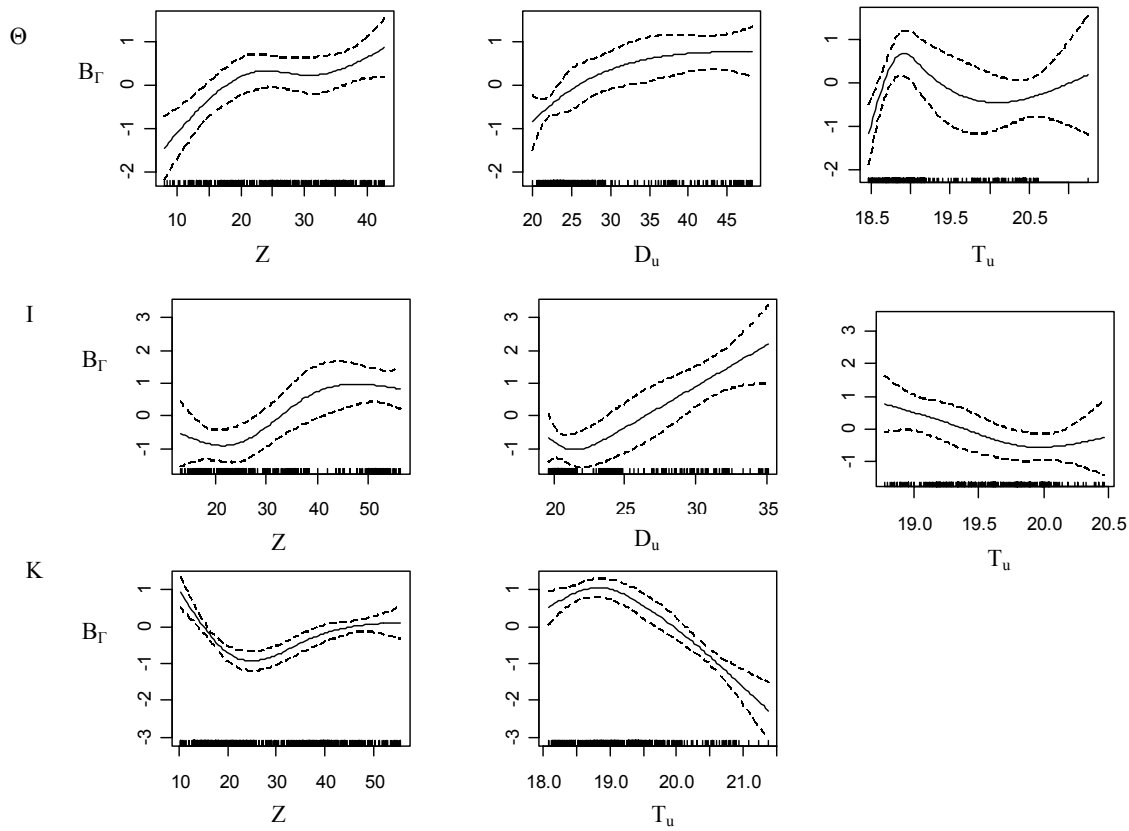
Εικόνα 8.11. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα του γαύρου, σε διάφορες υποπεριοχές τον Ιούλιο του 1998. B_{Γ} : Επίδραση σε \ln (βιομάζας του γαύρου), C: Μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης- a ($\mu\text{g}/\text{lt}$), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_u : Βάθος UML (μ), T_u : Μέση τιμή θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), S_u : Μέση τιμή αλατότητας στο UML (psu), UML: Ανώτερο Στρώμα Ανάμιξης. (A) Β. Ευβοϊκό κόλπος, (B) Ν. Ευβοϊκός κόλπος, (Γ) Σαρωνικός κόλπος, (Δ) Κορινθιακός κόλπος, (Ε) Πατραϊκός κόλπος, (Ζ) βόρειο Ιόνιο, (Η) νότιο Ιόνιο. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



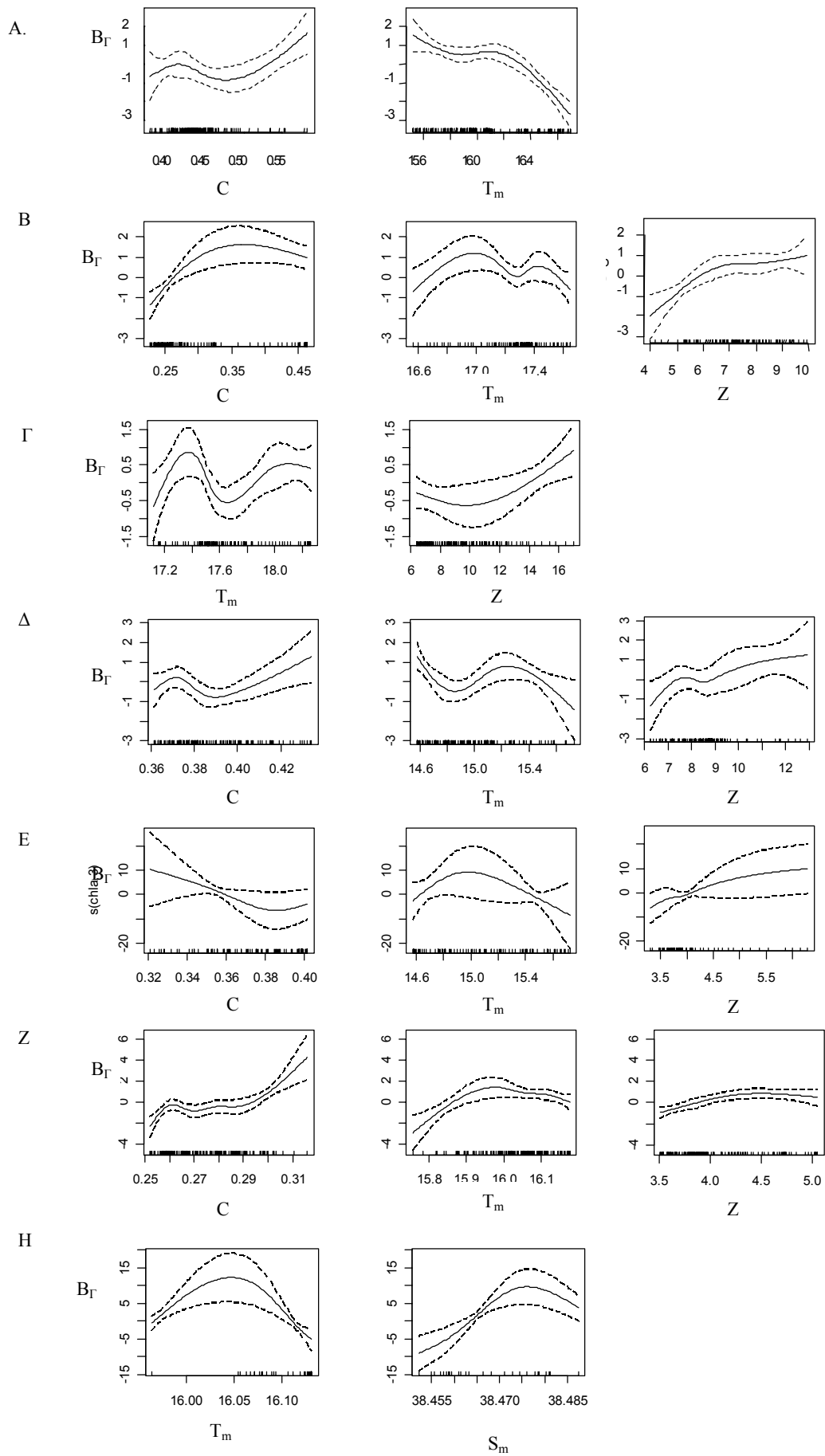
Εικόνα 8.12. Διαγράμματα GAMS όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα του γαύρου, σε διάφορες υποπεριοχές τον Ιούνιο του 1999. B_{Σ} : Επίδραση σε \ln (βιομάζας του γαύρου), C: Μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης- a ($\mu\text{g}/\text{lt}$), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_u : Βάθος UML (μ), T_u : Μέση τιμή θερμοκρασίας στο UML ($^{\circ}\text{C}$), S_u : Μέση τιμή αλατότητας στο UML (psu), UML: Ανώτερο Στρώμα Ανάμιξης. (A) Β. Ευβοϊκό κόλπος, (B) Ν. Ευβοϊκός κόλπος, (Γ) Σαρωνικός κόλπος, (Δ) Κορινθιακός κόλπος, (E) Πατραϊκός κόλπος, (Z) βόρειο Ιόνιο, (H) νότιο Ιόνιο. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



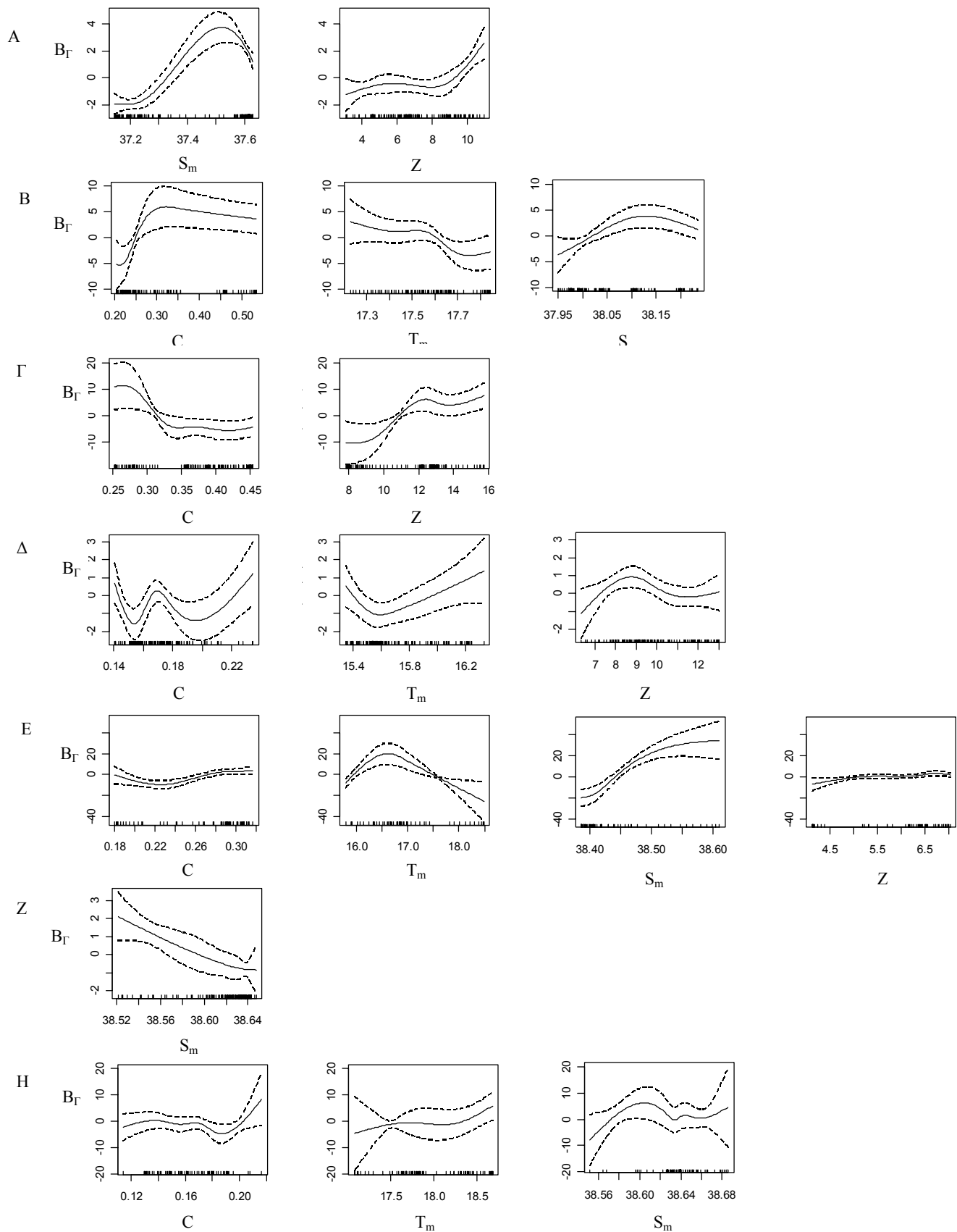
Εικόνα 8.13. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα του γαύρου, στις διάφορες υποπεριοχές το καλοκαίρι. B_Σ : Επίδραση σε ln (βιομάζας του γαύρου), C: Μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης-α (μg/l), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m²), D_u: Βάθος UML (μ), T_u: Μέση τιμή θερμοκρασίας στο UML (°C), S_u: Μέση τιμή αλατότητας στο UML (psu), UML: Ανώτερο Στρώμα Ανάμιξης. (A) Β. Ευβοϊκό κόλπος, (B) Ν. Ευβοϊκός κόλπος, (Γ) Σαρωνικός κόλπος, (Δ) Κορινθιακός κόλπος, (E) Πατραϊκός κόλπος, (Z) βόρειο Ιόνιο, (H) νότιο Ιόνιο. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



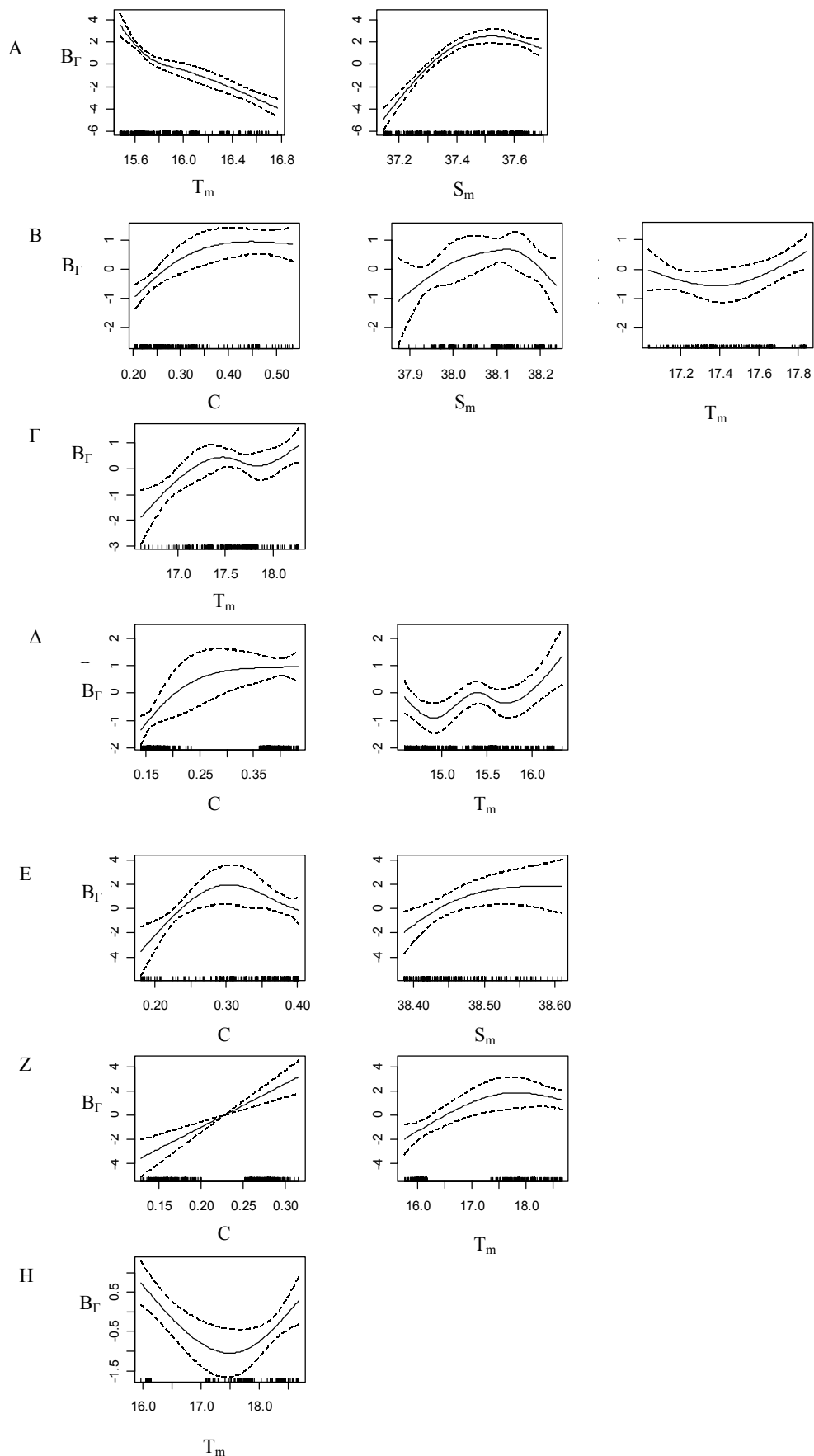
Εικόνα 8.13. (συνέχεια) Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα του γαύρου, στις διάφορες υποπεριοχές το καλοκαίρι. B_Σ : Επίδραση σε \ln (βιομάζας του γαύρου), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), D_u : Βάθος UML (μ), T_u : Μέση τιμή θερμοκρασίας στο UML ($^\circ\text{C}$), S_u : Μέση τιμή αλατότητας στο UML (psu), UML: Ανώτερο Στρώμα Ανάμιξης. (Θ) Θρακικό, (I) Στρυμονικός κόλπος, (K) Θερμαϊκός κόλπος. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



Εικόνα 8.14. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα του γαύρου, στις διάφορες υποπεριοχές το Δεκέμβριο του 1999. B_{Γ} : Επίδραση σε \ln (βιομάζας του γαύρου), C: Μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης- a ($\mu\text{g}/\text{lt}$), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), T_m : Μέση τιμή θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$), S_m : Μέση τιμή αλατότητας (psu). (A) Β. Ευβοϊκό κόλπος, (B) Ν. Ευβοϊκός κόλπος, (Γ) Σαρωνικός κόλπος, (Δ) Κορινθιακός κόλπος, (E) Πατραϊκός κόλπος, (Z) βόρειο Ιόνιο, (H) νότιο Ιόνιο. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



Εικόνα 8.15. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα του γαύρου, στις διάφορες υποπεριοχές το Δεκέμβριο του 2000-Ιανουάριο 2001. B_{Σ} : Επίδραση σε \ln (βιομάζας του γαύρου), C : Μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης- a ($\mu\text{g}/\text{lt}$), Z : Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), T_m : Μέση τιμή θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$), S_m : Μέση τιμή αλατότητας (psu). (A) Β. Ευβοϊκό κόλπος, (B) Ν. Ευβοϊκός κόλπος, (C) Σαρωνικός κόλπος, (D) Κορινθιακός κόλπος, (E) Πατραϊκός κόλπος, (Z) βόρειο Ιόνιο, (H) νότιο Ιόνιο. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.



Εικόνα 8.16. Διαγράμματα GAMs όπου φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στη βιομάζα του γαύρου, στις διάφορες υποπεριοχές το χειμώνα. B_{Γ} : Επίδραση σε \ln (βιομάζας του γαύρου), C: Μέση συγκέντρωση χλωροφύλλης-α ($\mu\text{g/l}$), Z: Όγκος ζωοπλαγκτού (ml/m^2), T_m : Μέση τιμή θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$), S_m : Μέση τιμή αλατότητας (psu). (A) Β. Ευβοϊκό κόλπος, (B) Ν. Ευβοϊκός κόλπος, (Γ) Σαρωνικός κόλπος, (Δ) Κορινθιακός κόλπος, (E) Πατραϊκός κόλπος, (Z) βόρειο Ιόνιο, (H) νότιο Ιόνιο. Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης.

8.4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η επιλογή του ενδιαιτήματος εξαρτάται από μια ποικιλία αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων που διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος, την ηλικία και το στάδιο ανάπτυξης των ψαριών. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες καθώς διαφοροποιούνται στο χώρο και στο χρόνο, μερικές φορές μπορεί να φαίνονται ασύμβατοι όταν συνυπάρχουν σε ένα μέρος την ίδια χρονική στιγμή (Freon & Misund 1999). Τα GAMs απέδωσαν τη γενική εικόνα της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραμέτρων στην βιομάζα του γαύρου και της σαρδέλας σε ένα ιδιαίτερα ετερογενές οικοσύστημα όπως αυτό που συνιστούν οι Ελληνικές θάλασσες.

Αναλυτικότερα, τα GAMs έδειξαν την ύπαρξη μιας κοινής τάσης αυξημένης βιομάζας γαύρου και σαρδέλας σε περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας (χλωροφύλλη ή ζωοπλαγκτόν) ανεξάρτητα από περιόδους και εποχές δειγματοληψίας. Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί με τα αποτελέσματα των CDFs και υπογραμμίζει κυρίως την σημασία της διαθεσιμότητας της τροφής, παράγοντας ο οποίος ελέγχει την αύξηση και την αναπαραγωγή (Freon & Misund 1999).

Σημαντική επίδραση στη βιομάζα του γαύρου και της σαρδέλας κατά την καλοκαιρινή περίοδο δειγματοληψίας επίσης είχαν η θερμοκρασία, η έκταση του θερμοκλινούς και σε μικρότερο βαθμό η αλατότητα. Ωστόσο, όσον αφορά την επίδραση των περιβαλλοντικών αυτών παραμέτρων δεν διαπιστώθηκε κάποια κοινή τάση ανεξάρτητα από εποχή και υποπεριοχή δειγματοληψίας. Η έντονη διαφοροποίηση στις επικρατούσες τάσεις ανά υποπεριοχή σχετίζεται με την ετερογένεια των Ελληνικών θαλασσών (π.χ. πολύπλοκη τοπογραφία, επίδραση εισροών γλυκών νερών, ανοδικά ρεύματα) καθώς και με τις διαφορές στην κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού του κάθε είδους. Η ύπαρξη διαφορετικών τάσεων στα μικρά και στα μεγάλα άτομα του γαύρου και της σαρδέλας, ως προς ορισμένες περιβαλλοντικές παραμέτρους επιβεβαιώνει και τα αποτελέσματα της ανάλυσης των CDFs (βλ. κεφ. 7). Είναι γνωστές οι περιπτώσεις διαφοροποίησης του ενδιαιτήματος μικρών και μεγάλων ατόμων στα μικρά πελαγικά είδη ψαριών. Συχνά τα μικρότερου μεγέθους άτομα αφθονούν πλησιέστερα στις ακτές σε σχέση με τα μεγαλύτερου μεγέθους άτομα (Freon & Misund 1999). Για το είδος *Theragra chalcogramma* αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι τα νεαρά ηλικία -0 άτομα βρίσκονται κυρίως πάνω από το θερμοκλινές κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ τα ενήλικα κάτω από αυτό (Swartzman *et al.*, 1994), ενώ για το γαύρο στη Δυτική Μεσόγειο είναι γνωστό ότι τα ηλικίας-1 άτομα δεν έχουν τα ίδια αναπαραγωγικά πεδία με τα άτομα μεγαλύτερης ηλικίας (Motos *et al.*, 1996).

Περαιτέρω, είναι γνωστό ότι η αρχή του καλοκαιριού συνιστά την περίοδο αμέσως μετά τη στρατολόγηση για τη σαρδέλα στις Ελληνικές θάλασσες (Somarakis *et al.*, 2001, Anonymus 2001), επομένως ο πληθυσμός της συνίσταται από μικρά και μεγάλα άτομα σε διαφορετικό ποσοστό ανάλογα με την περιοχή. Έχει παρατηρηθεί ότι με βάση τα αποτελέσματα της κατά μήκος σύνθεσης του αλιεύματος των σύρσεων με πελαγική τράτα (Machias & Giannoulaki αδημοσίευτα δεδομένα) τα μικρά άτομα της σαρδέλας (<100 mm) προτιμούν υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας, σε αντίθεση με τα μεγάλα άτομα (>100 mm) που σχετίζονται με χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας.

Επομένως η έλλειψη κοινής τάσης στην επίδραση της θερμοκρασίας στη βιομάζα της σαρδέλας κατά την θερινή περίοδο δειγματοληψίας όπως φάνηκε από την ανάλυση των GAMs σχετίζεται με το μέγεθος των ατόμων και την αναλογία μικρών και μεγάλων ατόμων στον πληθυσμό (Εικ. 3.11 ως 3.16). Για παράδειγμα στο Θερμαϊκό κόλπο όπου ο πληθυσμός της σαρδέλας απαρτίζεται μόνο από μεγάλα άτομα (> 100 mm), διαπιστώθηκε αρνητική επίδραση των υψηλών τιμών της θερμοκρασίας στη βιομάζα της σαρδέλας και τις δύο χρονιές δειγματοληψίας. Ανάλογα, η εικόνα που παρατηρήθηκε στο Θρακικό σχετίζεται με το γεγονός ότι ο πληθυσμός της σαρδέλας εκεί συνίσταται από μικρά και μεγάλα άτομα, σε διαφορετικό όμως ποσοστό κάθε περίοδο δειγματοληψίας. Έτσι τον Ιούνιο του 1995 οι χαμηλές και οι υψηλές τιμές θερμοκρασίας φαίνονται να ευνοούν την αύξηση της βιομάζας της σαρδέλας, η σαφής ωστόσο θετική επίδραση μόνο των υψηλών τιμών θερμοκρασίας τον Ιούνιο του 1996 σχετίζεται

με την αύξηση στο ποσοστό συμμετοχής των μικρών ατόμων στον πληθυσμό της σαρδέλας κατά την περίοδο αυτή.

Όμοια, στο Β. Ευβοϊκό κόλπο διαπιστώθηκε αρνητική επίδραση των υψηλών τιμών της θερμοκρασίας και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας, η εικόνα όμως αυτή ήταν πιο έντονη τον Ιούνιο του 1999 όπου τα μεγάλα άτομα υπερερούσαν σε ποσοστό στον πληθυσμό. Τα μικρά άτομα της σαρδέλας κατά το καλοκαίρι αυξάνουν το σωματικό τους βάρος και εναποθέτουν λίπος. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι γνωστό ότι επιταχύνει την ανάπτυξη εντός του φυσιολογικού θερμοκινού εύρους του είδους στο ενδιαίτημά του (Ursin 1979), επομένως η επιλογή θερμότερων νερών από τα μικρά άτομα της σαρδέλας ερμηνεύεται ως επιλογή σωματικής βελτιστοποίησης.

Οι αρχές του καλοκαιριού όμως συνιστούν περίοδο αναπαραγωγής για το γαύρο στις Ελληνικές Θάλασσες (Σωμαράκης 1999), επομένως η επιλογή των πιο παραγωγικών οικοσυστημάτων ικανοποιεί τις αυξημένες ενεργειακές ανάγκες του. Καθώς τα αποτελέσματα της κατά μήκος σύνθεσης του αλιεύματος των σύρσεων με πελαγική τράτα έδειξαν ότι ο πληθυσμός του γαύρου αποτελούνταν κυρίως από μεγάλα άτομα (>90 mm), η συμπεριφορά του γαύρου σε σχέση με τη θερμοκρασία και την έκταση του θερμοκινού κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού φαίνεται να σχετίζεται περισσότερο με τα χαρακτηριστικά των παραγωγικών περιοχών και να είναι επακόλουθο της επιλογής τέτοιου είδους περιοχών. Για παράδειγμα οι χαμηλές τιμές θερμοκρασίας που ευνόησαν την αύξηση της βιομάζας του γαύρου σχετίζονται με την επίδραση απορροών γλυκών νερών (π.χ. ο Στρυμονικός κόλπος το 1996, ο Θερμαϊκός κόλπος το 1996 και ο Πατραϊκός κόλπος). Αντίθετα, στο Σαρωνικό κόλπο οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας που καταγράφηκαν στο δυτικό και παραγωγικότερο τμήμα του κόλπου φαίνονται ότι παρουσιάζουν θετική επίδραση στη βιομάζα του γαύρου. Επιπλέον, σε υποπεριοχές όπως ο Β. Ευβοϊκός κόλπος και το βόρειο τμήμα του Ιονίου που διαθέτουν παραγωγικά τμήματα λόγω απορροών γλυκών νερών αλλά και ανεξάρτητα από αυτές (όπως εκτεταμένες ρηχές, παράκτιες περιοχές), παρατηρήθηκαν αποκλίσεις στην επίδραση της θερμοκρασίας στη βιομάζα του γαύρου στις δύο χρονιές δειγματοληψίας. Στη Δυτική Μεσόγειο είναι γνωστό ότι η ένταση και τα πεδία αναπαραγωγής του γαύρου σχετίζονται με περιοχές υψηλής παραγωγικότητας και συγκεκριμένα με συνθήκες ευνοϊκές για τη διατροφή των ενηλίκων (π.χ. χερσαίες εκροές, ανοδικά ρεύματα (upwellings) και μετωπικά συστήματα (fronts) (Palomera 1992; Garcia *et al.*, 1994; Motos *et al.*, 1996).

Περαιτέρω, η έκταση του θερμοκινού ήταν μια περιβαλλοντική παράμετρος που βρέθηκε ότι συχνά είχε σημαντική επίδραση στην βιομάζα της σαρδέλας και κυρίως του γαύρου κατά την καλοκαιρινή περίοδο δειγματοληψίας. Η θερμοκρασιακή στρωμάτωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού συνδέεται με το σχηματισμό ενός μέγιστου χλωροφύλλης (deep chlorophyll maximum - DCM) προς στο τέλος περίπου του θερμοκινού. Το βαθύ αυτό μέγιστο της χλωροφύλλης είναι γνωστό (Tudela & Palomera 1997 και εκεί αναφορές) ότι σχετίζεται με το σχηματισμό ενός αντίστοιχου μέγιστου ζωοπλαγκτού (Deep zooplankton maximum -DZM). Επομένως η σχέση της έκτασης του θερμοκινού και της βιομάζας των ψαριών πρακτικά σχετίζεται με την διαθεσιμότητα της τροφής. Η σχέση είναι ισχυρότερη με την βιομάζα του γαύρου (περισσότερες φορές εισέρχεται στο τελικό μοντέλο), καθώς ο γαύρος κατά την αναπαραγωγική περίοδο είναι γνωστό ότι τρέφεται με αυτές τις συγκεντρώσεις του ζωοπλαγκτού που σχετίζονται με το βαθύ μέγιστο της χλωροφύλλης (Tudela & Palomera 1997).

Γενικά θερμοκλινη έκτασης 20 ως 40m, φάνηκε ότι αυξάνουν κατά μέσο όρο την βιομάζα της σαρδέλας, ενώ ο γαύρος φαίνεται να σχετίζεται με περισσότερο εκτεταμένα θερμοκλινη 30 ως 60m, ανάλογα με την υποπεριοχή. Τα μικρότερης έκτασης θερμοκλινη είναι ενδεικτικά λιγότερο στρωματοποιημένων και καλύτερα αναμεμιγμένων νερών (Parsons *et al.* 1986). Τέτοιου είδους νερά είναι συνήθως πιο παραγωγικά λόγω της μεγαλύτερης διαθεσιμότητας των θρεπτικών καθώς ευνοούνται οι μεγαλύτερες αφθονίες φυτοπλαγκτού και ζωοπλαγκτού. Ωστόσο, ειδικά στο Θρακικό και στον Στρυμονικό κόλπο τα εκτεταμένα θερμοκλινη που παρατηρήθηκαν σχετίζονται με την παρουσία αντικυκλωνικών συστημάτων

στην περιοχή, όπως ήδη αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 7. Στο Β. Αιγαίο είναι γνωστή η παρουσία δύο αντικυκλωνικών συστημάτων ένα στο πλατό της Σαμοθράκης (η έλικα της Σαμοθράκης) και ένα και στο Στρυμονικό κόλπο (Somarakis *et al.*, 2002a). Τα πιο εκτεταμένα (βαθύτερα) επιφανειακά και ανώτερα στρώματα ανάμιξης (SML & UML) χαρακτηρίζουν τις περιοχές των αντικυκλώνων λόγω της τάσης των ισόπυκνων να κινούνται καθοδικά σε αντίθεση με τους κυκλώνες (ανοδικά ρεύματα) περιοχές όπου οι ισόπυκνες κινούνται ανοδικά (Pond & Pickard 1983). Οι περιοχές των αντικυκλώνων είναι περιοχές συγκράτησης πλαγκτού και χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις μεσοζωοπλαγκτού (Σωμαράκης 1999), δηλ. υψηλή διαθεσιμότητα τροφής για τα μικρά πελαγικά ψάρια. Ειδικότερα, για το γαύρο η επιλογή από τα αναπαραγωγικά ώριμα ενήλικα άτομα τέτοιων ευνοϊκών για τη θρέψη περιοχών, ευνοεί και το αποκύημα τους καθώς συγκρατείται το ιχθυοπλαγκτόν εκεί και μειώνεται η διασπορά του μακριά από τις ακτές (Blaxter & Hunter 1982, Freon & Misund 1999 και εκεί αναφορές). Ιδιαίτερη περίπτωση συνιστά το ιδιαίτερα εκτεταμένο θερμοκλινές που χαρακτηρίζει τον Κορινθιακό κόλπο και επιδρά θετικά στην βιομάζα του γαύρου. Ο Κορινθιακός κόλπος χαρακτηρίζεται από μεγάλες αφθονίες μεσοζωοπλαγκτού και κυρίως κλαδοκεραιωτών (Ramphos *et al.*, 1999a, Ramphos *et al.*, 1999b), μεγάλα βάθη και ανοδικά ρεύματα (upwelling) στο δυτικό και στο βόρειο τμήμα του. Τα ανοδικά ρεύματα συνιστούν οικοσυστήματα αυξημένης παραγωγικότητας, ωστόσο τα ψάρια είναι γνωστό ότι συνήθως αποφεύγουν την περιοχή των ανοδικών ρευμάτων λόγω του ισχυρού ρεύματος (Freon & Misund 1999). Καθοδικά ρεύματα σχηματίζονται σε παρακείμενες ανοδικών ρευμάτων περιοχές (Pond & Pickard 1983, Parsons *et al.* 1986), το γεγονός αυτό οδηγεί στον σχηματισμό εκτεταμένου θερμοκλινούς περιφερειακά των ανοδικών ρευμάτων, φαινόμενο που εντείνεται από τα μεγάλα βάθη του Κορινθιακού στην περιοχή. Έτσι, πρακτικά, η αυξημένη βιομάζα του γαύρου στην περιοχή συνδέεται με την παραγωγικότητα και εντοπίζεται στην περιφέρεια των ανοδικών ρευμάτων.

Η επίδραση της αλατότητας στη βιομάζα της σαρδέλας περιορίζεται στην θετική επίδραση των μικρότερων τιμών αλατότητας (και θερμοκρασίας) στον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 1995. Στην περιοχή εκβάλλει ο Στρυμόνας ποταμός και οι χαμηλές τιμές αλατότητας και θερμοκρασίας χαρακτηρίζουν τις εκβολές ποταμών που είναι γνωστά οικοσυστήματα υψηλής παραγωγικότητας (Parsons *et al.* 1986). Ανάλογα ερμηνεύεται και η αύξηση της βιομάζας του γαύρου στις μικρότερες θερμοκρασίες και τα λιγότερο εκτεταμένα θερμοκλινή στον Στρυμονικό κόλπο τον Ιούνιο του 1996, καθώς την περίοδο αυτή δεν παρατηρήθηκε ο αντικυκλώνας στην είσοδο του κόλπου (Somarakis *et al.*, 2002a).

Κατά την χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας, η θετική επίδραση αυξημένων τιμών παραγωγικότητας στην βιομάζα της σαρδέλας και του γαύρου διατηρείται και συνιστά την γενική τάση. Ο χειμώνας αποτελεί περίοδο αναπαραγωγής για τη σαρδέλα στις Ελληνικές θάλασσες (Anonymous 2001), έτσι η αύξηση της βιομάζας της σαρδέλας σε πιο παραγωγικές περιοχές συνδέεται με το ότι τα πιο παραγωγικά οικοσυστήματα ικανοποιούν τις αυξημένες ενεργειακές της ανάγκες. Η θερμοκρασία και η αλατότητα ήταν οι δύο άλλοι περιβαλλοντικοί παράμετροι που η επίδραση τους στην βιομάζα της σαρδέλας και του γαύρου αποδείχτηκε σημαντική.

Δεν παρατηρήθηκε κοινή τάση όσον αφορά την επίδραση της θερμοκρασίας ανεξάρτητα από περιοχές και περιόδους δειγματοληψίας. Επιπλέον, καθώς τα αποτελέσματα της κατά μήκος σύνθεσης του αλιεύματος των σύρσεων με πελαγική τράτα έδειξαν ότι ο πληθυσμός της σαρδέλας αποτελούνταν από μεγάλα άτομα (>90 mm), η συμπεριφορά της σαρδέλας σε σχέση με τη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του χειμώνα φαίνεται να σχετίζεται περισσότερο με τα χαρακτηριστικά των παραγωγικών περιοχών και να είναι επακόλουθο της επιλογής τέτοιου είδους περιοχών.

Για παράδειγμα, στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο οι πιο παραγωγικές περιοχές είναι οι ρηχές παράκτιες περιοχές του Β. Ευβοϊκού κόλπου, το βόρειο τμήμα του Ν. Ευβοϊκού κόλπου και το δυτικό κυρίως τμήμα του Σαρωνικού κόλπου, δηλ. περιοχές που χαρακτηρίζονται από τις υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας με αποτέλεσμα την παρατηρούμενη τάση υψηλότερης κατά μέσο όρο βιομάζας στις υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας. Αντίθετα, στην ευρύτερη περιοχή του

Ιονίου τα πιο παραγωγικά οικοσυστήματα σχετίζονται με απορροές γλυκών νερών, ανοδικά ρεύματα αλλά και παράκτιες ρηχές περιοχές όπως στον Πατραϊκό κόλπο και στην περιοχή μεταξύ της Λευκάδας και των ακτών της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (βλέπε κεφ. 2). Δικαιολογείται έτσι η διαφοροποίηση στην επίδραση της θερμοκρασίας στη βιομάζα της σαρδέλας στην περιοχή. Ανάλογα, η επίδραση της αλατότητας σχετίζεται είτε με απορροές γλυκών νερών (π.χ. στο Β. Ευβοϊκό κόλπο και στον Πατραϊκό κόλπο το Δεκέμβριο του 1999) ή με ανοδικά ρεύματα (π.χ. στον Κορινθιακό κόλπο το Δεκέμβριο του 1999), δηλ. με περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας.

Ο χειμώνας συνιστά την περίοδο αμέσως μετά την στρατολόγηση για το γαύρο στις Ελληνικές θάλασσες (Somarakis 1999, Anonymous 2000), με αποτέλεσμα ο πληθυσμός του γαύρου να αποτελείται από μικρά και μεγάλα άτομα σε διαφορετική αναλογία ανά υποπεριοχή. Η διαφοροποίηση αυτή του πληθυσμού σε συνδυασμό με την γενικότερη τάση επιλογής των παραγωγικότερων περιοχών, μεταφράζεται στη διαφορετική επίδραση της θερμοκρασίας και της αλατότητας στην βιομάζα του γαύρου ανά υποπεριοχή δειγματοληψίας.

Είναι ήδη γνωστό από την ανάλυση των CDFs (κεφ. 7) ότι τα μικρά και τα μεγάλα άτομα του γαύρου διαχωρίζουν το ενδιαίτημα τους με βάση το βάθος του βυθού. Ειδικότερα, η ανάλυση των CDFs έδειξε ότι τα μεγαλύτερα άτομα του γαύρου παρουσίασαν αυξημένη πιθανότητα παρουσίας σε περιοχές με μεγαλύτερα βάθη, υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας. Αντίθετα, τα μικρότερα άτομα παρουσίασαν αυξημένη πιθανότητα παρουσίας σε περιοχές με μικρότερα βάθη, χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας. Στο Β. Ευβοϊκό η θετική επίδραση των μικρότερων τιμών θερμοκρασίας στη βιομάζα του γαύρου το 1999, σχετίζεται με τα αυξημένα ποσοστά των μικρών ατόμων (<100 mm) στον πληθυσμό του γαύρου και την επιλογή των παραγωγικότερων περιοχών του κεντρικού τμήματος του κόλπου (Μαλιακός κόλπος). Η αύξηση του ποσοστού των μεγάλων ατόμων στον πληθυσμό αντικατοπτρίζεται στην θετική επίδραση των υψηλών τιμών αλατότητας το Δεκέμβριο του 2000. Όμοια η παρουσία μικρών και μεγάλων ατόμων σε διαφορετικά ποσοστά στο Ν. Ευβοϊκό κόλπο, στον Κορινθιακό κόλπο στις δύο περιόδους, αποδίδεται στην παρατηρούμενη διαφορά στην επίδραση της θερμοκρασίας. Περαιτέρω η διαφοροποίηση στην περιοχή του βόρειου τμήματος του Ιονίου, σχετίζεται με την γενικότερη επιλογή παραγωγικότερων περιοχών (π.χ. η περιοχή μεταξύ Λευκάδας και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας το 1999 ή η παρακείμενη των εκβολών του Αχελώου περιοχή).

Τα μικρά ποσοστά της ολικής απόκλισης που ερμηνεύουν ορισμένα μοντέλα GAMs που εκτιμήθηκαν (π.χ. στο νότιο τμήμα του Ιονίου) σχετίζονται με την πολύ κερματισμένη κατανομή που παρουσιάζουν τα δύο είδη και τις μικρές τιμές βιομάζας που παρατηρήθηκαν, γεγονός που οδηγεί σε μη ικανοποιητική εφαρμογή των εξομαλυσμένων μοντέλων (Foote & Steffanson 1993; Murray 1996; Connors & Schwager 2002).

Συνοψίζοντας, η επιλογή περιοχών υψηλής παραγωγικότητας ήταν πρώτιστης σημασίας για το γαύρο και τη σαρδέλα στον καθορισμό του ενδιαιτήματος, ανεξάρτητα από περιοχές, περιόδους δειγματοληψίας και εποχές. Η ετερογένεια των Ελληνικών Θαλασσών, η αλληλεπίδραση των βιοτικών και των αβιοτικών παραμέτρων και οι διαφορές στην κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού του κάθε είδους συνέθεσαν μια πολύπλοκη εικόνα που δυσχέραινε την διαπίστωση των γενικών τάσεων στην επίδραση των αβιοτικών παραμέτρων. Ωστόσο, η επίδραση της θερμοκρασίας αποτέλεσε παράγοντα μεγαλύτερης σημασίας για τη σαρδέλα και η έκταση του θερμοκλινούς για το γαύρο κατά την θερινή περίοδο. Επιπλέον, παρατηρήθηκε η προτίμηση του γαύρου προς πιο εκτεταμένα θερμοκλινη σε σχέση με τη σαρδέλα. Κατά τη χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας η επίδραση των αβιοτικών παραγόντων ήταν περισσότερο απόρροια της σχέσης τους με την παραγωγικότητα και την γενικότερη επιλογή παραγωγικότερων περιοχών. Η κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού των ειδών σε πολλές περιπτώσεις απέδιδε ικανοποιητικά την διαφοροποίηση στην επίδραση των αβιοτικών παραμέτρων. Για παράδειγμα οι υψηλές τιμές της θερμοκρασίας ευνοούσαν την αύξηση της βιομάζας των μικρότερου μεγέθους ατόμων της σαρδέλας το καλοκαίρι. Αντίστοιχα, τα μικρότερα άτομα του γαύρου συνέδεαν το ενδιαίτημα

τους με απορροές γλυκών νερών παρουσιάζοντας αυξημένες τιμές βιομάζας σε πιο παραγωγικές περιοχές με μικρότερα βάθη, χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας τον χειμώνα.

Η σημαντική επίδραση ενός μη προβλέψιμου παράγοντα όπως η παραγωγικότητα, στη βιομάζα των ψαριών, οι διαφορετικές τάσεις μικρών και μεγάλων ατόμων ως προς το ενδιαίτημα τους σε συνδυασμό με την ετερογένεια των Ελληνικών θαλασσών είναι ιδιαίτερης σημασίας όσον αφορά την διαχείριση αυτών των αποθεμάτων. Η εξασφάλιση ικανοποιητικού ποσοστού στρατολόγησης, ιδιαίτερα κατά την χειμερινή περίοδο που η αλιευτική πίεση εντείνεται στους κλειστούς κόλπους και στις παράκτιες περιοχές, καθίσταται καθοριστικής σημασίας για την διατήρηση του αποθέματος κυρίως του γαύρου σε ικανοποιητικά επίπεδα. Καθώς οι ψαράδες με τη συσσωρευμένη εμπειρία πολλών γενεών γνωρίζουν και εκμεταλλεύονται την επιλογή του ενδιαιτήματος στα είδη αυτά ώστε να μεγιστοποιούν τα κέρδη τους, η ανάγκη τέτοιου είδους πληροφορίας καθίσταται απαραίτητη για την λήψη των κατάλληλων διαχειριστικών επιλογών.

9. Ανακεφαλαίωση

9.1. ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η Ευρωπαϊκή σαρδέλα (*Sardina pilchardus* W.) και ο Ευρωπαϊκός γαύρος (*Engraulis encrasicolus* L.) είναι δύο από τα πιο κοινά και άφθονα είδη μικρών πελαγικών ειδών στις Ελληνικές θάλασσες. Στόχος της παρούσα διατριβής ήταν η απόκτηση πληρέστερης γνώσης με τη χρήση ακουστικών δεδομένων, για (α) την κατανομή των μικρών πελαγικών στην περιοχή των Ελληνικών θαλασσών, (β) τις αβιοτικές και βιοτικές παραμέτρους που συνδέονται με αυτή και (γ) τον τρόπο που οργανώνονται οι συγκεντρώσεις των ειδών στο χώρο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ακουστικά δεδομένα, καθώς και δεδομένα αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων που προέρχονταν από ταυτόχρονη δειγματοληψία.

Η Ανατολική Μεσόγειος παρόλο τον ολιγοτροφικό της χαρακτήρα παρουσιάζει ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον όσον αφορά τη μελέτη των πληθυσμών των μικρών πελαγικών, λόγω των ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζει το γεωγραφικό της ανάγλυφο. Ειδικότερα, οι Ελληνικές θάλασσες, το Βόρειο Αιγαίο και κυρίως το Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο, είναι θαλάσσιες περιοχές που χαρακτηρίζονται από έντονο μορφολογικό ανάγλυφο καθώς συνιστούν ένα σύνολο ανοιχτών και ημίκλειστων διακριτών λεκανών που συνδέονται μεταξύ τους με ένα ή περισσότερα, στενά ή μη περάσματα (Stergiou *et al.*, 1997a). Επιπλέον μια σειρά από παράγοντες που ρυθμίζουν την κυκλοφορία των νερών στις περιοχές αυτές αυξάνουν περαιτέρω την ετερογένεια του περιβάλλοντος στην υπό μελέτη περιοχή. Ο κερματισμός της συνολικής περιοχής μελέτης σε διαφορετικές υποπεριοχές επέτρεψε τον εντοπισμό διαφοροποιήσεων στη συμπεριφορά του γαύρου και της σαρδέλας σε σχέση με τα αβιοτικά (π.χ. κλειστότητα, έκταση, βάθος βυθού, θερμοκρασία, αλατότητα, έκταση θερμοκλινούς) και τα βιοτικά (χλωροφύλλη και ζωοπλαγκτόν) χαρακτηριστικά της περιοχής. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Βόρειο Αιγαίο, το Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο και το Ιόνιο, από 6 περιόδους δειγματοληψίας και δύο εποχές (καλοκαίρι και χειμώνα).

Η υδρολογία της περιοχής μελέτης κατά την περίοδο δειγματοληψίας, έδειξε ότι:

- ◆ Στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου ήταν εμφανής η αντίθεση στο ανώτερο στρώμα του νερού μεταξύ του Θρακικού (χαμηλές τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας) και του Θερμαϊκού κόλπου (υψηλές τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας).
- ◆ Στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο, σε γενικές γραμμές διαπιστώθηκε ότι ο Παγασητικός, ο Β. Ευβοϊκός κόλπος και το βόρειο τμήμα του Ν. Ευβοϊκού κόλπου χαρακτηρίζονταν από ψυχρά, χαμηλής αλατότητας νερά, τόσο το καλοκαίρι όσο και το χειμώνα.
- ◆ Η ευρύτερη περιοχή του Ιονίου (Κορινθιακός κόλπος, Πατραϊκός κόλπος, Ιόνιο) χαρακτηρίζονταν από υψηλές τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας στο ανώτερο στρώμα της κολώνας του νερού και στις δύο εποχές. Η παρουσία ανοδικών ρευμάτων νερού ήταν συχνή κυρίως στο βόρειο τμήμα του Κορινθιακού κόλπου και στον Πατραϊκό κόλπο.

Η παρούσα διατριβή έδειξε την ύπαρξη μη ομοιόμορφης κατανομής των συγκεντρώσεων του γαύρου και της σαρδέλας ανά περιοχή. Σε γενικές γραμμές, παρατηρήθηκε ότι η κατανομή και οι αυξημένες συγκεντρώσεις των δύο ειδών συνδέονταν με περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας. Τέτοιες περιοχές συνιστούν οι ρηχές παράκτιες περιοχές του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου, το βόρειο τμήμα του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου και ο κόλπος των Πατρών. Επιπλέον η συγκριτική εξέταση της κατανομής του γαύρου και της σαρδέλας στις δύο εποχές δειγματοληψίας έδειξε μια τάση εποχιακής διαφοροποίησης στην κατανομή των δυο ειδών. Ειδικότερα, το χειμώνα παρατηρήθηκε μία τάση για αυξημένες συγκεντρώσεις ψαριών πλησιέστερα στις ακτές της ηπειρωτικής χώρας (π.χ. αύξηση των συγκεντρώσεων στο βόρειο τμήμα του Ν. Ευβοϊκού κόλπου και στην περιοχή μεταξύ Λευκάδας και των ακτών της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας).

Εποχιακή διαφοροποίηση παρατηρήθηκε και στις κατά μήκος συνθέσεις του γαύρου και της σαρδέλας όπως αυτές υπολογίστηκαν με βάση τις μέσες συχνότητες μήκους από την αλιεία με πελαγική τράτα. Τα ποσοστά των μικρότερων κλάσεων μήκους ήταν αυξημένα για το γαύρο το χειμώνα και για τη σαρδέλα το καλοκαίρι, γεγονός που συνδέεται με την βιολογία των δύο ειδών ενώ διαφοροποίηση στα ποσοστά των διαφόρων κλάσεων μήκους παρατηρήθηκε και ανάμεσα στις υποπεριοχές δειγματοληψίας.

Σε ένα πρώτο βήμα, η διερευνητική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για το σύνολο των μικρών πελαγικών έδειξε ότι το καλοκαίρι η συχνότητα των μεγάλων τιμών ηχοανακλαστικού δυναμικού (ενδεικτική πυκνότερων συγκεντρώσεων ψαριών, Reid 2000), ήταν υψηλότερη σε υποπεριοχές με

μεγαλύτερο βαθμό κλειστότητας (π.χ. ημίκλειστους ή κλειστούς κόλπους όπως ο Β. Ευβοϊκός, ο Κορινθιακός και ο Πατραϊκός κόλπος) σε σχέση με ανοιχτές περιοχές (π.χ. το Θρακικό και το νότιο Ιόνιο). Η διαφοροποίηση αυτή μεταξύ των υποπεριοχών ήταν λιγότερο έντονη το χειμώνα, όταν υψηλές συχνότητες μεγάλων τιμών ηχοανακλαστικού δυναμικού παρατηρήθηκαν σε όλες τις υποπεριοχές. Τα αποτελέσματα αυτά υπαινίσσονται την επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής στην κατανομή των μικρών πελαγικών.

Επίσης, ένας άλλος παράγοντας που συνδέεται με την τοπογραφία της περιοχής μελέτης και φάνηκε ότι επιδρά στην κατανομή των ψαριών είναι η μεταβολή του μέσου βάθους βυθού. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διερευνητικής ανάλυσης τα ψάρια έτειναν να συγκεντρώνονται σε περιοχές με απότομες αλλαγές του βάθους (απότομη κλίση βυθού) και στις δύο εποχές. Αυτού του είδους η συμπεριφορά των ψαριών φαίνεται ότι σχετίζεται με την αύξηση της ταχύτητας των ρευμάτων και την έντονη ανάδευση, συνθήκες που επικρατούν σε αυτές τις περιοχές και ευνοούν την παραγωγικότητα και τη θήρευση (Freon & Misund 1999).

Στη συνέχεια προέκυψαν μια σειρά από ερωτήματα που αφορούσαν στον τρόπο οργάνωσης των συγκεντρώσεων των ψαριών στο χώρο (π.χ. ομοιογενείς ή ετερογενείς συγκεντρώσεις), αν εμφανίζουν κάποιο συγκεκριμένο δομικό πρότυπο στο χώρο (π.χ. μικρής ή μεγάλης κλίμακας χωρικές δομές), αν αυτό το πρότυπο συνδέεται με κάποιους εξωγενείς παράγοντες (π.χ. την τοπογραφία της περιοχής) και κυρίως ποιοι είναι οι αβιοτικοί και οι βιοτικοί παράμετροι που καθορίζουν το ενδιάστημα των δύο ειδών.

Το να αγνοήσει κάποιος το πρότυπο με το οποίο κατανέμονται οι πληθυσμοί των μικρών πελαγικών ειδών στο χώρο μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες εκτιμήσεις βιομάζας και διαχειριστικές επιλογές (Freon *et al.*, 1996; Freon & Misund 1999) καθώς τέτοιου είδους πληροφορία είναι απαραίτητη για την ανάλυση προβλημάτων που αφορούν στην κατανομή της αλιευτικής προσπάθειας (Beverton & Holt 1957), τον σχεδιασμό και την πυκνότητα της δειγματοληψίας σε αλιευτικές έρευνες ώστε να εξασφαλίζεται η μη μεροληπτική εκτίμηση της βιομάζας των ψαριών.

Για την εκμείωση αυτού του είδους της πληροφορίας ήταν αναγκαία η εφαρμογή της γεωστατιστικής ανάλυσης στα ακουστικά δεδομένα. Η γεωστατιστική ανάλυση χρησιμοποιεί την αυτοσυσχέτιση των δεδομένων στο χώρο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα σχολεία των μικρών πελαγικών οργανώνονταν σε χωρικές δομές που αποδίδονταν σε συγκεντρώσεις ψαριών μεγαλύτερης τάξης μεγέθους του ενός σχολείου. Το ποσοστό των συγκεντρώσεων που μπορούσε να αποδοθεί με κάποιο χωρικό δομικό πρότυπο κυμαίνονταν ανάλογα με την περιοχή και την περίοδο δειγματοληψίας (από 32.70% ως 76.50% για το σύνολο των μικρών πελαγικών, από 22.15% ως 77.15% για τη σαρδέλα και από 15.99% ως 85.85% για το γαύρο) και με βάση το υπολογισμένο εύρος αυτοσυσχέτισης (ενδεικτικό της μέγιστης διαμέτρου των συγκεντρώσεων) παρατηρήθηκε ότι το μέγεθος των χωρικών δομών διαφοροποιούνταν έντονα ανά υποπεριοχή. Ειδικότερα, τα μικρά πελαγικά ως σύνολο οργανώνονταν σε μεσαίας ως μεγάλης κλίμακας (4-18 ν.μ.) μεγέθους χωρικές δομές και επιμέρους ο γαύρος και η σαρδέλα σε μικρής ως μεγάλης κλίμακας (2 – 21 ν.μ.) χωρικές δομές. Οι εκτιμήσεις αυτές συμφωνούν σε γενικές γραμμές με τις εκτιμήσεις που έχουν γίνει για τα ίδια ή για συγγενικά τους είδη σε άλλες περιοχές (Barange & Hampton 1997, Freon & Misund 1999 και αναφορές).

Η πολύπλοκη τοπογραφία των Ελληνικών Θαλασσών κατέστησε αναγκαίο τον έλεγχο της ανισοτροπίας στις χωρικές δομές των μικρών πελαγικών (δηλ. το πώς μεταβάλλονται οι χωρικές δομές σε διαφορετικές διευθύνσεις). Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκαν τα διεξοδικά κατευθυντικά διασπορογράμματα η χρήση των οποίων αν και δε συνηθίζεται σε αλιευτικά δεδομένα, αποδείχτηκε ιδιαίτερη σημασίας καθώς παρείχαν μια ολοκληρωμένη εποπτική εικόνα της ανισοτροπίας των χωρικών δομών (Rendu 1979b; Isaaks & Srivastava, 1989; Rossi *et al.*, 1992) και επέτρεψαν να φανούν οι διαφοροποιήσεις στην εσωτερική οργάνωση των χωρικών δομών που σχηματίζουν τα υπό μελέτη είδη. Για παράδειγμα, παρατηρήθηκε ότι χωρικές δομές παρόμοιου μεγέθους (με παρόμοιο εύρος αυτοσυσχέτισης) διαφοροποιούνταν ως προς την εσωτερική οργάνωσή τους (π.χ. ετερογενείς ή ομοιογενείς δομές). Για την ανάγκη περιγραφής αυτής της εσωτερικής οργάνωσης των χωρικών δομών υιοθετήθηκε η χρήση του λόγου R. Ο λόγος R εκφράζει τον ρυθμό μεταβολής της αυτοσυσχέτισης των τιμών της ακουστικής διατομής, δηλ. αν η διασπορά της ακουστικής διατομής μεταβάλλεται σταδιακά με την απόσταση (μεγάλες τιμές R), ή αν υπάρχουν απότομες αλλαγές στην διασπορά της ακουστικής διατομής (μικρές τιμές R). Απότομες αλλαγές στην διασπορά της ακουστικής διατομής (μικρές τιμές R) είναι ενδεικτικές της ύπαρξης ετερογένειας στις χωρικές δομές. Ο λόγος R θεωρήθηκε ότι αντανάκλα την εσωτερική οργάνωση των χωρικών δομών, ενώ το εύρος αυτοσυσχέτισης των ολοκατευθυντικών διασπορογραμμάτων είναι ενδεικτικό της μέγιστης διαμέτρου της έκτασης που καταλαμβάνουν οι ομάδες των σχολείων (patches) των ψαριών (Reid 2000).

Οι μεγάλες αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν στα χαρακτηριστικά των χωρικών δομών των συγκεντρώσεων του γαύρου και της σαρδέλας ανά υποπεριοχή, συνδέονται τόσο με την βιολογία των δύο ειδών όσο και με την ετερογένεια του περιβάλλοντος των Ελληνικών Θαλασσών. Η κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού, η πυκνότητα, οι βιοτικοί και οι αβιοτικοί παράγοντες δύνανται να επηρεάσουν το δομικό πρότυπο κατανομής στο χώρο των ψαριών. Η τροφή δεν κατανέμεται ομοιόμορφα στην κολώνα του νερού, μπορεί να συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένα βάθη και η κατανομή της να είναι κερματισμένη. Υδροδυναμικές διαδικασίες μπορούν να οδηγούν σε τοπικές συγκεντρώσεις ζωοπλαγκτού στην περιοχή και τελικά να καθορίζουν την κατά τόπους κατανομή του γαύρου ή της σαρδέλας. Για παράδειγμα περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας αλλά περιορισμένης έκτασης (π.χ. παρουσία ρευμάτων, εκβολές ποταμών, αντικυκλώνες) εντός μιας μεγάλης περιοχής μπορούν να συνιστούν κέντρα συγκέντρωσης πληθυσμού και να οδηγήσουν σε πυκνές και μικρού μεγέθους δομές, καθώς τα ψάρια σχηματίζουν αυξημένες πυκνότητες τοπικά. Η εικόνα μπορεί να γίνει ακόμα πιο πολύπλοκη στην περίπτωση που διαφοροποιείται το ενδιαίτημα των μικρών και των μεγάλου μεγέθους ατόμων, που όμως συνυπάρχουν στον πληθυσμό του είδους σε μια περιοχή (Swartzman 1991, Maravelias 1997, Freon & Misund 1999). Επιπλέον, παράγοντες όπως η πολύπλοκη τοπογραφία των Ελληνικών Θαλασσών μπορεί να ενισχύουν περαιτέρω τις αποκλίσεις στα χαρακτηριστικά των δομών των μικρών πελαγικών στο χώρο.

Είναι γνωστό ότι η κατανομή των ψαριών στο χώρο είναι συνάρτηση δύο παραγόντων: α) του τρόπου με τον οποίο τα ψάρια καταλαμβάνουν τον διαθέσιμο χώρο και β) της επίδρασης της γεωμετρίας του ενδιαίτηματος (Petitgas 1993a), επομένως μια προσπάθεια σύνδεσης της τοπογραφίας της περιοχής με τις χωρικές δομές των μικρών πελαγικών αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Για το σκοπό αυτό εξετάστηκε η σχέση των χαρακτηριστικών των χωρικών δομών των ψαριών, όπως αυτά προέκυψαν από την γεωστατιστική ανάλυση με τον βαθμό κλειστότητας της περιοχής, το μέσο βάθος βυθού, τη μεταβολή του μέσου βάθους βυθού και την έκταση της περιοχής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι κυρίως ο βαθμός κλειστότητας και η έκταση της περιοχής ήταν οι παράγοντες εκείνοι που επηρέασαν τις χωρικές δομές των ψαριών. Αναλυτικότερα, τα μικρά πελαγικά ως σύνολο παρουσίασαν μια τάση απώλειας του δομικού προτύπου των συγκεντρώσεών τους (υψηλότερο φαινόμενο *nugget*) σε περιοχές με μικρότερο μέσο βάθος βυθού και τις δύο εποχές. Ανάλογη παρατήρηση αναφέρεται από τους Guillard & Lebourges (1998).

Το μέγιστο μέγεθος των χωρικών δομών (εύρος αυτοσυσχέτισης) και η διεύθυνση στην οποία κατευθύνονταν οι χωρικές δομές (δηλ. η διεύθυνση ανισοτροπίας), δεν φάνηκαν να εξαρτώνται από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν. Αντίθετα, ο λόγος R που αντιπροσωπεύει ένα μέτρο εκτίμησης της εσωτερικής οργάνωσης των χωρικών δομών, παρουσίασε σημαντική συσχέτιση με τον δείκτη κλειστότητας (ΔΚ) και την έκταση της περιοχής (Α) και στις δύο εποχές. Ωστόσο, ο ΔΚ ερμήνευε το μεγαλύτερο ποσοστό της διασποράς το καλοκαίρι και η Α το χειμώνα.

Επομένως, η γεωμετρία της περιοχής επηρεάζει κυρίως την οργάνωση των χωρικών δομών (δηλ. το πως οργανώνονται οι ομάδες σχολείων) και όχι το μέγιστο μέγεθός τους. Αναλυτικότερα, στο εύρος των τιμών της παρούσας διατριβής, προβλέφθηκαν πιο ετερογενείς χωρικές δομές (μικρότερες τιμές R) στις πιο κλειστές υποπεριοχές ανεξαρτήτως εποχής. Γενικά, οι κλειστές περιοχές παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό ετερογένειας εξαιτίας της επίδρασης της εκτεταμένης ακτογραμμής και της στεριάς, ετερογένεια η οποία αντανακλάται στις χωρικές δομές των ψαριών. Επιπλέον, σε κλειστές υπο-περιοχές η γεωμετρία της περιοχής επηρεάζει τον τρόπο που κατανέμονται τα ψάρια ιδιαίτερα κοντά στα όρια της περιοχής. Το τελευταίο μεγεθύνει την ετερογένεια των σχηματιζόμενων δομών (*sensu* Beverton & Holt 1957).

Το χειμώνα για το γαύρο προβλέφθηκαν πιο ετερογενείς χωρικές δομές ψαριών (μικρότερες τιμές R) σε μικρής έκτασης περιοχές. Στην περίπτωση της σαρδέλας προβλέφθηκαν πιο ετερογενείς χωρικές δομές σε μικρής έκτασης περιοχές και πιο ομοιογενείς χωρικές δομές σε ανοιχτές και μεγάλης έκτασης περιοχές. Το χειμώνα παρατηρήθηκε αύξηση της πυκνότητας και των δύο ειδών κυρίως σε κόλπους που βρίσκονται σε άμεση επικοινωνία με ανοιχτές περιοχές (π.χ. ο Πατραϊκός κόλπος, ο Β. Ευβοϊκός κόλπος και ο Ν. Ευβοϊκός κόλπος). Τελικά, η πίεση λόγω αύξησης της πυκνότητας, που είναι εντονότερη στις μικρής έκτασης περιοχές, και δεδομένης της μη ομοιόμορφης κατανομής της τροφής και του περιορισμένου διαθέσιμου χώρου, αντανακλάται στον σχηματισμό ασυνεχών πυρήνων συγκέντρωσης και σε ετερογένεια στις δομές του γαύρου και της σαρδέλας. Η εικόνα αυτή εντείνεται περαιτέρω για λόγους που σχετίζονται με την βιολογία των δύο ειδών.

Ειδικότερα, ο πληθυσμός του γαύρου το χειμώνα αποτελείται από μικρά και μεγάλου μεγέθους άτομα, τα οποία είναι δυνατόν να διαφοροποιούν το ενδιαίτημα τους σε μια περιοχή, (Freon & Misund 1999), γεγονός που σε μια συνολική θεώρηση του πληθυσμού του γαύρου αντικατοπτρίζεται με πιο ετερογενείς δομές. Επιπλέον, ο χειμώνας συνιστά την αναπαραγωγική περίοδο για τη σαρδέλα στις

Ελληνικές Θάλασσες (Anonymous 2001), επομένως η μείωση της πυκνότητας της στις ανοιχτές και μεγάλες περιοχές, συνεργεί στον σχηματισμό πιο ομοιογενών συγκεντρώσεων σε άμεση συνάφεια με τις υπάρχουσες, κατάλληλες για αναπαραγωγή περιοχές.

Αντίθετα, το καλοκαίρι παρατηρήθηκαν για το γαύρο και τη σαρδέλα πιο ετερογενείς χωρικές δομές σε μεγαλύτερης έκτασης υποπεριοχές και πιο ομοιογενείς χωρικές δομές σε μικρότερης έκτασης περιοχές για ένα δεδομένο βαθμό κλειστότητας. Η παρατήρηση αυτή σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την έντονη αλιευτική πίεση υφίστανται τα μικρά πελαγικά το καλοκαίρι.

Αναλυτικότερα, επειδή το χειμώνα η αλιεία των μικρών πελαγικών με κυκλικό δίχτυ (γρι-γρι) δεν επιτρέπεται από τα μέσα Δεκεμβρίου ως τα μέσα Μαρτίου, η αλιευτική πίεση επηρεάζει τον τρόπο οργάνωσης των συγκεντρώσεων των ψαριών πρακτικά μόνο το καλοκαίρι. Είναι γνωστό, ότι τα σχολεία των ψαριών ενός συγκεκριμένου είδους είναι μικρότερα και περισσότερο διάσπαρτα σε περιοχές με υψηλό βαθμό αλιευτικής πίεσης (Reid 2000) σε σύγκριση με παρακείμενες λιγότερο αλιεμένες περιοχές. Περαιτέρω, στις μικρής έκτασης περιοχές η επίδραση της αλιείας είναι εντονότερη με αποτέλεσμα τον σχηματισμό πιο διάσπαρτων και περισσότερων ομοιογενών συγκεντρώσεων ψαριών, το καλοκαίρι.

Στις ανοιχτές και μεγαλύτερης έκτασης περιοχές προβλέφθηκαν πιο ετερογενείς χωρικές δομές και για τα δύο είδη. Στις μεγαλύτερης έκτασης περιοχές (π.χ. Θρακικό) άλλοι παράγοντες πλην της εκτεταμένης ακτογραμμής, μπορεί να αυξήσουν την ετερογένεια του περιβάλλοντος. Έτσι, τα κατάλληλα για τα ψάρια ενδιαιτήματα, που κυρίως αφορούν στην παραγωγικότητα, είναι συνήθως τοπικά περιορισμένα συστήματα (π.χ. μέτωπα ρευμάτων, εκβολές ποταμών, αντικυκλώνες), τα οποία μπορεί να είναι αρκετά εκτεταμένα ώστε να συντηρήσουν ένα μεγάλο ποσοστό βιομάζας ψαριών στενά συσχετισμένο με αυτά. Επομένως, δημιουργούνται πυρήνες από ομάδες σχολείων ανάλογα με τον βαθμό ετερογένειας του περιβάλλοντος.

Τα αποτελέσματα για το σύνολο των μικρών πελαγικών διαφοροποιούνται από τα αποτελέσματα του χειμώνα για το γαύρο και τη σαρδέλα. Αντιμετωπίζοντας κάποιος συνολικά τον πληθυσμό των μικρών πελαγικών το χειμώνα, η εικόνα την οποία βλέπει αφορά έναν, πυκνό και ομοιογενή πληθυσμό ψαριών, και όχι μεμονωμένους πυρήνες πυκνότερων συγκεντρώσεων. Αντίθετα, όταν συνυπάρχοντες πληθυσμοί του γαύρου και της σαρδέλας αντιμετωπίζονται μεμονωμένα η εικόνα είναι διαφορετική λόγω της επίδρασης της πυκνότητας, της ετερογένειας στην διαθεσιμότητα της τροφής και της βιολογίας των ειδών. Επομένως, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το ότι η συνολική θεώρηση του οικοσυστήματος δεν είναι απλώς το άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών του.

Συνοψίζοντας, ο τρόπος οργάνωσης των χωρικών δομών (π.χ. των ομάδων των σχολείων) των μικρών πελαγικών αντανάκλα την ετερογένεια του περιβάλλοντος και συνδέεται με πολλούς παράγοντες, ανάμεσα στους οποίους η επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής στις Ελληνικές θάλασσες κατέχει κυρίαρχο ρόλο. Η κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού, η πυκνότητα, η διαθεσιμότητα της τροφής, αβιοτικοί παράμετροι όπως η θερμοκρασία και η αλατότητα, η αλιευτική πίεση επηρεάζουν περαιτέρω το δομικό πρότυπο κατανομής των ψαριών στο χώρο. Επιπλέον, φαίνεται ότι η ολική τάση (δηλ. που αφορά το σύνολο των μικρών πελαγικών) δεν είναι το άθροισμα των επιμέρους τάσεων. Οι επιμέρους τάσεις αποδεικνύονται περισσότερο πολύπλοκες από την γενική, καθώς δύο βασικοί παράγοντες: η βιολογία του εκάστοτε είδους και η επιλογή του ενδιαιτήματος υπεισέρχονται σε αυτές.

Η θερμοκρασία, η αλατότητα, η παραγωγικότητα είναι οι σημαντικότεροι περιβαλλοντικοί παράγοντες που κατά το μάλλον ή ήττον καθορίζουν το ενδιαίτημα των μικρών πελαγικών ψαριών. Η ταυτόχρονη ακουστική δειγματοληψία με αυτή των αβιοτικών (δεδομένα CTD) και βιοτικών δεδομένων (δεδομένα CTD και ζωοπλαγκτόν) επέτρεψε την μελέτη της επίδρασης των παραπάνω παραμέτρων και επιπλέον του βάθους του βυθού και της στρωμάτωσης της κολώνας του νερού στη βιομάζα του γαύρου και της σαρδέλας.

Ωστόσο, καθώς οι συνθήκες στη θάλασσα μεταβάλλονται από χρονιά σε χρονιά, είναι μάλλον απίθανο η κατανομή των ψαριών να έχει πάντα την ίδια ποσοτική σχέση με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Οι σχέσεις είναι λοιπόν αναμενόμενο να είναι μη γραμμικές ή παραμετρικές. Συνεπώς, οι συνήθεις μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης (π.χ. ανάλυση γραμμικής ή πολλαπλής παλινδρόμησης) συχνά αποβαίνουν ανεπαρκείς στην ανίχνευση και στην ποσοτικοποίηση της περιβαλλοντικής επίδρασης. Κρίθηκε έτσι ορθότερη η χρήση δύο μη παραμετρικών μεθόδων (α) της εφαρμογής των αθροιστικών συναρτήσεων της δειγματοληπτικής κατανομής (cumulative distribution functions- CDFs, Perry & Smith 1994, Swain & Kramer 1994) και (β) της εφαρμογής των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων (Generalized Additive Models-GAMs, Hastie & Tibshirani 1990) .

Η εφαρμογή των CDFs παρέχει μια αντικειμενική μέθοδο εκτίμησης του ποσοστού του πληθυσμού του γαύρου ή της σαρδέλας που υπάρχει σε κάθε εύρος τιμών μιας περιβαλλοντικής παραμέτρου (εντός του

εύρους των μετρούμενων τιμών της παραμέτρου). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να διαπιστωθεί αν τα ψάρια τείνουν να κατανέμονται τυχαία στις διάφορες τιμές π.χ. της θερμοκρασίας ή αν τείνουν να συγκεντρώνονται στις μεγαλύτερες ή στις μικρότερες τιμές. Ωστόσο, με την ανάλυση των CDFs μόνο υποθέσεις μπορούν να γίνουν όσον αφορά τη σχετική σημασία των περιβαλλοντικών παραμέτρων που εξετάστηκαν και επιπλέον δεν παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την μορφή της σχέσης ανάμεσα στην βιομάζα των ψαριών και στις περιβαλλοντικές παραμέτρους. Απάντηση σε τέτοιου είδους ερωτήματα έδωσε η εφαρμογή των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων (Generalized Additive Models - GAMs).

Η ανάλυση των CDFs έδειξε μια γενικότερη τάση προτίμησης του γαύρου σε περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας (δηλ. σε αυξημένες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης ή ζωοπλαγκτού) κατά την καλοκαιρινή περίοδο δειγματοληψίας, ανεξάρτητα από περιοχή. Κατά την χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο, όπου κυριαρχούσαν τα μεγαλύτερου μήκους άτομα γαύρου, παρατηρήθηκε αυξημένη πιθανότητα παρουσίας γαύρου σε περιοχές με μεγαλύτερα βάθη, υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας και μικρότερες τιμές παραγωγικότητας. Αντίθετα, στην περιοχή του Ιονίου όπου κυριαρχούσαν τα μικρότερου μήκους άτομα γαύρου, παρατηρήθηκε αυξημένη πιθανότητα παρουσίας γαύρου σε περιοχές με μικρότερα βάθη, χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας και αυξημένη παραγωγικότητα. Η διαφοροποίηση αυτή αποδόθηκε στην διαφορετική κατά μήκος σύσταση του πληθυσμού στις δύο περιοχές. Η κατανομή των ενήλικων ατόμων του γαύρου σε μεγαλύτερα βάθη, μακριά από τις ακτές, έχει αναφερθεί τόσο για το ίδιο όσο και για συγγενικό του είδος σε άλλες περιοχές (Barange & Hampton 1997, Abad *et al.*, 1998).

Όμοια η ανάλυση των CDFs για τη σαρδέλα στην περιοχή του Β. Αιγαίου έδειξε ότι εντός του εύρους των διαθέσιμων θερμοκρασιών στην περιοχή του Β. Αιγαίου, η σαρδέλα παρουσίασε προτίμηση προς θερμότερα νερά, που ερμηνεύτηκε ως επιλογή σωματικής βελτιστοποίησης των μικρότερου μεγέθους ατόμων που κυριαρχούν στον πληθυσμό της σαρδέλας. Στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου το καλοκαίρι, η σαρδέλα παρουσίασε προτίμηση προς παράκτιες περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας, σε αντίθεση με την περιοχή του Ιονίου όπου δεν παρατηρήθηκε ανάλογη τάση. Κατά την θερινή περίοδο δειγματοληψίας στον πληθυσμό της σαρδέλας συνυπάρχουν μικρά και μεγάλα άτομα σε διαφορετικές αναλογίες ανά περιοχή. Η διαφοροποίηση αυτή στην κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού φαίνεται να αντανάκλαται στις διαφορετικές τάσεις που παρατηρούνται στις επιμέρους περιοχές. Στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο παρατηρήθηκαν μεγαλύτερα ποσοστά μικρότερων ατόμων (<100 mm), σε αντίθεση με το Ιόνιο που γενικά κυριαρχούσαν τα μεγαλύτερα άτομα (>100 mm). Τα μικρότερα άτομα της σαρδέλας έχουν αυξημένες ενεργειακές ανάγκες και επομένως είναι πιθανό να διαφοροποιούν το ενδιαίτημα τους σε σχέση με τα ενήλικα. Το χειμώνα που συνιστά περίοδο αναπαραγωγής για τη σαρδέλα στις Ελληνικές Θάλασσες, επίσης παρατηρήθηκε μια γενική τάση προς πιο παραγωγικές περιοχές, όπως οι εκβολές των ποταμών. Σημαντική ήταν επίσης η συσχέτιση της σαρδέλας για ρηχότερα νερά, που παρατηρήθηκε ανεξαρτήτως περιοχής και εποχής. Στενή συσχέτιση για ρηχότερα νερά έχει επίσης αναφερθεί για συγγενικά της σαρδέλας είδη και υποείδη σε άλλες περιοχές (Scalabrin & Masse 1993, Barange & Hampton 1997).

Η ανάλυση των GAMs επιβεβαίωσε περαιτέρω τα συμπεράσματα των CDFs, επέτρεψε την προσέγγιση ανά υποπεριοχή δειγματοληψίας και έδειξε την ύπαρξη μιας κοινής τάσης αυξημένης βιομάζας γαύρου και σαρδέλας σε περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας (χλωροφύλλη ή ζωοπλαγκτόν) ανεξάρτητα από περιόδους και εποχές δειγματοληψίας. Η παραγωγικότητα φαίνεται ότι συνιστά τον κοινό παρανομαστή για την επιλογή του κατάλληλου ενδιαιτήματος σε περιβάλλοντα με υψηλό βαθμό ετερογένειας.

Αναλυτικότερα, σημαντική επίδραση στην βιομάζα του γαύρου κατά την καλοκαιρινή περίοδο δειγματοληψίας είχαν η έκταση του θερμοκλινούς κυρίως, και η θερμοκρασία. Ο γαύρος φαίνεται να σχετίζεται με θερμοκλινη έκτασης 30 ως 60m, ανάλογα με την υποπεριοχή. Ωστόσο η σχέση της έκτασης του θερμοκλινούς και της βιομάζας των ψαριών πρακτικά φαίνεται ότι συνδέονται με την διαθεσιμότητα της τροφής (π.χ. η επιλογή των αντικυκλώνων στο Β. Αιγαίο). Όμοια, η έλλειψη κοινής τάσης όσον αφορά την επίδραση της θερμοκρασίας στην βιομάζα των ψαριών φαίνεται να συνδέεται περισσότερο με τα χαρακτηριστικά των παραγωγικών περιοχών και να είναι επακόλουθο της επιλογής τέτοιου είδους περιοχών (π.χ. το δυτικό τμήμα του Σαρωνικού κόλπου, οι ρηχές παράκτιες περιοχές του Β. Ευβοϊκού κόλπου, οι περιοχές εκβολών ποταμών). Κατά τη χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας η αύξηση κατά μέσο όρο της βιομάζας του γαύρου στις αυξημένες τιμές παραγωγικότητας αποτέλεσε την γενική τάση, ενώ η θερμοκρασία και η αλατότητα ήταν οι δύο άλλοι περιβαλλοντικοί παράμετροι που η επίδραση τους αποδείχτηκε σημαντική. Η διαφοροποίηση της κατά μήκος σύνθεσης του πληθυσμού του γαύρου σε συνδυασμό με την γενικότερη τάση επιλογής των παραγωγικότερων περιοχών, μεταφράζεται τελικά στη

διαφορετική επίδραση της θερμοκρασίας και της αλατότητας στην βιομάζα του γαύρου ανά υποπεριοχή δειγματοληψίας.

Ανάλογα, σημαντική επίδραση στην βιομάζα της σαρδέλας κατά την καλοκαιρινή περίοδο δειγματοληψίας είχαν η θερμοκρασία κατά κύριο λόγο και η έκταση του θερμοκλινούς. Η σαρδέλα σχετιζόταν με θερμοκλινη έκτασης 20 ως 40 m, ανάλογα με την υποπεριοχή. Η έλλειψη κοινής τάσης όσον αφορά την επίδραση της θερμοκρασίας στην βιομάζα της σαρδέλας σχετίζεται κυρίως με το μέγεθος των ατόμων και την αναλογία μικρών και μεγάλων ατόμων στον πληθυσμό των ψαριών, καθώς τα μικρά άτομα της σαρδέλας (<100 mm) προτιμούν υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας, σε αντίθεση με τα μεγάλα άτομα (>100 mm) που σχετίζονται με χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας. Όμοια με το γαύρο, κατά την χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας, η αύξηση κατά μέσο όρο της βιομάζας της σαρδέλας σε αυξημένες τιμές παραγωγικότητας αποτέλεσε την γενική τάση. Η θερμοκρασία και η αλατότητα ήταν οι δύο άλλοι περιβαλλοντικοί παράμετροι που η επίδραση τους αποδείχτηκε σημαντική. Ωστόσο, η συμπεριφορά της σαρδέλας σε σχέση με τη θερμοκρασία και την αλατότητα κατά τη διάρκεια του χειμώνα φαίνεται να σχετίζεται περισσότερο με τα χαρακτηριστικά των παραγωγικών περιοχών και να είναι επακόλουθο της επιλογής τέτοιου είδους περιοχών.

Επομένως, η παραγωγικότητα κατά κύριο λόγο, η θερμοκρασία, η έκταση του θερμοκλινούς και το βάθος του βυθού αποτελούν εκείνους τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που αλληλεπιδρώντας καθορίζουν το ενδιαιτήμα του γαύρου και της σαρδέλας στις Ελληνικές Θάλασσες. Οι παράγοντες αυτοί σε συνδυασμό με την πολύπλοκη τοπογραφία των Ελληνικών Θαλασσών επηρεάζουν τις χωρικές δομές των μικρών πελαγικών και κυρίως την εσωτερική οργάνωσή τους, αντανακλώντας έτσι τελικά την ετερογένεια των μεγάλης κλίμακας δομών σε ετερογένεια των μικρής ως μεσαίας κλίμακας δομών. Δύο είναι τα κύρια οφέλη από την παρούσα διατριβή:

Πρώτον το ότι η παρούσα διατριβή επέτρεψε την ανάπτυξη και την εφαρμογή της κατάλληλης στατιστικής μεθοδολογίας για την μελέτη της σχέσης των μικρών πελαγικών με το περιβάλλον στις Ελληνικές Θάλασσες. Η εφαρμογή της γεωστατιστικής σε περιβάλλοντα με πολύπλοκη μορφολογία, ο συνδυασμός κλασσικών στατιστικών μεθόδων με τα αποτελέσματα της γεωστατιστικής, η εφαρμογή των CDFs και των GAMs θεωρούνται ότι εκμαίευσαν το μέγιστο ποσοστό πληροφορίας από τα διαθέσιμα δεδομένα. Ειδικότερα, τα χαρακτηριστικά των χωρικών δομών του γαύρου και της σαρδέλας όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της γεωστατιστικής ανάλυσης, αποτελούν πολύτιμη πληροφορία για τον σχεδιασμό και την πυκνότητα μελλοντικών αλιευτικών ερευνών στις Ελληνικές Θάλασσες.

Δεύτερον, από οικολογικής απόψεως, η παρούσα διατριβή αποκάλυψε τις σχέσεις ανάμεσα στο περιβάλλον και στην κατανομή της αφθονίας του γαύρου και της σαρδέλας. Έδωσε ιδιαίτερη έμφαση στην επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής στον τρόπο οργάνωσης των συγκεντρώσεων των ψαριών στο χώρο. Καθώς οι Ελληνικές Θάλασσες χαρακτηρίζονται από έντονο μορφολογικό ανάγλυφο συνιστούν πρότυπο οικοσύστημα για μια τέτοιου είδους προσέγγιση. Οι μέθοδοι των CDFs και των GAMs αποδείχτηκαν επιτυχείς στην αποσαφήνιση της σχέσης του γαύρου και της σαρδέλας με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους αναδεικνύοντας την παραγωγικότητα σε πρωτίστης σημασίας παράμετρο στην επιλογή του ενδιαιτήματος των παραπάνω ειδών.

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής συνιστούν δρόμους για περαιτέρω έρευνα σε διάφορα πεδία. Η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε όσον αφορά τη γεωστατιστική ανάλυση, μπορεί να εφαρμοστεί σε άλλες περιοχές με ανάλογη τοπογραφία ή σε περιπτώσεις που η ύπαρξη ανισοτροπίας στις χωρικές δομές θεωρείται πιθανή, στα ίδια ή σε διαφορετικά είδη. Παράλληλα, τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής έχουν άμεση σχέση με την εκτίμηση των ιχθυοαποθεμάτων των συγκεκριμένων ειδών και με διαχειριστικές επιλογές που αφορούν τις Ελληνικές Θάλασσες. Επιπλέον, αν και κατά τη μελέτη των περιβαλλοντικών παραμέτρων δεν εκτιμήθηκαν σταθερές σχέσεις ανάμεσα στη βιομάζα του γαύρου / της σαρδέλας και των αβιοτικών παραμέτρων, ωστόσο παρατηρήθηκε μια σταθερή σχέση με την παραγωγικότητα. Η παρατήρηση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποτελεσματικότερη δειγματοληψία και την πιο ακριβή εκτίμηση του ιχθυοαποθέματος σε μελλοντικές αλιευτικές έρευνες. Στις επιμέρους υποπεριοχές είναι δυνατή η πρόβλεψη των περιοχών με τις υψηλότερες τιμές βιομάζας γαύρου και σαρδέλας. Τέτοιου είδους πληροφορία μπορεί επίσης να αποδειχτεί πολύ χρήσιμη στον σχεδιασμό και την πυκνότητα μελλοντικών αλιευτικών ερευνών ώστε να μειωθεί η διασπορά στις εκτιμήσεις της αφθονίας λαμβάνοντας υπόψη, τις περιοχές που απαιτούν μεγαλύτερη προσπάθεια δειγματοληψίας.

Ουσιαστικά δηλαδή, τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως δείκτης για το που κρίνεται σκόπιμη η αύξηση της πυκνότητας δειγματοληψίας για την καλύτερη εκτίμηση

του ιχθυοποθέματος, καθώς κάποιες περιοχές είναι αρκετά πλούσιες και παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά, φαινόμενο κοινό στα μικρά πελαγικά είδη. Αντίστοιχα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτης για περιοχές που ενδείκνυται η μείωση της αλιευτικής προσπάθειας λόγω της μειωμένης αφθονίας σε σταθερή βάση (π.χ. το ανατολικό τμήμα του Σαρωνικού κόλπου).

Βιολογικό ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η περαιτέρω μελέτη του διαχωρισμού του ενδιαιτήματος των μικρών και των μεγάλων ατόμων της σαρδέλας το καλοκαίρι, και του γαύρου το χειμώνα. Μια τέτοιου είδους προσέγγιση δεν είναι δυνατή με τα ακουστικά δεδομένα, ωστόσο καθίσταται εφικτή αν συσχετισθούν τα αποτελέσματα των σύρσεων με πελαγική τράτα με βιοτικά και αβιοτικά δεδομένα. Αντίθετα, τα ακουστικά δεδομένα επιτρέπουν την εφαρμογή των GAMs στη σύνδεση των περιβαλλοντικών παραμέτρων με την κάθετη μετανάστευση του γαύρου και της σαρδέλας, προσέγγιση της οποίας τα αποτελέσματα θα παρουσίαζαν επίσης ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον.

9.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Ευρωπαϊκή σαρδέλα (*Sardina pilchardus* W.) και ο Ευρωπαϊκός γαύρος (*Engraulis encrasicolus* L.) είναι δύο από τα πιο κοινά και άφθονα είδη μικρών πελαγικών ειδών στις Ελληνικές θάλασσες. Η παρούσα διατριβή επικεντρώθηκε στην μελέτη της οριζόντιας κατανομής αυτών των ειδών στις Ελληνικές θάλασσες και των παραμέτρων που την καθορίζουν το καλοκαίρι και το χειμώνα. Οι χάρτες κατανομής, η κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού, η κατανομή του ηχοανακλαστικού δυναμικού σε σχέση με ορισμένα βασικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά όπως το βάθος βυθού, έδωσαν μια ικανοποιητική πρώτη εικόνα των συγκεντρώσεων του γαύρου και της σαρδέλας στις Ελληνικές Θάλασσες. Αναλυτικότερα:

- ◆ Σε γενικές γραμμές, παρατηρήθηκε ότι η κατανομή και οι αυξημένες συγκεντρώσεις των δύο ειδών συνδέονταν με περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας. Ειδικότερα, το χειμώνα παρατηρήθηκε μία τάση αυξημένων συγκεντρώσεων ψαριών πλησιέστερα στις ακτές της ηπειρωτικής χώρας.

- ◆ Η διερευνητική ανάλυση για το σύνολο των μικρών πελαγικών έδειξε ότι το Καλοκαίρι η συχνότητα των μεγάλων τιμών ηχοανακλαστικού δυναμικού (δηλ. πυκνότερες συγκεντρώσεις ψαριών), ήταν υψηλότερη σε υποπεριοχές με μεγαλύτερο βαθμό κλειστότητας (π.χ. ημίκλειστους ή κλειστούς κόλπους) σε σχέση με ανοιχτές περιοχές. Η διαφοροποίηση αυτή μεταξύ των υποπεριοχών ήταν λιγότερο έντονη το χειμώνα, όταν υψηλές συχνότητες μεγάλων τιμών ηχοανακλαστικού δυναμικού παρατηρήθηκαν σε όλες τις υποπεριοχές. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι τα ψάρια έτειναν να συγκεντρώνονται σε περιοχές με απότομες αλλαγές του βάθους (απότομη κλίση βυθού) και στις δύο εποχές.

- ◆ Περαιτέρω, τα αποτελέσματα της γεωστατιστικής ανάλυσης έδειξαν ότι τα σχολεία των μικρών πελαγικών οργανώνονταν σε χωρικές δομές που αποδίδονταν με συγκεντρώσεις ψαριών μεγαλύτερης κλίμακας μεγέθους του ενός σχολείου. Το ποσοστό των συγκεντρώσεων που μπορούσε να αποδοθεί με κάποιο χωρικό δομικό πρότυπο και το εύρος αυτοσυσχέτισης (ενδεικτικό της μέγιστης διαμέτρου των συγκεντρώσεων) διαφοροποιούνταν ανάλογα με την περιοχή και την περίοδο δειγματοληψίας.

- ◆ Η πολύπλοκη τοπογραφία των Ελληνικών Θαλασσών κατέστησε αναγκαίο τον έλεγχο της ανισοτροπίας στις χωρικές δομές των μικρών πελαγικών (δηλ. το πώς μεταβάλλονται οι χωρικές δομές σε διαφορετικές διευθύνσεις). Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκαν τα διεξοδικά κατευθυντικά διασπορογράμματα, η χρήση των οποίων αν και δε συνηθίζεται σε αλιευτικά δεδομένα, αποδείχτηκε ιδιαίτερης σημασίας καθώς επέτρεψε να φανούν οι διαφοροποιήσεις στην εσωτερική οργάνωση των χωρικών δομών που σχηματίζουν τα υπό μελέτη είδη. Για την ανάγκη περιγραφής αυτής της εσωτερικής οργάνωσης των χωρικών δομών υιοθετήθηκε η χρήση του λόγου R, που αντιπροσωπεύει ένα μέτρο εκτίμησης της εσωτερικής οργάνωσης των χωρικών δομών.

- ◆ Τα αποτελέσματα της διερεύνησης της επίδρασης της τοπογραφίας της περιοχής στις χωρικές δομές των μικρών πελαγικών, έδειξαν ότι τα μικρά πελαγικά ως σύνολο παρουσίασαν μια τάση απώλειας του δομικού προτύπου των συγκεντρώσεων τους σε περιοχές με μικρότερο μέσο βάθος βυθού και τις δύο εποχές. Παράλληλα, το μέγιστο μέγεθος των χωρικών δομών (εύρος αυτοσυσχέτισης) και οι παράμετροι που σχετίζονταν με την ανισοτροπία δεν φάνηκαν να εξαρτώνται από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν.

- ◆ Αντίθετα, ο λόγος R, παρουσίασε σημαντική συσχέτιση με τον δείκτη κλειστότητας και την έκταση της περιοχής και στις δύο εποχές. Επομένως, η γεωμετρία της περιοχής επηρεάζει την οργάνωση των χωρικών δομών (δηλ. το πώς οργανώνονται οι ομάδες σχολείων) και όχι το μέγιστο μέγεθός τους. Στο εύρος των τιμών της παρούσας διατριβής, προβλέφθηκαν πιο ετερογενείς χωρικές δομές σε πιο κλειστές υποπεριοχές σε σχέση με την ανοιχτή θάλασσα, ανεξαρτήτως εποχής, γεγονός που αποδόθηκε στον υψηλότερο βαθμό ετερογένειας των κλειστών περιοχών εξαιτίας της επίδρασης της εκτεταμένης ακτογραμμής και της στεριάς.

- ◆ Επιπλέον οι χωρικές δομές για το σύνολο των μικρών πελαγικών, αλλά και επιμέρους για το γαύρο και τη σαρδέλα το καλοκαίρι, για ένα δεδομένο βαθμό κλειστότητας ήταν πιο ετερογενείς σε μεγαλύτερης έκτασης υποπεριοχές.

- ◆ Αντίθετα, το χειμώνα για το γαύρο προβλέφθηκαν πιο ετερογενείς χωρικές δομές ψαριών σε μικρής έκτασης περιοχές. Για τη σαρδέλα προβλέφθηκαν πιο ετερογενείς χωρικές δομές σε μικρής έκτασης περιοχές και πιο ομοιογενείς χωρικές δομές σε ανοιχτές και μεγάλης έκτασης περιοχές. Η παρατήρηση αυτή ερμηνεύτηκε με βάση την αύξηση της πυκνότητας και των δύο ειδών κυρίως σε μικρούς κόλπους το χειμώνα, την βιολογία των δύο ειδών και την επίδραση της αλιευτικής πίεσης το καλοκαίρι.

♦ Γενικά, ο τρόπος οργάνωσης των χωρικών δομών (δηλ. των ομάδων των σχολείων) των μικρών πελαγικών αντανακλά την ετερογένεια του περιβάλλοντος και συνδέεται με πολλούς παράγοντες, ανάμεσα στους οποίους η επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής στις Ελληνικές θάλασσες κατέχει κυρίαρχο ρόλο. Η κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού, η πυκνότητα, η διαθεσιμότητα της τροφής, παράμετροι όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα και η αλιευτική πίεση επηρεάζουν περαιτέρω το δομικό πρότυπο κατανομής των ψαριών στο χώρο.

Στη συνέχεια για την μελέτη των αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων που διέπουν το ενδιαίτημα των μικρών πελαγικών εφαρμόστηκε (α) η ανάλυση των Αθροιστικών Συναρτήσεων της Δειγματοληπτικής Κατανομής και (β) η ανάλυση των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων.

♦ Η ανάλυση των CDFs έδειξε μια γενικότερη τάση προτίμησης του γαύρου σε περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας κατά την καλοκαιρινή περίοδο δειγματοληψίας, ανεξάρτητα από περιοχή. Κατά την χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας στο Δυτικό Κεντρικό Αιγαίο ο γαύρος έδειξε αυξημένη πιθανότητα παρουσίας σε περιοχές με μεγαλύτερα βάθη, υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας και μικρότερες τιμές παραγωγικότητας. Αντίθετα, στην περιοχή του Ιονίου παρουσίασε αυξημένη πιθανότητα παρουσίας σε περιοχές με μικρότερα βάθη, χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας και αυξημένη παραγωγικότητα. Η διαφοροποίηση αυτή αποδόθηκε στην διαφορετική κατά μήκος σύνθεση του πληθυσμού στις δύο περιοχές.

♦ Όμοια η ανάλυση των CDFs για τη σαρδέλα στην περιοχή του Β. Αιγαίου έδειξε ότι εντός του εύρους των διαθέσιμων θερμοκρασιών στην περιοχή του Β. Αιγαίου, η σαρδέλα παρουσίασε προτίμηση προς θερμότερα νερά. Στην περιοχή του Δυτικού Κεντρικού Αιγαίου το καλοκαίρι, η σαρδέλα παρουσίασε προτίμηση προς παράκτιες περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας, σε αντίθεση με την περιοχή του Ιονίου όπου δεν παρατηρήθηκε ανάλογη τάση. Η διαφοροποίηση αυτή, αποδόθηκε στην διαφορετική κατά μήκος σύσταση του πληθυσμού στις δύο περιοχές. Το χειμώνα που συνιστά περίοδο αναπαραγωγής για τη σαρδέλα στις Ελληνικές Θάλασσες, επίσης παρατηρήθηκε μια γενική τάση προς πιο παραγωγικές περιοχές, όπως τις εκβολές των ποταμών. Σημαντική ήταν επίσης η συσχέτιση της σαρδέλας για ρηχότερα νερά, που παρατηρήθηκε ανεξαρτήτως περιοχής και εποχής.

♦ Η ανάλυση των GAMs επιβεβαίωσε περαιτέρω τα συμπεράσματα των CDFs, και έδειξε την ύπαρξη μιας κοινής τάσης αυξημένης βιομάζας γαύρου και σαρδέλας σε περιοχές αυξημένης παραγωγικότητας (μεγαλύτερες τιμές χλωροφύλλης ή ζωοπλαγκτού) ανεξάρτητα από περιόδους και εποχές δειγματοληψίας. Η παραγωγικότητα φαίνεται ότι συνιστά τον κοινό παρανομαστή για την επιλογή του κατάλληλου ενδιαιτήματος σε περιβάλλοντα με υψηλό βαθμό ετερογένειας.

♦ Επιπλέον, σημαντική επίδραση στην βιομάζα του γαύρου κατά την καλοκαιρινή περίοδο δειγματοληψίας είχαν η έκταση του θερμοκλινούς κυρίως, και η θερμοκρασία. Ο γαύρος σχετίζεται με θερμοκλινή έκτασης 30m ως 60m, ανάλογα με την υποπεριοχή. Ωστόσο η σχέση της έκτασης του θερμοκλινούς και της θερμοκρασίας με την βιομάζα των ψαριών πρακτικά φαίνεται ότι συνδέονται με την διαθεσιμότητα της τροφής και με τα χαρακτηριστικά των παραγωγικών περιοχών. Το χειμώνα η διαφοροποίηση της κατά μήκος σύνθεσης του πληθυσμού του γαύρου σε συνδυασμό με την γενικότερη τάση επιλογής των παραγωγικότερων περιοχών, μεταφράζεται τελικά στη διαφορετική επίδραση της θερμοκρασίας και της αλατότητας στην βιομάζα του γαύρου ανά υποπεριοχή δειγματοληψίας.

♦ Σημαντική επίδραση στη βιομάζα της σαρδέλας κατά την καλοκαιρινή περίοδο δειγματοληψίας είχαν η θερμοκρασία κατά κύριο λόγο και η έκταση του θερμοκλινούς. Η σαρδέλα σχετίζονταν με θερμοκλινή έκτασης 20 ως 40m, ανάλογα με την υποπεριοχή. Η έλλειψη κοινής τάσης όσον αφορά την επίδραση της θερμοκρασίας στη βιομάζα της σαρδέλας σχετίζεται κυρίως με την αναλογία μικρών και μεγάλων ατόμων στον πληθυσμό των ψαριών. Η συμπεριφορά της σαρδέλας σε σχέση με τη θερμοκρασία και την αλατότητα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, καθώς ο χειμώνας συνιστά αναπαραγωγική περίοδο για τη σαρδέλα, φαίνεται να σχετίζεται περισσότερο με τα χαρακτηριστικά των παραγωγικών περιοχών και να είναι επακόλουθο της επιλογής τέτοιου είδους περιοχών.

9.3. SUMMARY

Acoustic data from six research surveys (four in summer and two in winter) in Aegean and Ionian Seas (eastern Mediterranean Sea) were used to illuminate the horizontal distribution of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*).

Geostatistical techniques (omnidirectional and exhaustive variograms) were applied to acoustic data in order to analyse and visualize the spatial structure of pelagic fish in each sub-area. The effect of certain topographic characteristics (related to bottom depth and the degree of land enclosure), on fish spatial structure (as expressed by several parameters calculated from omnidirectional and exhaustive variograms) was studied by multiple regression analysis. The estimated autocorrelation range of omnidirectional variograms indicated that fish formed meso-scale to large-scale patches but it was not significantly related to any of the area characteristics examined, whereas the nugget effect was negatively correlated to mean bottom depth. Parameters related to anisotropy calculated from the exhaustive variograms did not show any consistent pattern related to the geographical characteristics of the area. Geometric descriptors of the exhaustive variograms provided a more efficient picture of the underlying spatial continuity, indicating the effect of the enclosure index (stronger in summer) and the area size (stronger in winter) on the fish spatial structure. The spatial structures were more heterogeneous in closed than in open sub-areas during both seasons. These results indicated that the environmental spatial heterogeneity was mainly reflected to the internal organization (i.e. schools aggregations) of the fish spatial structures rather than the maximum size of the area occupied. In general, heterogeneity is amplified when local topography increases the environmental patchiness. The closed sub-areas show high heterogeneity due to the coastline effects, namely the higher extension of coastal bathymetric ranges and terrestrial influence. The extended coastline increases localities of exogenous nutrient enrichment and enhances spatial variation in the wind mixing effect and water column stratification.

In the range of values used in the present study, the spatial structures of anchovy and sardine were more heterogeneous in small-sized sub-areas than in large sub-areas during the winter period. This is explainable in terms of the increase in fish density in small gulfs, along with the peculiarities of each species' biology and the availability of the suitable fish habitats. The opposite was observed during the summer when more homogeneous spatial structures were predicted in small-sized sub-areas than in large sub-areas, for a given degree of enclosure. This is explainable in terms of the total available area of the favorable fish habitat. In large seas, favorable habitats, which are generally localized systems (e.g. fronts, upwelling, gyres), might be large in extent to carry most part of the fish biomass closely associated.

In a next step, acoustic data were combined with hydrological and biotic parameters with the aim of understanding the relationships between the spatial distribution of anchovy and sardine and environmental regimes. For this purpose two non-parametric statistical analysis were performed: Cumulative Distribution Functions (CDFs) and Generalized Additive Models (GAMs).

Based on CDFs, anchovy was significantly associated to more productive areas during the summer. During the winter period a difference in habitat selection was observed between Central Aegean and Ionian Sea, which was related to the difference in the length frequency distribution of the population. Central Aegean Sea was dominated by anchovy of bigger length classes, which were associated to deeper waters and higher temperatures. Whereas the anchovy of smaller length classes that dominated Ionian Sea were related to more shallow waters, with higher productivity, lower temperatures and salinities. GAMs analysis further underlined CDFs results and revealed a consistent trend of increasing anchovy biomass towards areas of increased productivity (i.e. higher values of zooplankton or chlorophyll), independently to sampling periods and season. The depth of the upper mixed layer mainly (practically expressing the thermocline depth) and the temperature were the factors mostly affecting anchovy's biomass during the summer. The relationship between these abiotic parameters with the fish biomass was practically associated to food availability as well as to the characteristics of those areas with increased productivity. During the winter period the differences observed between sub-areas was due to the differences in anchovy's length frequency distribution.

Similarly, sardine in Central Aegean Sea during the summer was significantly associated to the more productive inshore waters, whereas the opposite was observed in Ionian Sea. The depth of the upper mixed layer and mainly the temperature were the abiotic factors mostly affecting sardine's biomass during the summer. The lack of a common trend between sub-areas was related to the differences in sardine's length frequency distribution among sub-areas. During the winter, which consists the reproductive period for

sardine in the Greek Seas, it was observed a consistent preference towards areas of high productivity such as river runoffs.

In conclusion, productivity mainly, as well as temperature, thermocline depth and bottom depth consist the main environmental factors that define anchovy and sardine's habitat in the Greek Seas. These environmental factors along with the complex coastal topography of the Greek Seas affected the organization of the spatial structures of the small pelagic fish. Eventually, the large-scale heterogeneity of the environment is reflected to the small- or meso-scale heterogeneity of the fish populations.

10. Βιβλιογραφία

- Abad R., Miquel J., Iglesias M., & Alvarez F. (1998a). "Acoustic estimation of abundance and distribution of anchovy in the northwestern Mediterranean." Scientia Marina **62**(1-2): 37-43.
- Abad R., Miquel J., Iglesias M., & Alvarez F. (1998b). "Acoustic estimation of abundance and distribution of sardine in the northwestern Mediterranean." Fisheries Research **34**: 239-245.
- Anonymous (2000). "Evaluation of the Southern Greek anchovy stocks" (DG-XIV 97/0048), Final Report. 42 p.
- Anonymous (2001). "Evaluation of the Southern Greek Sardine Stocks. EEC Project DG XIV No 98/039, Final Report. 51 p.
- Armstrong M. (1984). "Common problems seen in variograms." Mathematical Geology **16**(3): 305-313.
- Armstrong M., Renard D., Rivoirard J., & Petitgas P. (1992). "Geostatistics for fish survey data." Fontainebleau, France, Centre de Geostatistique. p. 89
- Bahri T. & Freon P. (2000). "Spatial structure of coastal pelagic schools descriptors in the Mediterranean Sea." Fisheries Research **48**: 157-166.
- Bakun A. & Cury P. (1999). "The "school trap": a mechanism promoting large amplitude out-of-phase population oscillations of small pelagic fish species." Ecology letters, **2**:349-351.
- Barange M. & Hampton I. (1997). "Spatial structure of co-occurring anchovy and sardine populations from acoustic data: implications for survey design." Fisheries Oceanography **6**(2): 94-108.
- Bazigos G. (1974). "The design of fisheries statistical surveys-inland waters." FAO Fish. Tech. Pap., 133 p.
- Beverton R.J.H. & Holt S.J. (1957). "On the Dynamics of Exploited Fish Populations." London, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 533 p.
- Bez N. & Rivoirard J. (2001). "Transitive geostatistics to characterize spatial aggregations with diffuse limits: an application on mackerel ichthyoplankton." Fisheries Research **50**: 41-58.
- Biosonics (1992). Echo Signal Processor. Seattle, Biosonics Inc. 274 p.
- Blaxter J.H. & Batty R. (1990). "Swimbladder "behaviour" and target strength." Rapp. P.-v. Cons. int. Explor. Mer. **189**: 233-244.
- Blaxter J.H.S & Hunter J. (1982). "The biology of the Clupeoid fishes." Advances in Marine Biology **20**: 1-223.
- Borchers D.L., Buckland S.T., Priede I.G. & Ahmadi S. (1997). "Improving the precision of the daily egg production method using generalized additive models." Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science **54**: 2727-2742.
- Bulganova Y. (1993). "Daily feeding dynamics of the Black Sea anchovy, *Engraulis encrasicolus*." Journal of Ichthyology **33**: 78-88.
- Clark I. (1987). "Practical geostatistics," Elsevier, Applied Science Publishers LTD. 129 p.

- Cleveland W.S. (1979). "Robust locally weighted regression and smoothing scattetplots." Journal of the American Statistical Association **74**(368): 829-836.
- Cleveland W.S. & Devlin S. (1988). "Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting." Journal of the American Statistical Association **83** (403): 596-610.
- Cochran W.S. (1977). "Sampling techniques." Willey, New York, USA. 448 p.
- Connors M.E. & Schwager S.J. (2002). "The use of adaptive cluster sampling for hydroacoustic surveys." ICES Journal Marine Science, **59**: 1314-1325.
- Cressie N. (1985). "Fitting Variogram Models by Weighted Least Squares." Mathematical Geology **17**(5): 563-586.
- Cressie N. (1991). "Statistics for spatial data." John Wiley & Sons, New York. 900 p.
- Cressie N. & Chan N.H. (1989). "Spatial modeling of regional variables." Journal of the American Statistical Association **84**(406): 393-401.
- Culley M. (1970). "The Pilchard, biology and exploitation." Pergamon Press. 241 p.
- Cushing D.H. (1969). "The regularity of the spawning season of some fishes." Journal du Conseil pour l'Exploration de la Mer **33**(1): 81-92.
- Cushing D.H. (1971). "Upwelling and the production of fish." Advances in Marine Biology **9**: 334-555.
- Daoulas Ch. & Economou A.N. (1986). "Seasonal variation of the egg size in the sardine *Sardina pilchardus* Walb., of the Saronikos Gulf: causes and a probable explanation." Journal of Fish Biology **28**: 449-457.
- DeLeiva Moreno J.I., Agostini V.N., Caddy J.F., & Carocci F. (2000). "Is the pelagic-demersal ratio from fishery landings auseful proxy for nutrient availability? A preliminary data exploration for the semi-enclosed seas around Europe." ICES, Journal of Marine Science **57**: 1091-1102.
- Demir M. & Demir N. (1961). "Note on the sardine (*Clupea pilchardus* Walb.) and its reproduction in the sea of Marmara." Proc. gen. Fish. Coun. Medit. **6**: 221-223.
- Dragesund O. (1964). "Studies on the sardine (*Sardina pilchardus* (Walb.)) and anchovy *Engraulis encrasicolus* (L.) in the gulf of Naples and their behaviour to artificial light." Stud.Rev.gen. Fish.Coun. Medit. **23**: 40.
- Ecker M.D. & Gelfand A.E. (1999). "Bayesian Modeling and Inference for Geometrically Anisotropic Spatial Data." Mathematical Geology **31**(1): 67-83.
- Fletcher W.J. & Summer N.R. (1999). "Spatial distribution of sardine (*Sardinops sagax*) eggs and larvae: an application of geostatistics and resampling to survey data." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **56**: 907-914.
- Foote K.G. (1980). "Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: A comparison of gadoid and mackerel target strengths." Journal of Acoustical Society of America **67**(6): 2084-2089.
- Foote K.G. & Stefansson G. (1993). Definition of the problem of estimating fish abundance over an area from acoustic line-transect measurements of density. ICES Journal Marine Science, **50**: 369-381.

- Freon P., Gerlotto F., & Misund O.A. (1996). "Consequences of fish behaviour for stock assessment." ICES, Marine Science Symposia **196**: 190-195.
- Freon P., Gerlotto F., & M. Soria (1993). "Variability of *Harengula spp.* school reaction to boats or predators in shallow waters." ICES, Marine Science Symposia **196**: 30-35.
- Freon P. & Misund O.A. (1999). Dynamics of Pelagic Fish Distribution and Behaviour: Effects on Fisheries and Stock Assessment. Oxford, Fishing News Books, 348 p.
- Froese R. & Pauly D. (2003). (Eds) FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version 18 November 2003.
- Ganias K., Somarakis S., Koutsikopoulos C., Machias A., & Theodorou A. (2002a). "Seasonal variation of somatic and organ weight indices of sardine in the Aegean and Ionian Seas." Proc. of 9th International Congress on the Zoogeography and Ecology of Greece and adjacent regions. Book of Abstracts : 37.
- Ganias K., Somarakis S., Machias A., Koutsikopoulos C., & Theodorou A. (2002b). "Evaluation of spawning frequency in a Mediterranean sardine population." Marine Biology, *in press*.
- Ganias K., Somarakis S., Machias A., & Theodorou A. (2002c). "Group synchronous oocyte development in the Mediterranean sardine: Using non-hydrated females in the "hydrated oocyte method". Journal of Fish Biology *in press*.
- Garcia A., Palomera I., Liorzou B., Giovanardi O., & Pla C. (1994). "Northwestern Mediterranean anchovy. Distribution, biology, fisheries and biomass estimation by different methods."EEC, DG XIV, Final Report MA: 34-42.
- Gerlotto F. & Freon P. (1992). "Some elements on vertical avoidance of fish schools to a vessel during acoustic surveys." Fisheries Research **14**: 251-259.
- Giannoulaki M., Machias A., Koutsikopoulos C., Somarakis S., Haralabous J., & Tsimenides N. (2002). "Spatial structure of pelagic fish in Greek waters determined by acoustics." Proc 6th ICES Symp., Book of Abstracts: 120-121.
- Giannoulaki M., Machias A., Somarakis S., Koutsikopoulos C., Manousakis L., & Tsimenides N. (2001): "The distribution of sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) in Central Aegean and Ionian sea, by means of acoustics." Proc. 10th Hell. Conference of Ichthyologists : 61-64.
- Giannoulaki M., Machias A., & Tsimenides N. (1999). "Ambient luminance and vertical migration of the sardine *Sardina pilchardus*." Marine Ecology Progress Series **178**: 29-38.
- Goovaerts P. (1997). "Geostatistics for Natural Resources Evaluation." New York, Oxford, Oxford University Press. 483 p.
- Guillard J., Gerdeaux D., Brun G., & Chappaz R. (1992). "The use of geostatistics to analyze data from an echo-integration survey of fish stock in lake Sainte-Croix." Fisheries Research **13**: 395-406.

- Guillard J. & Lebourges A. (1998). "Preliminary results of fish population distribution in a Senegalese coastal area with depths less than 15m, using acoustic methods." Aquatic Living Resources **11**: 13-20.
- Guisan A. & Zimmermann N.E. (2000). "Predictive habitat distribution models in ecology." Ecological Modelling **135**: 147-186.
- Guisan A., Edwards T.C. Jr., & T. Hastie (2002). "Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene." Ecological Modelling **157**: 89-100.
- Hamming R.W. (1973). "Numerical methods for scientists and engineers." New York, McGraw-Hill. 721 p.
- Haralabous J. & Georgakarakos S. (1996). "Artificial neural networks as a tool for species identification of fish schools." ICES, Journal of Marine Science, **53**: 173-180.
- Hastie T. & Tibshirani R. (1986). "Generalized Additive Models." Statistical Science **1**(3):297-318.
- Hastie T. & Tibshirani R. (1990). "Generalized Additive Models." London, Chapman and Hall. p.355
- Isaaks E.H. & Srivastava R.M. (1989). "Applied Geostatistics." New York, Oxford, Oxford University Press. 560 p.
- Jacoby W.G. (2000). Loess: a nonparametric, graphical tool for depicting relationships between variables. Electoral Studies **19**: 577-613.
- Journel A. & Huijbregts C. (1978). "Mining Geostatistics." New York, Academic Press. 600 p.
- Karacam H. & Duzgunes E. (1990). "Age, growth and meat yield of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) in the Black Sea." Fisheries Research **9**: 181-186.
- Konsuloff ST. & Drensky P. (1943). "Die Fischfauna der Aegais." Annu. Univ. Sofia Fac., Sci., **39** (3): 293-308.
- Koutrakis E., Tsikliras A., & Kamidis N. (2001). "On the biology of sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum 1792) in the Gulf of Kavala." Proc. 10th Hell. Conference of Ichthyologists : 69-72.
- Koutsikopoulos C., & Le Cann B. (1996). "Physical processes and hydrological structure to the Bay of Biscay anchovy." Scientia Marina **60**(Supl. 2): 9-19.
- Labropoulou M. & Machias A. (1998). "Effect of habitat selection on the dietary patterns of two triglids species." Marine Ecology Progress Series **173**: 275-288.
- Laprise R. & Pepin P. (1995). "Factors influencing the spatio-temporal occurrence of fish eggs and larvae in a northern, physically dynamic coastal environment." Marine Ecology Progress Series **122**: 73-92.
- Laskaridis K. (1948). "Study of the biology of the sardine (*Clupea pilchardus* Walb.) in Greek waters." Prakt. Hell. Hydrobiol. Fish. Bull., **85**: 561-568.
- Legendre P. (1993). "Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm?" Ecology **74**(6): 1659-1673.
- Lo N.C., Hunter J.R., & Charter R. (2001). "Use of a continuous egg sampler for ichthyoplankton surveys: application to the estimation of daily egg production of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off California." Fisheries Bulletin **99**: 554-571.

- Love R. (1977). "Target strength of an individual fish in any aspect." Journal of Acoustical Society of America **62**(6): 1397-1403.
- Lucio P. & Uriarte A. (1990). "Aspects of the reproductive biology of the anchovy, *Engraulis encrasicolus* (L. 1758) during 1987 and 1988 in the Bay of Biscay." ICES CM 1990/H: 27.
- Machias A. (1994). "The target strength of sardine (*Sardina pilchardus*) and the factors that influence it." Department of Biology. Heraclion, University of Crete: p. 185.
- Machias A., Giannoulaki M., Somarakis S., Koutsikopoulos C., Manousakis L., Kapantagakis A., & Tsimenides N. (2000). "In situ estimation of sardine and anchovy target strength." Proc. of the 5th Hel. Symp. Oceanogr. & Fish. II: 180-184.
- Machias A., Giannoulaki M., Somarakis S., Koutsikopoulos C., Manousakis L., Kapantagakis A., & Tsimenides N. (2001). "Stock assessment of anchovy biomass in Central Aegean and Ionian sea through acoustic method." Proc. 10th Hell. Conference of Ichthyologists : 57-60.
- Machias A., Somarakis S., Giannoulaki M., Manousakis L., Kapantagakis A., & Tsimenides N. (1997). "Estimation of the N. Aegean anchovy stock by means of hydroacoustics by means of two independent methods. II. Hydroacoustics." Proc. of the 5th Hel. Symp. Oceanogr. & Fish. II: 47-50.
- Machias A., Somarakis S., & Tsimenides N. (1998). "Bathymetric distribution and movements of red mullet *Mullus surmuletus*." Marine Ecology Progress Series **166**: 247-257.
- Machias A. & Tsimenides N. (1995). "Biological factors affecting the swimbladder volume of sardine (*Sardina pilchardus*)." Marine Biology **123**: 859-867.
- Machias A. & Tsimenides N. (1996). "Anatomical and physiological factors affecting the swimbladder cross-section of sardine *Sardina pilchardus* W." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. **53**(2): 280-287.
- MacLennan D.N. & Simmonds E.J. (1992). Fisheries Acoustics. Chapman & Hall.
- Magoulas A., Tsimenides N., & Zouros E. (1996). "Mitochondrial DNA Phylogeny and the Reconstruction of the Population History of a Species: The Case of the European Anchovy (*Engraulis encrasicolus*)." Molecular Biology and Evolution **13**(1): 178-190.
- Mais K.F. (1977). "Acoustic surveys of northern anchovies in a California current system." Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. **170**: 287-295.
- Maravelias C. D. (1997a). "North Sea herring (*Clupea harengus* L.) distribution in relation to environment: Analysis of acoustic survey data (1992-95)." Department of Zoology. Aberdeen, University of Aberdeen: p. 242.
- Maravelias C. D., Machias A., Somarakis S., & Tsimenides N. (1997). "Spatial distribution of pelagic species in the North Aegean Sea: use of geostatistics and environmental variables." Proc. of the 5th Hel. Symp. Oceanogr. & Fish. II : 119-122.
- Maravelias C.D. (1997b). "Trends in abundance and geographic distribution of North Sea herring in relation to environmental factors." Marine Ecology Progress Series **159**(151-164).

- Maravelias C.D. (1999). "Habitat selection and clustering of a pelagic fish: effects of topography and bathymetry on species dynamics." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **56**: 437-450.
- Maravelias C.D. (2001). "Habitat associations of Atlantic herring in the Shetland area: influence of spatial scale and geographic segmentation." Fisheries Oceanography **10**(3): 259-267.
- Maravelias C.D. & Haralabous J. (1995). "Spatial distribution of herring in the Orkney/Shetland area (Northern North Sea): A geostatistical analysis." Netherlands Journal of Sea Research **34**(4): 319-329.
- Maravelias C.D., Reid D.G., & Swartzman G. (2000). "Modelling spatio-temporal effects of environment on atlantic herring, *Clupea harengus*." Environmental Biology of Fishes **58**: 157-172.
- Maravelias C.D., & Reid D.G. (1997). "Identifying the effects of oceanographic features and zooplankton on pre-spawning herring abundance using generalized additive models." Marine Ecology Progress Series **147**: 1-9.
- Maravelias C.D., Reid D.G., Simmonds E.J., & Haralabous J. (1996). "Spatial analysis and mapping of acoustic survey data in the presence of high local variability: geostatistical application to the North Sea herring (*Clupea harengus*)." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **53**: 1497-1505.
- Masse J. (1996). "Acoustic observations in the Bay of Biscay: Schooling, vertical distribution, species assemblages and behaviour." Sciencia Marina **60**, Suppl.2: 227-234.
- Matheron G. (1963). "Principles of geostatistics." Economic Geology **58**: 1246-1266.
- Matheron G. (1971). La Theorie des variables Regionalisees et ses Applications. Fascicule 5, Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau. 211 p.
- Mikhailov KR. (1993). "Sex maturation of the young of the year anchovy, *Engraulis encrasicolus* (L.), off the Bulgarian Black Sea coast in August 1987", (unpublished manuscript).
- Mikhman S.A. & Tomanovich L.V. (1978). "The feeding of the Azov anchovy, *Engraulis encrasicolus maeoticus*." Journal of Ichthyology **17**: 240-244.
- Misund O.A. (1997). "Underwater acoustics in marine fisheries and fisheries research." Reviews in Fish Biology and Fisheries **7**: 1-34.
- Misund O.A. & Coetzee J. (2000). "Recording fish schools by multi-beam sonar: potential for validating and supplementing echo integration recordings of schooling fish." Fisheries Research **47**: 149-159.
- Morales-Nin B. & Pertierra J.P. (1990). "Growth rates of the anchovy *Engraulis encrasicolus* and the sardine *Sardina pilchardus* in the Northwestern Mediterranean Sea." Marine Biology **107**: 349-356.
- Motos L., Santiago J. & Uriarte A. (1991). "Assessment of spawning biomass of the Bay of Biscay anchovy population (*Engraulis encrasicolus* L.) using the Daily Egg Production Method." ICES CM 1991/H: 33 p.
- Motos L., Uriarte A. & Valencia V. (1996). "The spawning environment of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.)" Sciencia Marina **60**(Suppl. 2): 117-140.

- Murray A.W.A. (1996). Comparison of geostatistical and random sample survey analyses of Antarctic krill acoustic data. ICES Journal Marine Science, **53**: 415-421.
- Ona E. (1990). "Physiological factors causing natural variations in target strength." Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom **70**: 107-127.
- Palomera I. (1992). "Spawning of the anchovy *Engraulis encrasicolus*, in the North-Eastern Mediterranean relative to hydrographic features in the region." Marine Ecology Progress Series **79**:215-223.
- Palomera I. & Sabates A. (1990). "Co-occurrence of *Engraulis encrasicolus* and *Sardinella aurita* eggs and larvae in the western Mediterranean." Scientia Marina **54**(1): 61-67.
- Paramo J. & Roa R. (2002). "Acoustic-geostatistical assessment and habitat-abundance relations of small pelagic fish from the Colombian Caribbean." Fisheries Research, **60** (2-3): 309-319.
- Parsons T.R., Takahashi M. & Hargrave B. (1984). "Biological oceanographic processes." Pergamon Press. p. 330
- Pauly D., Christensen V., Guenette S., Pitcher T.J., Sumaila U.R., Walters C.J., Watson R. & Zeller D., (2002). "Towards sustainability in world fisheries." Nature, 418: 689-695.
- Perry R.I. & Smith S.J. (1994). "Identifying habitat associations of marine fishes using survey data: An application to the Northwest Atlantic." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **51**: 589-602.
- Petitgas P. (1993a). "Use of a disjunctive kriging to model areas of high pelagic fish density in acoustic fisheries surveys." Aquatic Living Resources **6**: 201-209.
- Petitgas P. (1993b). "Geostatistics for fish stock assessments: a review and an acoustic application." ICES, Journal of Marine Science **50**: 285-298.
- Petitgas P. (1997). "Sole egg distributions in space and time characterized by a geostatistical model and its estimation variance." ICES, Journal of Marine Science **54**: 213-225.
- Petitgas P. & Lévênez J.J. (1996). "Spatial organization of pelagic fish: echogram structure, spatio-temporal condition, and biomass in Senegalese waters." ICES, Journal of Marine Science **53**: 147-153.
- Petitgas P., Reid D., Carrera P., Iglesias M., Georgakarakos S., Liorzou B., & Masse J. (2001). "On the relation between schools, clusters of schools, and abundance in pelagic fish stocks." ICES, Journal of Marine Science **58**: 1150-1160.
- Petitgas P., Masse J., Beillois P., Lebarbier E., & LeCann A. (2003). "Sampling variance of species identification in fisheries-acoustic surveys based on automated procedures associating acoustic images and trawl hauls." ICES, Journal of Marine Science, **60**: 437-445.
- Pond S. & Pickard G.L. (1983). "Introductory Dynamical Oceanography." 2nd Ed., Pergamon Press, Oxford.
- Quintanilla L.F. & Perez N. (2000). "Spawning frequency of *Sardina pilchardus* (Walb.) off the Spanish North Atlantic coast in 1997." Fisheries Research **45**: 73-79.

- Ramphos A., Fragopoulou N., Koutsikopoulos K., Machias A., Somarakis S., & I. Lykakis (1999a). «Mesozooplankton community structure in central Hellenic coastal zone in summer 1998. Proc. of the 6th Hel. Symp. Oceanogr. & Fish. I: 328-332.
- Ramphos A., Koutsikopoulos K., Fragopoulou N., Machias A., Somarakis S., Pyrovolaki E., & I. Lykakis (1999b). «Hydrology and biological features in the coastal areas of Central Greece during anchovy spawning period. Proc. of the 6th Hel. Symp. Oceanogr. & Fish. I: 88-93.
- Reid D. & Simmonds E. (1993). “Image analysis techniques for the study of fish school structure from acoustic survey data.” Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, **50**: 1264-1272.
- Reid D.G. (2000). “Report on Echo Trace Classification.” ICES Cooperative Research Report **238**: 107.
- Reid J.L. (1967). “Oceanic environments of the genus *Engraulis* around the world.” CalCOFI Rep. **11**:26-33.
- Rendu J.M. (1979a). “Kriging, logarithmic kriging and conditional expectation, comparison of theory with actual results.” 16th APCOM Symposium, New York, Soc. AIME : 199-212.
- Rendu J.M. (1979b). “Normal and lognormal estimation.” Mathematical Geology **11**(4): 407-422.
- Rose G. & Leggett W. (1988). “Hydro-acoustic signal classification of fish schools by species.” Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, **50**: 597-604.
- Rossi R.E., Mulla D.J., Journel A.G. & Franz E.H. (1992). “Geostatistical tools for modelling and interpreting ecological spatial dependence.” Ecological monographs **62**(2): 277-314.
- Scalabrin C. & Masse J. (1993). “Acoustic detection of the spatial and temporal distribution of fish shoals in the Bay of Biscay.” Aquatic Living Resources **6**: 269-283.
- Schneider D. (1989). “Identifying the spatial scale of density-dependent interaction of predators with schooling fish in the southern Labrador current.” Journal of Fish Biology **35**(Supl. A): 109-115.
- Simard Y. & Gerlotto F. (1990). “Exploration of applicability of geostatistics to fisheries acoustics.” Rostock, ICES, Fisheries Acoustics Sciences and Technology working group meeting: 26 p.
- Simard Y., Marcotte D. & Bourgault G. (1993). “Exploration of geostatistical methods for mapping and estimating acoustic biomass of pelagic fish in the Gulf of St. Lawrence: size of echo-integration unit and auxiliary environmental variables.” Aquatic Living Resources **6**: 185-199.
- Skrivanic A. & Zavodnic D. (1973). “Migrations of the sardine (*Sardina pilchardus*) in relations to hydrographical conditions of the Adriatic sea.” Netherlands Journal of Sea Research, 7th European Symposium for Marine Biology. **7**: 7-18.
- Somarakis S., Drakopoulos P., & Filippou V. (2002a). “Distribution and abundance of larval fishes in the northern Aegean Sea-eastern Mediterranean- in relation to early summer oceanographic conditions.” Journal of Plankton Research **24**(4): 339-357.
- Somarakis S., Ganias K., Koutsikopoulos C., Machias A., & C. Papaconstantinou (2001). “Applying the daily egg production method (DEPM) to small sardine stocks in the Eastern Mediterranean (Central Greece).” Working Doc., ICES Study Group on the Estimation of spawning biomass for sardine and anchovy (SGBSA), Lisbon, 22-25/10/2001, 21 p.

- Somarakis S., Koutsikopoulos C., Machias A., & Tsimenides N. (2002b). "Applying the daily egg production method (DEPM) to small stocks in highly heterogeneous seas." Fisheries Research **55**: 193-204.
- Somarakis S. & Machias A. (2002). "Age, growth and bathymetric distribution of red pandora (*Pagellus erythrinus*) on the Cretan shelf (eastern Mediterranean)." Journal of the Marine Biological Association U.K., **82**: 149-160.
- Somarakis S., Machias A., Koutsikopoulos K., Maraveya E., Giannoulaki M. & Tsimenides N. (2000). "Distribution of anchovy and its spawning grounds off the central Aegean and Ionian Seas." Proc. of the 5th Hel. Symp. Oceanogr. & Fish. **II**: 94-98.
- Spanakis E., Tsimenides N., & Zouros E. (1989). "Genetic differences between populations of sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) from the Aegean and Ionian seas." Journal of Fish Biology, **35**: 417-437.
- S-plus (2000). Guide to Statistics. Data Analysis Products Division, MathSoft Inc., Seattle, Washington, 582p.
- Stergiou K.I. (1989). "Modelling and forecasting the fishery for pilchard (*Sardina pilchardus*) in Greek waters using ARIMA time-series models." J. Cons. int. Explor. Mer. **46**: 16-23.
- Stergiou K.I. (1992). "Variability of monthly catches of anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Aegean Sea." Fishery Bulletin **90**: 211-215.
- Stergiou K.I. (2000). "Modelling and forecasting monthly anchovy catches using the X11 census technique." Proc. 6th Hell. Symp. Oceanogr. & Fish. **II**: 170-174.
- Stergiou K.I. & Christou E.D. (1996). "Modeling and forecasting annual fisheries catches: comparison of regression, univariate and multivariate time series methods." Fisheries Research **25**: 105-138.
- Stergiou K.I., Christou E.D., Georgopoulos D., Zenetos A., & Souvermezoglou C. (1997). "The Hellenic Seas: Physics, chemistry, biology and fisheries." Oceanography and Marine Biology: An Annual Review. **35**: 415-538.
- Stergiou K.I., Christou E.D., & Petrakis G. (1997). "Modelling and forecasting monthly fisheries catches: comparison of regression, univariate and multivariate time series methods." Fisheries Research **29**: 55-95.
- Stergiou K.I. & Georgopoulos D. (1993). "The distribution of phytoplankton pigments and the fishery of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Hellenic Seas." Naga **16**(2):34-37.
- Stergiou K.I. & Laskaratos A. (1997). "Climatic variability and the anchovy/sardine ratio in Hellenic waters." GeoJournal **41**(3): 245-254.
- Stergiou K.I. (1986). "On the anchovy and pilchard fishery in Greek waters, 1964-1982." Rapp. Comm. Int. Mer. Medit **30**: 241.
- Stratoudakis Y., Gallego A., & Morrison J.A. (1998). "Spatial distribution of developmental egg ages within a herring *Clupea harengus* spawning ground." Marine Ecology Progress Series **174**: 27-32.

- Swain D.P. & Kramer D.L. (1995). "Annual variation in temperature selection by Atlantic cod *Gadus morhua* in the southern Gulf of St. Lawrence, Canada, and its relation to population size." Marine Ecology Progress Series **116**: 11-23.
- Swartzman G. (1991). "Fish school formation and maintenance: a random encounter model." Ecological Modelling **56**: 63-80.
- Swartzman G., Huang C. & Kaluzny S. (1992). "Spatial analysis of Bering Groundfish Survey Data Using Generalized Additive Models." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **49**: 1366-1378.
- Swartzman G., Stuetzle W., Kulman K., & Powojowski M. (1994). "Relating the distribution of pollock schools in the Bering Sea to environmental factors." ICES, Journal of Marine Science **51**: 481-492.
- Tameishi H., Shinomyia H., Aoki I., & Sugimoto T. (1996). "Understanding Japanese sardine migrations using acoustic and other aids." Journal of Marine Science **53**(2): 167-172.
- Tserpes G. & Tsimenides N. (1990). "Evaluation of stock differences in *Sardina pilchardus* (Walb. 1792) from the Aegean and Ionian seas, in terms of growth rates." Cybiurn **15**(1): 15-22.
- Tsimenides N., Bazigos G., Georgakarakos E., & Kapandagakis A. (1995). "Distribution of Acoustic Pelagic Fish Populations in Northern Aegean Sea. Assessment methodologies and management." Proc. World Fisheries Congress, **5**, 33-42.
- Tsimenides N. & Caragitsou H. (1984). "The state of the sardine and anchovy resources in Greek Seas." Proc. 1st Hellenic Symp. Ocean. Fish.: 578-589.
- Tudela S. & Palomera I. (1997). "Trophic ecology of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Catalan Sea (northwest Mediterranean)." Marine Ecology Progress Series **160**: 121-134.
- Uriarte A., Prouzet P., & Villamor B. (1996). "Bay of Biscay and Ibero Atlantic anchovy populations and their fisheries." Scientia Marina **60**(Suppl. 2): 237-255.
- Ursin E. (1979). "Principles of Growth in Fishes." In Miller P.J. (ed) "Fish Phenology: anabolic adaptiveness in teleosts". Symp. Zool. Soc. Lond., **44**: 63-87.
- Venables W.N. & Ripley B.D. (1994). "Modern Applied Statistics with S-plus." New York, Springer-Verlag, 448 p.
- Voulgaridou P. & Stergiou K.I. (2003). "Long-term trends in various biological parameters of the European sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1972), in the eastern Mediterranean Sea." Scientia Marina. **67** (Suppl 1): 269-280.
- Vucetic T. (1961). "Feeding habits of the adult sardine (*Sardina pilchardus* Walb.)." Gen. Fish. Coun. Medit. **40**: 361-364.
- Weisberg S. (1980). Applied Linear Regression. Wiley New York. 344 p.
- Whitehead P.J.P. (1985). FAO species catalogue. vol. 7. Clupeoid fishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, shads, anchovies and wolf-herring. Part I. Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae. FAO Fish Synops. (**125**), 7, 303 p.

- Winters G.H. & Wheeler J.P. (1985). "Interaction between stock area, stock abundance and catchability coefficient." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **42**: 989-998.
- Wonnacot T.H. & Wonnacott R.J. (1981). "Regression: A second course in statistics." John Wiley & Sons, New York. 558 p.
- Yannopoulos A., Yannopoulos S. & Sotiriades-Vlachos C. (1973). "On the occurrence of ichthyoplankton in the Saronikos Gulf, Aegean Sea. Anchovy and sardines in '69-70-71.'" Rev. Trav. Inst. Pech. Maut. Nautes. **37**(2): 177-181.
- Zar J.H. (1985). "Biostatistical analysis." Prentice Hall Inc. 718 p.
- Zervakis V., Georgopoulos D. & Drakopoulos P.G. (2000). "The role of the North Aegean in triggering the recent Eastern Mediterranean climatic changes." Journal of Geophysical Research **105**: 103-116.
- Zimmerman D.L. (1993). "Another look at anisotropy in geostatistics." Mathematical Geology **25**(4): 453-470.
- Βιδάλης Ε., (1949). "Συμβολή εις τη μελέτην της βιολογίας του γαύρου (*Engraulis encrasicolus*) των Ελληνικών θαλασσών." Πρακτ. Ελλ. Υδροβ. Ινστ. **3**(2): 41-70.
- Γκάνιας Κ., Σωμαράκης Σ., Κουτσικόπουλος Κ., Καραγκίτσου Η., Μαχιάς Α., Τσιμενίδης Ν. & Θεοδώρου Α. (2000). "Ωκεανογραφική, ιχθυοπλαγκτονική και βιολογική μελέτη της αναπαραγωγής της σαρδέλας στις παράκτιες περιοχές της κεντρικής Ελλάδας." Αλιευτικά Νέα **233**: 41-48.
- Σωμαράκης Σ. (1993). "Συμβολή στη μελέτη των πλαγκτονικών σταδίων του γαύρου στο Αιγαίο." Μεταπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Κρήτης, σελ. 85.
- Σωμαράκης Σ. (1999). "Ιχθυοπλαγκτόν του βορειο-ανατολικού Αιγαίου με έμφαση στο γαύρο, *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) (Ιούνιος 1993,1994,1995,1996)." Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστήμιο Κρήτης, σελ. 132.
- Τσιμενίδης Ν. & Καραγκίτσου Η. (1984). "Αλιευτική κατάσταση των αποθεμάτων σαρδέλας και γαύρου στις ελληνικές θάλασσες." Πρακτικά Α` Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Αθήνα 14-17/3/1984, 578-589.
- Τσιμενίδης Ν., Μαχιάς Α., Σωμαράκης Σ. & Γιαννουλάκη Μ. (1996). "Έρευνα για τα μεταναστευτικά μικρά πελαγικά ψάρια. Εκτίμηση αφθονίας και κατανομή στο Β. Αιγαίο 1995." Πανεπιστήμιο Κρήτης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας, 28 σελ.